

ISBN : 978-602-5085-10-9



PROSIDING SIGER 2017

SEMINAR NASIONAL ENERGI DAN INDUSTRI MANUFAKTUR 2017

SIGER 2017

SEMINAR NASIONAL ENERGI DAN INDUSTRI MANUFAKTUR 2017

Bandar Lampung, 7 - 8 November 2017



Kata Pengantar

Puji syukur dipanjatkan ke hadirat Allah Subhanallahu wa Ta'ala atas segala Rahmat dan Hidayah yang telah diberikan kepada kita semua, sehingga buku Prosiding Seminar Nasional Energi dan Industri Manufaktur – SIGER 2017 pada tanggal 7 – 8 November 2017 di Universitas Lampung dapat terlaksana dengan baik.

Buku prosiding ini memuat sejumlah artikel penelitian dari berbagai kontributor dari kalangan dosen, peneliti, dan mahasiswa dari berbagai perguruan tinggi dan lembaga penelitian di Indonesia. Artikel ilmiah tersebut telah direview dan dikumpulkan oleh panitia, serta dipresentasikan dalam acara SIGER 2017.

Dalam kesempatan ini perkenankan kami, atas nama panitia pelaksana mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah memfasilitasi dan mendukung terlaksananya kegiatan ini:

1. Rektor Unila, Bapak Prof. Dr. Ir. Hasriadi Mat Akin, M.P.
2. Dekan Fakultas Teknik Unila, Bapak Prof. Suharno, M.Sc.
3. Bapak/Ibu Dosen di Jurusan Teknik Mesin dan Fakultas Teknik Unila
4. Segenap panitia seminar nasional yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pemikirannya demi suksesnya kegiatan ini.

Semoga buku prosiding ini dapat memberi kemanfaatan bagi kita semua, untuk kepentingan pengembangan ilmu, teknologi, seni, dan budaya. Di samping itu, diharapkan juga dapat menjadi referensi bagi upaya pembangunan akademik di Indonesia.

Kami juga menyadari bahwa, “Tiada gading yang tak retak”, untuk itu kami mohon maaf jika terdapat hal-hal yang belum sempurna dan kurang berkenan. Saran dan kritik yang membangun, kami tunggu demi kesempurnaan buku prosiding SIGER ini.

Editorial board:

Shirley Savetlana, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas teknik, Universitas Lampung

Irza Sukmana, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas teknik, Universitas Lampung



Susunan Panitia SIGER 2017

Pengarah:

Prof. Suharno, MSc., Dekan Fakultas Teknik Unila

Dr. Helmy Fitriawan

Dr. Muh. Sarkowi

Penanggung Jawab:

Ahmad Su'udi S.T., M.T.

Ketua Pelaksana: Irza Sukmana, S.T., M.T., Ph.D.,

Sekretaris: A. Yudi Eka Risano, S.T., M.T.,

Bendahara: Novri Tanti, S.T., M.T.

Ketua Bidang Ilmiah: Dr. Eng. Shirley Savetlana, S.T., M.Met.

Koordinator Divisi Reviewer dan Publikasi Ilmiah: Dr. Jamiatul Akmal, ST. MT.

Anggota:

Dr. Amrizal

Dr. Gusri Akhyar Ibrahim

Dr. Eng. Suryadiwansa Harun

Koordinator Prosiding: Dr. Asnawi Lubis

Anggota:

Dyan Susila, S.T., M.T.

Zulhanif, S.T., M.T.

Harnowo Supriadi, S.T., M.T.

Ketua Bidang Acara dan Pelaksanaan: Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, MT.

Koordinator Divisi Sarana dan Prasarana: Tarkono, S.T., M.T.

Anggota:

Jorfri Boyke, ST. MT.

Ahmad Yahya, S.T., M.T.

Nafrizal, S.T., M.T.

Martinus, S.T., M.T.



Koordinator Divisi Eksternal dan Kesekretariatan: Dr. Amrul, S.T., M.T.

Anggota:

Zulhendri Hasyimi, S.T., M.T.

Herry Wardono, S.T., M.T.

Agus Sugiri, S.T., M.T.

Reviewer

- Prof. Udin Hasanudin** – *Fakultas Pertanian, Universitas Lampung*
- Prof. Sutopo Hadi** – *Fakultas MIPA, Universitas Lampung*
- Dr. Ainul Ghurri** – *Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana*
- Dr. Ahmad Zaenuddin** – *Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung*
- Dr. Edwin Azwar** – *Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung*
- Dr. M. Badaruddin** – *Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung*
- Dr. Diding Suhandy** – *Fakultas Pertanian, Universitas Lampung*
- Dr. Agung Mataram** – *Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya*
- Dr. Masdar Helmi** – *Fakultas Teknik, Universitas Lampung*
- Dr. Ahmad Kafrawi Nasution** – *Fakultas Teknik, Universitas Bung Hatta*



Profil Pembicara

Full Name	ABDUL AZIZ BIN MOHAMED, PROF. MADYA DR.
Email	AzizM@uniten.edu.my
Affiliation	Department of Mechanical Engineering College of Engineering Universiti Tenaga Nasional (UNITEN) Malaysia
Academic Qualification	Honorary Secretary Malaysian Welding and Joining Society (MWJS) Authorized Body for Welding Certification in Malaysia 1) PhD (Marine/Advanced Materials - NDT), Cranfield University, England, United Kingdom, 1998 2) MSc (Materials/Nuclear Technology), Surrey University, England, United Kingdom, 1980 3) BSc (Solid State/Nuclear Physics), Universiti Kebangsaan Malaysia, 1979
Courses Taught in UNITEN	1) MEFB121 - Manufacturing Processes Lab. 2) MEMB453 - Non Destructive Testing 3) MENB403 - Introduction to Nuclear Engineering 4) MENB423 - Introduction to Reactor Physic 5) METB113 - Engineering Materials
Professional Bodies/ Professional Recognition	1) Asia-Oceania Neutron Scattering Association (AONSA): Malaysia representative- 2008 2) Institute of Materials Malaysia: Council member - Materials Evaluation & NDT- 1989 3) Malaysian Nuclear Society: Sec Gen (2000-2011); Vice President (2011-present) 4) Malaysian Welding and Joining Society: Council member- 2005
Research/ Project	Advanced Moderators for Intense Cold Neutron Beams in Materials Research: Neutron Moderation Effectiveness by Alumina (LTCC Based) and Polymeric Materials such as Teflon under TRIGA Neutron Environment with and without Beryllium filter Cooled with liquid Nitrogen



Hari Muhammad

Guru Besar/Dekan

Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara

hari@ftmd.itb.ac.id

Ringkasan

Revolusi industri yang terjadi pada abad 18 telah mencapai puncaknya dengan memunculkan Revolusi Industri ke-4. Banyak pekerjaan yang dahulu dikerjakan oleh manusia sudah tergantikan dengan robot dan/atau komputer. Beberapa pekerjaan atau produk industri yang dahulu ada, maka saat ini sudah berkurang dan diprediksi akan ada beberapa pekerjaan dan produk industri yang akan hilang dalam waktu dekat, serta tergantikan dengan pekerjaan baru yang mungkin belum terpikirkan atau terbayangkan keberadaannya pada saat ini.

Generasi muda sebagai penerus pembangunan bangsa harus siap menghadapi perubahan di segala aspek kehidupan, terutama perubahan yang dipicu oleh kemajuan teknologi. Khususnya bagi Sarjana Teknik, harus siap menghadapi berbagai perubahan yang terjadi di masa yang akan datang. Lulusan Sarjana Teknik, apalagi lulusan Sarjana Teknik Mesin, tidak boleh menjadi obyek atas perubahan yang terjadi, namun harus bisa menghadapi dan mengendalikan perubahan tersebut, agar dapat meningkatkan standar kehidupan yang lebih baik.

Pada paparan ini, akan diceritakan kembali bagaimana revolusi industri yang dimulai pada abad ke 18 terjadi hingga saat ini, dan bagaimana revolusi industri tersebut berpengaruh kepada berbagai aspek kehidupan manusia. Usaha peningkatan daya saing lulusan Sarjana Teknik, khususnya lulusan Sarjana Teknik Mesin akan didiskusikan pada paparan ini.



Topik Makalah

1. Keynote (KN)
2. International Session (IS)
3. Material dan Manufaktur (MM)
4. Energi dan Konstruksi Mesin (EKM)



Daftar Isi

Keynote

- KN-001 **Overview on Advanced Welding Systems in Component Manufacturing for an Energy Sector**
Abdul Aziz Bin Mohamed, Mohd Isa B, Mohamad Ashaari

International Session

- IS-001 **An Overview of Internet of Things (IoT)-Based Healthcare Services: Lesson Learnt from BLESS U Joint Project** I-1
Misfa Susanto, Helmy Fitriawan, Yim Fun Hu, Jiachen Hou, and Thsiamu Sigwele
- IS-002 **Improving Energy Security Model through Detailing Renewable and Energy Efficiency Indicators: A Concept for Manufacture Industry** I-5
Erkata Yandri, Ratna Ariati, Ricky Ibrahim
- IS-003 **Preliminary Investigation on Combined Expansion Tube-Axial Splitting-Type Impact Energy Absorbers** I-14
Yuwono Budi Pratiknyo, Rachman Setiawan,
- IS-004 **Corrosion of Low-Carbon Steel in Fuels (Premium and Pertalite)** I-21
R. Mangga, M. Zuckry, Y. Arifin

Material dan Manufaktur

- MM-001 **Studi Kelayakan Produksi Pewarna Antosianin Food Grade Skala Mini Plant** II-1
Ermiziar T., Yuli Amalia Husnil, Latifa Hanum Lalasari, Raskita Saragih,
- MM-002 **Analisis Pengaruh Artificial Aging Terhadap Sifat Mekanis Pada Aluminium Seri 6061** II-7
Nur Imam Subagyo, Zulhanif, Harnowo Supriadi



MM-003	Analisa Dapur Peleburan Alumunium Menggunakan Biomassa Sebagai Bahan Bakar Terhadap Karakteristik Peleburan <i>E. Nugroho dan Dwi Yuono L</i>	II-13
MM-004	Analisis Fasilitas Wudhu Masjid di Bandar Lampung dari Tinjauan Ergonomis sebagai Bagian Peningkatan Kualitas Pelayanan Fasos Kota <i>Achmad Yahya Teguh Panuju</i>	II-21
MM-005	Perubahan Sifat Mekanik Baja AISI 3215 dengan Besarnya Derajat Deformasi Plastis dan Perlakuan Panas (<i>Heat Treatment</i>) <i>I.Kt. Suarsana</i>	II-29
MM-006	Performansi Tempa Mekanis Pada Proses Pembuatan Bilah Gangsa Salah Satu Perangkat Gamelan Bali <i>IGN. Priambadi, I Ketut Gede Sugita</i>	II-35
MM-007	Pengaruh Lama Waktu Sintering Terhadap Morphologi Hidroksiapatit (HA) Berbahan Batu Kapur Untuk Aplikasi Pada Tulang <i>Agus Hendriyanto, Tri Cahyo Wahyudi, Shirley Savetlana, dan Irza Sukmana</i>	II-40
MM-008	Pengaruh Ukuran Serbuk Logam Hasil Permesinan Terhadap Kualitas Sintering Magnesium AZ31 Untuk Aplikasi Baut Tulang <i>Suef Supriyadi, Ika Kartika, Yanuar Burhanuddin, dan Irza Sukmana</i>	II-45
MM-009	Proses Produksi dan Pemanfaatan Pewarna alami Antosianin Kulit Melinjo Merah Pada Makanan dan Minuman <i>Raskita Saragih, Ermiziar, T, Latifa Hanum Lalasari, Yuli Amalia Husnil</i>	II-51

Energi dan Konstruksi Mesin

EKM-001	Peningkatan Kinerja Termal Heat Pipe dengan Hybrid Nanofluid <i>Wayan Nata Septiadi, I.K.G. Wirawan, I.G.K. Sukadana, Nandy Putra dan Gemilang Ayu Iswari</i>	III-1
EKM-002	Analisis Pembakaran Mesin Sepeda Motor dengan Rasio Kompresi dan Bahan Bakar Yang Berbeda <i>Ainul Ghurri, I.K.G. Wirawan, Tegar Putra Kirana dan Dhama Kusuma</i>	III-11



EKM-003	Design and Finite Element Analysis of Universal Test Rig on Indonesian Automated Guide Transit <i>Bagus Budiwantoro, Abdul Hakim Masyhur, Didi Rushadi</i>	III-12
EKM-004	Rancangan dan Pengujian Alat Pirolisis Berbahan Bakar Dan Bahan Baku Biomassa <i>Kemas Ridhuan, Dwi Irawan, Triyono</i>	III-19
EKM-005	Perencanaa Turbin Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Menggunakan Teknologi Oscilating Water Column Menggunakan Program Ansys 6.0. <i>Jenny Delly, Al Ichlas Imran, Baso Mursidi</i>	III-26
EKM-006	Studi Konduktivitas Termal Batuan Area Manifestasi Air Panas Natar Sebagai Zona <i>Outflow</i> Sistem Panas Bumi Way Ratai, Lampung <i>Karyanto, Nandi Haerudin, Ahmad Zaenudin, Evi Muharoroh, Ryan Donovan</i>	III-34
EKM-007	Pengaruh Penambahan Etanol Pada Solar Terhadap Prestasi dan Emisi Gas Buang Mesin Diesel <i>Untung Surya Dharma, Erik Tri Mahyudi</i>	III-37
EKM-008	Pemanfaatan Bahan Alami Sebagai Material Membran Penjernih Air <i>A.A.I.A.S. Komaladewi, I D.G. Ari Subagia</i>	III-46
EKM-009	Komputasi Visual Basic Untuk Optimalisasi dan Redesain Proses Awal Pengeringan Kopra di Usaha Koperasi Bersama Kopra Putih Sonia Kabupaten Pringsewu <i>A. Yudi Eka Risano, Ahmad Suudi, Jati Wahyu Nugraha</i>	III-50
EKM-010	Uji Pembentukan Biogas dari Sampah Organik pada Biodigester Protable <i>Nitya Santhiarsa</i>	III-55
EKM-011	Audit Energi dan Analisis Peluang Penghematan Konsumsi Energi Listrik Pada bangunan Gedung Di Universitas Lampung <i>Yul Martin, Muhammad Salim</i>	III-59
EKM-012	Pengaruh kemiringan <i>Flow Straightener</i> Terhadap Tingkat Keseragaman Aliran Gas Buang Pada Sampling Point <i>Dewi Puspitasari, Pramadhony, Ellyanie, Marwani, M. Imam A</i>	III-69



- EKM-013 **Perancangan Alat Pengujian Model Turbin Air *Ultra Low Head* untuk Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)** III-74
Jorfri Boike Sinaga, Ahmad Suudi, M. Aang Khonaifi, Milia Rahman, Sugiman



Keynote



**Seminar Nasional Energi dan Industri Manufaktur 2017
(SIGER 2017)
Jurusan Teknik Mesin, FT Universitas Lampung, Bandar
Lampung, Sumatera, Indonesia.
7-8 November 2017**

**Overview on Advanced Welding Systems in Component Manufacturing for
an Energy Sector**

¹Abdul Aziz Bin Mohamed and ²Mohd Isa B. Mohamad Ashaari

¹Malaysian Welding and Joining Society (MWJS) ; c/o Mechanical Engineering Department,
College of Engineering, Universiti Tenaga Nasional, Kajang, Selangor, Malaysia.

²Malaysian Welding and Joining Society (MWJS) ; c/o Welding Technology Department,
German Malaysia Institute, Universiti Kuala Lumpur, Kajang, Selangor, Malaysia.

Abstract: A growing population coupled with the increasing trend per capita energy use in the world will be globally driving construction, refurbishment and expansion of most countries energy grid of fossil-fueled (gas, petroleum and coal) and nuclear power plants. In addition, increasing reliance on green technologies for energy production will ramp up production of wind power farms, solar energy systems and other natural energy sources. The importance of welding is paramount here. It is, however, the concerned of resources availability, environmental issue and cost concerned needed to be addressed as well. This presentation will give an overview on how advanced welding systems could render a solution in component manufacturing for an energy sector within the constraints mentioned.



International Session



An Overview of Internet of Things (IoT)-Based Healthcare Services: Lesson Learnt from BLESS U Joint Project

Misfa Susanto^{1,*}, Helmy Fitriawan¹, Yim Fun Hu², Jiachen Hou³, and Thsiamo Sigwele²

¹Electrical Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Lampung, Jl. Prof Sumantri Brojonegoro, No. 1, Bandar Lampung, Indonesia 35145

²Faculty of Engineering and Informatics, University of Bradford, Richmond Road, Bradford, West Yorkshire, BD7 1DP, United Kingdom

³Faculty of Management and Law, University of Bradford, Emm Lane, Bradford, West Yorkshire, BD9 4JL, United Kingdom

*Email Correspondence: misfa@eng.unila.ac.id

Abstract

Internet of Things (IoT) has been a promising technology to automate the tasks or services that involves human works in many areas of life. One of services that is crucial to enhance a quality of life is healthcare services. The gap of healthcare services in many countries over the world has been a challenging issue. University of Lampung, Indonesia and University of Bradford, United Kingdom (UK) have an on-going joint project funded through Newton Fund Institutional Links Scheme addressing the use of IoT and wide area communication infrastructure to automate the healthcare services in Bandar Lampung, Indonesia, so do the project is called as BLESS U standing for Bandar Lampung Enhanced Smart-health Services with Smart Ubiquity. The ultimate goal of the project is to lessen the gap of healthcare services between urban and rural or very extreme rural area in both Bandar Lampung of Indonesia and Yorkshire region of UK. To achieve this challenging goal, the project has some sub-projects which are part of the BLESS U project. This paper presents an overview of those some on-going works related to the BLESS U project. The paper starts with the concept of BLESS U system at the top level to realize the goal of the project. Some on-going works have been focused to build the hardware component using sensor and communication technologies supporting the healthcare related issues, to build a smart clinic based on IoT, and to build semantic smart service gateway. Overall, the paper identify the stages to achieve the goal of BLESS U project.

Keywords: automation, healthcare services, Internet of Things, BLESS U Project, sensor technology.

1. INTRODUCTION

Indonesia is the latest country in the Asia-Pacific region to adopt smart city initiatives, with many major cities such as Jakarta and Bandung already benefiting from government support and investment. The 24-month project, BLESS U (Bandar Lampung Enhanced Smart-health Services with Smart Ubiquity), will complement existing smart city projects in Indonesia by developing a proof-of-concept Internet of Things (IoT)-enabled smart clinic to automate primary healthcare services provided by clinics in Bandar Lampung, Indonesia and to address the inequitable distribution of healthcare services between urban and rural areas through potential integration of IoT and satellite technologies for remote healthcare service

delivery in rural extremes. BLESS U will transform current paper-based clinical services with smart technologies in Bandar Lampung. It will assess the rural-urban divide in healthcare provision in both the Yorkshire region of UK and in the Lampung province of Indonesia to provide recommendation on how resources in urban cities can be shared with rural areas. BLESS U should therefore be seen as an initial phase in establishing Bandar Lampung as one of major smart cities in Indonesia and the Lampung province as an exemplar province to lessen the rural-urban gap in healthcare provision. It will also help catalyse the digital rural development in the UK. BLESS U will base its system architecture design on existing patient pathways and clinical processes to minimise service



disruption and the hardware/software platforms will be associated to a semantic smart service (3S) framework, identified as vital to the successful outcomes of the work.

A multidisciplinary team of communications and electronics engineers, computer scientists, and process management scientist from the University of Bradford (UoB), UK and University of Lampung (Unila), Indonesia with support from Institute of Technology Bandung (ITB) Indonesia, industries, local governments and non-profit research organisations will ensure project goals be reached. BLESS U project has some objectives, those are: 1. To develop an IoT-enabled smart clinic demonstrator for automated and ubiquitous access to healthcare services and validate the smart clinic concept through laboratory trial and evaluation; 2. To identify gaps in healthcare provision in rural extremes and investigate the use of IoT and satellite technologies for rural healthcare delivery; 3. To define a semantic smart service (3S) framework to model semantically the patient pathways and clinical processes including the delivery of associated information, the interactions between clinic, hospital and pharmacist, etc. for secure healthcare provision, taking into account security and patients' own mobility and access to mobile technologies; 4. To build institutional capacity for researchers' professional development to maintain research excellence; 5. To disseminate BLESS U activities and outcomes through workshops, research seminars, conferences, high quality publications and media.

One most related work in the literature has been found in [1]. This paper has been based on the talk in [2] which has been presented in the workshop held in University of Bradford.

2. ARCHITECTURE OF BLESS U

Fig. 1 shows the architecture of BLESS U (Bandar Lampung Enhanced Smart-health Services with Smart Ubiquity) at the top level. The lower layer in the BLESS U architecture, it has the physical system and sensors layer. The sensors sense the parameters from the physical systems and it results in the raw sensor data. Each device could be equipped with Radio

Frequency Identification (RFID) to indicate the position of the sensor. To implement the monitoring of health conditions for the patient (s), Wireless Body Area Network (WBAN) can be applied and a collector node functions to collect the patient health parameter. In this case, the data security of patient and the production of the precision sensor devices are issues in the implementation. Every sensor node and the data collectors have to be connected one to another. It forms what it is called as Wireless Sensor Network (WSN). In order to data from WSN can reach the distance data centre, a global network are needed. Therefore, it is connectivity/edge computing at the second layer of BLESS U architecture. The connectivity for the global accesses can be 3/4/5G networks, WorldWide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) networks, a dedicated line access (such as broadband Public Switch Telephone Network (PSTN), etc), and/or satellite network. Two upper layers of BLESS architecture are more to support the intended applications with its supporting functionalities.



Fig 1. The Architecture of BLESS U

A. Semantic Smart Service Gateway

To implement the BLESS U at the application level, Semantic Smart Service (3S) gateway is necessary. Fig. 2 depicts the conceptual of 3S gateway. Basically, it functions as the processing from the raw data sensed by the sensors to the information that can be translated to the actionable information. The diagram of 3S gateway that can be implemented is shown in Fig. 3.



Fig. 2 The Conceptual of Semantic Smart Service Gateway

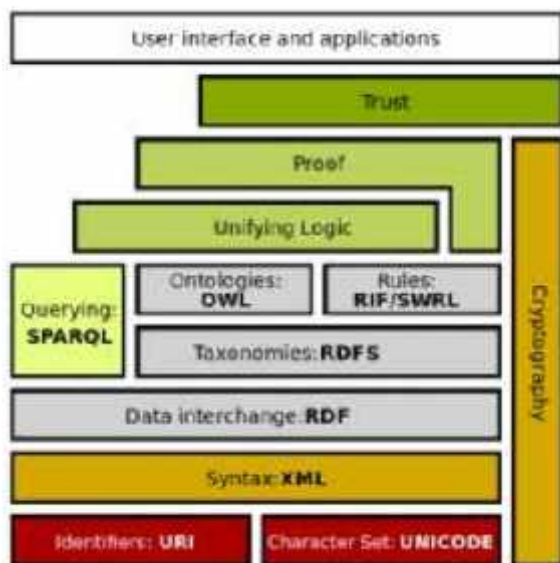


Fig. 3 The Diagram of Semantic Smart Service Gateway

Semantic Smart Service gateway is purposed to: make use of World Wide Web Consortium (W3C)'s semantic web standard; define common data formats and exchange protocols on the web; enhance usability and usefulness of the web and its interconnected resources.

On the diagram, Resource Description Framework (RDF) are describing the information; expressing data models (resource and their relationship); consisting of triples or sentences (<subject, property, object> and <"sensor", has type, "Temperature2">). RDF Schema (RDFS) is to extend RDF with standard ontology vocabulary that are class and property; type and subClassOf; and domain and range. Related to BLESS U project, the basic idea of RDF can be related into four requirements. First, related to resources: every resource has URI (Universal Resource Identifier), an URI can be an URL (Universal Resource Locator) or other kinds of

identifier. Second, an identifier does not necessarily enable access to a resource. Third, a resource is an object to be described such as car, person, place, etc. Fourth, SPARQL is a query language for RDF data.

Furthermore, ontologies on the diagram describes a set of concepts in a domain, consists of a finite list of terms and relationships between terms. In addition, Web Ontology Language (WOL) provides more concepts to express meaning and semantics than XML and RDF(S), provides more constructs for stating logical expressions. Both in ontologies and OWL, the terms denote important concepts of the domain. For example, in a hospital setting, hospital staff, patients, hospital departments, patient age, etc. are important concepts.

B. Semantic IOT-based Healthcare Information System

Fig. 4 shows the healthcare information system based on Semantic IoT. The Figure is implementing the concept that is described in the previous sections.

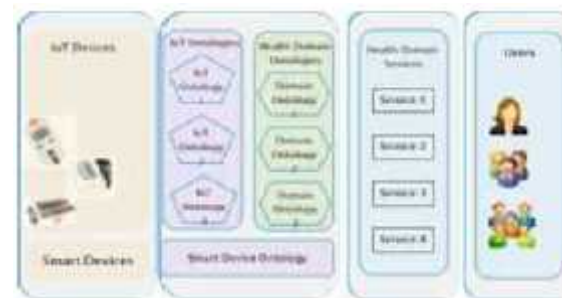


Fig. 4 Semantic IoT-based Healthcare Information System

3. THE CLINICAL PROCESS AND PROCEDURES

To identify the clinical processes and procedures, the University of Bradford collaborates with National Health Service (NHS) Bradford Teaching Hospital Renal Unit. The tasks is to identify gaps in procedures and processes through questionnaires and interviews, to define patient pathways including elderly renal patients, to use Business Process Execution Language (BPEL) or Unified Modeling Language (UML) to describe processes, and currently in ethical approval



stage. At the University of Lampung side, it collaborates with Kosasih clinic and it needs the similar procedures and processes as the University of Bradford side.

4. CONCLUDING REMARKS

This paper has presented an on-going collaborative project funded by Newton Fund Institutional links. The university partners are University of Lampung, Indonesia and University of Bradford, UK. The project addresses the use of IoT and Communication Infrastructures as well as process and procedures modeling to achieve the goal of the projects. The system architecture and its requirements have been identified and its related issues to make it as real system also have been presented. As future works, the project teams have some planned works and approval processes to be carried out.

AKNOWLEDGEMENT

The authors would like to thanks for the funding supports from KEMENRISTEKDIKTI-INSINAS for the University of Lampung, Indonesia and from British Council for the University of Bradford, UK through NEWTON FUND INSTITUTIONAL LINKS scheme.

REFERENCES

- [1] P. Gope and T. Hwang, "BSN-Care: A Secure IoT-based modern Healthcare System using Body Sensor Network", IEEE Sensors Journal, Vol. 16, No. 5, pp. March 2016
- [2] Y. F. Hu, "IoT – An Enabler to improve the Quality of Life for the Elderly", presented in Employing Information and Communications Technologies in Homes and Cities for the Health and Well-Being of Older People (ICT4HOP '17), 14-16 August, 2017, University of Bradford, Bradford, United Kingdom.



Improving Energy Security Model through Detailing Renewable and Energy Efficiency Indicators: A Concept for Manufacture Industry

Erkata Yandri^{1,2,*}, Ratna Ariati^{1,2}, Ricky Ibrahim¹

¹Graduate School of Renewable Energy, Darma Persada University, Jl. Radin Inten 2, Pondok Kelapa, East Jakarta 13450

²Center of Renewable Energy Studies, Darma Persada University, Jl. Radin Inten 2, Pondok Kelapa, East Jakarta 13450

*Correspondence e-mail: erkata@gmail.com

Abstract

Considering the depletion of fossil energy reserves, as an archipelago and developing country leading to industry, energy security plays an important role for Indonesia to ensure sustainable development. For the accurate long-term planning as well as tracking and following up, Indonesia's energy security needs to be reviewed and remodeled differently. The current study is aimed to improve the concept of Indonesia's energy security model through detailing clean energy indicators to support the development of renewable energy (RE) and energy efficiency (EE) programs, with a special focus on manufacture industry sector (industry). In this case, we will know in more detail the contribution of industry in RE or EE, or regional provinces and islands, to see the RE and EE road map to the issues and actions to be taken. For that, there are three important steps must be completed for this study. First, to answer the preliminary concerns, such as; Why is this energy security model more focused on RE and EE? How important are RE and EE policies for Indonesia's development? What indicators should be used, especially for accuracy to 2025 and 2050? Second, to detail RE and EE indicators into sub-categories and provincial locations in Indonesia. Third, to describe how to connect the improvement detailed indicators into the existing or improvement model of ES, which mainly categorized; availability, affordability, efficiency, sustainability, and governance. As a result, the potential of RE and EE will be more clear, which can be broken down into 34 sub-sectors of industry within 34 provinces or possibly up to 514 cities/districts of Indonesia. From local/central government level, this study can contribute as a tool to evaluate performance by using key energy performance indicator (KEPIs), as a control to monitor energy issues, as a clearer guidance to develop the comprehensive energy policies for the long-term planning for energy security; as simulation tools to test some ideas or suggestion before policies to be taken related to industry.

Keywords: energy security, renewable energy, energy efficiency, energy model, energy indicator, industry

INTRODUCTION

Energy is the key component to ensure the development of all countries, included Indonesia. Disruption of energy supply, both internally and externally, will directly affect the economic growth and development. To secure the national development, it is required an energy independence that leads to energy security. In general, energy security is defined as conditions that ensure the availability of energy, and public access to energy at affordable prices in the long term and, not affected by regional or international issues. The question now; how is the energy security condition in Indonesia? Based on the latest data released by British Petroleum (BP) [1], since 1998, an increase of energy consumption, either oil, natural gas, coal, and electricity by

3.2%, 2.0%, 13.4%, and 7% year respectively. It should be noted, in fact Indonesia is not a rich country in fossil energy reserves. The reserves of oil, natural gas, and coal have only 1%, 3%, and 3.6% of world reserves, respectively. Details, oil reserves consist of 3.7 billion barrels with production of about 332 million barrels/year, only enough for 12 years. Natural gas reserves of about 2.9 TCM (trillion cubic meters) and consume 0.07 TCM/year, then this is only sufficient for 41.6 years. In addition, the coal resources of 28 billion tones with a production of about 0.421 per year per year, then this is only enough for about 67 years.

In the final energy consumption as shown in Fig.1, the industry sector is the biggest consumer, which is 38%, with a share of 40% coal, 23% oil, 28% of gas, and electricity by 9%. Followed by

the transportation sector, which accounted for 35% of final energy consumption, which is

almost 99, 65% depend to oil, the remaining electricity of 0.015%, and 0.03% of gas.

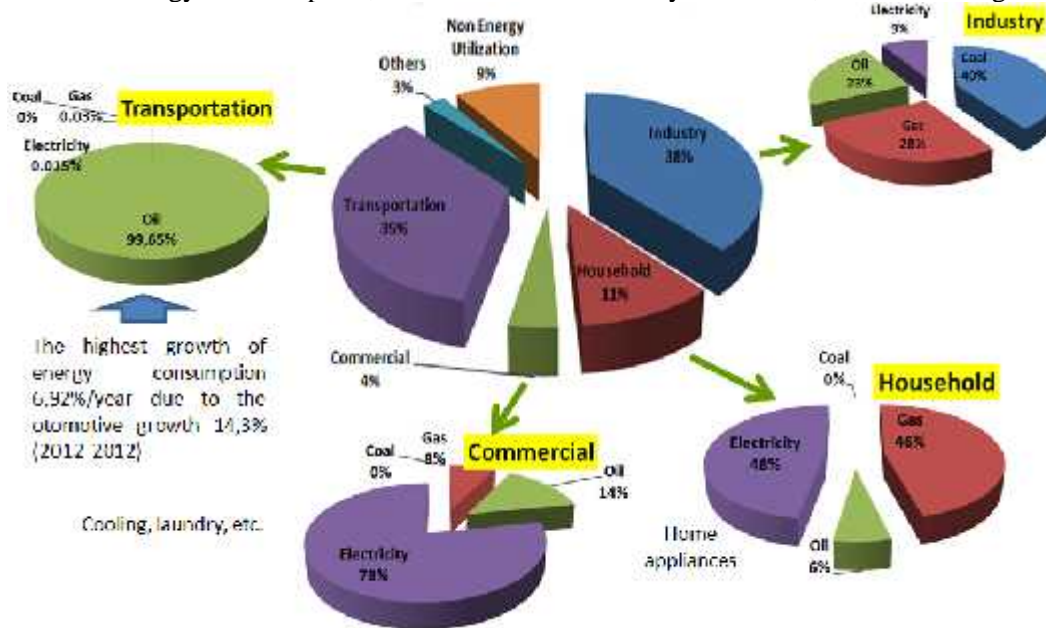


Figure 1. Final energy consumption by sector in 2013 (excluded traditional biomass)

Meanwhile, almost 95% of the electrical energy source is currently generated by burning the fossil fuels, mostly coal and gas. Currently, the electrification ratio is about 80% (20% no electricity, especially in remote areas and outer islands). Electric energy demand growth rate is 7% per year, which is not matched by the supply growth, resulting frequent blackouts in several cities in outside Java. Admittedly, the number of Indonesian population of about 248.8 million people, with the population growth of 1.49%, and the yearly economic growth of 7% [2], have contributed to the increased of energy consumption [3]. However, it should be noted that the high dominance of fossil energy in the primary energy mix, 97%, compared with only 3% of renewable energy (RE). The potential of RE is huge, that is: micro-hydro 0.77 GW, geothermal 16.5 GW, biomass 0.18 GW, solar 4.8 kWh/m².day, and wind 3-6 m/s [4].

Actually, in 2006, the Government has issued the Presidential Decree No.05/2006, on a target of 17% energy mix from RE, with the details, as follows: 33% of coal, 30% of natural gas, 20% of oil, the remaining 17% of RE, which is; geothermal, hydro, solar, wind,

biomass/biofuels, hopefully energy investments

amounted to USD 13.197 million [5]. As a reference, the status of primary energy consumption in 2006 [1], 24% of coal, 31% of natural gas, 43% of oil, and the remaining 2% of RE. Apparently, the realization of the primary consumption in 2013 is still far from the target, which is 32% of coal, 21% of natural gas, 44% of oil, and the remaining 3% RE [1]. That is, after 7 years, no fundamental changes as a result of energy policies that have been issued previously. Finally, in 2014, the government made revisions by issuing a new national energy policy, Government Regulation (PP) No.79/2014, which corrects the target energy mix in 2025 and also in preparation for 2050, with details; 25% of coal, 22% for natural of gas, 24% of oil and 31% of new and RE [6]. However, as predicted by 2050 [7], the RE only could reach 13.7% (for low scenario), or 14.9% (for high scenarios). Energy demand of industrial sector, which is considered as the national economy driver, is expected to increase and dominate the total final energy demand followed by transportation sector which supports the economic activity. In both scenarios, share of energy demand in industrial sector will increase from 45% in 2014 to 49% in 2050.



While in transportation sector, energy demand will increase from 36% in 2014 to 39% for base scenario and 40% for high scenario in 2050.

Based on what has been discussed above, the general condition of Indonesia's energy as follows; High energy demand has not been matched due to lack of supply, distribution, and access, Fossil energy reserves declined very rapidly due to consumption and export, There are still subsidized energy prices, which affect the poor energy conservation, Utilization of RE is not optimal, unsupported by the capacity of R&D and energy industry. Indonesia should maintain the commitment on the issue of climate change. Conclusion, Indonesia's energy security is quite vulnerable and weak [8] in facing energy trilemma [9]. Even though there have been several actions and programs based on energy policies and regulatory frameworks, include; diversification, substitution, technology development, and sustainability, which generally cooperate with friendly countries, companies and international organizations.

OVERVIEW, DEFINITION AND MODEL

Energy security is a fairly active area of research in recent years, discussed range from concept of definition, framework methodology to determine the dimensions, the indicators used by certain techniques (surveys, interviews, etc), and the development of the composite index, as well as assessment evaluation for comparison by single or grouped countries. It can be seen from various review papers, such as the discussion of "typology of energy and security" [10], "definition, dimension, and indexes" [11], "perspective to integrate the disciplines root of politics, science and engineering, and economics" [12], and "commonly used methodology and approach" [13][14]. Due to ambiguous and allows for multiple interpretations, the existence of highly multidisciplinary topics within energy security, suggested to be categorized into four perspectives: geopolitical, economic, policy related, and technological, with diversification strategy is very important for ensuring energy security over the entire supply process [15]. So far, there is no clear and unequivocal agreement

on the definition of energy security, but shortly, International Energy Agency (IEA) defined that energy security as "the uninterrupted availability of energy sources at an affordable price" [16]. Previously, the concept of energy security of a country is to secure access to fossil energy sources, such as oil [17]. To answer the challenging complex energy security, the increasing need for energy while depleting reserves of world oil, and increasing pressure on global climate change, the issues extend to such as; price volatility, supply chain, political stability of oil-producing region, environmental sustainability, RE, EE, and so on, various models have been offered by applying certain methods and techniques involving various indicators, simplified into a composite index.

In fact, the discussion of energy security cannot be separated from the topic of energy models. Models are convenient tools where performing tests or experiments in the real world are impractical, too expensive or out-rightly impossible. Energy security models, like other models, are simplified representations of real systems. They vary, ranging from the simple to the complex or from the most important to the less important, depending on the type and number of indicators used.

In other words, the complexity of today's energy security issues, can no longer be anticipated with simple and common indicators, but might include the complex indicators, focus on the priority and objectivity as well. Ideally, designing energy security of a nation must be adapted to the specific context in a country, such as; special condition, level of economic development, risk perception, as well as the strength of the energy system and geopolitical issues [18]. The opportunities for improvement to energy security is still wide open, because there is still a gap and freedom to a specific indicator [11]. That is, from the fossil oriented to the development of RE and EE, with a focus on specific sectors (residential, commercial, industrial), and certain regional (rural/urban, Java/non-Java such as Sumatera, Borneo, Celebes, the Moluccas, Papua, etc.). In essence, how Indonesia improve the internal capabilities on energy supply by reducing dependence to the other countries. In fact, a scientific assessment of



energy security in Indonesia was published in 2005 [19]. So, to get an accurate prediction, Indonesian energy security models need to be developed properly. This is the real challenge and also opportunity.

In general, the existing models merely the result of calculation, tend to be as predictive analysis without giving an overview and detailed solutions about what to do, especially for specify country. From the search results of scientific papers that discuss related to Indonesia, both regional and national, none of which specifically provides more detailed analysis of the RE and EE. As a developing and archipelago country, which is divided into several regions, with many rural areas in the borders do not have good access to energy, so the development of an energy security like Indonesia needs to be modeled differently [20]. The model should be used as accurate long-term planning, as well as tracking, and following up (actual vs. projected). As an initial step, the purpose of this study is to discuss how to improve the concept of Indonesia's energy security model with techniques detailing clean energy indicators, focus on manufacturing industry sector that support the development of RE and EE programs. This model will propose key energy performance indicators (KEPI) by utilizing more detailed notation indicators for RE and EE, as well as other indicators such as the gross domestic product (GDP), and so on. In this case, we will know in more detail the contribution of RE or EE, especially industry, or in an area or island to another indicator of GDP, so it is clearer to see the RE and EE road map and the issues and actions will be taken.

METHODOLOGY

To achieve the purpose of the study mentioned above, there are three important concepts must be completed.

The first, to answer the preliminary concerns: The problem discussed in this study is how to detail the clean energy indicators through the utilization and growth of RE and EE as an early stage in improving the concept of Indonesia's energy security model, which certainly supports the development of RE and EE programs. The following questions should be

answered in this study, namely: Why is this energy security model more focused on RE and EE? How important are RE and EE policies for Indonesia's development? What indicators should be used, especially for accuracy to 2025 and 2050?

The second, to explain the main important part of this study is how to make a more detailed indicator of the RE and EE? Here, the *objectivity to select the the indicator is very crucial*. Selection of indicators for a given dimension has the effect of evaluation results, so with some decision-making criteria to be more objective [21][22]. Certain dimensions or indicators may have different degrees of importance. From a stakeholder perspective, it may have a significant effect on the performance score. For long-term and strategic analysis, data resolution in combining models will likely be less detailed in conducting operational analysis. This requires a subjective model of stakeholders. The RE and EE indicators should reinforce each other in a unity of national and world goals for clean energy, as stated in the Sustainable Development Goals (SDGs) [23].

Then, the third, to describe how to connect the improvement detailed indicator into the existing or improvement model of energy indicators. In assessing energy security, the dimensions and indicators used should be able to pursue national energy targets against; energy availability, energy development priorities, national energy use, national energy reserves, diversification and conservation, environmental and safety issues, price and incentive subsidies, infrastructure, energy and industry, research and development, local and regional distribution, technological development status, (community and demand), and financing institutions. This will only be achieved with detailed indicators, involving all sectors (such as residential, commercial, transportation, and industry), regional proportional distribution, based on the realization of RE and EE.

RESULT AND DISCUSSION

Preliminary Concerns

The following are the answers to the questions raised in the previous section. Let's



start on the first question. *Why is the energy security of this concept model focused more to RE and EE?* If the paradigm of high dependence on fossil energy has not been shifted, both for consumption and export do not expect many RE and EE activities will receive serious attentions. As a result, there was poor development of RE by the reason of limited investment and research, while EE has not been entrenched nationally. To increase both production and proven reserves are a necessity, but to reduce the percentage contribution of fossil energy in the national energy mix is also a top priority. In addition, the contribution of RE in the national energy mix should be encouraged [24]. Hopefully, the model will further accelerate the RE and EE development in Indonesia, of course with the transition from oil [25] to coal, or natural gas [26]. RE and EE are the twin pillars and the foundation of a sustainable energy policy, which can play an important role in mitigating energy security risks and emission issues.

The next question: *How important is the RE policy for the development of Indonesia?* The deployment of RE policy is very important for the development of Indonesia. At least, there are two real contributions from RE projects. First, to increase the diversity of energy sources such as electricity, through local generation, contributes to the security, flexibility and resilience of energy systems. Second, to increase the income per capita, as the increase of RE consumption per capita. Across time, RE consumption per capita in emerging economies is expected to grow faster than real per capita income [27]. Both contributions only can be achieved by designing an effective RE policy with a good understanding of energy system and RE income characteristic.

The next question *How important is the EE policy for the development of Indonesia?* The deployment of EE policy is also very important for the development of Indonesia. At least, there are two real contributions from EE programs. First, improving EE policy is relatively preferable to limit the energy consumption policy, which increases the income of the majority of households. Second, the facts, implementation EE technologies programs in developing countries, has shown quite favorable investment [28]. Actually, some EE policies have

been implemented since 2006, but the results are very small. As one of the highest energy intensity country in the world, the EE policy has not harmed the economic growth, Indonesia should re-introduce the EE policy [29].

The last question *What indicators should be used, especially for the accuracy toward 2025 and 2050?* Energy security is difficult to measure using too simple or too complex indicators. Actually, from what we have discussed previously, Indonesia's energy policy has focused primarily on the simple availability dimension (reflects to Presidential decree No.5/2006 and 30/2007), which the self-sufficiency and diversification of fossil energy are the main priorities. Indonesia should be more focus to the other dimensions, such as; affordability (energy prices & subsidy), efficiency, acceptability, socio-effect, environment, governance, and so on.

Notation and expression of Detail Indicators

Now, the question is, how to make a more detailed indicator of the RE and EE? According to original concept of this study, generally for RE and EE, both are made in more detail with notation based, such as; The sector (residential = R, commercial = C, transport = T, industry = I, and area (Java = J, from outside Java = OJ, split to Sumatera island (OJS), Borneo (OJB), Celebes (OJC), Maluku OJM), Papua (OJP), etc. Then, specifically for RE, it can be subdivided into: non-Solar (NS) and Solar (S), which can be separated for Thermal (T), Electricity (E), and The indicator depicting RE in the industrial sector has a notation of IRE, or more detail for the solar thermal on the island of Sumatera (outside Java) has notation OJSTIRE, as well as RE notation also applied to EE, which can be divided into: Process = P, Utility = U, Machine = M. Thus, energy efficiency efforts in the process for cooling in industries, located on the island of Java have a notation; JCPIEE. A full description of the concept of the details of RE and EE indicators. Due to the current focus on the industrial sector, the following Figure 2 (constructed from ref.[2][30]) explains the detailing concept for the industry.



Region / Island / Province			Manufacturing Industry															
			Division 10 - 33															
Java Bali	Java	Banten, West Java, Jakarta, Central Java, East Java, Bali																
	Bali																	
Out of Java Bali	Sumatera	Aceh, North S., West S., South S., Riau, Jambi, Bengkulu, Lampung, Riau Islands, Bangka Belitung	Renewable Energy						Energy Efficiency									
			Solar			Non Solar			Process		Utility		Office					
	Borneo	West B., Central B., East B., North B., South B.	Photovoltaic	Solar Thermal	Hydro	Wind	Geothermal	Ocean	Biomass	Cooling	Heating	Machine	Boiler / Oil heater	Compressor	Chiller	Office electronic	Cooling	Lighting
			Celebes	North C., Gorontalo, Central C., South C., West C., South East C.														
	Moluccas	Moluccas, North Moluccas	Electricity / Thermal						Electricity / Oil / Gas / Coal									
	Sumba	NTB, NTT																
	Papua	Papua, West Papua																
Total 34 provinces, 514 cities/districts			Total 24 divisions of manufacturing industry															

Figure 2. Concept of the detailing RE and EE in industry

Referring to ref.[31], the RE indicator is inclusively in the dimension of availability, while the EE in the dimension of technology development and efficiency. Indonesia's energy security (ES), for all provinces and sectors, can be expressed simply by:

$$ES = f(Av + Ef + Af + Su + Go) \quad (1)$$

where, Av , Ef , Af , Su , and Go are the main indicators of Availability, Efficiency, Affordability, Sustainability, and Governance, respectively. The main indicator Av is a function of fossil energy FE and energy efficiency EE , which is expressed by:

$$Av = f(FE + RE) \quad (2)$$

The current role of FE 76,8% [7] should be reduced with more results of RE and EE. As

an energy user, industry must also be responsible for availability to produce energy from renewable energy, then RE can be expressed by;

$$RE_{ind} = f(S + NS) \quad (3)$$

where, S and NS are Solar and Non-solar, respectively. At this stage, S and NS only for the purpose of simplifying it, without neglecting the role of other renewable energy sources, which of course can still be developed in more detail at the next research stage. Then, the energy efficiency (EE) in industry also can be expressed as:

$$EE_{ind} = f(P + U + O) \quad (3)$$

where, P , U , O are; process, utility, and office, respectively, as explained previously. Since process and utility are the largest energy users in the industry, focus should be more given, regardless of the energy savings opportunities in the office.



Based on the presentation of the Director of Energy Conservation, on September 15, 2017 in IndoEBTKE ConEx 2017 [32], there are 244 companies identified for compulsory implement energy management and report its energy consumption as stipulated in Government Regulation (PP) No. 70/2009 [33]. These companies which consume about 6.000 TOE or more each are mostly in various type of industries and only 1 company engaged in construction building, as shown in Table 1.

Table 1. Identified companies for energy management [32]

No.	Manufacture Industry Division	Companies
1	Textile industry	40
2	Iron & steel industry	34
3	Manufacturing industry	30
4	Pulp & paper industry	20
5	Power plant industry	20
6	Agro industry	13
7	Chemical industry	11
8	Petrochemical industry	11
9	Food industry	11
10	Beverage industry	4
11	Fertilizer industry	8
12	Cement industry	8
13	Motor vehicle industry	8
14	Coal & minerals mining industry	8
15	Oil & gas industry	10
16	Other industries (cigarettes, etc.)	7
17	Construction building industry	1
Total Companies		244

In addition, the ref.[32] also describes the distribution of 11 provinces which are the largest energy users, with a consumption of about 91% of national energy consumption, as shown in Table 2. They are targeted for government campaigns to cut energy use by 10%. From the table, there is an additional consumption of 3.1% from 2014 to 2015.

At this time, further data is needed to detail what type of industry is operating in the 11 provinces, in order to obtain the indicator as illustrated in Fig.2. As for the long term, the data collection should be continued not limited only to industries with high energy consumption. It is expected to all 34 sub sectors of the industry are well recorded [30]. The scope is expected to be extended to all cities/districts, totaling 514 throughout Indonesia [2].

Table 2. Targeted Provinces for 10% Energy Consumption Cutting [32]

No.	Province	Consumption in GWh/Year	
		2014	2015
1	Banten	51.277	51.257
2	Jawa Barat		
3	DKI Jakarta & Tangerang	41.269	41.328
4	Jawa Timur	30.523	30.824
5	Jawa Tengah	19.631	22.892
6	Sumatera Utara	8.271	8.703
7	Sumatera Selatan	6.199	6.606
8	Sulawesi Selatan	5.247	5.441
9	Bali	4.335	4.594
10	Riau	3.971	4.241
11	Lampung	3.392	3.570
Total		174.115	179.456

With more detailed notation indicators for RE and EE, it is expected later to be used as one of the key energy performance indicators (KEPI), to complement other pre-existing indicators. In this case, we will know in detail the contribution of RE or EE in each sector, especially industry, or in other regions or islands. so it is clearer to see the RE and EE roadmaps and the issues and actions to be taken.

The Next Steps

As shown in Table 3, the current research is a preliminary step in designing an energy security monitoring system for Indonesia, which is planned to be located in our university. It is hoped that the next step is to make improvements to the current energy security model with existing RE and EE detailing concepts, involving specialists in the fields of RE/EE, policy, economic and environment. Here, the modeling will be done by improving the simple expression of Eq.1-4, which has already been discussed. The purpose to involve various specialists is to get a complete analysis, so hopefully the result is more accurate. The next steps are data simulation, data processing, and monitoring/perpetuation, with involving the additional IT specialist.



Table 3. The steps of completed research

Phase	The Steps	Specialist Involved				
		RE & EE	Policy	Economic	Environment	IT
1	Concept Detailing of RE and EE					
2	Improvement Model (included rules of the game)					
3	Simulation (valid data) & Comp. index					
4	Data Processing (incl.dashboard)					
5	Monitoring and Perpetuation					

CONCLUSION

Based on what has been discussed, to ensure energy security, Indonesia should be more serious and focused in the development of renewable energy and energy efficiency. The concept of detailing RE and EE, to improved the the current energy security model, is in line with the efforts to strengthen the energy security. The industrial sector, as the largest sector in consuming energy, should be given special attention, especially for some industry categories in several provinces in Indonesia. To pursue that, these detailed indicators can be used as a tool for evaluating performance for each sector and local government.

ACKNOWLEDGMENTS

Thanks to the Ministry of Research and Higher Education, Republic of Indonesia, which has funded this research: "PDP" (Penelitian Dosen Pemula) for the year 2017-2018.

REFERENCES

- [1] British Petroleum, "BP Statistical Review of World Energy 2015," 2015.
- [2] Badan Pusat Statistik, "Statistical Yearbook of Indonesia," Jakarta, 2014.
- [3] M. Shahbaz, Q. M. A. Hye, A. K. Tiwari, and N. C. Leitão, "Economic growth, energy consumption, financial development, international trade & CO2 emissions in Indonesia," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 25, pp. 109–121, 2013.
- [4] Pusdatin ESDM, "Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia 2014," 2014.
- [5] P. R. of Indonesia, *Peraturan Presiden Republik Indonesia No.5 Tahun 2006*. Ministry of Energy & Mineral Resources, 2006.
- [6] G. of I. Regulation, *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No 79 Tahun 2014*. Ministry of Energy & Mineral Resources, 2014.
- [7] A. for the assessment and application of Technology, "Indonesia Energy Outlook 2016," 2016.
- [8] S. Mujiyanto and G. Tiess, "Secure energy supply in 2025: Indonesia's need for an energy policy strategy," *Energy Policy*, vol. 61, no. 5, pp. 31–41, 2013.
- [9] N. Gunningham, "Managing the energy trilemma: The case of Indonesia," *Energy Policy*, vol. 54, pp. 184–193, 2013.
- [10] B. Johansson, "A broadened typology on energy and security," *Energy*, vol. 53, pp. 199–205, 2013.
- [11] B. W. Ang, W. L. Choong, and T. S. Ng, "Energy security: Definitions, dimensions and indexes," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 42, pp. 1077–1093, 2015.
- [12] A. Cherp and J. Jewell, "The three perspectives on energy security: Intellectual history, disciplinary roots and the potential for integration," *Curr. Opin. Environ. Sustain.*, vol. 3, no. 4, pp. 202–212, 2011.
- [13] A. Månsson, B. Johansson, and L. J. Nilsson, "Assessing energy security: An overview of commonly used methodologies," *Energy*, vol. 73, pp. 1–14, 2014.
- [14] V. Vivoda, "Evaluating energy security in the Asia-Pacific region: A novel methodological approach," *Energy Policy*, vol. 38, no. 9, pp. 5258–5263, 2010.
- [15] E. Kiriyaama and Y. Kajikawa, "A multilayered analysis of energy security research and the energy supply process," *Appl. Energy*, vol. 123, pp. 415–423, 2014.
- [16] International Energy Agency, "What is energy security?" [Online]. Available: <http://www.iea.org/topics/energysecurity/subtopics/whatisenergysecurity/>. [Accessed: 20-Aug-2015].
- [17] J. Bielecki, "Energy security: Is the wolf at the door?," *Q. Rev. Econ. Financ.*, vol. 42, no. 2, pp. 235–250, 2002.
- [18] L. Chester, "Conceptualising energy security and making explicit its polysemic nature," *Energy Policy*, vol. 38, no. 2, pp. 887–895, 2010.



- [19] Indonesia Institute for Energy Economics, “Surviving Energy Challenges,” *Indones. Energy Econ. Rev.*, vol. 1, 2006.
- [20] F. Urban, R. M. J. Benders, and H. C. Moll, “Modelling energy systems for developing countries,” *Energy Policy*, vol. 35, no. 6, pp. 3473–3482, 2007.
- [21] S. D. Pohekar and M. Ramachandran, “Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning - A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 8, no. 4, pp. 365–381, 2004.
- [22] J. J. Wang, Y. Y. Jing, C. F. Zhang, and J. H. Zhao, “Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 13, no. 9, pp. 2263–2278, 2009.
- [23] UNDP, *CONVERGING DEVELOPMENT AGENDAS: “Nawa Cita”, “RPJMN”, and SDGs*. 2015, pp. 5–6.
- [24] I. E. Agency, “Contribution of Renewables to Energy Security,” 2007.
- [25] N. Lefèvre, “Measuring the energy security implications of fossil fuel resource concentration,” *Energy Policy*, vol. 38, no. 4, pp. 1635–1644, 2010.
- [26] R. F. Aguilera and R. D. Ripple, “Modeling primary energy substitution in the Asia Pacific,” *Appl. Energy*, vol. 111, pp. 219–224, 2013.
- [27] P. Sadorsky, “Renewable energy consumption and income in emerging economies,” *Energy Policy*, vol. 37, no. 10, pp. 4021–4028, 2009.
- [28] L. Alcorta, M. Bazilian, G. Simone, and A. Pedersen, “Return on investment from industrial energy efficiency: evidence from developing countries,” *Energy Effic.*, vol. 7, no. 1, pp. 43–53, 2013.
- [29] E. Yıldırım, D. Sukruoglu, and A. Aslan, “Energy consumption and economic growth in the next 11 countries: The bootstrapped autoregressive metric causality approach,” *Energy Econ.*, vol. 44, pp. 14–21, 2014.
- [30] U. Nations, “International Standard Industrial Classification of All Economic Activities (ISIC), Rev.4,” 2008.
- [31] B. K. Sovacool and I. Mukherjee, “Conceptualizing and measuring energy security: A synthesized approach,” *Energy*, vol. 36, no. 8, pp. 5343–5355, 2011.
- [32] I. N. Finahari, D. K. Energi, and P. Acara, “Program Konservasi Energi,” no. September, 2017.
- [33] R. Indonesia, *Peraturan Pemerintah Nomor 70 Tahun 2009*. 2009.



Preliminary Investigation on Combined Expansion Tube-Axial Splitting-Type Impact Energy Absorbers

Yuwono Budi Pratiknyo and Rachman Setiawan
Faculty of Mechanical and Aerospace Engineering,
National Center for Sustainable Transportation Technology,
Institut Teknologi Bandung,
Jln Ganesha No 10, Bandung 40132, Indonesia
E-mail: rachmans@edc.ms.itb.ac.id

Abstract

Impact energy absorber is designed to absorb maximally of collision energy in order to protect passengers and cargo. This paper will discuss about preliminary investigation on impact energy absorber combination module type Expansion tube-axial splitting that obtained from laboratory scale impact testing. Research of characteristic of impact energy absorber combination module type Expansion tube-axial splitting has been done with some of parameter changes which are pipe thickness (t), angle of splitter (θ), comparison of dies upgrading diameter ($D2$) and inner pipe diameter ($D1$) ($D2/D1$). This research has used drop test which equipped load cell, high speed camera, and "Lab VIEW Signal Express" for data acquisition testing. This combination expansion tube-axial splitting module produces absorption impact characteristics wherein the absorption of the second force of the impact absorbing module is more stable. Enhancement on pipe thickness will cause force enhancement that is able to be absorbed by module. By knowing the preliminary investigation on impact energy absorber of expansion tube-axial splitting combination module, then the crashworthiness technology will be developed. The combination of expansion tube-axial splitting module having an ideal characteristic and short deformation steps applied to passenger train.

Keywords: crashworthiness, impact energy absorber, dynamic plasticity, drop test.

INTRODUCTION

Crashworthiness is defined as the ability of a structure to protect its passengers or cargo when a collision or impact occurs. The purpose of the crashworthy design is to provide effective structures in absorbing collision energy from deformation formed, maintaining sufficient space for passengers, and able to control the deceleration below the limits of human tolerance. Currently, crashworthiness technology has been applied to the means of transportation such as cars, trains, and airplanes. Crashworthiness is closely related to the impact energy absorption management. Impact energy absorption management can be applied in an integrated manner on the structure itself or by adding an additional structure called impact absorbing module. Impact absorbing energy module is a structure designed to absorb collision energy through deformation, commonly through plastic deformation. The plastic deformation that occurs can be wrinkling, buckling, or curling. In the event of collision or impact, all collision energies are expected to be absorbed by all modules, thus minimizing the impact energy absorbed by the structure.

Research related to the shape of the impact energy absorber module has been carried out by many

investigators, e.g. drums [1], circular tubes [2] [3], tubular rings [4], square tubes [5-9], corrugated tubes [10], multi corner columns [11], frusta [12], struts [13], honeycomb cells [14], sandwich plates [15], circular thin-walled tubes [16], and top-hat thin-walled sections [17]. Among these forms of impact absorbing modules, the circular tube form could also come in many ways of deformation, among which are tube expansion and axial splitting. Each mechanisms has its advantages and disadvantage, and by combining these two mechanisms, its is expected to obtain an impact energy absorbing module that has more superior characteristics. According to expansion tube mechanism, when the tube is axially loaded, the inner diameter of the pipe will deform larger following the solid diameter of the cylinder to which it is attached (Fig. 1.a). The characteristics of the expansion tube is expected to be nearly ideal for the impact energy absorber, with almost flat force response against deformation, as shown in the test carried out by Oleo International as in Fig. 1.b and Fig. 1.c. However, the deformation of such a module can only occur half of the length of the module, that makes it less efficient.

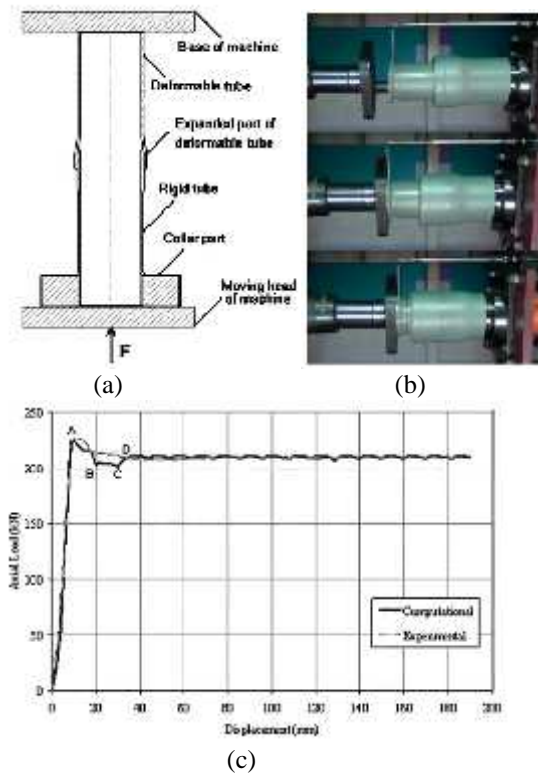


Figure 1. Pipe expansion module: a) Module arrangement by Shakeri and Salehghaffari [18], b) Expansion Tube Testing and, c) Test result showing relation between Force and Deformation, by Oleo International [19]

Meanwhile, for the axial splitting mechanism, the module has a construction of deforming tubes and splitter dies (Fig. 2.a). The dies on this module are conical with certain shape. The direction of pipe deformation if exposed axially will split following the dies form, such as in Fig. 2.b. Axial splitting has similar flat response force but with smaller response force and high initial force, with the deformation occurs to almost the all of the length of the tube. By combining the two mechanisms, it is expected to have almost ideal response force characteristics with larger deformation, so that more effective and efficient modul is obtained.

This paper discusses the preliminary investigation on the impact absorption of the combined expansion - tube axial splitting through laboratory-scale testing. The impact absorbing structure consists of circular tube two forming dies, each allowing the tube to expand and to split. The latter is used to meant move away radially the debris after expansion and splitting, so that the absorption process can continue without being obstructed by the debris itself.

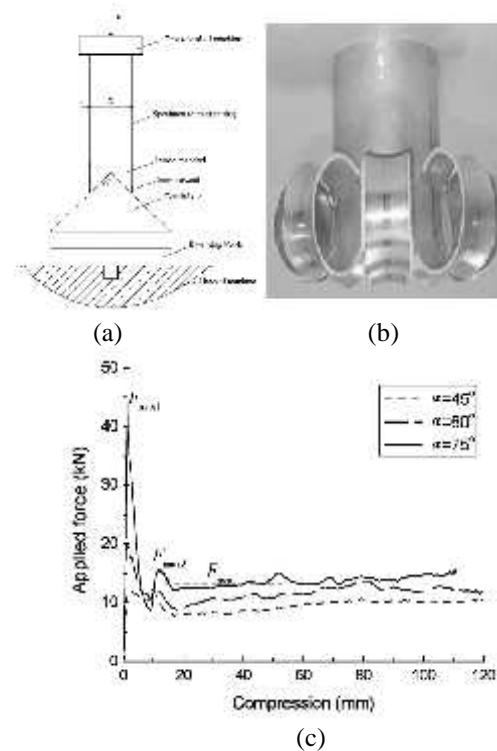


Figure 2. (a) Pipe Construction and Dies on Axial Splitting Module b) Pipe Deformation and c) Relation between Force and Deformation caused by Pressure on Axial Splitting Module [20]

METHODOLOGY

Geometry and Material

The module consists of the tube as the deforming body, and the forming dies. The combination of the two mechanisms is carried out by designing an integrated dies, that consists of expander and splitter, as can be seen in Fig. 3.

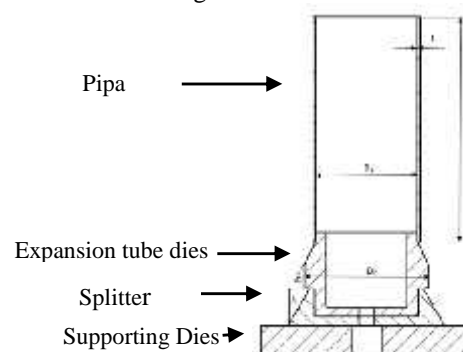


Figure 3. Specimen Module of Expansion tube-Axial splitting, wherein : t = pipe thickness, D_2 = expanded pipe diameter, D_1 = pipe inner diameter, D_{Outer} = outer Expansion tube diameter, L = pipe length, α = expander dies angle, β = splitter angle

The important parameters have been defined, i.e. pipe inner diameter, D_1 , pipe thickness, t , pipe length, L , expanded pipe diameter, D_2 , expander dies angle, Γ , and splitter angle, θ . The splitter is designed to have polygon shape in order to initiate tearing so that lower initial force is expected. A manufactured specimen can be seen in Fig.4.



Figure 4. Manufactured Specimen.

For the tube, API 5L Grade B seamless is used, with mechanical properties according to the mechanical test conducted as can be seen in Table 1. The material has relatively high elongation, which is ideal for impact absorber application, and is easily available on the local market. Whilst, a harder material was selected for the dies, i.e. from St. 60. The seamless construction of the pipe ensure that there is no unexpected failure due to welded joint of the pipe or tube.

Table 1. Mechanical Properties of API 5L Grade B according to own mechanical test (except for Poisson's ratio)

Property	Value	Unit
Density	7865	kg/m ³
Modulus Elasticity	200	GPa
Poisson Rasio	0.3	
Yield stress	352.7	MPa
Ultimate Tensile Strength	513.4	MPa
Elongation	25.4	%

Design of Experiments

As the module is a combination of two mechanisms, i.e. tube expansion and axial splitting, a number of parameters play important roles, i.e. expander angle, α , expansion ratio, D_2/D_1 , thickness ratio, D_1/t , and splitter angle, θ . The splitter angle, θ , has been pre-set constant to 60° , respectively. Whereas, two values of expansion ratio were selected, i.e. 1.12 and 1.22, and two thickness ratio were also selected, i.e. 36 and 54. Totally, 8 specimens were tested, with the dimensions as can be seen in Table 2.

Table 2. Specimens dimensions with pipe inner diameter, D_1 of 54 mm, length, L , of 120 mm, and splitter angle, θ , 60°

Specimen No.	Pipe		Expansion tube dies	D_2/D_1	
	t (mm)	D_1/t (mm)			
1	1	54	60.48	25	1.12
2	1,5	36	60.48	25	1.12
3	1	54	60.48	35	1.12
4	1,5	36	60.48	35	1.12
5	1	54	65.88	25	1.22
6	1,5	36	65.88	25	1.22
7	1	54	65.88	35	1.22
8	1,5	36	65.88	35	1.22

Testing Method

The impact characteristics of the module was observed using vertically drop test method. It used 50 kg impact mass, dropped from 2 m height. The load was measured through a load cell with maximum load of 60 kN and data accuision with the sampling rate of up to 30 kHz. The experiment was also observed using high speed camera with the speed of up to 10.000 fps. Fig. 5 shows the experimental set up.



(a)

(b)



(c)

Figure 5. Experimental set up: a) Specimen position prior the drop test, b) Preparation of impactor, c) High speed

camera monitoring

RESULTS AND DISCUSSION

Force vs Displacement Response

The impact characteristic of an impact energy absorber is commonly observed through force vs displacement response. From the force history and displacement history obtained from the data acquisition equipment, the response force against displacement is obtained. For the combined tube expansion-axial splitting, an example of the force vs displacement curve with the photos taken using a high-speed camera during the test, is presented in Fig. 6. The graph is for Specimen 3 (expansion and thickness ratios of, 1.12 and 54, respectively). Here, two stages of response are clearly shown, i.e. expansion and splitting zones.

The first stage begins with initial expansion of tube represented by a fluctuated but increasing response force until the tube is fully expanded to final diameter, i.e. the inner diameter of tube equals the outer diameter of expander dies. In the force vs displacement curve, the process is represented by increasing response force until it reaches the first steady state, i.e. approximately 20 kN for Specimen 3, and it occurs until the total deformation of 12 mm, representing the length of expander before the edge of tube reaches the splitter dies. The curve also shows no peak force at the beginning of the impact and almost flat response force curve afterward. This gives a prospect of ideal characteristics of impact energy absorber. The initial peak force is considered to be governed by the expansion expander angle, while the first steady state force by the expansion ratio, D_2/D_1 , and thickness ratio, D_1/t .

In the second stage, i.e. the axial splitting zone, again there is initial peak force due to further deformation, adding to the previously expansion

deformation. The deformation comes in two mechanisms, i.e. further expansion and splitting. The polygon-shaped dies helps the splitting process to occur more easily, preventing very high initial peak force of the axial splitting zone to occur. Too-high peak force in impact energy absorber application is avoided in order to control the highest force that may result in the failure of the main structure before the impact absorption takes place effectively. The presence of sharp edge of the polygon also produces certainty in the number of splitting, compared with the previous design of axial splitting module, by other investigators. Again, with this feature, the impact energy absorbing module serves its purpose. With the splitting starts to occur, the reaction force will be relatively constant. Since the deformation is not only in axial splitting mode, but also with tube expansion, the second steady state force is relatively higher than in axial splitting mode, only. The second steady state force is expected to be governed by the thickness ratio, D_1/t and the number of splitting.

Preliminary Parametric Study

Preliminary study on the effect of each parameter, based on eight specimens tested, with each dimensions presented in Tab. 2, is discussed here. The expected governing parameters would be expansion ratio, D_2/D_1 , and thickness ratio, D_1/t . The initial inner diameter of tube, D_1 , and splitter angle, θ , are set constant. The response force vs displacement graphs are presented in Fig. 7, for all specimens except for Specimen 2 and 6. These two specimens are not discussed since the experiment were not properly set up, so that giving unexpected results. Close result is shown by Specimen 3 and 5, that have all parameters the same, except for the expansion ratio. Similar behaviour is also demonstrated by Specimen.

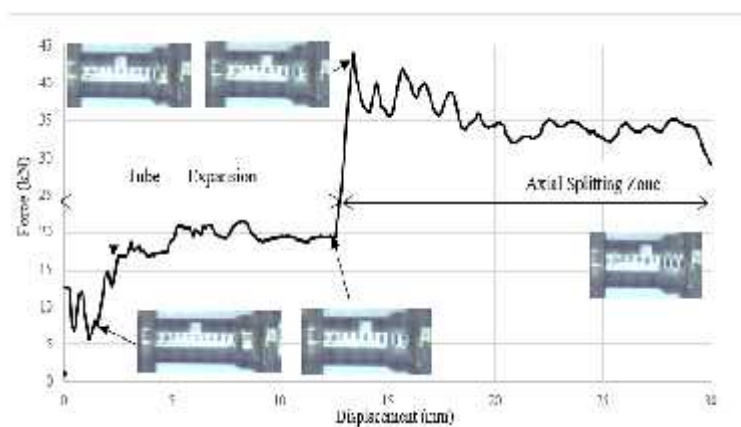


Figure 6. Typical characteristics of combined mechanism of expansion tube and axial splitting

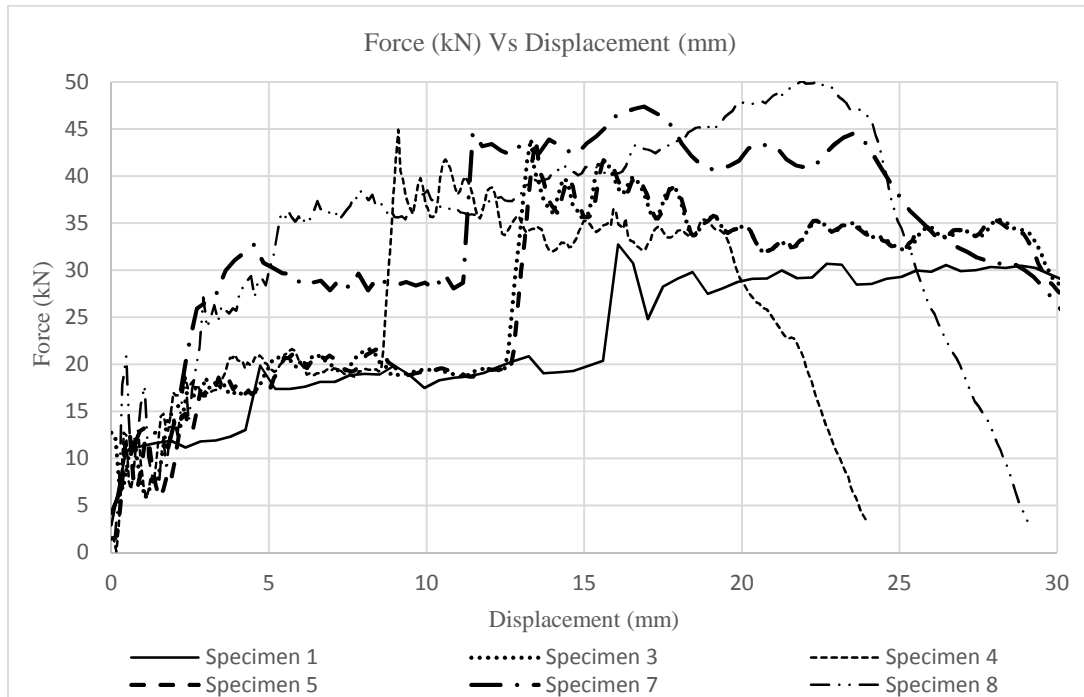


Figure 7. The force–displacement curves from the various parameter

Fig. 8 shows the physical specimen form after load in plastic deformation.

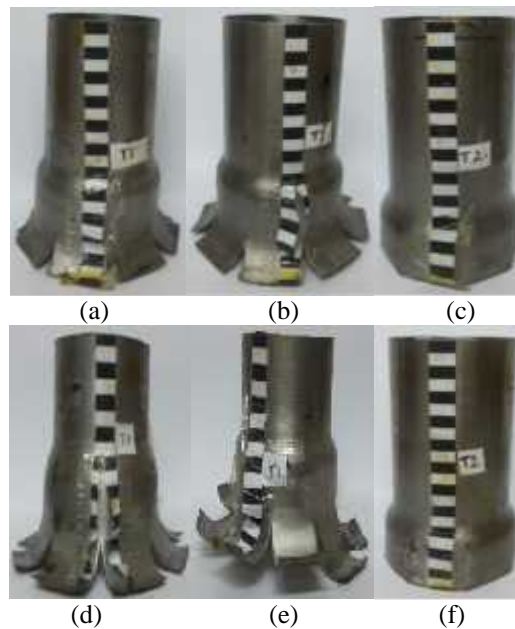


Figure 8. The physical specimen form after load in plastic deformation, (a) specimen 1, (b) specimen 3, (c) specimen 4, (d) specimen 5, (e) specimen 7, (f) specimen 8



CONCLUSION

From the preliminary investigation on combined expansion tube-axial splitting-type impact energy absorbers, the following conclusions are drawn:

1. The two-stage load-displacement response is clearly seen representing the expansion and splitting zones
2. Among various geometry tested, the following geometry provide better impact absorption energy: Expansion ratio (D_2/D_1) = 1.22 and expander angle (θ) = 35° . Lowering the thickness ratio (D_1/t) increases the mean force.
3. From the series of experiments, it is found that the surface evenness of the surface during impact plays important roles, hence requires special attention.
4. With the right geometry and impact arrangement, combined expansion tube-axial splitting mechanism provides stable and predicatble impact energy absorber.

ACKNOWLEDGEMENTS

The research has been partially funded by LPDP (Lembaga Pengelolaan Dana Pendidikan) under RISPRO Program and USAID under SHERA program, for which the authors express their gratitude.

REFERENCES

- [1] J. C and S. P, "Energy Dissipation in Braced Cylindrical Shell," *International Journal Mechanical science*, vol. 30, pp. 203-216, 1988.
- [2] J. A, "An Aproximate Analysis of The Collapse of Thin Cylindrical Shell Under Axial Loading," *Quart J Mech Appl Math*, vol. 13, pp. 10-15, 1960.
- [3] L. M, H. O and H. A, "Crash Behaviour of thin-walled alumunium," *Thin-walled Structure*, vol. 32, pp. 127-150, 1998.
- [4] S. Reid, C. Austin and R. Smith, "Tubular Ring as impact energy absorber," in *Structural impact and crashworthiness*, New York, Elsevier, 1984, p. 555.
- [5] M. Langseth and O. Hopperstand, "Static and Dynamic axial crushing of square thin-walled allumunium extrusions," *International Journal Impact Engineering*, vol. 18, pp. 949-68, 1996.
- [6] M. Langseth, O. Hopperstad and T. Berstad, "Crashworthiness of Alumunium Extrusion: validation of numerical simulation, effect of mass ratio and impact velocity," *International Journal of Impact Engineering*, vol. 22, pp. 829-854, 1999.
- [7] P. Nannucci, N. Mashall and G. Nurick, "A Computational investigation of the progressive buckling of square tubes with geometric imperfection," in *3rd Asia-Pacific Conference on shock and impact Loads on Structure*, Singapore, 1999.
- [8] E. Markiewicz, P. Ducrocq and P. Drazetic, "An inverse approach to determine the constitutive model parameters from axial crushing of thin walled square tubes," *Int. J. Impact Eng.*, vol. 21, pp. 433-449, 1998.
- [9] H. Huh, K.-P. Kim and H. S. Kim, "Collapse simulation of tubular structures using a finite element limit analysis approach and shell elements," *International Journal of Mechanical Sciences*, vol. 43, pp. 2171-2187, 2001.
- [10] A. Singace and H. El-Sobky, "Behaviour of axially crushed corrugated tubes," *International Journal Mech Sci*, vol. 39 (3), pp. 249-68, 1997.
- [11] T. Weirzbicki and W. Abramowich, "On the crushing mechanics of thin-walled structure," *J Appl Mech*, vol. 50(4), pp. 727-34, 1983.
- [12] W. Mamalis and W. Johnson, "The Quasi-static crumpling of thin-walled circularcylinders and frusta under axial cmpression," *Int J Mech Sci*, vol. 25(9/10), pp. 713-32, 1083.
- [13] J. Harris and R. Adams, "An assesment of the impact performance of bonded joints for use ini high energy absorbing structures," in *Proceeding of the Institute of Mechanical Engineers*, 1985.
- [14] T. Weirzbicki, "Crashing analysis of metal honeycoms," *International Journal Impact Engineering*, vol. 1(2), pp. 157-74, 1983.
- [15] G. Corbett and S. Reid, "Local Loading of simply-supported steel-grout sandwich plates," *International Journal Impact Engineering*, vol. 13(3), pp. 433-61, 1993.
- [16] P. Stangl and S. Meguid, "Experimental and theoritical of a Novel shock absorber for an electrically powered vehicle," *International Journal Impact Engineering*, vol. 11(1), pp. 41-59, 1991.
- [17] M. White and N. Jones, "Experimental quasi-static axial crushing of top-hat and double-hat



- thin-walled section," *International Journal Mechanical Science*, vol. 41, pp. 179-208, 1999.
- [18] M. Shakeri and S. Salehghaffari, "Expansion of circular tubes by rigid tubes as impact energy absorbers: experimental and theoretical investigation," *TCRS*, vol. 12, p. 499, 2007.
- [19] O. International, "Deformation tube-148 mm stroke-Deforming Impact," 10 April 2016. [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=ifp9X7_pT9E. [Accessed 10 April 2016].
- [20] X. Huang, G. Lua and T. X. Yu, "On the Axial Splitting and Curling of Circular Metal Tubes," *International Journal of Mechanical Sciences*, vol. 44, p. 2374, 2002.



Corrosion of Low-Carbon Steel in Fuels (Premium and Pertalite)

Magga R¹, M. Zuckry², Arifin Y³

^{1,2}Tadulako University Mechanical Engineering

³Tadulako University Mechanical Engineering

e-mail : ramang.magga@gmail, Yusnaini.arifin@gmail.com

Palu, Central Sulawesi, Indonesia

Abstract— Corrosion is one of the issues that concerns today because it can lead to destruction of metal. Low steel carbon is one of metal types that has been widely used in industry, such as motorcycle component (fuel tank), and fuel shelter. However, low carbon steel use is highly susceptible to corrosion. The corrosion of motorcycle components (fuel tank) can decrease strength, tank life, that will harm the safety of motorists. In addition, corrosion in fuel shelters (premium and pertalite) can result in leakage of the container. The leakage is very vulnerable to fire. This research aims to analyze corrosion rate of low carbon steel specimens that immerse in fuels, premium and pertalite. Method of research includes preparation, cutting and weighing of specimens before immersing the specimen in the fuel. Every 30 days the specimens were removed from the fuel then cleaned from the impurities and re-weighed. Weight loss was used in calculating the corrosion rate occurring in the specimens. The result show that pertalite and premium corrode the specimens, low carbon steel. Corrosion rate of specimens immersed for 30 days in premium was faster than in pertalite. The specimens immersed in premium experienced with weight reduction from 14.4024 gram to 14.382 gram, 0.0204 mm/year of corrosion rate. Meanwhile rate of corrosion of the specimens immersed in pertalite was 0.0052 mm/year by which reduced the weight from 13.948 gram to 13.9428 gram.

Keywords— Corrosion Rate, Premium And Pertalite, . ASTM G 31- 72.

I. INTRODUCTION

Corrosion is a process of destruction of metals due to reacting with the environment in which the metal is both chemically and electrochemically (Jones, 1996). This can decrease the strength of the metal. One type of metal is low carbon steel. Low Carbon Steels are widely used in everyday human life, for example as large oil fuel shelters such as tank heap at gas stations (fuel station common), tanks on fuel transporters, or on a small scale such as fuel tanks on a two-wheeled or four-wheeled vehicle. However, low carbon steels are highly susceptible to corrosion. Corrosion in the metal fuel shelter will eventually cause a leak in the shelter media. This may cause a fire.

The corrosion rate can be calculated by knowing the weight reduction of the specimen, the metal used, using the following equation $M_{py} = 534 W / DAT$ Where : w = weight loss (gr). = density (gr / cm³). A = surface area soaked (cm²). T = time (hours).

Crude petroleum generally contains sulfur compounds. Although in the refining process there is a sulfur content cleaning process, but some sulfur compounds remain in the final product (gasoline). The content of sulfur compounds from petroleum products

is corrosive to metals (J. Monzo, J. Garcia-Anton, and J.L. Guinon, 1992). The use of fuel oil especially in the field of industry and transportation for now is growing rapidly. The fuel is used as fuel for engine driving in industry and transportation. In the field of transportation, according to the Head of Police Traffic Police Corps (Kakorlantas) Inspector General Pol Agung Budi Maryoto, the population of vehicles in all parts of the archipelago reached 124,348,224 units. The data is obtained from registration of vehicle registration until July 2016. Each year the vehicle growth of six million units per year. Ten to 15 percent of its contribution comes from cars (Kompas.com, 2016).

According to Khoirul and Arya (2014) stated comparative study of corrosion rate on brass metal C3604 (Spuyer Carburetor) by using premium and pertamax as media. The dependent variable rate of corrosion and weight of the workpiece is used, while the independent variables are temperature variations 40oC, 60oC, 80oC, and 100o C. The results show that the corrosion rate on premium media, 0.0009 grams, higher than pertamax, 0.0006 grams, with 2 hours of soaking time. Considering that recently, premium and

petrolite are the most widely used types of fuel oil for motor vehicles, a study of the corrosion of carbon steels in fuel premium and petrolite environment needs to be done. This study will analyze the corrosion rate of low carbon steel, specimens, using weight loss method.

The use of low carbon steels as oil fuel shelters (premium and pertalite) is very susceptible to corrosion. Corrosion that occurs in fuel shelters in both large and small scale is very susceptible to leakage, so anticipation is required in the prevention of corrosion, According to Sumarji (2012), there are about 13% of new iron / steel produced from steel processing used to replace iron / steel that runs corrosion every year. Sulfur compounds in petroleum products are corrosive in that they can damage metallic properties, their corrosive level should be limited so that consumers are not harmed (Khoiril and Arya, 2014).

II. METHODOLOGY

In this research, there are several stages conducted before the implementation of corrosion rate test research, among others: Supply of test material (Carbon Steel) The initial stage to be done in corrosion testing is to get the test material. Material to be used in the form of carbon steel material with size, length = 25 mm, width = 20 mm, thick = 3 mm.

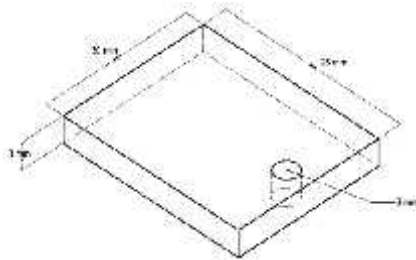


Fig. 1 Test material size

Supply of Materials and Equipment Materials and equipment used in this exercise are as follows:

- Fuel oil Premium fuel and pertalite are used as a medium to corrode carbon steel material at the time of dipping to be accommodated in the container.
- Inhibitors Inhibitors are added from chemicals and natural ingredients available in the vicinity of the study site.
- Plastic and Glass containers. This container serves to hold the fluid, because the fluid serves as a medium that is conditioned in accordance with the

- user environment of the product. The intended fluids are fuel (premium and pertalite).
- Test equipment Carbon characterization testing as well as corrosion testing (Potensiodinamik)
 - Research Stages The main research consists of preparation, ie (making of test specimen, composition testing, mechanical test (tensile test, hardness test), microstructure test using optical microscope and SEM, and corrosion test using loss weight method and potentiodynamic polarization
 - Tensile test sample The preparation of tensile test samples was conducted according to ASTM E8 / E8M-09 standard. where the sample is cut to size and made gaugh length based on the thickness of the sample to be tested.



Fig. 2 Drawing Specimen Specimen

For the sample used in this study with mm thickness, the standard used. The tensile test is carried out in the transverse and longitudinal direction (unidirectional) on the material

- Preparation of a hardness test sample Hardness testing is performed to determine the hardness of each surface on carbon steel. In this test the hardness test is done on the surface, transverse and longitudinal. This is because the rolling process causes an increase in dislocation density and causes strain hardening in the direction of the roll. Test equipment used Beuhler microhardness tester.



Fig. 3 Violent test specimen

- h. Preparation of microstructure tests
Microstructure testing was performed using optical microscope and scanning electron microscope (SEM) observations were performed on three areas: transverse and longitudinal surface. The preparation of the specimen for the microstructure test was then polished and etched with Keller's reagent (1 ml HF + 1.5 ml HCl + 2.5 ml HNO₃ and 95 ml H₂O) for 10-20 seconds. Preparation of composite test samples The composition test was performed with Optical Emission Spectrometer, the sample was made with size 2 x 2 cm² then the sample surface was leveled by using sandpaper.

Corrosion Testing

The weight loss method is to re-measure the initial weight of the specimen (the object to be known for the corrosion rate occurring on it), due to the lack of weight from the initial weight being the weight loss value. Lack of weight is returned to the formula to get the weight loss rate. This method when executed with a long time and sustainable can be used as a reference to the condition where the object is placed (can be known how corrosive the area) can also be used as a reference for treatment that must be applied to the area and conditions where the object.

The corrosion rate can be calculated by knowing the weight reduction of the specimen, the metal used, using the following equation

$$Mpy = 534 W / DAT$$

Where :

w = weight loss (gr).

= density (gr / cm³).

A = surface area soaked (cm²).

T = time (hours).

Potentialodynamic corrosion testing was

performed using the PGZ301 potentiostat of Radiometer production. Potentiostat is connected to an electrochemical cell made of a glass tube consisting of two internal and external tubes. The inner tube contains 100 ml of solution where the kalomel (SCE) as the reference electrode and Platine (Pt) as the auxiliary electrode. A cable is connected by means soldered to the top of the working electrode to be connected to the potentiostat and then wrapped with epoxy resin so that the top will be impermeable to the electrolyte solution and only the open portion is open. The working electrode position and the auxiliary electrode (Platine) are made face to side to ensure the current passing through the electrode is centered only on the working electrode.

III. RESULTS

The chemical composition of the Tescan Vega 3SB test specimen consisted of Fe, Si, Al and O, for the corrosion rate test, the test specimens were tested in the mechanical engineering laboratory using the weight reduction measurements of the specimens based on ASTM G 31-72 standard. Methods in knowing the rate of corrosion rate which occurs with time / duration of immersion, the immersion time used with variations every 30 days is carried out by the specimen weight collection. The retrieval of data performed on day 30 as follows:



Table 1. Media data of Pertalite

PERTALITE										
the beginning	A1	13,724	B1	13,75	C1	14,094	D1	14,176	E1	13,217
	A2	13,733	B2	14,077	C2	13,685	D2	13,813	E2	14,371
	A3	14,162	B3	14,235	C3	14,075	D3	14,316	E3	13,922
	A4	13,796	B4	14,647	C4	13,554	D4	13,772	E4	14,233
	A5	14,325	B5	14,27	C5	13,92	D5	14,069	E5	14,121
30 Days	A1	13,723	B1	13,74	C1	14,084	D1	14,171	E1	13,21
	A2	13,724	B2	14,071	C2	13,679	D2	13,811	E2	14,369
	A3	14,158	B3	14,229	C3	14,067	D3	14,308	E3	13,917
	A4	13,789	B4	14,638	C4	13,549	D4	13,769	E4	14,232
	A5	14,32	B5	14,268	C5	13,917	D5	14,063	E5	14,119
60 Days	A1	13,719	B1	13,735	C1	14,078	D1	14,172	E1	13,204
	A2	13,719	B2	14,056	C2	13,678	D2	13,802	E2	14,362
	A3	14,149	B3	14,226	C3	14,059	D3	14,298	E3	13,909
	A4	13,745	B4	14,631	C4	13,54	D4	13,763	E4	14,224
	A5	14,311	B5	14,247	C5	13,902	D5	14,06	E5	14,11

Table 2. Media data of Premium

PREMIUM										
the beginning	A1	14,399	B1	13,641	C1	14,32	D1	13,986	E1	13,726
	A2	14,698	B2	14,499	C2	13,938	D2	14,183	E2	14,272
	A3	14,079	B3	13,815	C3	14,204	D3	13,905	E3	13,879
	A4	14,346	B4	14,361	C4	14,337	D4	13,92	E4	14,348
	A5	14,49	B5	14,308	C5	14,174	D5	14,214	E5	13,896
30 Days	A1	14,394	B1	13,622	C1	14,303	D1	13,971	E1	13,714
	A2	14,65	B2	14,48	C2	13,926	D2	14,165	E2	14,259
	A3	14,067	B3	13,799	C3	14,193	D3	13,889	E3	13,867
	A4	14,332	B4	14,344	C4	14,323	D4	13,905	E4	14,332
	A5	14,467	B5	14,294	C5	14,024	D5	14,199	E5	13,877
60Days	A1	14,296	B1	13,602	C1	14,292	D1	13,961	E1	13,701
	A2	14,567	B2	14,472	C2	13,914	D2	14,155	E2	14,245
	A3	14,052	B3	13,788	C3	14,182	D3	13,872	E3	13,853
	A4	14,317	B4	14,33	C4	14,301	D4	13,883	E4	14,322
	A5	14,45	B5	14,283	C5	14,011	D5	14,187	E5	13,867

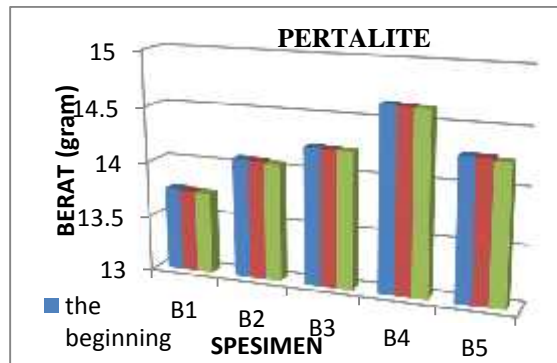
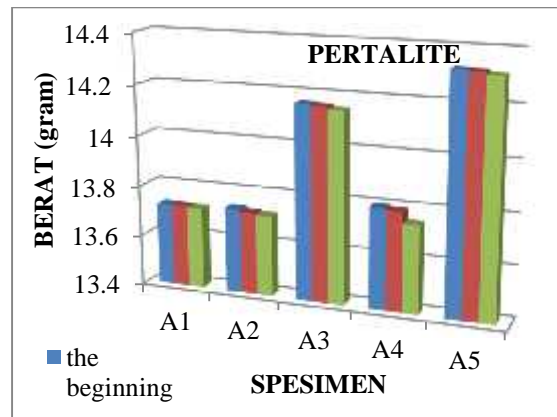


Illustration a. Data for the specimen Peralite

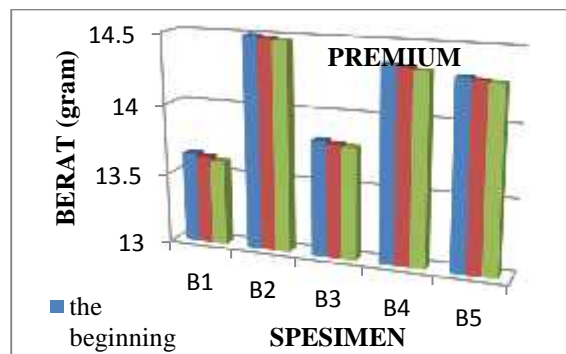
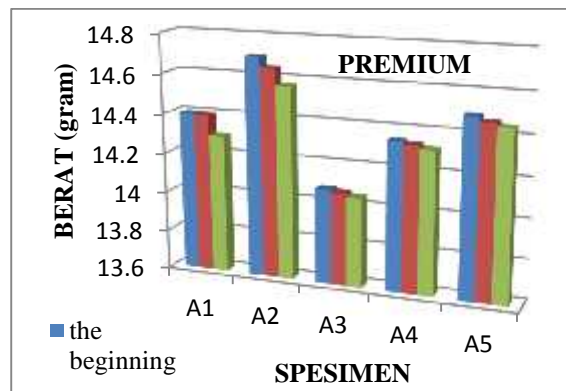


Illustration b. Data for the specimen Premium.



IV. DISCUSSION

The effect of the weighting media on the specimen weight, the weight difference of the specimen with the premium fueling medium and the pertalite, shows that the premium is larger than the pertalite (premium corrosion rate of 0.024 miles / year and 0.0052 miles / year pertalite). Are when viewed from the old soaking the longer the immersion time the greater the corrosion rate due to the longer the surface layer of the specimen will be eroded. In line with research of Feriansyah and Sakti (2014) soaking 2 hours by 0.0008 gram and immersion 1 hour 0.0002 gram. The effect of corrosion rate on this test is also influenced by PH of each fuel where the yield of PH, ph premium is higher than pertalite so that if the ph is small then it takes longer time to corrode the steel. In accordance with research conducted by Nur'aini (2015) where premium pharm 7,3 and pertamax ph 5.7.

References

- [1] ASTM International. 2004. ASTM G 31-72: Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals. United State.
- [2] ASM. (1992). ASM Handbook Volume 13 : Corrosion. Ohio: ASM International. Ohio: ASM International.
- [3] ASM. (2003). ASM Handbook Volume 13A : Corrosion Fundamental Test. Ohio: ASM International.
- [4] ASM. (2005). ASM Handbook Volume 13B : Materials. Ohio: ASM International.
- [5] ASM. (2006). ASM Handbook Volume 13C : Corrosion: Materials, Environments, and Industries. Ohio: ASM International.
- [6] ASTM. (1967). Annual Book of ASTM Standards. Section 03: Metals Test Methods and Analytical Procedures Volume 3.02 : Wear and Erosion; Metal Corrosion, Designation: G1 – 03 Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens. Philadelphia, PA: ASTM International.
- [7] ASTM. (2000). Annual Book of ASTM Standards. Section 5 : Petroleum Products, Lubricants, and Fossil Fuels. Volume 05.01 Designation: D 130 – 04 Standard Test Method for Corrosiveness to Copper from Petroleum Products by Copper Strip Test. Philadelphia, PA: ASTM International.
- [8] Feriansyah Khoirul dan Sakti Arya M. (2014), Studi Komparatif Laju Korosi Logam Kuningan C3604 (Spuyer Karburator) Di Media Premium Dan Pertamax Menggunakan Metode Astm D-130. Jurnal Teknik Mesin Volume 03 Nomor 02 Tahun 2014, 348-354
- [9] Jones, D. A, (1996), Principles and Prevention of Corrosion, Second Edition, Prentice Hall, Inc, United State of America.
- [10] J. Monzo, J. Garcia-Anton, and J. L. Guinon. (1992). Study of corrosion on copper strips by mixtures of mercaptans, sulphides and disulphides with elemental sulphur in the ASTM D-130 test by means of electron microscopy (SEM) and energy dispersive X-ray (EDX). Fresenius Journal Analytical Chemistry by Springer-Verlag, 343:593- 596.
- [11] Nu'aini dan Marsudi, (2015), Perhitungan Laju Korosi *Duraluminium* (Pada Mangkuk Karburator) Dengan Media Premium Dan Pertamax Menggunakan Metode Astm D-130, JTM. Volume 4 Nomor 1 Tahun 2015, 1-6



Material dan Manufaktur



Studi Kelayakan Produksi Pewarna Antosianin Food Grade Skala Mini Plant

Ermiziar, T.^{1,*}, Yuli Amalia Husnil¹, Latifa Hanum Lalasari², Raskita Saragih³

¹Program Studi Teknik Kimia, Institut Teknologi Indonesia, Jl. Raya Puspiptek-Serpong,
Tangerang Selatan, 15320

²Pusat Studi Matalurgi dan Material LIPI, Jl. Raya Puspiptek-Serpong, Tangerang Selatan

³Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Institut Teknologi Indonesia, Jl. Raya
Puspiptek-Serpong, Tangerang Selatan, 15320

*E-mail koresponden: ermiziar@iti.ac.id ; ermitarmizi@gmail.com

Abstract

Safe food-grade coloring agent becomes one of important necessities for food and beverage industries. The peel of Red Melinjo is one of promising raw material to produce anthocyanin as the organic compound that gives red color. The aim of this work is to study the mini-plant design of anthocyanin production. The data for conducting this study were obtained from the results of lab-scale research conducted by Ermiziar et al regarding anthocyanin production from the peel of Red Melinjo. First, we designed the block flow diagram for mini-plant scale anthocyanin production by using the lab-scale research method as the reference. Second, we calculated the mass balance to find out the required amount of Red Melinjo peel to produce 2 liters anthocyanin per day. We used the mass balance results to calculate the energy balance to find out the required utilities as well as the size of the equipment. From this study we learned that for producing 2 liter anthocyanin per day, 72.1 ton/day of Red Melinjo peel is required.

Keywords: coloring agent, anthocyanin, red melinjo, process design, feasibility study.

Abstrak

Pewarna yang aman saat ini menjadi salah satu kebutuhan utama bagi industri makanan dan minuman. Kulit melinjo merah merupakan bahan baku yang menjanjikan untuk memproduksi pewarna antosianin. Tujuan penelitian ini adalah mengkaji perancangan produksi pewarna antosianin food-grade skala mini plant. Data yang digunakan pada studi ini berasal dari hasil penelitian skala lab yang dilakukan oleh Ermiziar dkk tentang produksi antosianin dari ekstrak kulit melinjo merah. Langkah pertama yang dilakukan adalah merancang alur proses produksi skala mini plant menggunakan referensi alur proses pada skala lab. Kedua, neraca massa dikalkulasi untuk mengetahui massa kulit melinjo yang dibutuhkan untuk memproduksi antosianin sebanyak 2 liter/hari. Dari hasil perhitungan neraca massa kemudian dilakukan kalkulasi neraca energi untuk mengetahui kebutuhan utilitas serta dimensi beberapa alat produksi. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa untuk memproduksi 2 liter pewarna antosianin per hari dibutuhkan 72.1 ton kulit melinjo.

Keywords: pewarna, antosianin, melinjo, perancangan proses, analisa kelayakan.

PENDAHULUAN

Pewarna yang aman saat ini menjadi salah satu kebutuhan utama bagi industri makanan dan minuman. Ermiziar dkk [1] telah melakukan penelitian untuk mengetahui kandungan zat yang memberikan warna merah pada kulit buah melinjo merah. Dari penelitian ini diketahui bahwa limbah kulit melinjo warna merah mengandung zat aktif antosianin. Hasil penelitian ini kemudian menunjukkan bahwa pada setiap 100 gram kulit melinjo merah

terdapat 0.6 gr kandungan antosianin. Ekstrak Antosianin diperoleh dari maserasi kulit melinjo warna merah dengan beberapa pilihan pelarut yaitu petroleum eter, heksana dan bioetanol [2]. Namun karena pemanfaatannya adalah sebagai pewarna makanan dan minuman maka pelarut yang lebih tepat adalah bioetanol. Beberapa topik penelitian tentang produksi antosianin dari kulit melinjo warna merah yang telah dilakukan oleh Ermiziar dkk antara lain yaitu faktor yang mempengaruhi kestabilan warna antosianin dan analisa kandungan purin dan pirimidin. Dari

penelitian yang telah dilakukan oleh Ermiziar dkk disimpulkan bahwa tahapan maserasi adalah tahapan yang paling penting dalam menentukan produk antosian yang dihasilkan.

Dalam penelitian Simanjuntak dkk [3] tentang ekstraksi antosianin dari kulit buah naga merah (*hylocereus polyrhizus*) menyatakan bahwa waktu optimum untuk menghasilkan produk terbanyak pada maserasi adalah 3 hari. Hal ini pun dibuktikan melalui penelitian yang dilakukan oleh Ermiziar dkk berkaitan hubungan antara waktu maserasi dengan konsentrasi total antosianin pada produk yang dihasilkan. Tabel 1 menampilkan data konsentrasi antosianin pada variasi waktu maserasi dan konsentrasi asam sitrat. Dari data tersebut dapat dilihat bahwa waktu optimum untuk maserasi adalah 3 hari sementara konsentrasi asam sitrat yang memberikan hasil terbaik adalah 3%.

Tabel 1. Konsentrasi antosianin (mg/g) pada variasi waktu maserasi dan konsentrasi asam sitrat

Waktu maserasi	Konsentrasi asam sitrat		
	1 %	3 %	5 %
1	0.09252	0.229	0.0517
2	0.236	0.406	0.0644
3	0.263	0.704	0.0893
4	0.119	0.193	0.0195

Begitu juga dengan penambahan asam sitrat, menurut Tersiska [4], senyawa asam sitrat dapat menghasilkan total antosianin sebesar 27.7 mg/100g lebih tinggi jika dibandingkan dengan asam organik lain. Penelitian tentang lamanya maserasi, jumlah kulit melinjo warna merah

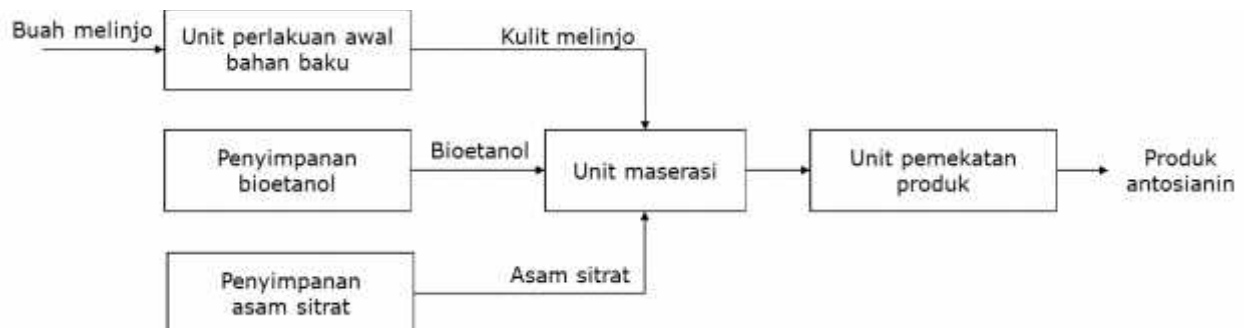
yang digunakan, persentase asam sitrat yang ditambahkan dalam skala lab merupakan dasar penentuan proses produksi skala mini plant.

DESKRIPSI PROSES

Gambar 1 menampilkan diagram blok proses produksi pewarna antosianin dengan skala 2 liter/hari. Pertama umpan buah melinjo diproses pada unit perlakuan awal. Di unit ini kulit melinjo dipisahkan dari bijinya dan dikeringkan pada cabinet dryer. Dari proses pengeringan ini diperoleh kulit melinjo dengan kadar air 0.5%. Kulit melinjo yang telah kering kemudian disaring pada abrasive screen untuk menghasilkan substrat dengan ukuran 35 mesh.

Kulit melinjo yang telah diberi perlakuan awal kemudian diumpukan menuju unit maserasi dengan mixing tank sebagai alat utama. Kulit melinjo dimasukkan ke dalam tangki ini bersama pelarut bioetanol dan asam sitrat. Di dalam mixing tank terjadi proses maserasi yang berlangsung selama 3 hari. Perbandingan antara bioetanol dengan kulit melinjo pada proses ini adalah 5:1 sementara asam sitrat ditambahkan sebanyak 5% dari total kebutuhan etanol. Komponen keluaran mixing tank diasumsikan adalah kulit melinjo yang telah mengalami proses difusi dan ekstraksi dengan persen recovery sebesar 50%.

Setelah proses maserasi dihentikan, campuran kemudian dipindahkan ke unit pemekatan produk yang terdiri dari alat filter press, rotary evaporator, ultrafiltrasi dan ion exchange. Produk yang dihasilkan berbentuk cairan kental dengan konsentrasi antosianin 95% w/w.



Gambar 1. Diagram blok proses produksi produk pewarna antosianin pada skala 2 liter/batch

Produksi antosianin dari kulit melinjo merah berlangsung dengan menggunakan tipe proses batch karena ada beberapa tahap dimana

penanganan bahan padat yang harus dilakukan menggunakan tenaga manusia. Salah satu faktor yang menentukan keberhasilan perancangan



proses yang dijalankan secara batch adalah ketepatan penyusunan jadwal proses. Pertama durasi pemakaian setiap peralatan produksi harus dikalkulasi dengan teliti untuk bisa menentukan total waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan 1 batch proses. Kedua, waktu aktif proses produksi dalam satu hari harus ditentukan di awal agar dapat dihitung jumlah batch proses yang bisa dirampungkan per hari. Kemudian dengan data durasi pemakaian tiap alat dan jumlah batch proses per hari, jadwal

proses harus disusun dengan rinci.

Tabel 2 di bawah ini menampilkan jadwal proses produksi antosianin dengan waktu aktif operasi 24 jam. Warna arsiran yang sama pada tabel menunjukkan alat tersebut digunakan pada batch yang sama. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa durasi untuk 1 batch proses adalah 5 hari. Melalui penjadwalan seperti ini diketahui bahwa dalam 8 hari dapat diselesaikan 4 batch proses produksi antosianin.

Tabel 2. Jadwal proses produksi antosianin skala 2 liter/batch

	Jam	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Cabinet Dryer	Hari																								
	1																								
	2																								
	3																								
	4																								
	5																								
	6																								
	7																								
Abrasive screen	1																								
	2																								
	3																								
	4																								
	5																								
	6																								
	7																								
	8																								
Mixing tank 1	1																								
	2																								
	3																								
	4																								
	5																								
	6																								
	7																								
	8																								
Mixing tank 2	1																								
	2																								
	3																								
	4																								
	5																								
	6																								
	7																								
	8																								
Mixing tank 3	1																								
	2																								
	3																								
	4																								
	5																								
	6																								
	7																								
	8																								
Mixing tank 4	1																								
	2																								
	3																								
	4																								
	5																								
	6																								
	7																								
	8																								
Filter press	1																								
	2																								
	3																								
	4																								
	5																								
	6																								
	7																								
	8																								
Rotary	1																								



	Jam	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
evaporator	Hari																								
	2																								
	3																								
	4																								
	5																								
	6																								
	7																								
	8																								
Ultra-filtrasi	1																								
	2																								
	3																								
	4																								
	5																								
	6																								
	7																								
	8																								
Ion exchange	1																								
	2																								
	3																								
	4																								
	5																								
	6																								
	7																								
	8																								
Cooler	1																								
	2																								
	3																								
	4																								
	5																								
	6																								
	7																								
	8																								

ANALISA PELUANG PASAR

Industri makanan dan minuman adalah industri dengan tingkat pertumbuhan yang sangat pesat, bahkan dua kali lebih pesat dari pertumbuhan ekonomi dalam negeri. Rata-rata per tahun industri ini tumbuh sebesar 9.8% sementara pertumbuhan perekonomian hanya 5% per tahun [5]. Secara kualitatif data ini menunjukkan adanya prospek ketersediaan pasar bagi produk pewarna makanan. Peluang ini jika tidak diikuti dengan kenaikan produksi pewarna makanan yang alami akan memperbesar celah untuk semakin meningkatnya penggunaan pewarna sintetis yang non food-grade.

Tabel 3 menampilkan data impor pewarna makanan (tidak spesifik untuk pewarna jenis antosianin) dalam kurun tahun 2011-2015. Tabel tersebut menunjukkan adanya kenaikan impor dari tahun 2011-2013 dengan persen pertumbuhan yang relatif tinggi. Meskipun terjadi penurunan impor pewarna makanan di tahun 2013 namun pada tahun 2015 kembali terjadi peningkatan jumlah impor.

Tabel 3. Data impor pewarna makanan di Indonesia [6]

Tahun	Impor (ton)	% Pertumbuhan Impor
2011	187	0
2012	241	28.88
2013	337	39.83
2014	197	-41.54
2015	199	1.02
Rata-rata		7,04

Dengan mengambil rata-rata pertumbuhan impor dari kurun tahun 2011-2015 sebesar 7.04% maka jumlah impor pewarna makanan pada kurun 2016-2020 dapat diproyeksikan. Hasil proyeksi tersebut ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Proyeksi impor pewarna makanan pada kurun tahun 2016-2020

Tahun	Impor (Ton/Tahun)
2016	213.02
2017	228.03
2018	244.10
2019	261.30
2020	279.71

Di sisi lain pada kurun tahun 2011-2015 ekspor pewarna makanan (tidak spesifik hanya antosianin) juga cenderung meningkat (Tabel 5). Data pada tabel tersebut memperlihatkan bahwa meskipun terdapat kenaikan ekspor namun jumlahnya relatif jauh di bawah jumlah impor di tahun yang sama. Hal ini secara garis besar menjadi bukti yang cukup kuat bahwa produksi pewarna makanan di Indonesia masih belum memadai sehingga tidak dapat memenuhi seluruh permintaan dari industri-industri terkait. Dengan demikian peluang pasar pewarna makanan, khususnya antosianin, masih relatif besar.

Tabel 5. Data ekspor pewarna makanan di Indonesia [7]

Tahun	Ekspor (ton)	% Pertumbuhan Ekspor
2011	16	0
2012	19	18,75
2013	22	15,789
2014	35	59,090
2015	21	- 40
Rata-rata		13,407

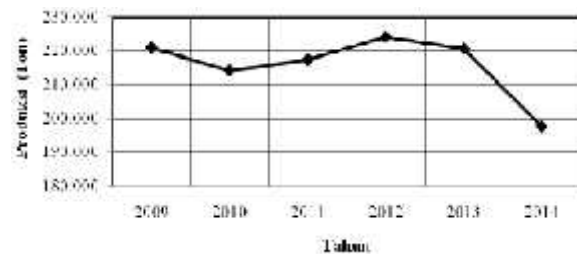
Jika data konsumsi pewarna makanan diasumsikan berasal dari impor sementara data produksi diambil dari data ekspor maka dapat dilihat bahwa peluang pendirian pabrik pewarna makanan masih relatif tinggi.

ANALISA KELAYAKAN KUALITATIF

Biji dan daun tanaman melinjo adalah bagian yang paling sering dimanfaatkan sebagai bahan makanan. Umumnya limbah kulit melinjo hanya diolah menjadi keripik atau sayur. Jika limbah kulit melinjo merah dapat diolah menjadi produk yang bernilai lebih tinggi, seperti pewarna makanan, maka ini secara tidak langsung akan menggiatkan usaha perkebunan melinjo.

Berdasarkan data BPS (Badan Pusat Statistik) tahun 2014 produksi melinjo di mencapai 198 ribu ton [8]. Angka produksi ini 10.5% lebih rendah dari produksi di tahun sebelumnya (Gambar 2). Penurunan ini bisa disebabkan karena kurangnya gairah industri pangan skala besar dalam memanfaatkan buah Melinjo, baik biji maupun kulitnya, untuk

dijadikan produk yang bernilai jual lebih tinggi. Keberadaan pabrik pewarna antosianin dari kulit melinjo merah diyakini akan membantu menggairahkan petani untuk semakin menggiatkan perkebunan Melinjo. Pendirian pabrik antosianin ini juga diyakini akan menjadi penggerak untuk lebih memanfaatkan hasil perkebunan dalam negeri— yang sifatnya bukan sumber pangan—utama menjadi produk komersil yang bisa bersaing di pasar dalam maupun luar negeri. Sehingga jika sinergi antara petani dan industri dapat terus dijaga dengan baik maka dalam jangka panjang perekonomian Indonesia akan relatif lebih stabil.



Gambar 2. Perkembangan produksi Melinjo di Indonesia tahun 2009-2014 [8]

Komponen utama penyusun kulit melinjo adalah karbohidrat dan air. Di dalam 1 gram kulit melinjo terdapat 1.56 gram komponen antosianin seperti terlihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Komposisi kulit melinjo merah

Komponen	% berat
Antosianin	1.560
Xantin Oxide	0.010
Protein	2.500
Lemak	1.190
Karbohidrat	21.597
Kalsium	0.112
Fosfor	0.179
zat besi	0.003
Vitamin A	0.000
Vitamin B1	0.000
Vitamin C	0.007
Air	72.843



Setiap 1 gram buah melinjo tersusun atas biji dan kulit dengan komposisi masing-masing sekitar 80 dan 20%. Melalui perhitungan neraca massa diperoleh hasil bahwa untuk menghasilkan 2 liter antosianin dengan konsentrasi 95% dibutuhkan kulit melinjo merah sebanyak 72.1 ton.

KESIMPULAN

Dari studi ini disimpulkan bahwa dengan menilik pada peluang pasar pewarna makanan maka secara kualitatif produksi antosianin pada skala mini plant layak untuk dilanjutkan. Dari kalkulasi neraca massa diperoleh hasil bahwa untuk memproduksi 2 liter pewarna antosianin per batch dibutuhkan 72144 kg kulit melinjo merah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Kemenristek Dikti atas bantuan dana hibah Riset Terapan Unggulan Perguruan Tinggi Tahun 2017 No. 092/SP-PLT/LP3M- ITI/III/2017. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada M. Reza Ardianto dan Siska Indriyani, M. Tomi Susanto dan Rahmatika Aprilliyani yang telah membantu menyediakan data untuk penulisan manuskrip ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ermiziar, Saragih, R, Danien dan Wendy. 2010. "Uji Stabilitas Warna Kulit Melinjo Merah dan Aplikasi Pada Pangan Jajanan Pasar", *Seminar Internasional PATPI 2010*, Jakarta, Tanggal 29-30 September 2010
- [2] Ermiziar, Saragih, R. dan Lalasari, L. H. 2016. Pengembangan Pewarna *Food Grade* pada Makanan dan Minuman dari Isolasi Pigmen Antosianin Kulit Melinjo Warna Merah. Laporan Akhir Penelitian hibah Bersaing. Institut Teknologi Indonesia. Serpong
- [3] Simanjuntak, L., Sinaga, C., Fatimah. 2015. "Ekstraksi Pigmen Antosianin Dari Kulit Buah Naga Merah (*Hylocereus polyrhizus*)", *Jurnal Teknik Kimia USU*, vol. 3, no. 2, 25-29.
- [4] Tersiska, Sukarminah, E. 2007. "Ekstraksi Pewarna Alami dari Buah Arbeien (*Rubusidaeus Linn*) dan Aplikasinya pada Sistem Pangan" UNPAD: Bandung

- [5] "Kemenperin: Industri Makanan dan Minuman Dorong Pemerataan Nasional", *Kemenperin.go.id*, 2017. [Online]. Available: <http://www.kemenperin.go.id/artikel/16979/Industri-Makanan-dan-Minuman-Dorong-Pemerataan-Nasional>. [diakses 24 Oktober 2017].
- [6] I. (ITC), "Trade Map - List of supplying markets for a product imported by Indonesia", *Trademap.org*, 2017. [Online]. Available: http://www.trademap.org/Country_SelProductCountry_TS.aspx?nvpm=1|360|||3203||4|1|1|2|1|2|2|1. [diakses 24 Oktober 2017].
- [7] I. (ITC), "Trade Map - List of importing markets for a product exported by Indonesia", *Trademap.org*, 2017. [Online]. Available: http://www.trademap.org/Country_SelProductCountry_TS.aspx?nvpm=1|360|||3203||4|1|1|2|2|1|2|2|1. [diakses 24 Oktober 2017].
- [8] Promosiana, A dan Atmojo, H. D. 2014. *Statistika Produksi Hortikultura Tahun 2014*. Kementerian Pertanian Direktorat Jenderal Hortikultura, 74.



Analisis Pengaruh Artificial Aging Terhadap Sifat Mekanis Pada Aluminium Seri 6061

Nur Imam Subagyo¹, Zulhanif², Harnowo Supriadi²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung

²Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung

Jl. Prof. Soemantri Brojonegoro No.1 Gedung Meneng
Universitas Lampung, Kedaton, Bandar Lampung 35145

E-mail: Nurimam.subagyo@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian proses *artificial aging* terhadap aluminium seri 6061 bertujuan untuk memperbaiki sifat mekanisnya. Aluminium seri 6061 diberi perlakuan panas dengan suhu 450⁰C selama 15 menit, kemudian *diquenching* dengan media pendingin berupa oli. Selanjutnya diberi perlakuan panas kembali pada suhu 190⁰C dengan variasi *holding time* 1 jam, 5 jam, dan 11 jam, kemudian didinginkan secara lambat dengan suhu ruangan. Hasil uji komposisi kimia menggunakan *Spectromax* menunjukkan persentase Mg sebesar 1,41%, Si sebesar 0,911%, dan Al sebesar 96,7%. Hasil uji kekerasan menggunakan *Rockwell Hardness Tester* didapatkan nilai kekerasan bahan tanpa perlakuan panas sebesar 49,4 (HRB), *holding time* 1 jam sebesar 53,8 (HRB), *holding time* 5 jam sebesar 79,6 (HRB) dan *holding time* 11 jam sebesar 50,4 (HRB). Dari hasil uji SEM EDX menggunakan alat *Zeiss Evo* ® MA 10, menunjukkan persentase unsur Al dari bahan tanpa perlakuan panas (96,7%) menurun terhadap bahan dengan *holding time* 1 jam (89,55%), dan bahan dengan *holding time* 5 jam (81,58%) penurunan tersebut menunjukkan terdapat fasa kedua pada bahan yang diberi perlakuan *artificial aging*.

Kata kunci : Aluminium Seri 6061, *Artificial aging*, Kekerasan, SEM EDX

PENDAHULUAN

Aluminium merupakan logam yang ringan dan memiliki ketahanan korosi yang baik, hantaran listrik yang baik dan sifat-sifat lainnya. Umumnya aluminium dicampur dengan logam lainnya sehingga membentuk aluminium paduan. Penambahan unsur paduan terhadap aluminium dapat dilakukan untuk meningkatkan kekuatan fisis dan mekanis logam tersebut.

Menurut Surdia pada tahun 1995, paduan antara aluminium dan magnesium (Al-Mg) yang mempunyai ketahanan korosi yang sangat baik. Sejak lama, paduan ini disebut dengan hidronalium dan dikenal sebagai paduan yang tahan korosi. Jika sedikit magnesium ditambahkan pada aluminium, maka pengerasan penuaan akan sangat jarang terjadi. Dan pada paduan aluminium silikon (Al-Si) sangat baik kecairan nya, mempunyai permukaan yang baik, tanpa kegetasan panas, dan sangat baik untuk paduan coran. Silikon juga mempunyai ketahanan korosi yang baik, ringan, koefisien pemuaian yang kecil, serta sebagai penghantar listrik yang baik. [3]

Zhang pada tahun 2002 mendemonstrasikan bahwa proses *artificial aging* umumnya dilakukan pada

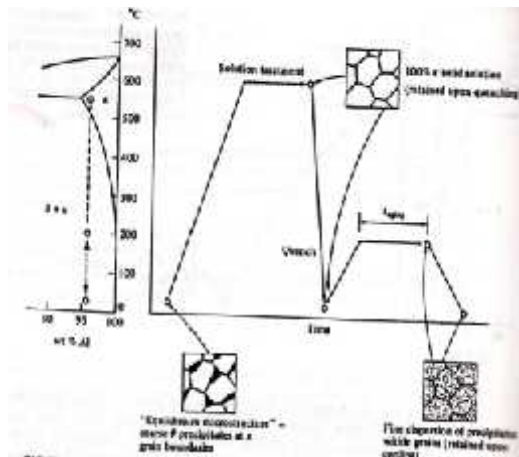
temperatur rendah dan dalam waktu yang cukup lama, bervariasi antara 5 sampai 48 jam. Pemilihan dalam jangka waktu berapa proses tersebut seharusnya dilakukan haruslah diperhitungkan secara cermat. [5]

Dalam penelitian ini penulis menggunakan bahan paduan Al-Mg-Si dengan kodefikasi bahan 6061 sebagai sampel uji, dan tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh perlakuan *artificial aging* terhadap perubahan sifat mekanis yang terjadi pada bahan aluminium seri 6061 tersebut dengan berbagai variasi waktu penahanan dalam proses pemanasan, yaitu *holding time* 1 jam, *holding time* 5 jam, dan *holding time* 11 jam.

TINJAUAN PUSTAKA

Penguatan dan pengerasan logam paduan bisa ditingkatkan dengan pembentukan penyebaran partikel-partikel dari fasa kedua kedalam matrik fasa yang asli atau pertama. Hal ini dilakukan dengan perlakuan panas yang tepat. Prosesnya disebut *precipitation hardening* karena partikel-partikel kecil dari fasa yang baru membentuk *precipitasi* atau endapan.

Fuad pada tahun 2010 menyatakan bahwa, penuaan alami (*natural aging*) adalah penuaan untuk paduan aluminium yang di *age hardening* dalam keadaan dingin. *Natural aging* berlangsung pada temperatur ruang antara 15°C - 25°C dan dengan waktu penahanan 5 sampai 8 hari. *Artificial aging* dalam proses *age hardening* dapat dilakukan beberapa variasi perlakuan yang dapat mempengaruhi hasil dari proses *age hardening*. Salah satu variasi tersebut adalah variasi temperatur *artificial aging*. Temperatur *artificial aging* dapat ditetapkan pada temperatur saat pengkristalan paduan aluminium (150°C), di bawah temperatur pengkristalan atau di atas temperatur pengkristalan logam paduan aluminium. [1]



Gambar 1. Schematic temperature versus time plot showing both solution and precipitation heat treatment for precipitation hardening. [2]

METODOLOGI PENELITIAN

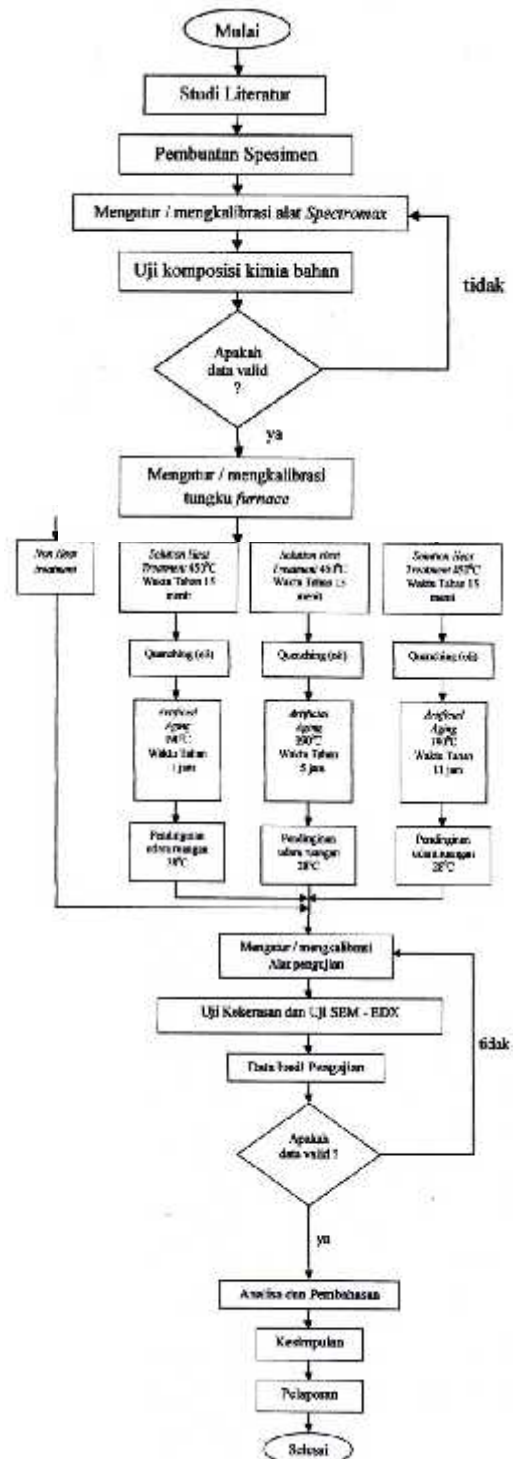
Alat Dan Bahan

1. Tungku furnace
2. Hardness Tester
3. Optical emission spectrometer spectromax
4. Amplas
5. Gerinda pemotong
6. Alat SEM EDX (*Scanning Electron Microscope*)
7. Aluminium seri 6061
8. Oli (sebagai media pendingin)

Tempat Penelitian

1. Laboratorium Material Teknik Mesin Universitas Lampung
2. Laboratorium Terpadu F-MIPA Universitas Lampung, dan
3. Laboratorium Kimia LIPI Tanjung bintang Lampung.

Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Diagram alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Komposisi Kimia

Berikut ini merupakan data hasil uji komposisi kimia yang telah dilakukan.

Tabel 1. Data uji komposisi kimia bahan.

No	Elements	Kadar Sampel (%)		No	Elements	Kadar Sampel (%)	
		Abstraction	Abstraction			Abstraction	Abstraction
1	Si	0,011		16	Cr	0,0124	
2	Fe	0,035		17	H ₂	<0,00100	
3	Cu	0,234		18	Lu	0,0042	
4	Mn	<0,00010		19	Li	0,0341	
5	Mg	1,41		20	Na	0,0068	
6	Cr	0,0961		21	P	0,0022	
7	Ni	0,0046		22	Pb	<0,00050	
8	Zn	0,0157		23	Sb	0,0049	
9	Ti	0,0147		24	Sn	<0,001	
10	Ag	0,0023		25	Sr	0,0052	
11	B	0,0010		26	V	<0,00050	
12	Ba	0,00155		27	Zr	0,005	
13	Cu	0,0072		28	Al	96,7	
14	Cd	0,00090		29	Co	0,0156	
15	Ce	0,0025					

Dari data diatas dapat dilihat bahwa unsur Mg dan Si merupakan unsur yang dominan, dimana persentasenya adalah Mg: 1,41% dan Si: 0,911%. Selain dari unsur Mg dan juga Si memang terdapat banyak unsur-unsur penyusun lainnya, akan tetapi dalam pengujian ini dikhususkan untuk melihat persentase dari unsur Mg dan Si nya karena kembali lagi dari tujuan dilakukannya pengujian komposisi kimia ini adalah untuk memastikan bahwasannya bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah AL-Mg-Si dengan seri 6061.

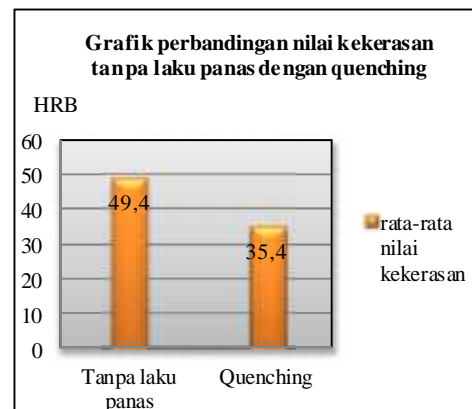
Hasil Uji Kekerasan

Pada proses *quenching*, dimana proses tersebut dilakukan proses pemanasan terlebih dahulu dengan suhu pemanasan sebesar 450°C dengan waktu tahan pemanasan selama 15 menit. Pengujian kekerasan ini dilakukan di laboratorium material teknik Universitas Lampung dengan metode *rockwell* (HRB) menggunakan indentor 1/16", Setelah dilakukan proses pengujian kekerasan dimana didapatkan perbandingan nilai kekerasan antara bahan tanpa perlakuan panas dengan bahan yang telah mengalami proses perlakuan panas *quenching* seperti pada tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Data uji kekerasan pada proses *quenching*.

No	Kekerasan (HRB)		Keterangan
	Tanpa laku panas	Quenching	
1	40	37	Pogram Kekerasan Rockwel B Beban 100 Kgf Indentor Intan 1/16"
2	50	35	
3	41	35	
4	62	34	
5	54	36	
Rata-rata	49,4	35,4	

Dari data diatas dapat di lihat bahwa nilai kekerasan bahan yang telah di *quenching* mengalami penurunan sebesar 28,34% yaitu dari rata-rata nilai kekerasan bahan tanpa perlakuan panas sebesar 49,4 (HRB) menurun menjadi 35,4 (HRB) setelah mendapatkan proses *quenching* seperti yang terlihat pada gambar grafik dibawah ini. Setelah *quenching*, maka logam paduan alumunium menjadi lunak jika dibandingkan dengan kondisi awalnya.



Gambar 3. Grafik perbandingan nilai kekerasan tanpa laku panas dengan *quenching*

Untuk meningkatkan kembali nilai kekerasan bahan maka diperlukannya perlakuan *artificial aging* terhadap bahan yang telah mendapat perlakuan *quenching* tersebut, poses *artificial aging* dimulai dengan dipanaskan nya kembali bahan dengan suhu 190°C menggunakan variasi waktu tahan pemanasan yaitu 1 jam, 5 jam, dan 11 jam. Nilai kekerasan yang didapat setelah bahan mendapat perlakuan *artificial aging* adalah sebagai berikut :

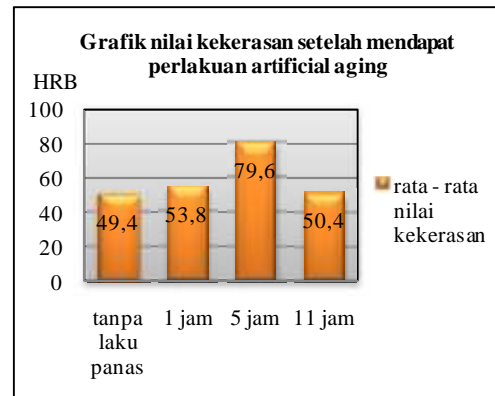
Tabel 3. Data uji kekerasan pada proses *Artificial aging*.

No uji	Kekerasan (HRB)				Keterangan
	Tanpa laku panas	Holding time 1 jam	Holding time 5 jam	Holding time 11 jam	
1	40	54	73	55	Program Kekerasan Rockwell D Beban 100 Kgf Indentor Intra 1/16"
2	70	74	70	49	
3	41	52	84	50	
4	62	54	83	49	
5	54	55	83	49	
Rata-rata	49,4	53,8	79,6	50,4	

Setelah mendapat perlakuan *artificial aging*, nilai kekerasan bahan telah meningkat dari setiap variasi *holding time* terhadap nilai kekerasan bahan tanpa perlakuan panas. Dapat dilihat pada data diatas bahwa nilai kekerasan bahan pada *holding time* 1 jam mengalami peningkatan sebesar 8,9% dari nilai kekerasan tanpa perlakuan panas yang hanya memiliki nilai kekerasan sebesar 49,4 (HRB) menjadi 53,8 (HRB). Dan untuk nilai kekerasan tertinggi terdapat pada pemanasan dengan variasi *holding time* 5 jam yang memiliki nilai kekerasan sebesar 79,6 (HRB) dimana berarti nilai kekerasan tersebut telah meningkat sebesar 61,13% dari nilai kekerasan bahan tanpa perlakuan panas.

Kemudian pada variasi *holding time* 11 jam mengalami penurunan nilai kekerasan sebesar 36,68% dari nilai kekerasan tertinggi pada variasi *holding time* 5 jam, dimana nilai kekerasannya adalah sebesar 50,4 (HRB) dan nilai kekerasan tersebut hanya naik sebesar 2,02% dari nilai kekerasan bahan tanpa perlakuan panas.

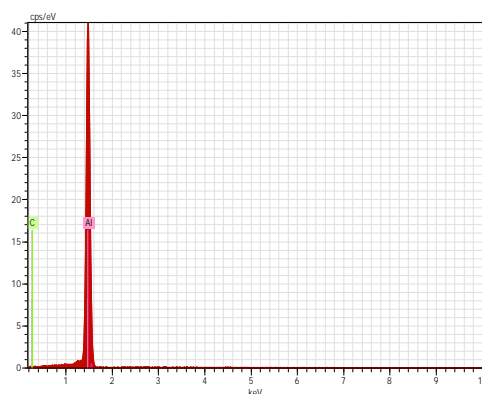
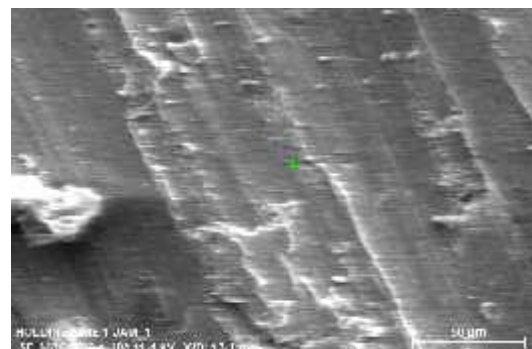
Van Vlack pada tahun 1991 menyatakan bahwa, penurunan kekerasan yang terjadi pada *holding time* 11 jam dikarenakan sudah terjadinya *over aging*, penyebabnya adalah presipitat yang telah terurai membentuk susunan yang stabil dalam larutan padat atau presipitat menggumpal sehingga struktur butirnya menjadi besar kembali Adapun untuk memperjelas perubahan nilai dapat dilihat pada gambar grafik berikut ini. [4]



Gambar 4. Grafik perbandingan nilai kekerasan tanpa laku panas dengan perlakuan *artificial aging*

Hasil Uji SEM EDX

Berikut ini adalah hasil pengujian SEM EDX yang telah dilakukan.

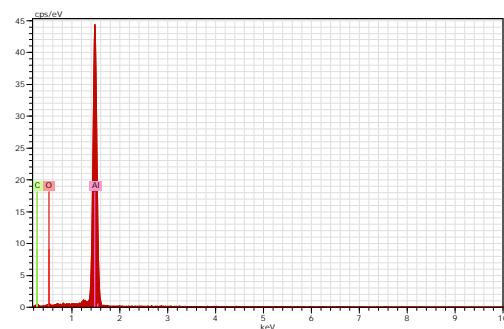
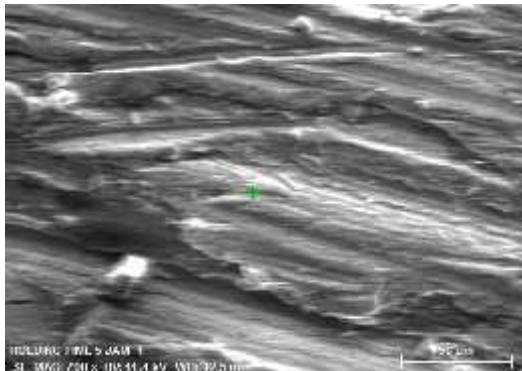


Spectrum Date: 6/12/2017 1:52:43 PM HV: 11.4kV Pdb: th.5.94kcpv

El	AM	Series	Unit	Count	Area	Weight	Mag
			(cps.k)	(cps.k)	(cps.k)	(cps.k)	(cps.k)
Al	13	R	10000	87.45	25.06	80.55	1.02
O	8	K	10000	4.54	4.94	70.40	1.00
Total:				92.00	100.00	100.00	

Gambar 5. Hasil uji SEM dan grafik EDX pada bahan uji dengan *holding time* 1 jam dengan perbesaran 700x.

Terlihat pada pengujian SEM EDX pada bahan dengan *holding time* 1 jam ini mengalami penurunan dibandingkan persentase Al pada bahan yang tidak mendapatkan perlakuan *artificial aging*, dimana persentase Al pada bahan tanpa perlakuan *artificial aging* sebesar 96,7 % menurun menjadi 89,55 %. Sedangkan berikut ini hasil pengujian SEM EDX untuk variasi *holding time* 5 jam.



Spectrum Date: 6/12/2017 1:50:26 PM EV: 11.4kV Pals: 11.64kcp/s

Element	Series	Area	Height	Weight	Conc.
		[cps.eV]	[cps.eV]	[wt.%]	[wt.%]
Al	L-series	100.05	81.55	89.55	89.55
C	K-series	6.91	8.09	16.27	2.27
O	K-series	1.10	1.42	2.15	0.40

Time: 194.77 100.00 100.00

Gambar 6. Hasil uji SEM dan grafik EDX pada bahan uji dengan *holding time* 5 jam dengan perbesaran 700x.

Pada penelitian ini meskipun uji SEM EDX yang dilakukan pada bahan uji dengan *holding time* 1 jam maupun 5 jam tidak menunjukkan fasa kedua Mg_2Si seperti yang telah di paparkan dalam teori pengerasan presipitasi, pada hasil pengujian SEM EDX diatas menunjukkan persentase Al yang semakin menurun dari bahan tanpa perlakuan panas sampai bahan yang mendapat perlakuan *artificial aging* dengan *holding time* 1 jam dan 5 jam. Artinya jika persentase Al pada bahan yang mendapat perlakuan *artificial aging* lebih kecil dari persentase

Al pada bahan yang tidak mendapat perlakuan, maka diperkirakan bahwa bahan tersebut memiliki endapan presipitat atau terbentuknya fasa kedua yang memang menjadi tujuan dari penelitian ini.

Jika hasil uji SEM EDX yang sudah dilakukan disandingkan dengan hasil uji kekerasan, bahwa spesimen yang memiliki tingkat kekerasan tertinggi adalah pada aluminium yang mendapat perlakuan *artificial aging* dengan *holding time* 5 jam, maka hal tersebut sangat selaras dengan hasil uji SEM EDX yang menunjukkan bahwa persentase dari unsur Al yang paling kecil adalah pada aluminium yang mendapat perlakuan *artificial aging* dengan *holding time* 5 jam.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapatkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dalam penelitian ini didapatkan nilai kekerasan tertinggi pada bahan dengan variasi *holding time* 5 jam sebesar 79,6 (HRB), dan mengalami penurunan nilai kekerasan pada bahan dengan variasi *holding time* 11 jam sebesar 50,4 (HRB), dikarenakan pada bahan tersebut sudah mengalami *over aging*.
2. Hasil SEM EDX menunjukkan bahwa persentase unsur Al pada bahan dengan variasi *holding time* 5 jam menurun dari persentase unsur Al pada bahan lainnya. Penurunan persentase Al dapat diartikan bahwa pada bahan yang mendapat perlakuan *artificial aging* terdapat endapan presipitat atau terbentuknya fasa kedua yang menjadi penyebab bahan tersebut lebih keras dan lebih baik sifat mekanisnya.
3. Hasil uji kekerasan dan uji SEM EDX membuktikan adanya pengaruh proses *artificial aging* terhadap bahan aluminium seri 6061, dimana bahan tersebut mengalami perubahan sifat mekanis yang lebih baik.

Saran

Adapun saran yang dapat disampaikan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Karena pada penelitian ini terbatas akan fasilitas yang kurang memadai, khususnya untuk laboratorium yang ada di wilayah Lampung, maka sebaiknya pada penelitian berikutnya dilengkapi dengan pengujian XRD yang ada di laboratorium diluar wilayah Lampung, dengan tujuan agar dalam penelitian tersebut dapat



membuktikan secara akurat terbentuknya fasa kedua pada proses *artificial aging* yang dilakukan.

2. Mengingat nilai kekerasan bahan pada proses perlakuan *artificial aging* akan menurun jika dilakukan pengujian lebih dari 100 hari setelah bahan tersebut di beri perlakuan, maka sebaiknya dalam pengambilan data pada proses pengujian dilakukan lebih dari 24 jam dan kurang dari 100 hari setelah bahan mendapat perlakuan *artificial aging*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fuad, 2010, Perlakuan Panas Pada Paduan Al-Si, Diakses di: <http://eprint.undip.ac.id/25530/1/Fuad.pdf>. Pada tanggal : 24 Desember 2016. Pukul 13.00 WIB.
- [2] James, 1992, Material Science For Engineers Third Edition (halaman 289), New York, Macmillan Publishing Company.
- [3] Surdia T Saito, 1995, Pengetahuan Bahan Teknik, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- [4] Van Vlack, L. H., 1991, *Ilmu dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan Bukan Logam)*, Edisi kelima. Diterjemahkan oleh Sriati Djaprie, Jakarta, Erlangga.
- [5] Zhang, 2002, Effect of a Short Solution Treatment Time on Microstructure and Mechanical Properties of Modified Al-7wt.% Si-0.3wt.% Mg Alloy, *Journal of Light Metals*, 2, pp. 27–36, 2002.



Analisa Dapur Peleburan Aluminium Menggunakan Biomassa Sebagai Bahan Bakar Terhadap Karakteristik Peleburan

Nugroho, E*. dan Dwi Yuono, L.

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Metro Lampung
Jl. Ki. Hajar Dewantara No. 116 Iring Mulyo Kota Metro Kode Pos 34111

*Email: exonugros@yahoo.co.id

Abstract

The smelting of aluminum using a fusion furnace with fossil fuels requires a relatively high cost and its availability is running low. Biomass is a solid fuel that can replace fossil fuels. In this research, aluminum smelting using biomass as fuel is teak wood charcoal, coconut shell charcoal and rubber shell charcoal. The choice of fuel because of its availability is still quite a lot and has a high enough calorific value. The purpose of this research is to know the amount of fuel needed and the melting characteristics in the form of melting time, heat flow rate, thermal efficiency, and smelting efficiency. Stages of research begins with the manufacture of krusible smelting kits then carried out the aluminum smelting as much as 10 kg per melting. At the time of the melting of the data taken is the temperature of the aluminum, the temperature of the inside and outside walls of the furnace, the lid and the base of the kitchen, and the mass of fuel used. From the results of research and calculation can be concluded that the amount of fuel used to melt aluminum as much as 10 kg in a row is 5 kg teak wood charcoal, coconut shell charcoal 6.5 kg and 4 kg of rubber shell charcoal. Heat flow rate in furnace for fuel Teak wood 11768.16 W on wall, 47486.19 W on roof, 4734 W on base and 1306,07 W on flue gas. Heat flow rate at furnace for coconut shell charcoal 14007.48 W on wall, 63290.33 W on roof, 9403.5 W on base and 1610.8 W on flue gas. Heat flow rate in furnace for charcoal of rubber shell 9653.6 W on wall, 28500 W on roof, 5115.5 W on base and 1194.8 W in flue gas. The duration of aluminum smelting for each fuel in a row is 100-minute teak charcoal, coconut shell charcoal 116 minutes and 110-minute rubber shell charcoal. The resulting thermal efficiency is 58% for coconut charcoal, 45% coconut shell charcoal and 70% for rubber shells while the consecutive smelting efficiency is 10% teak wood charcoal, 7% coconut shell charcoal and 16% rubber shell charcoal.

Keywords: Furnace, aluminum, biomass, melting characteristics.

Abstrak

Peleburan kembali aluminium menggunakan dapur peleburan dengan bahan bakar fosil membutuhkan biaya yang relatif mahal dan ketersediaannya semakin menipis. Biomassa adalah bahan bakar padat yang dapat menggantikan bahan bakar fosil. Pada penelitian ini dilakukan peleburan aluminium menggunakan biomassa sebagai bahan bakar yaitu arang kayu jati, arang tempurung kelapa dan arang cangkang karet. Pemilihan bahan bakar tersebut karena ketersediaannya masih cukup banyak dan mempunyai nilai kalor yang cukup tinggi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui banyaknya bahan bakar yang dibutuhkan serta karakteristik peleburan berupa waktu peleburan, laju aliran kalor, efisiensi thermal, dan efisiensi peleburan. Tahapan penelitian dimulai dengan pembuatan dapur peleburan krusible kemudian dilakukan peleburan aluminium sebanyak 10 kg setiap peleburan. Pada saat peleburan data yang diambil yaitu suhu aluminium, suhu dinding dalam dan luar tungku, tutup dan alas dapur, serta massa bahan bakar yang digunakan. Dari hasil penelitian dan perhitungan dapat disimpulkan banyaknya bahan bakar yang digunakan untuk melebur aluminium sebanyak 10 kg berturut-turut yaitu arang kayu jati 5 kg, arang tempurung kelapa 6,5 kg dan arang cangkang karet 4 kg. Laju aliran kalor pada tungku untuk bahan bakar Arang kayu jati 11768,16 W pada dinding, 47486,19 W pada atap, 4734 W pada alas dan 1306,07 W pada gas buang. Laju aliran kalor pada tungku untuk bahan bakar arang tempurung kelapa 14007.48 W pada dinding, 63290.33 W pada atap, 9403.5 W pada alas dan 1610.8 W pada gas buang. Laju aliran kalor pada tungku untuk bahan bakar arang cangkang karet 9653.6 W pada dinding, 28500 W pada atap, 5115.5 W pada alas dan 1194.8 W pada gas buang. Lama waktu peleburan aluminium untuk masing-masing bahan bakar berturut-turut adalah arang kayu jati 100 menit, arang tempurung kelapa 116 menit dan arang cangkang karet 110 menit. Efisiensi termal yang dihasilkan adalah 58% untuk arang kayu jati, 45% arang tempurung kelapa dan 70% untuk cangkang karet sedangkan efisiensi peleburan berturut-turut adalah arang kayu jati 10%, arang tempurung kelapa 7% dan arang cangkang karet 16%.

Keywords: Dapur peleburan, aluminium, biomassa, karakteristik peleburan



PENDAHULUAN

Aluminium tergolong logam yang banyak dimanfaatkan dalam dunia industri skala kecil maupun besar. Sifatnya yang ringan namun kuat membuatnya menjadi primadona untuk bagian-bagian mesin yang membutuhkan kecepatan. Aluminium mempunyai titik leleh $660\text{ }^{\circ}\text{C}$, masa jenis $2,70\text{ g/m}$ dan titik didih $2450\text{ }^{\circ}\text{C}$ [1]. Sebanding dengan penggunaannya yang beragam maka limbah aluminium banyak ditemukan dan bernilai ekonomis yang rendah. Untuk itu perlu adanya daur ulang untuk meningkatkan nilai ekonomis guna meningkatkan perekonomian didalam masyarakat. Dapur peleburan adalah sebuah peralatan yang digunakan untuk melelehkan logam, memanaskan serta mengubah bentuknya atau merubah sifat-sifatnya [2]. Klasifikasi tungku atau dapur peleburan yang saat ini berkembang diantaranya adalah dapur krusibel, dapur kupola, dapur busur listrik, dapur induksi. Bahan bakar yang digunakan juga beragam diantaranya batu bara, bahan bakar minyak, listrik arang, dan bahan bakar gas [3]. Sedangkan untuk peleburan logam non ferrous seperti aluminium, tembaga, timah hitam dan paduannya diperlukan sebuah kowi. Kelangkaan energi khususnya untuk bahan bakar fosil yang saat ini masih menjadi pilihan utama dan harganya yang cenderung fluktuatif membuat penulis untuk memvariasikan bahan bakar yang harganya cenderung ekonomis. Arang kayu, batok kelapa dan cangkang karet masih banyak tersedia di kota Metro dan pemanfaatannya belum optimal sehingga bisa menjadi bahan bakar alternatif. Waktu peleburan dari setiap masing-masing bahan bakar akan sangat berbeda hal tersebut dipengaruhi dari kalor spesifik yang dimiliki oleh setiap bahan bakar. Pemakaian jenis bahan bakar akan berbanding lurus dengan waktu peleburan dan konsumsi bahan bakar karena semakin besar kalor spesifik dari suatu bahan bakar maka temperatur yang dihasilkan akan semakin tinggi dan semakin sedikit jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk melebur aluminium dengan volume yang sama. Berdasarkan permasalahan diatas maka perlu dilakukan penelitian tentang peleburan logam aluminium

menggunakan tungku krusibel dengan meleburan 10 kg aluminium menggunakan bahan bakar arang batok kelapa, arang kayu dan arang cangkang karet.

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui banyaknya bahan bakar dan waktu yang dibutuhkan untuk melebur aluminium sebanyak 10 kg pada setiap masing-masing bahan bakar, laju aliran kalor yang terjadi pada tungku, dan efisiensi termal serta efisiensi peleburan yang terjadi pada masing-masing bahan bakar.

TINJAUAN PUSTAKA

Ditinjau dari sifat mekanisnya, aluminium murni merupakan logam yang ulet dan lunak, dan mempunyai sifat mampu bentuk yang baik. Selain itu, sifat mekanik dari aluminium sebagian besar juga dapat diperbaiki dengan cara pengerjaan dingin atau menambah unsur paduan seperti, *manganese*, *silicon*, *copper*, *magnesium*, atau *zinc*. Selain sifat mekanis, aluminium juga mempunyai beberapa kelebihan, seperti kuat pada temperatur rendah dibandingkan pada temperatur kamar dan tidak mengurangi sifat uletnya.

Dapur peleburan adalah peralatan yang digunakan untuk melelehkan logam, pembuatan bagian mesin (*casting*), memanaskan bahan serta mengubah bentuknya (misalnya *rolling*, penempaan), atau merubah sifat-sifatnya (perlakuan panas). Kunci dari operasi dapur yang efisien terletak pada pembakaran bahan bakar yang sempurna dengan udara berlebih yang minim.

Bahan bakar padat adalah bahan bakar yang mempunyai struktur yang solid antar penyusunnya, terbuat dari material padat.

Tabel 1. Standar Kualitas Briket Arang [4].

Sifat	Nilai
Kadar air (%)	Maks 8
Kadar zat terbang (%)	15
Nilai kalor (kkal/kg)	Min 5000
Kadar abu (%)	Max 8

Pemakaian bahan bakar yang memiliki nilai kalor yang besar akan berakibat pada pencapaian tujuan pembakaran yang cepat dan begitu juga dengan sebaliknya. Namun suhu

operasi yang tinggi akan mengakibatkan kehilangan panas yang besar melalui gas buang [5].

Tabel 2. Spesifikasi Bahan Bakar Padat [6].

Jenis Bahan Bakar	Nilai Kalor	Kadar Abu
Arang Tempurung Kelapa	6000 Kal/gram	-
Arang Cangkang Karet	4000 kal/gram	30,662%
Arang Kayu	5000 kal/gram	-

Untuk mendapatkan kalor yang digunakan untuk menaikkan temperatur aluminium dapat digunakan persamaan sebagai berikut [7]:

$$Q = m C_p \Delta T \quad (1)$$

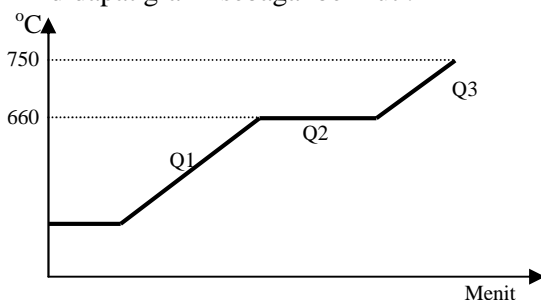
Setelah temperatur aluminium mencapai titik leleh. Panas yang diberikan kepada aluminium tidak akan dipakai untuk menaikkan temperatur melainkan dipakai untuk melelehkan seluruh aluminium hingga menjadi zat cair. Kalor ini disebut dengan kalor *transpormasi* atau kalor *laten* dan dirumuskan sebagai berikut [7]:

$$Q = m H \quad (2)$$

Setelah aluminium berubah fasa menjadi cair panas yang diberikan akan digunakan untuk menaikkan temperatur atau disebut juga dengan kalor *sensible* dan dirumuskan sebagai berikut [7]:

$$Q = m C_p \Delta T \quad (3)$$

Jika kebutuhan kalor untuk peleburan aluminium digambarkan dengan grafik maka akan didapat grafik sebagai berikut :



Gambar 1. Grafik Peleburan Aluminium

Dari grafik peleburan aluminium dapat disimpulkan bahwa kalor yang dibutuhkan untuk peleburan dapat dirumuskan sebagai berikut [7]:

$$Q_{\text{lebur}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (4)$$

Atau

$$Q_{\text{lebur}} = m C_{p1} \Delta T_1 + m H + m C_{p2} \Delta T_2 \quad (5)$$

Dimana :

Q_1 = Kalor untuk menaikkan temperatur kamar menjadi temperatur cair aluminium (Joule).

Q_2 = Kalor untuk mencairkan aluminium (Joule).

Q_3 = Kalor untuk menaikkan temperatur 660 °C menjadi 750 °C (Joule).

m = Massa aluminium (kg).

C_{p1} = Kalor jenis aluminium fase padat (kkal/kg °C)

C_{p2} = Kalor jenis aluminium cair (kkal/kg °C)

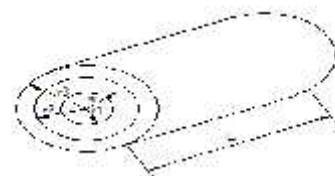
H = Panas transpormasi atau laten aluminium (kkal/kg)

ΔT_1 = Perbedaan temperatur dari titik cair aluminium dengan temperatur awal(°C)

ΔT = Perbedaan temperatur dari titik penguapan ke titik cair aluminium (°C)

Luas bidang aliran kalor dalam sistem silinder adalah [8]:

$$q = -k A \frac{\partial T}{\partial x} \quad (6)$$



Gambar 2. Aliran kalor pada pipa berlapis

Sehingga menjadi

$$A_r = 2 \pi r L \quad (7)$$

Dan tahanan termal dalam kondisi ini adalah [8]:



$$R_{th} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi kL} \quad (8)$$

Penyelesaian persamaan diatas sebagai berikut [8]:

$$q = \frac{2\pi kL (T_1 - T_2)}{\frac{\ln(r_2/r_1)}{k_a} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{k_b}} \quad (9)$$

Dimana :

- R_{th} = Tahanan termal ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)
- r_1 = Jari – jari lingkaran dalam (m)
- r_2 = Jari – jari lingkaran luar (m)
- r_3 = Jari – jari lingkaran luar (m)

Persamaan untuk perpindahan panas konveksi adalah sebagai berikut [8]:

$$q_{konv} = h A (T_w - T_\infty) \quad (10)$$

Dimana :

- h = Koefesien perpindahan kalor konveksi ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)
- A = Luas permukaan (m^2)
- T_w = Temperatur matrial (C)
- T_∞ = Temperatur fluida (C)

Untuk menganalisa besarnya panas yang keluar dari cerobong digunakan persamaan sebagai berikut [8]:

$$Q_{cerb} = q_{konv} \tau_{lebur} \quad (11)$$

$$q_{konv} = h_{gb} A_{cerb} T_\infty \quad (12)$$

Dimana :

- q_{konv} = Laju perpindahan panas pada gas buang (W)
- τ_{lebur} = Waktu peleburan aluminium (Jam)
- h_{gb} = Koefesien perpindahan panas pada gas buang ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)
- A_{cerb} = Luas cerobong gas buang (m^2)

Untuk menganalisanya perpindahan panas pada komponen tungku digunakan persamaan sebagai berikut [8]:

$$Q_{serap} = q \tau \quad (13)$$

Dimana :

- q = Laju perpindahan kalor pada material (W)
- τ = Waktu peleburan (menit)

Waktu peleburan sangat tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan, dan tingkat efisiensi dari pembakaran. Semakin tinggi efisiensi termal maka waktu peleburannya akan semakin singkat, begitu juga dengan sebaliknya. Waktu peleburan yang sebenarnya terjadi dapat diamati secara langsung saat proses peleburan.

Untuk mengetahui bahan bakar yang digunakan dapat diamati secara langsung dengan mengurangi massa bahan bakar yang dimasukkan dalam ruang bakar dengan massa bahan bakar yang belum terbakar pada saat tujuan pembakaraan sudah tercapai sama dengan bahan bakar yang digunakan dalam peleburan.

Suatu pembakaran yang efisien adalah dimana panas yang dihasilkan bahan bakar sebanding dengan nilai kalor bahan bakar dikali dengan jumlah bahan bakar yang terbakar [9].

$$\eta_{pb} = \frac{Q_{use}}{Q_{bb} \times m_{bb}} \quad (14)$$

Dimana :

- Q_{use} = Panas keseluruhan yang terserap komponen tungku (Joule)
- Q_{bb} = Kalor yang terkandung dalam bahan bakar (kal/gram)
- m_{bb} = Masa bahan bakar yang dibutuhkan dalam peleburan aluminium (kg)

Perbandingan antara panas yang digunakan untuk melebur aluminium dengan panas yang dikeluarkan oleh bahan bakar [9].

$$\eta_{th} = \frac{Q_{aluminium}}{Q_{in}} \quad (15)$$

$$Q_{in} = \dot{m} \cdot Q_{bb} \quad (16)$$

$$\dot{m} = \frac{m_{aluminium}}{\tau} \quad (17)$$

Dimana :

- $Q_{aluminium}$ = Kalor yang digunakan untuk melebur aluminium (Joule)
- Q_{in} = Kalor yang masuk ke ruang bakar (J)

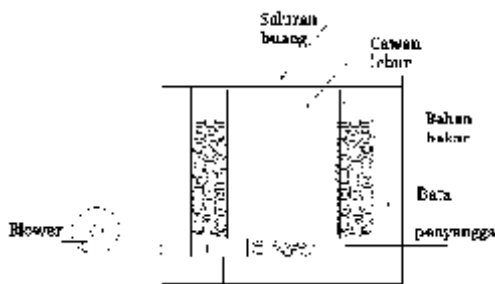
\dot{m} = Laju aliran masa bahan bakar
(kg/s)

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Laboratorium Terpadu Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Metro.

Pelaksanaan penelitian dilakukan dalam beberapa tahapan seperti pembuatan dapur peleburan, pembuatan arang dari limbah kayu, tempurung kelapa, dan cangkang karet, peleburan aluminium, pengambilan data, dan analisa data.

Rancangan gambar untuk dapur peleburan ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Rancangan Dapur Peleburan

Tahapan peleburan aluminium yaitu:

1. Siapkan alat dan bahan untuk peleburan.
2. Catat temperatur awal peleburan.
3. Mengatur kecepatan aliran udara yang masuk ke ruang bakar sebesar 7 m/s.
4. Masukkan bahan bakar yang pertama dan mulai proses pembakaran dan setelah terbakar masukkan bahan bakar yang sama setinggi 0.75 dari tinggi cawan lebur.
5. Masukkan aluminium sebanyak 10 kg.
6. Setelah aluminium mulai mencair ukur temperaturnya secara berkala hingga mendapatkan temperatur 750 °C.
7. Catat semua temperatur pada titik-titik yang telah ditentukan sebagai temperatur akhir peleburan dan catat waktu peleburannya.

Pengambilan data peleburan dilakukan dua kali pada setiap bahan bakar dan untuk mengetahui perubahan temperatur dilakukan pada beberapa titik yang berbeda dan

dilakukan pencatatan setiap 10 menit sekali.

Tabel 3. Alat dan bahan yang digunakan

Alat		Bahan
1. Dapur krusibel 10kg	Peleburan kapasitas	1. Bata tahan api
2. Termokopel		2. Semen tahan api
3. Timbangan		3. Plat besi 5 mm
4. Stopwatch		4. Plat 2 mm
5. Jangka sorong dan mistar		5. Aluminium
6. Anemometer		6. Arang (tempurung kelapa, kayu, cangkang karet)
7. Kamera		

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 4. Spesifikasi Dapur Peleburan

Nama	Nilai	Satuan
Diameter luar dapur	570	mm
Diameter dalam dapur	330	mm
Tinggi dapur	520	mm
Tebal semen tahan api	5	mm
Tebal plat dapur	2	mm
Diameter luar cawan	206	mm
Diameter dalam cawan	200	mm
Tinggi cawan lebur	360	mm

Berikut ini adalah gambar konstruksi dapur peleburan aluminium menggunakan bahan bakar biomassa.



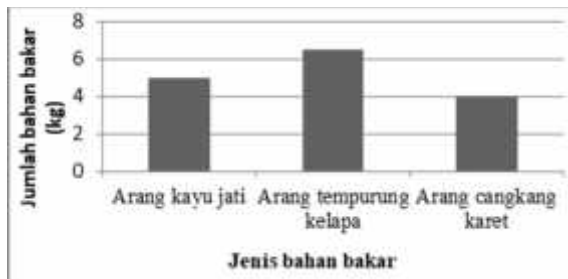
Gambar 4. Dapur peleburan

Dari hasil proses peleburan aluminium dengan dapur peleburan menggunakan bahan bakar biomassa diperoleh hasil peleburan sebagai berikut.



Gambar 5. Hasil peleburan aluminium

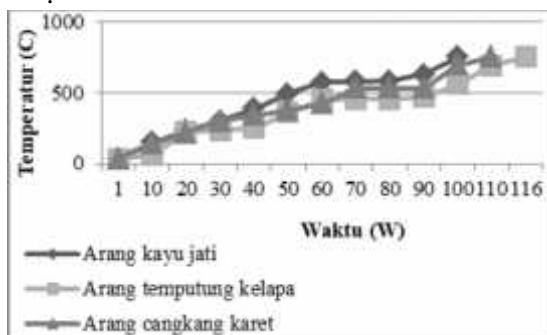
Pada penelitian ini udara mengalir kedalam ruang bakar dengan kecepatan 7 m/s, diameter pipa 3,6 cm pada setiap bahan bakar. Grafik berikut menjelaskan hubungan antara jenis bahan bakar terhadap konsumsi bahan bakar.



Gambar 6. Grafik konsumsi bahan bakar

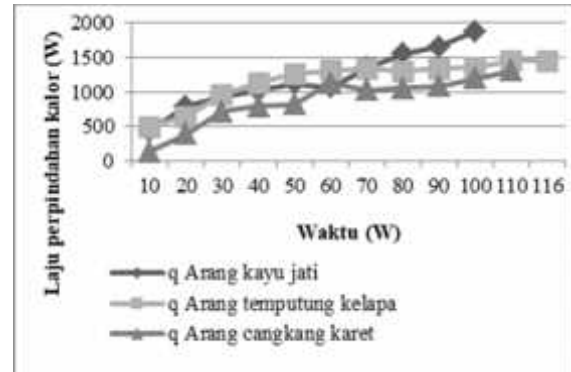
Arang kayu jati memiliki waktu peleburan yang paling singkat namun konsumsi bahan bakar 5 kg. Arang tempurung kelapa memiliki waktu peleburan yang cukup lama dan menghabiskan bahan bakar 6,5 kg. Arang cangkang karet memiliki waktu peleburan yang lebih singkat dari tempurung kelapa dan menghabiskan bahan bakar 4 kg.

Grafik berikut menjelaskan hubungan antara pembakaran bahan bakar dengan kenaikan temperatur aluminium



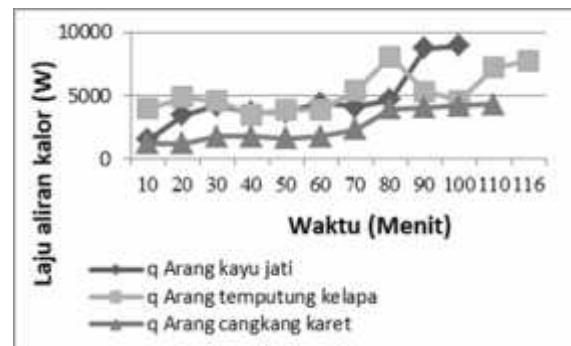
Gambar 7. Grafik kenaikan temperatur aluminium pada peleburan

Grafik berikut menjelaskan laju perpindahan panas pada dinding dapur peleburan.



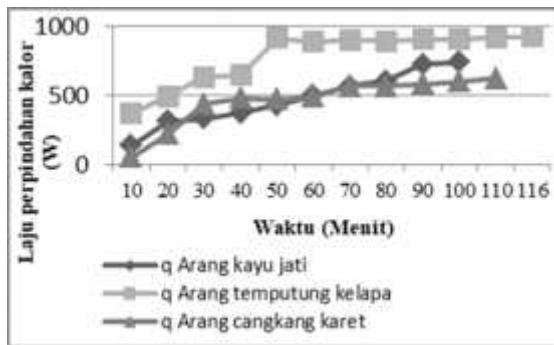
Gambar 8. Grafik hubungan antara bahan bakar dengan laju perpindahan panas pada dinding tungku

Grafik berikut menjelaskan laju perpindahan panas pada atap dapur peleburan.



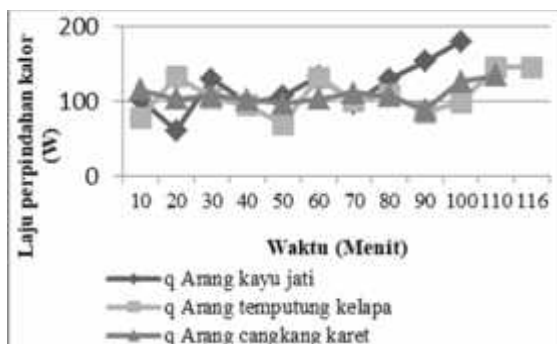
Gambar 9. Grafik hubungan antara bahan bakar dengan laju perpindahan panas pada atap tungku

Grafik berikut menjelaskan laju perpindahan panas pada alas dapur peleburan.



Gambar 10. Grafik hubungan antara bahan bakar dengan laju perpindahan panas pada alas tungku

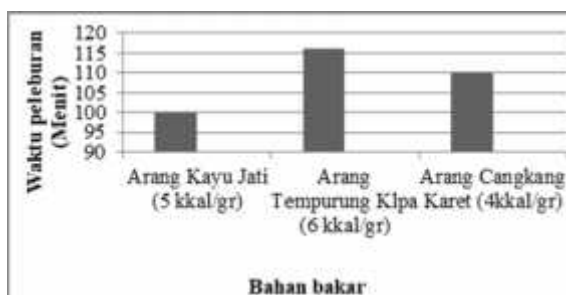
Grafik berikut menjelaskan laju perpindahan panas pada gas buang.



Gambar 11. Grafik hubungan antara bahan bakar dengan laju perpindahan panas pada gas buang tungku

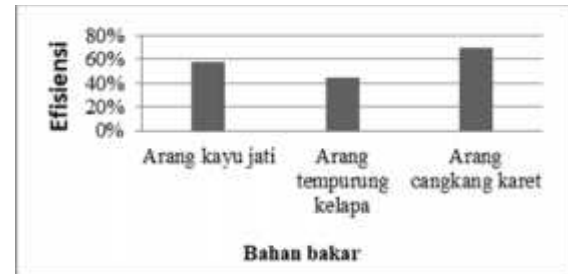
Dari grafik di atas terlihat bahwa kecepatan laju aliran kalor pada masing-masing komponen tungku sangat dipengaruhi oleh kualitas dari bahan bakar. Semakin tinggi nilai kalor bahan bakar akan semakin cepat laju perpindahan kalornya.

Grafik berikut menjelaskan hubungan antara pembakaran bahan bakar dengan waktu peleburan.



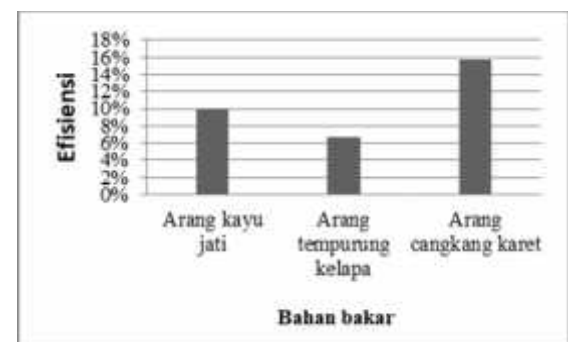
Gambar 12. Grafik hubungan bahan bakar terhadap waktu peleburan

Grafik berikut menjelaskan hubungan antara bahan bakar terhadap efisiensi termal pada tungku.



Gambar 13. Grafik efisiensi termal pada tungku dengan bahan bakar yang berbeda

Grafik berikut menjelaskan hubungan antara bahan bakar terhadap efisiensi peleburan.



Gambar 14. Grafik efisiensi peleburan pada tungku dengan bahan bakar yang berbeda

Dari grafik di atas menunjukkan kesesuaian pernyataan yang dikemukakan (UNEP, 2006), dimana sebuah tungku akan beroperasi dengan tingkat efisiensi yang rendah, dikarenakan suhu operasi yang sangat tinggi.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan banyaknya bahan bakar yang digunakan untuk melebur 10 kg aluminium berturut-turut yaitu arang kayu jati 5 kg, arang tempurung kelapa 6,5 kg dan arang cangkang karet 4 kg.

Laju aliran kalor pada tungku dengan bahan bakar arang kayu jati 11768,16 W pada dinding, 47486,19 W pada atap, 4734 W pada alas dan 1306,07 W pada gas buang. Laju aliran kalor pada tungku dengan bahan bakar arang tempurung kelapa 14007,48 W pada



dinding, 63290.33 W pada atap, 9403.5 W pada alas dan 1610.8 W pada gas buang. Laju aliran kalor pada tungku dengan bahan bakar arang cangkang karet 9653.6 W pada dinding, 28500 W pada atap, 5115.5 W pada alas dan 1194.8 W pada gas buang.

Lama waktu peleburan aluminium berturut-turut adalah arang kayu jati 100 menit, arang tempurung kelapa 116 menit dan arang cangkang karet 110 menit.

Efisiensi termal yang dihasilkan adalah 58% untuk arang kayu jati, 45% arang tempurung kelapa dan 70% untuk cangkang karet sedangkan efisiensi peleburan berturut-turut adalah arang kayu jati 10%, arang tempurung kelapa 7% dan arang cangkang karet 16%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada DPRM RISET DIKTI yang telah membiayai penelitian ini dalam skim Penelitian Dosen Pemula tahun 2017. Disamping itu juga penulis ucapkan terima kasih kepada Pihak Lembaga yaitu Univ. Muhammadiyah Metro yang telah menaungi dan memberikan fasilitas dalam pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tata Surdia dan Shinroku Saito, 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: Edisi ke Empat. Penerbit PT Pradnya Paramita
- [2] Daryanto, 2010. *Proses Pengolahan Besi Dan Baja*. Bandung: Cetakan ke Satu. Penerbit PT Sarana Tutorial Nurani Sejahtera
- [3] Sujana, Hardi, 2008. *Teknik Pengecoran*. Jakarta: Departemen Pendidikan Nasional
- [4] Badan Standarisasi Nasional, 2000. *Pedoman Pembuatan dan Pemanfatan Briket Biomassa*. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
- [5] United Nations Environment Programme, 2006. *Pedoman Efisiensi Energi Untuk Industri*.
(Online).(Www.Energyefficiencyasia.Org, Diakses Tanggal 10 Mei 2015)

- [6] Jamilatun, Siti, 2011. *Kualitas Sifat – Sifat Dari Pembakaran Briket Tempurung Kelapa, Briket Serbuk Gergaji Kayu Jati, Briket Sekam Padi dan Briket Batu Bara*. Yogyakarta: Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta
- [7] Halliday, David. Robrt Resnick. Jearl Walker, 2010. *Fisika Dasar*. Jakarta: Jilid Satu. Edisi ke Tujuh. Penerbit Erlangga
- [8] Holman, P. Jack, 1997. *Perpindahan Kalor*. Jakarta: Edisi ke Enam. Penerbit Erlangga
- [9] Yunus A Cengel., Michael A Boles, *Thermodynamics And Engineering Approach*. New York: Edisi ke Lima. Penerbit Mc Grow Hill.



Analisis Fasilitas Wudhu Masjid di Bandar Lampung dari Tinjauan Ergonomis sebagai Bagian Peningkatan Kualitas Pelayanan Fasos Kota

Achmad Yahya Teguh Panuju^{1,*}

¹Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung, Jl. S. Brojonegoro no. 1
Bandar Lampung 35145

*yahyateguh@gmail.com

Abstract

Wudu is the Islamic procedure for washing parts of the body, that is oftenly done at masjid, as a place to do worship rituals for Muslims. Because of its frequent events, wudu process should be done in a secure and comfort way, which must be supported by proper facilities. Facilities as referred in this case were the water faucet and other components around it. Design of these facilities related to ergonomics concepts, was relevant to be discussed in order to improve services for jemaah and to reduce physical accident possibility while doing wudu. More over, in many cases, ergonomics-based design improvements addressed to better productivity and shorter process time, so it could be estimated that water used in wudu process might also be reduced. All of these items were claimed as parts of the city's social facilities services to its cityzen and tourists. This article focuses on analyzing wudu facilities at mosques in Bandar Lampung based on ergonomics concepts. The dimensions of the facilities were measured and compared to anthropometry databases, wudu processes at each facility were observed, and users of these facilities were asked about their opinion related to facilities' comfort aspects by questionnaires. These datas were analyzed to rate the facilities' conformity to ergonomics concepts. As results, each facility was marked with certain level of ergonomics scale and some correction notes were found as inputs for future improvements to each masjid committee.

Keywords: Ergonomics, Wudu Facilities, Design

Abstrak

Wudhu adalah ritual pembasuhan anggota tubuh dalam rangkaian ibadah umat Islam, yang sering dilakukan di masjid. Karena seringnya proses ini dilaksanakan, maka proses berwudhu perlu dilakukan dalam kondisi yang aman dan nyaman, dan didukung oleh fasilitas yang memadai. Fasilitas yang dimaksud dalam hal ini adalah kran air dan komponen-komponen pendukung lain yang berada di sekitarnya. Desain fasilitas ini, terkait dengan konsep ergonomi, menjadi sangat relevan untuk dibahas dalam rangka untuk meningkatkan pelayanan kepada jamaah dan mengurangi risiko terjadinya kecelakaan saat berwudhu. Terlebih lagi dalam banyak kasus, perbaikan desain berdasar konsep ergonomi akan mengarah pada produktivitas yang lebih baik dan waktu proses yang lebih singkat, sehingga dapat diperkirakan bahwa air yang terpakai dalam proses berwudhu menjadi lebih sedikit. Semua pembahasan ini dikaitkan dengan fungsi masjid yang merupakan salah satu bagian dari pelayanan fasilitas sosial kota. Artikel ini membahas tentang analisis fasilitas wudhu di beberapa masjid di Bandar Lampung berdasarkan konsep ergonomi. Dimensi dari fasilitas tersebut diukur dan dibandingkan dengan data antropometri, observasi dilakukan terhadap keberlangsungan proses wudhu, serta para pengguna diminta pendapatnya mengenai kenyamanan fasilitas wudhu yang digunakan. Data-data ini digunakan untuk menilai seberapa tinggi kesesuaian desain fasilitas tersebut dengan konsep ergonomi yang ada. Sebagai simpulan, fasilitas wudhu di setiap masjid mendapatkan nilai yang menunjukkan levelnya dalam skala ergonomi, dan beberapa catatan didapatkan sebagai perbaikan di masa yang akan datang bagi masing-masing pengurus masjid.

Keywords: Ergonomi, Fasilitas Wudhu, Desain

PENDAHULUAN

Masjid umum merupakan sarana ibadah bagi umat Islam, yang tidak saja digunakan sebagai tempat melaksanakan ibadah, namun sering kali juga digunakan sebagai tempat beristirahat dan membersihkan diri bagi jamaah

yang mengunjunginya. Bahkan Imam Adlin Sinaga (2015) menyatakan bahwa ketersediaan fasilitas yang memadai di masjid juga akan memberikan dampak signifikan pada kondisi umat Islam, terkait dengan ketertarikan umat untuk hadir dalam kegiatan-kegiatan di masjid. Di Bandar Lampung, ada ratusan masjid umum



yang berdiri baik yang berada di tepi jalan umum, maupun di wilayah pemukiman atau perkantoran yang terkesan lebih eksklusif, walaupun tetap bersifat terbuka terhadap jamaah umum. Masjid-masjid ini adalah bagian dari fasilitas sosial (fasos) yang merupakan aset kota Bandar Lampung, yang mana kualitas pelayanannya juga menjadi faktor kenyamanan dan keamanan bagi warga kota maupun pengunjung dari luar. Kualitas dari fasilitas kota juga sering dijadikan rujukan tentang kualitas perkembangan dari kota itu sendiri, sehingga menjadi penting bagi pengelola kota untuk memperhatikan setiap bagian penyelenggaraan pelayanan bagi masyarakat umum (Mahardika, 2013). Dengan demikian maka tentunya menjadi penting bagi seluruh penyedia fasilitas sosial untuk senantiasa memiliki orientasi ke arah perbaikan kualitas pelayanan terhadap penggunaannya, termasuk masjid. Terbukti bahwa pengunjung yang puas terhadap layanan sebuah fasilitas baik umum maupun sosial akan kembali datang sehingga meningkatkan jumlah pengunjung ke fasilitas tersebut di masa yang akan datang (Rosita, 2016).

Salah satu elemen penting yang menentukan tingkat kenyamanan masjid adalah tempat berwudhu, yang meliputi akses ke tempat berwudhu, rambu dan prasarana, serta komponen aliran air wudhu itu sendiri. Proses berwudhu itu sendiri adalah proses yang berulang kali dilakukan, setidaknya sesaat menjelang pelaksanaan sholat, di mana dalam satu waktu pelaksanaan sholat, jamaah yang menggunakan fasilitas wudhu ini bisa mencapai puluhan bahkan ratusan orang. Kemudahan dan keamanan dalam keseluruhan proses berwudhu menjadi poin tersendiri yang harus diperhatikan oleh pengelola atau pengurus masjid, yaitu mengurangi risiko terjadinya cedera, meningkatkan pelayanan dan bahkan bisa mengurangi jumlah konsumsi air yang digunakan.

Penelitian tentang fasilitas wudhu belum banyak dilakukan, namun beberapa darinya dapat dijadikan bahan studi lebih lanjut mengenai bahasan ini. Suparwoko (2016) telah membuat standar dimensi untuk rancangan fasilitas wudhu dengan pertimbangan ergonomi terutama di masjid di Yogyakarta. Kemudian Saktiwan (2010) pernah merancang fasilitas

wudhu yang sesuai bagi kebutuhan pengguna lansia. Hasil rancangannya berupa standar dimensi dan penambahan berbagai komponen yang sekiranya akan memudahkan para lansia untuk mengambil wudhu. Qurtubi dan Hari Purnomo (2015) juga dalam makalahnya membuat rancangan fasilitas wudhu dengan tempat duduk, lengkap dengan standar dimensi berdasarkan data antropometri.

Makalah ini tidak membahas pada pembuatan desain baru, melainkan melakukan analisis terhadap model fasilitas wudhu yang telah ada di beberapa masjid di kota Bandar Lampung. Tujuannya adalah untuk melihat seberapa baik kesesuaian antara model-model fasilitas wudhu tersebut dengan konsep ergonomi. Semakin baik kesesuaian yang didapatkan, menandakan semakin tinggi pula peluang kenyamanan yang dirasakan oleh jamaah pengguna, yang tentunya juga menjadi salah satu faktor baiknya kualitas pelayanan masjid sebagai bagian dari fasilitas kota Bandar Lampung. Kalau pun ada kekurangan yang nantinya mungkin akan ditemukan, maka hal tersebut dapat menjadi catatan rekomendasi bagi pihak yang berwenang untuk dapat melakukan perbaikan di masa yang akan datang.

METODE PENELITIAN

Objek Penelitian

Objek yang diteliti pada penelitian ini adalah masjid-masjid umum yang ada di kota Bandar Lampung. Sebagai sampel, jumlah masjid yang diobservasi adalah 20 masjid, dengan ketentuan masjid tersebut memiliki karakteristik sebagai berikut:

- Berada di pinggir jalan umum
- Digunakan oleh masyarakat dalam kegiatan ibadah sholat 5 waktu

Metode Pengumpulan Data

Data-data dalam penelitian dikumpulkan dengan cara:

a. Studi pustaka

Studi pustaka dilakukan melalui penelusuran bahan-bahan bacaan yang terkait dengan

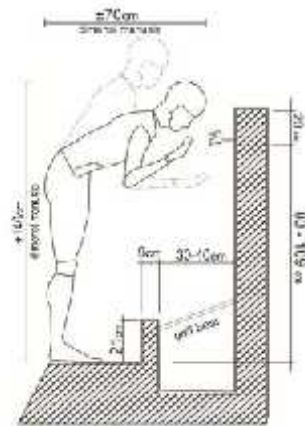
tema ergonomi dan perancangan tempat wudhu.

b. Pengukuran dimensi tempat wudhu

Yang dimaksud dengan dimensi tempat wudhu di sini dapat dijelaskan dalam ilustrasi gambar 1. Setiap dimensi tersebut dapat mempengaruhi kenyamanan dalam proses berwudhu, yang nantinya data tersebut akan dibandingkan dengan data antropometri. Dimensi yang diukur antara lain adalah:

- 1) Jarak antara mulut kran dengan tembok di belakangnya. Jarak yang terlalu pendek akan menyebabkan ketidaknyamanan bagi pengguna menyulitkan pada posisi mencuci tangan dan lengan, apalagi jika arah air yang keluar tidak menuju ke arah pengguna.
- 2) Ketinggian kran diukur dari lantai yang sejajar dengan posisi tempat pengguna berdiri. Jika tinggi kran terlalu rendah, akan menyebabkan tubuh pengguna harus terlalu membungkuk, dan menyulitkan pengguna dalam berbagai posisi. Dan sebaliknya, posisi yang terlalu tinggi akan menyebabkan ketidaknyamanan karena percikan air menjadi terlalu keras dan luas sebarannya.
- 3) Jarak antara kran dengan objek di atasnya, yang biasanya berupa rak semen yang digunakan untuk meletakkan barang. Jarak ketinggian yang terlalu dekat akan membuat posisi kepala pengguna harus lebih menunduk, atau akan terbentur.
- 4) Jarak menyamping antara satu kran dengan kran di sampingnya. Jarak yang terlalu pendek akan menyebabkan ketidaknyamanan pengguna saat harus bersentuhan atau berhimpitan dengan pengguna lainnya.
- 5) Jarak minimum di mana pengguna dapat berdiri dengan aman, dengan mulut kran. Jarak yang terlalu jauh akan membuat pengguna kesulitan menjangkau kran, atau akan menyebabkan posisi badan yang terlalu membungkuk.

Sebagai pembanding hasil pengukuran dimensi, pada gambar 1 ditampilkan hasil desain fasilitas wudhu berikut dimensinya yang dibuat oleh Suparwoko (2016).



Gambar 1. Desain Fasilitas Wudhu
Sumber: Suparwoko, 2016

c. Observasi

Observasi dilakukan dengan mengamati model tempat wudhu yang ada di masjid, meliputi akses menuju tempat berwudhu, rambu-rambu yang dicantumkan, serta peralatan berwudhunya (kran, dimensi posisi kran, dll). Aspek yang diperhatikan meliputi aspek keamanan, kenyamanan serta kemudahan pengguna dalam memanfaatkan fasilitas tempat berwudhu.

d. Kuesioner

Kuesioner dilakukan terhadap jamaah pengguna fasilitas wudhu (bukan pengurus masjid). Dengan jumlah 6 orang di setiap masjid, terdiri dari 3 pria dan 3 wanita, sehingga total responden adalah 120 orang. Responden yang dipilih adalah yang memiliki usia 18 – 30 tahun, serta dengan tinggi badan antara 155 – 170 cm, dengan asumsi responden dengan karakter fisik yang sama akan meminimalisir bias data hasil kuesioner yang nantinya didapat. Aspek-aspek yang ditanyakan adalah mengenai kenyamanan dan kemudahan yang dirasakan oleh jamaah saat menggunakan fasilitas wudhu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Antropometri

Sebagai acuan dalam proses analisis ergonomis model tempat wudhu, dalam penelitian ini digunakan data antropometri yang tersedia pada internet, yaitu pada situs antropometrindonesia.org. Situs ini telah

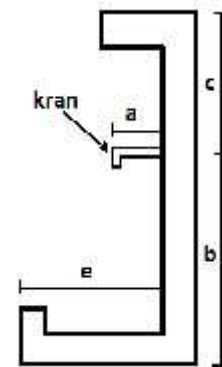
menyediakan data antropometri dari rata-rata orang Indonesia, baik pria maupun wanita, dari berbagai usia. Dengan asumsi bahwa data antropometri masyarakat Lampung pada umumnya adalah sama dengan data antropometri masyarakat Indonesia, maka data tersebut layak untuk dipakai. Dalam kaitannya dengan posisi berwudhu, maka data antropometri yang perlu diperhatikan antara lain adalah: lebar bahu (bagian paling lebar dari tubuh manusia) sebagai patokan jarak antar keran, panjang lengan dan panjang telapak tangan sebagai patokan mengukur kenyamanan panjang keran, serta tinggi pinggang untuk mengukur kenyamanan ketinggian keran. Data yang disebutkan dalam makalah ini adalah data rata-rata dari data antropometri penduduk Indonesia pada antropometriindonesia.org.

Hasil Pengukuran Dimensi Posisi Kran Wudhu

Dalam hal ini posisi kran wudhu di ke-20 masjid objek penelitian diukur dan dicatat dimensinya, kemudian dimasukkan ke dalam tabel (tabel 1). Dimensi yang diukur mengacu pada gambar 2, yang menjelaskan komponen a, b, c dan e. Sedangkan komponen d adalah jarak antar kran yang berdampingan.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Dimensi Fasilitas Wudhu

Masjid	Dimensi (cm)				
	a	b	c	d	e
Masjid 1	10	70	0	55	45
Masjid 2	14	84	0	65	40
Masjid 3	12	70	0	60	40
Masjid 4	13	66	71	75	41
Masjid 5	15	55	0	60	0
Masjid 6	12	80	0	58	38
Masjid 7	11	91	0	58	45
Masjid 8	14	65	0	55	45
Masjid 9	14	70	0	50	40
Masjid 10	14	95	0	66	30
Masjid 11	10	80	0	50	46
Masjid 12	15	85	0	60	40
Masjid 13	18	98	35	70	40
Masjid 14	6	58	0	55	40
Masjid 15	10	58	31	80	28
Masjid 16	7	50	0	61	38
Masjid 17	10	60	0	40	40
Masjid 18	12	77	0	70	40
Masjid 19	11	60	0	55	38
Masjid 20	14	61	0	83	40



Gambar 2. Keterangan Dimensi Fasilitas Wudhu

Salah satu permasalahan yang harus dijawab adalah mengenai standar ukuran kenyamanan itu sendiri, karena bisa jadi sebuah dimensi nyaman bagi sekelompok pengguna, namun bisa jadi tidak nyaman bagi sekelompok pengguna yang lain, karena dipengaruhi faktor ukuran tubuh, usia, kendala atau kemampuan fisik, serta jenis kelamin. Untuk membuat standar kenyamanan diperlukan serangkaian eksperimen yang melibatkan banyak orang dengan berbagai variasi klasifikasi sebagaimana disebutkan sebelumnya, yang mana hal tersebut belum dilakukan dalam penelitian ini. Namun standar ketidaknyamanan pada umumnya berlaku sama bagi orang dengan ukuran tubuh, jenis kelamin serta dalam skala umur yang sama, dengan asumsi kondisi fisik yang sehat. Maka dalam penelitian ini yang akan disorot adalah kondisi-kondisi yang secara statistik berada di angka terendah atau tertinggi, kemudian dibandingkan dengan data antropometri yang ada.

Hasil pembahasan tidak menghasilkan justifikasi mutlak mengenai tingkat kenyamanan dari suatu dimensi, namun secara logis, dimensi tertentu dapat dikatakan memiliki peluang lebih banyak untuk menyebabkan ketidaknyamanan dibandingkan dimensi lainnya. Dari data yang didapatkan, angka-angka terendah atau tertinggi dari masing-masing dimensi dibahas sebagai berikut:

- a. Jarak antara kran dengan dinding di belakangnya.

Di dua masjid ditemukan jarak yang amat minim antara mulut kran dengan dinding di belakangnya, yaitu 6 cm dan 7 cm. Dengan patokan panjang lengan dan panjang

telapak tangan adalah 45,38 cm dan 18,11 cm, maka dimensi seperti ini dapat menyebabkan kesulitan dalam beberapa posisi wudhu.

b. Ketinggian kran

Kisaran ketinggian kran yang diukur dalam penelitian memiliki rata-rata 83 cm. Data terendah yang didapatkan adalah 65 cm, dan jika dibandingkan dengan data antropometri rata-rata tinggi penduduk Indonesia dengan usia 19 – 50 tahun (pria dan wanita) adalah 164,2 cm, maka ketinggian kran yang terlalu rendah seperti ini memiliki peluang lebih tinggi dalam menyimpulkan kesulitan bagi kebanyakan pengguna yang memiliki tinggi rata-rata atau di atasnya, karena posisi tubuh membentuk sudut yang cenderung memberikan rasa tidak nyaman atau bahkan berisiko menimbulkan cedera. Posisi tubuh yang dimaksud diilustrasikan pada gambar 3, yang merupakan gambar di masjid di mana ketinggian kran dari lantai adalah 65 cm.



Gambar 3. Ketinggian Kran Tidak Ideal

c. Jarak kran dengan objek di atasnya

Tidak semua fasilitas wudhu di ke-20 masjid memiliki objek di atas kran. Namun dari beberapa masjid yang fasilitas wudhunya memiliki objek tersebut, ada kondisi yang cukup menarik di mana di satu masjid jarak antara kran dengan objek di atasnya (rak barang) hanya 34 cm. dengan total ketinggian antara lantai dengan objek tersebut adalah 125 cm (jauh di bawah rata-

rata ketinggian pengguna), serta dengan panjang objek adalah 26 cm, maka keberadaan objek ini memberikan peluang cukup besar untuk menimbulkan ketidaknyamanan kepada pengguna, karena pengguna harus cukup banyak menunduk dan sangat mungkin untuk terbentur objek tersebut jika tidak berhati-hati. Ilustrasi dari kondisi ini dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Ilustrasi Posisi Objek di Atas Kran Wudhu

d. Jarak antar kran

Dimensi terendah yang didapatkan pada jenis data ini adalah sepanjang 45 cm, yang terdapat pada satu masjid. Jika dibandingkan dengan lebar bahu rata-rata yang terdapat pada data antropometri adalah 43,86 cm, maka kemungkinan pengguna pada saat ramai (menjelang solat Jum'at misalnya) untuk saling berhimpitan menjadi cukup besar, yang mana tentunya akan menimbulkan ketidaknyamanan.

e. Jarak antara posisi berdiri dengan kran

Jarak antara posisi berdiri dengan kran biasanya dipisahkan oleh saluran pembuangan air, yang berdasarkan rancangan Suparwoko memiliki jarak ideal 30 – 40 cm. Sebagian besar fasilitas wudhu yang ada telah memenuhi kaidah ini, hanya ada 3 masjid yang memiliki jarak di atas 40 cm dengan perbedaan ukuran yang tidak terlalu signifikan yaitu antara 3 – 5 cm. dan berdasarkan observasi, perbedaan ukuran ini tidak menjadi masalah.



Hasil Observasi dan Kuesioner

Yang dimaksud dengan observasi di sini adalah proses pengamatan langsung saat para jamaah pengguna menggunakan fasilitas wudhu. Jika pada pembahasan bagian sebelumnya pembahasan dibatasi pada dimensi kran dan komponen dan sekitarnya, namun pada pembahasan hasil observasi pembahasan yang disajikan juga meliputi berbagai aspek lain, sebagaimana akan dipaparkan berikutnya. Untuk mendapatkan hasil analisis ergonomis, maka dibuat penetapan aspek-aspek yang perlu diperhatikan dalam penelitian ini, antara lain:

1. Apakah desain tempat wudhu membuat pengguna dalam posisi yang nyaman pada saat berwudhu (tidak terlalu membungkuk, tangkai keran terlalu pendek, dll)
2. Apakah tersedia sarana untuk meletakkan barang bawaan pengguna pada saat berwudhu
3. Apakah saluran pembuangan air wudhu tersedia dengan baik (tidak memercikkan air terlalu banyak kepada pengguna, ada pembatas, air tidak banyak tergenang)
4. Apakah model desain tempat wudhu memberikan ruang yang memadai agar pengguna merasa nyaman (jarak antar keran)
5. Apakah jamaah dapat dengan mudah mengakses lokasi berwudhu (lokasi yang landai, mudah dicari, terdapat petunjuk arah, dll)
6. Apakah terdapat sarana bantuan untuk menekan tingkat risiko yang bisa terjadi seperti pegangan tangga, karpet karet, tanda peringatan, dll.
7. Apakah tersedia penerangan yang cukup di tempat wudhu

Poin – poin yang disebutkan di atas dianggap cukup mewakili aspek ergonomis pada sebuah model tempat wudhu.

Secara umum, berdasarkan hasil observasi, tidak ada permasalahan yang serius pada desain fasilitas wudhu di setiap masjid, dan berdasarkan wawancara dengan pengurus setiap masjid, ditemukan bahwa belum pernah terjadi kecelakaan fisik serius di tempat wudhu. Dimensi posisi kran yang tidak sesuai dengan standar sebagaimana telah dibahas pada bagian sebelumnya, terlihat tidak terlalu mempengaruhi kecepatan orang-orang yang

berwudhu. Namun dalam sudut pandang kenyamanan dan untuk meningkatkan pelayanan terhadap pengguna, maka ada cukup banyak aspek-aspek yang perlu dilengkapi dan diperbaiki pada fasilitas wudhu di masjid-masjid tersebut. Berikut adalah beberapa poin catatan yang didapatkan dari proses observasi dengan mengacu pada aspek-aspek kenyamanan sebagaimana yang sudah ditetapkan di atas:

- a. Dari 20 masjid yang menjadi objek observasi, hanya ada 6 masjid yang menyediakan tempat /rak barang pengguna yang berada dekat dengan kran wudhu. Orang yang membawa barang berharga dan ukurannya cukup besar, tentunya tidak merasa nyaman untuk meninggalkan barang bawaan tanpa pengawasan, sehingga mereka tetap harus membawa barang selama berwudhu, dan hal ini tentunya mempengaruhi kenyamanan dalam proses wudhu.
- b. Ada 3 masjid yang mana fasilitasnya wudhunya memiliki ruang gerak tidak cukup luas. Sehingga pada saat masjid cukup ramai dan semua kran terpakai, maka orang-orang yang berwudhu terkesan saling berhimpitan antara satu sama lainnya.
- c. Sebagian besar masjid fasilitas wudhunya masih banyak tergenang air, dan hampir tidak ada masjid yang memberikan rambu atau tanda peringatan lantai yang licin di tempat wudhu, namun sebagian besar telah menyediakan alat bantu keamanan seperti pegangan di tangga dan karpet karet di lokasi genangan air.
- d. Semua masjid telah memberikan informasi yang cukup memadai mengenai lokasi tempat wudhu sehingga mudah diakses, walaupun ada 1 masjid di mana lokasi tempat wudhu wanita agak tersembunyi, sedangkan penanda lokasi tidak diberikan secara memadai.

Untuk menunjang hasil analisis berdasarkan observasi, maka dilakukan pengambilan data dari jamaah menggunakan metode kuesioner tentang fasilitas tempat berwudhu di masjid-masjid yang menjadi objek penelitian. Hal yang ditanyakan adalah kepuasan jamaah terhadap aspek-aspek yang telah dipaparkan di atas. Setiap aspek diberi



nilai 1 – 5, di mana nilai 5 menunjukkan bahwa jamaah benar-benar merasa puas dengan fasilitas wudhu yang disediakan. Kuesioner ini dilakukan di setiap masjid kepada para jamaah yang baru selesai melakukan sholat di masjid tersebut. Dari 120 responden, didapatkan data sebagaimana tercantum pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Kuesioner Penilaian Aspek Ergonomi Fasilitas Wudhu

Masjid	Penilaian Aspek (Nilai Rata)							Total Nilai
	1	2	3	4	5	6	7	
Masjid 1	3,5	1,333	0,333	4,157	0,657	2,333	0,667	22,5
Masjid 2	4,167	1,667	4,157	4,157	4,5	3,333	3,667	26,167
Masjid 3	3,433	1,5	4	4,167	4	4,167	4,433	25
Masjid 4	2,167	4	3,167	4,167	4	3,167	3,433	24,5
Masjid 5	3,333	3,333	2,167	3,167	4,167	3,5	3,333	24
Masjid 6	2,333	2	3,157	3	4,333	3,333	3,667	22,333
Masjid 7	3,333	3,5	4	2,557	4,333	3,333	3,5	24,567
Masjid 8	3,167	1,833	3,433	3,167	3,433	2,167	3,667	21,667
Masjid 9	2,167	2,433	3	2,167	4	3,433	2,433	21,433
Masjid 10	3,667	1,5	3	3,167	2,433	3,333	2,667	18,667
Masjid 11	3	1,5	3,5	2,157	4	3	2,333	20
Masjid 12	4,333	3,5	3,557	4,157	3,157	3,333	4,167	26,333
Masjid 13	2,333	3,167	3,557	3,5	3,157	3	3,333	22,567
Masjid 14	4	4,433	3,5	4,433	3,5	3,433	3,167	21,167
Masjid 15	2,433	4,433	3	4,167	2,167	3,167	3,167	21,433
Masjid 16	2,333	1,667	3,5	2,5	4	2,333	3,5	20,333
Masjid 17	3,333	3,667	3,333	2,557	4,333	3	2,333	23,167
Masjid 18	2,567	3	2,557	3,333	3,157	3,5	4	22,333
Masjid 19	2,333	2,167	2,557	2,5	3,433	2,667	3,5	18,333
Masjid 20	4,167	3,433	3,433	2,5	2,167	3,433	3,5	23,433

Dari data hasil kuesioner, menunjukkan kecenderungan yang kurang lebih sama dengan hasil observasi maupun analisis dimensi. Namun secara umum, responden memberikan nilai di atas nilai tengah / mean dari data, sehingga dapat dikatakan bahwa tingkat kesesuaian fasilitas wudhu masjid-masjid di Bandar Lampung terhadap konsep ergonomi sudah cukup baik, walaupun masih banyak perlu perbaikan di masa yang akan datang.

Nilai terkecil dari aspek-aspek penilaian adalah aspek kedua, yaitu keberadaan tempat menaruh barang. Hal ini menandakan bahwa memang mayoritas masjid belum memperhatikan aspek ini. Ada beberapa masjid yang tidak memiliki rak barang khusus namun mendapat penilaian cukup baik dari responden, dikarenakan pada fasilitas wudhu tersebut didapati tempat-tempat yang dapat difungsikan sebagai tempat meletakkan barang bagi sebagian jamaah pengguna, walaupun fungsi asalnya bukanlah sebagai tempat meletakkan barang. Sedangkan aspek yang mendapatkan penilaian tertinggi adalah kemudahan dan kejelasan akses menuju tempat wudhu.

Kesesuaian antara analisis dimensi dengan hasil kuesioner juga tampak di mana masjid dengan dimensi kran yang kurang ideal mendapatkan nilai yang rendah. Begitu pula pada aspek keleluasaan ruang gerak, fasilitas wudhu dengan jarak antar kran yang pendek, dan tidak memiliki ruang gerak yang cukup lapang, juga mendapatkan penilaian yang rendah. Sebagian besar responden juga memandang bahwa lebih baik jika masjid menyediakan lebih banyak alat bantu yang dapat menekan risiko kecelakaan di tempat wudhu, seperti karpet karet dan pegangan di lokasi-lokasi tertentu. Sedangkan penerangan di tempat wudhu tidak terlalu menjadi masalah berdasarkan hasil kuesioner, karena selain sebagian besar tempat wudhu cukup terbuka sehingga terang di siang hari, pihak masjid juga menyediakan lampu penerangan yang cukup memadai untuk aktivitas wudhu di malam hari.

KESIMPULAN

Masjid sebagai tempat ibadah umat Islam di kota Bandar Lampung memiliki peranan penting sebagai fasilitas sosial, dan merupakan salah satu representasi kualitas pelayanan umum kota Bandar Lampung terhadap penduduknya dan para pendatang. Keduapuluh masjid yang dijadikan sampel dalam penelitian ini adalah masjid-masjid yang berada di tengah keramaian kota dengan jumlah jamaah yang relatif banyak, sehingga merupakan representasi dari pelayanan masjid secara umum di kota Bandar Lampung. Dari data yang didapatkan baik melalui analisis dimensi, observasi serta kuesioner dari responden, didapatkan hasil bahwa secara umum fasilitas wudhu masjid-masjid di Bandar Lampung memiliki kesesuaian cukup baik terhadap konsep ergonomi, namun terdapat beberapa catatan terkait dimensi posisi kran, serta kurangnya fasilitas pendukung seperti tempat barang bawaan, karpet karet dan lainnya. Masih ada ruang untuk perbaikan di masa yang akan datang, yaitu dengan memperbaiki desain dengan menggunakan acuan konsep ergonomi, serta melakukan penambahan fasilitas yang dibutuhkan oleh jamaah pengguna.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sinaga, I. A., 2015, “Kriteria Masjid Ideal”, *Prosiding Temu Ilmiah IPLBI*, Manado, available at: <http://temuil ilmiah.iplbi.or.id> diakses pada 20 September 2017
- [2] Mahardika, W., 2013, “Persepsi Masyarakat terhadap Fasilitas Sosial di Kota Tangerang Selatan”, *Skripsi Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan UIN Syarif Hidayatullah*, Jakarta.
- [3] Rosita, Marhanah, S. & Wahadi, W. H., 2016, “Pengaruh Fasilitas Wisata dan Kualitas Pelayanan terhadap Kepuasan Pengunjung di Taman Margasatwa Ragunan Jakarta”, *Jurnal Manajemen Resort dan Leisure* Vol. 13, no 1.
- [4] Suparwoko, W., 2016, “Standar Perancangan Tempat Wudhu dan Tata Ruang Masjid”, *Experiment Findings*, available at <https://www.researchgate.net/publication/289253959> diakses pada 19 September 2017
- [5] Saktiwan,P., 2010, “Perancangan Ulang Tempat Wudhu untuk Lansia (Studi Kasus Panti Wreda Dharma Bakti Surakarta)”, *Skripsi Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret*, available at <http://digilib.unc.ac.id> diakses pada 19 September 2017
- [6] Qurtubi & Purnomo, H., 2015, “Rancangan Tempat Wudhu Duduk Ergonomis”, *Industrial Engineering National Conference Proceeding*, UMS



Perubahan Sifat Mekanik Baja AISI 3215 dengan Besarnya Derajat Deformasi Plastis dan Perlakuan Panas (Heat Treatment)

I Kt Suarsana ¹⁾

¹⁾ Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Udayana
Kampus Bukit Jimbaran, Bali, Indonesia, Telepon (0361) 703321.

Email : ktsuarsana@yahoo.com

Abstract

The plastic deformation process is a process of forming metals where neither the size nor the shape of the metal can return to its original state. Plastic deformation process can be carried out by cold work, is the process of forming metals under the crystallization temperature of the material being worked on. Materials that have undergone a cold process, the metal will undergo changes in mechanical properties both static and dynamic mechanical. To overcome changes or damage to the mechanical properties it is necessary to provide a heat treatment process, this is done to remove the remaining stress (internal stress) and prevent the occurrence of defects, especially dislocation defects in the material. In this study, we discuss about prediction of mechanical properties of toughness at 5%, 10%, 15% and 20% degrees of deformation degrees, then heat treatment 800°C, 850°C, 900°C and 950°C on AISI 3215 low carbon steel. The results showed an increase of low toughness at 800 °C, 5% deformation, toughness value (32,148 kN/mm²) and up to 20% deformation degree, toughness value (42,625 kN/mm²). The degree of deformation affects the toughness of AISI 3215 test material and is seen in the graph of the relationship of the degree of deformation with the toughness.

Keywords: Degree of deformation, heat treatment, toughness

Abstrak

Proses deformasi plastis adalah proses pembentukan logam dimana baik ukuran maupun bentuk dari logam tidak dapat kembali pada keadaan semula. Proses defomrasi plastis dapat dilaksanakan dengan proses pengerjaan dingin (cold work), yaitu proses pembentukan logam dibawah suhu kristalisasi dari material yang dikerjakan. Material yang telah mengalami proses pengerjaan dingin, logam tersebut akan mengalami perubahan sifat mekanis baik mekanis statis maupun dinamis. Untuk mengatasi perubahan atau kerusakan sifat mekanis tersebut maka perlu diberikan proses perlakuan panas (heat treatment), ini dilakukan untuk menghilangkan tegangan sisa (internal strees) dan mencegah terjadinya cacat terutama cacat dislokasi pada material. Pada penelitian ini membahas tentang prediksi sifat mekanik ketangguhan pada porses derajat deformasi yaitu 5%, 10%, 15% dan 20%, selanjutnya masing-masing perlakuan panas 800°C, 850°C, 900°C dan 950°C pada baja AISI 3215 karbon rendah. Dari hasil penelitian menunjukkan terjadi peningkatan dari ketangguhan yang rendah pada temperatur 800°C, deformasi 5%, nilai ketangguhan (32,148 kN/mm²) dan sampai derajat deformasi 20%, nilai ketangguhan (42,625 kN/mm²). Jadi besarnya derajat deformasin mempengaruhi sifat ketangguhan dari material uji AISI 3215 serta terlihat pada hasil grafik hubungan dari besar derajat deformasi dengan sifat ketangguhan.

Kata kunci : Derajat deformasi, heat treatment, ketangguhan

PENDAHULUAN

Pada baja saat ini proses pembentukan logam merupakan suatu proses yang perlu mendapat perhatian khusus. Pembentukan logam umumnya berkaitan dengan perubahan dimensi dan ukuran dari suatu logam yang disebut dengan perubahan permanen (*deformasi plastis*). Proses deformasi plastis adalah proses pembentukan logam dimana baik ukuran

maupun bentuk dari logam tidak dapat kembali pada keadaan semula. Proses defomrasi plastis dapat dilaksanakan dengan proses pengerjaan dingin (*cold work*), yaitu proses pembentukan logam dibawah suhu kristalisasi dari material yang dikerjakan [1]. Suatu material/logam yang telah mengalami proses pengerjaan dingin, logam tersebut akan mengalami perubahan sifat mekanis baik mekanis statis maupun dinamis. Untuk mengatasi perubahan atau kerusakan



sifat mekanis tersebut maka perlu diberikan proses perlakuan panas (*heat treatment*), karena material yang mengalami pengerjaan dingin akan menyimpan sejumlah tegangan sisa (*internal stresses*) karena perubahan bentuk secara permanen dan sebagai akibat terjadinya cacat karena pergeseran struktur pada material (*dislokasi*) [2]. Untuk memperbaiki sifat mekanik itu maka setelah proses perubahan bentuk secara permanen (*deformasi*) dilanjutkan dengan perlakuan panas (*heat treatment*). Proses perlakuan panas (*heat treatment*) ini dilakukan untuk menghilangkan tegangan sisa (*internal stresses*) dan mencegah terjadinya cacat terutama cacat dislokasi pada material. Sifat mekanik yang disebut dengan ketangguhan adalah kemampuan menyerap energi dari suatu material tanpa mengalami kegagalan pada struktur tersebut. Dengan perlakuan material melalui proses perubahan derajat deformasi dan perlakuan panas (*heat treatment*) yang nantinya akan bisa memprediksi sifat mekanik ketangguhan material [4].

Dari hasil-hasil penelitian ilmiah yang ada, tentang hubungan derajat deformasi plastis, perlakuan panas dengan ketangguhan pada umumnya belum begitu banyak yang meneliti, sehingga penelitian ini sangat perlu dilakukan, nantinya diharapkan dapat dijadikan sebagai suatu masukan dalam menentukan perlakuan logam khususnya material-material kandungan karbon rendah.

DASAR TEORI

Perlakuan Panas (Heat Treatment)

Perlakuan panas merupakan proses pemanasan dan pendinginan untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu pada batas kemampuannya. Proses perlakuan panas pada dasarnya terdiri dari beberapa tahapan yaitu : Pemanasan sampai temperatur, penahanan beberapa saat, sehingga temperturnya merata, pendinginan dengan kecepatan tertentu dengan media pendinginya (udara, minyak, air, larutan garam/100% NaOH) [3]. Ketiga hal ini tergantung dari sifat yang diinginkan. Proses *heat treatment* merupakan salah satu proses yang penting dalam perlakuan bagian-bagian mesin. Juga dapat diterapkan pada baja karbon

selain untuk mengeraskan baja dipergunakan serta memperbaiki sifat ketangguhan [6].

Pengerasan Baja

Pengerasan dilakukan untuk memperoleh sifat tahan aus (kekerasan permukaan) dan ketangguhan yang lebih baik. Proses pengerasan dilakukan dengan memanaskan baja ke daerah austenit lalu didinginkan dengan cepat melewati *critical cooling rate* atau batas kritis dari kecepatan pendinginan, dengan pendinginan ini terbentuk martensit yang keras. Struktur kristal martensit berbentuk *Body Centered Tetragonal*. Awal mula terbentuknya struktur kristal yaitu mula-mula austenit yang didinginkan dengan cepat dan dapat mencapai temperatur tanpa terjadi perubahan struktur. Pada temperatur yang rendah austenit mengalami *driving force* berubah dari struktur kristal *face centred cubic* mencapai *body centred cubic*, sehingga menimbulkan pergeseran terhadap atom-atom. Hal ini menyebabkan atom-atomnya sedikit bergeser ke dalam bentuk *body centred cubic* dan tidak dapat terbentuk *Body Centered Tetragonal* karena salah satu rusuk sel satuannya lebih panjang dari yang lain [4]

Bahan Baja Karbon

Baja merupakan paduan Besi-Karbon dengan kandungan karbon (C) berkisar antara 0,025–2%. Pada diagram fase Fe-Fe₃C terlihat bahwa batas garis larutan austenit berawal dari titik 910⁰C untuk besi murni hingga 732⁰C untuk paduan dengan kadar karbon 0,8%, kemudian meningkat terus hingga 1130⁰C untuk paduan dengan kadar karbon 2%. Baja merupakan logam yang paling banyak digunakan sebagai bahan industri. Karena lebih ekonomis dan jenisnya banyak serta sifatnya yang bervariasi tergantung dari perlakuan panas yang diberikan. Juga mudah mendapatkannya, sehingga memudahkan pemilihan baja sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan. Baja memiliki beberapa kombinasi sifat-sifat yang menjadikannya sebagai bahan teknik yang luas penggunaannya. Sifat-sifat penting yang menyebabkan dipilihnya baja karena kekuatan statik, kekuatan dinamik, ulet, mudah diolah,



tahan korosi dan mempunyai sifat elektromagnetik [6].

Kecepatan Pendinginan

Kecepatan pendinginan harus dapat mencapai laju pendinginan kritis (*critical cooling rate*) agar dapat memperoleh struktur yang sepenuhnya martensit. Kecepatan pendinginan yang kurang dari laju pendinginan kritis akan mengakibatkan adanya sebagian austenit yang tidak bertransformasi menjadi martensit tetapi menjadi struktur lain, sehingga kekerasan maksimum tidak akan tercapai. Laju pendinginan yang terjadi pada suatu benda kerja tergantung pada beberapa faktor, terutama : Jenis media pendinginnya, temperatur media pendingin, kuatnya sirkulasi pada media pendingin.

Proses Pengerjaan Dingin (Cold Working)

Suatu proses pembentukan secara plastis terhadap logam atau paduan yang dilakukan di bawah temperatur rekristalisasi merupakan proses pengerjaan dingin (*cold working*) [2]. Proses *cold working* menghasilkan peristiwa pengerasan regangan yakni meningkatnya kekerasan sebagai akibat deformasi plastis. Akan tetapi, efek dari pengerasan regangan tersebut akan menurunkan keuletan suatu bahan. Proses *cold working* menyebabkan berkurangnya deformasi plastik pada pengerjaan berikutnya. Ada beberapa keuntungan dan kerugian suatu logam yang mengalami proses *cold working* [8]

Dislokasi dan Kekuatan Bahan

Dislokasi adalah ketidaksempurnaan susunan atom dalam kristal yang berbentuk garis. Dislokasi dapat dipandang sebagai suatu garis-garis yang tidak teratur pada susunan atom yang disebabkan oleh pergerakan satu grup atom dalam kristal. Dislokasi dapat menimbulkan distorsi pada lattice yang berpusat pada suatu garis. Dislokasi memegang peranan penting dalam penentuan sifat mekanik suatu bahan, dan pada saat bahan mengalami deformasi plastis, dimana sejumlah kecil cacat dapat menyebabkan kristal logam menjadi

bertambah ulet dibandingkan dengan keadaan tanpa cacat. Bila banyak sekali jumlahnya maka cacat ini dapat meningkatkan kekuatan logam. Sewaktu deformasi plastik pergerakan dislokasi terhambat oleh atom-atom yang larut. Hal ini mengakibatkan terjadinya peningkatan kekuatan dan kekerasan.

Deformasi Plastis Pada Kristal Tunggal

Deformasi yang tidak dapat diperoleh kembali saat logam mengalami penarikan atau penekanan melewati batas elastisnya disebut deformasi plastis [4]. Deformasi Plastis ini disebabkan oleh pergerakan yang tetap dari atom atau molekul dari posisi semula dalam lattice, dimana pergerakan ini tidak dapat kembali pada keadaan semula. Deformasi plastis pada kristal terjadi secara twining [5].

Deformasi Slip

Slip menggambarkan pergerakan yang besar pada bagian kristal yang relatif terhadap yang lain sepanjang bidang kristalografi dan dalam arah kristalografi. Slip terjadi bila sebagian dari kristal tergeser relatif terhadap bagian kristal yang lain sepanjang bidang kristalografi tertentu. Bidang tempat terjadinya slip disebut bidang slip (*slip plane*) dan arah pergeserannya pada bidang slip disebut arah slip (*slip direction*). Slip terjadi pada bidang slip dan arah slip yang paling padat atom. Diperlukan energi dengan jumlah yang paling sedikit untuk menggeser atom pada posisi tersebut. Terjadinya Slip dengan cara bergesernya garis dislokasi dapat digambarkan dengan analogi gerakan karpet [4]. Untuk menggeser karpet yang telah digelar di lantai dengan menarik sekaligus tentu akan sangat berat. Akan lebih mudah, bila mula-mula dibuat tekukan pada tepi karpet (analog dengan garis dislokasi) dan mendorong tekukan tersebut hingga mencapai ujung kain dari karpet. Bila slip terjadi ke seberang butir kristal maka slip akan diteruskan ke butir berikutnya dimana arah bidang slip akan berbeda sehingga dislokasi akan tertahan pada batas butir. Diperlukan gaya yang besar untuk membuat slip berikutnya pada bidang yang sama. Oleh



karena itu, logam yang telah mengalami deformasi akan bertambah kuat dan keras [2].

Deformasi Twinning

Apabila suatu bagian dari butir kristal berubah orientasinya sedemikian rupa sehingga susunan atom bagian tersebut akan membentuk simetri dengan bagian kristal yang lain disebut dengan *Twinning*. Ada beberapa perbedaan antara slip dan *twinning*, ditinjau dari jumlah pergerakan, tampak mikroskop, dan orientasi latencinya [2].

Penentuan Derajat Deformasi

Josefh Datsko dalam bukunya, dapat ditentukan melalui prosentasi perubahan luasan (*per-cent reduction of area*) dari material yang mengalami perlakuan penekanan yakni [5] :

$$\% A_e = \frac{A_f - A_o}{A_o} \times 100 \% \dots \dots \dots (1)$$

Dimana:

- A_e = Prosentase pertambahan luas area
- A_f = Luas area setelah penekanan
- A_o = Luas area sebelum penekanan (luas awal)

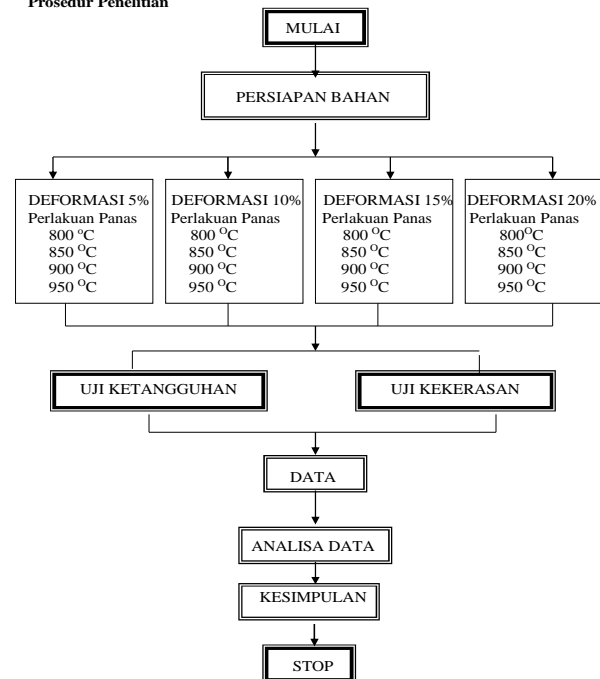
METODA PENELITIAN

Bahan dan Langkah Penelitian

Bahan uji digunakan baja karbon rendah (AISI 3215), dengan komposisi kimia sebagai berikut : C = 0,15 %, Si = 0,30 %, Mn = 0,80%, Cr = 0,90 %, Ni = 1,50 % dan sisanya adalah Fe (besi), alat dapur Pemanas, mesin Press, mesin Pengujian Impact (ketangguhan). Langkah yang dilakukan : Pesiapan material baja AISI 3215, dipotong sesuai dengan ukuran yang ditentukan, Material uji yang telah siap dikerjakan pada mesin Press sesuai dengan derajat deformasi 5%, 10%, 15% dan 20% yang ditentukan pada penelitian, Setelah material selesai dikerjakan pada mesin Press diambil untuk di proses heat treatment, Spesimen yang sudah dibentuk, kemudian dimasukkan kedalam

Dapur pemanas, Pada Dapur pemanas dapat diatur temperatur dari 800°C, 850°C, 900°C dan 950°C dengan masing-masing diholding time 5 menit, Material dikeluarkan dari Dapur pemanas dan dibiarkan di Udara sebagai media pendinginan, Setelah proses tersebut material uji dapat dilakukan pengujian kekerasan dan ketangguhan dengan mesin uji [7]. Spesimen diseting pada mesin uji dan dilakukan pengujian, Data nilai kekerasan dan ketangguhan dapat dibaca dan dicatat dari mesin uji.

Prosedur Penelitian



DATA HAIL PENGUJIAN

Pengaruh derajat deformasi dan perlakuan panas terhadap Ketangguhan

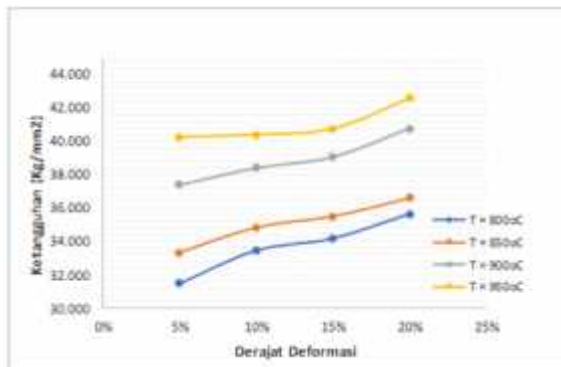
Dari pelaksanaan pengujian ketangguhan yang dilakukan didapat data seperti pada table 1 sebagai berikut :



Tabel.1 Data pengamatan uji ketangguhan (impact test) baja AISI 3215

PERLAKUAN	DERAJAT DEFORMASI			
	5%	10%	15%	20%
PANAS	5%	10%	15%	20%
	800C	850oC	900oC	950oC
	rata-rata	rata-rata	rata-rata	rata-rata

Dari table 1 bahwa data perlakuan panas (*heat treatment*) dan derajat deformasi yang diberikan pada material baja AISI 3215 terlihat pengaruh terhadap sifat ketangguhan bahan. Sifat ketangguhan meningkat yang disebabkan oleh peningkatan temperatur perlakuan panas dari temperatur 800°C, 850°C, 900°C dan 950°C dengan masing-masing diholding time 5 menit. Dimana nilai ketangguhan berturut-turut dari derajat deformasi 5% (32,148 kN/mm²) sampai derajat deformasi 20%(42,625 kN/mm²). Dalam hal ini bahwa proses perlakuan panas mengakibatkan peningkatan ketangguhan pada setiap peningkatan perlakuan. Untuk proses derajat deformasi juga memberikan pengaruh pada ketangguhan disetiap peningkatan derajat deformasi.



Gambar 1 Grafik hubungan ketangguhan dengan derajat deformasi dan perlakuan panas.

Data uji ketangguhan yang didapat selanjutnya dapat diolah dengan program *Microsoft Excel* untuk mencari persamaan regresi dan model regresi yang paling mendekati. Dengan menggunakan *program excel*, maka model regresi yang paling mendekati ketepatan adalah Persamaan Polinomial, dimana untuk perlakuan panas 800° C : $y = -50.4x^2 + 38.948x + 29.759$ pada $R^2 = 0.9775$. Untuk perlakuan panas 850° C : $y = -40.3x^2 + 31.093x + 31.939$ pada $R^2 = 0.9861$. Untuk perlakuan panas 900° C : $y = 70.2x^2 + 4.042x + 37.094$ pada $R^2 = 0.984$. Untuk perlakuan panas 950° C : $y = 172.2x^2 - 28.074x + 41.287$ pada $R^2 = 0.9772$. Dimana : Y = ketangguhan dan x = derajat deformasi.

Pengaruh perlakuan panas dan derajat deformasi terhadap Kekerasan

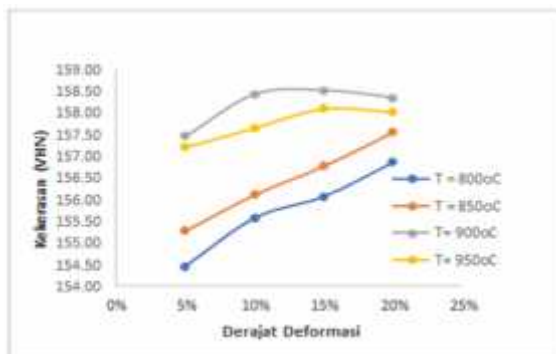
Dari pelaksanaan pengujian kekerasan yang telah dilakukan didapat data seperti pada table 2 sebagai berikut :

Tabel. 2 Data pengamatan uji kekerasan (hardness test) baja AISI 3215.

PERLAKUAN	KEKERASAN (HVN)			
	5%	10%	15%	20%
PANAS	5%	10%	15%	20%
	800C	850oC	900oC	950oC
	rata-rata	rata-rata	rata-rata	rata-rata

Pada tabel 2 bahwa data perlakuan panas (*heat treatment*) dan derajat deformasi yang diberikan pada material baja AISI 3215 memberikan pengaruh terhadap sifat kekerasan bahan. Sifat kekerasan meningkat yang disebabkan oleh peningkatan temperatur perlakuan panas dari: 800°C, 850°C, 900°C dan

950°C. Dimana nilai kekerasan berturut-turut dari derajat deformasi 5% (154.444 VHN) sampai derajat deformasi 20% (158.031 VHN). Dalam hal ini bahwa proses perlakuan panas mengakibatkan peningkatan kekerasan pada setiap peningkatan temperatur. Untuk proses derajat deformasi juga memberikan pengaruh pada sifat kekerasan disetiap peningkatan derajat deformasi.



Gambar 2 Grafik hubungan kekerasan dengan derajat deformasi dan perlakuan panas.

Data uji kekerasan yang didapat selanjutnya dapat diolah dengan program *Microsoft Excel* untuk mencari persamaan regresi dan model regresi yang paling mendekati, maka model regresi adalah : persamaan polinomial pada perlakuan panas 800° C : $y = -33.31x^2 + 23.885x + 153.38$ pada $R^2 = 0.9864$. Untuk perlakuan panas 850° C : $y = -5.8x^2 + 16.546x + 154.47$ pada $R^2 = 0.9986$. Untuk perlakuan panas 900° C : $y = -52.9x^2 + 19.078x + 156.36$ pada $R^2 = 0.974$. Untuk perlakuan panas 950° C : $y = -113.2x^2 + 33.822x + 156.08$ pada $R^2 = 0.9738$. Dimana : Y = kekerasan dan x = derajat deformasi

KESIMPULAN

1. Ketangguhan yang terjadi pada proses heat treatment dan derajat deformasi plastis pada material AISI 3215 memperlihatkan bahwa ada pengaruh dengan meningkatnya temperatur secara jelas, dan dari gambar1 juga menunjukkan terjadi peningkatan ketangguhan dari yang rendah temperatur 800°C, deformasi 5%, ketangguhan (32,148 kN/mm²) sampai derajat deformasi 20%, ketangguhan (42,625 kN/mm²).
2. Kekerasan yang terjadi pada perlakuan *heat treatment* dan derajat deformasi plastis

memperlihatkan bahwa ada berpengaruh secara nyata dengan terlihatnya grafik pada gambar 2, menunjukkan terjadi peningkatan kekuatan dari yang rendah temperatur 800°C, deformasi 5%, kekerasan (154,444 VHN) sampai derajat deformasi 20%, kekerasan (158,081 VHN) dan begitu juga pada temperatur yang lain.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada : Kepala Laboratorium Metalurgi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kepala Laboratorium Metalurgi Institut Teknologi (ITN) Malang dan Kepala Laboratorium Metalurgi Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Lawrence . H. Van Vlack, 1991, *Ilmu dan Teknologi Bahan*. (Ilmu Logam dan Bukan Logam) Penerbit Erlangga Jakarta.
- [2]. Dieter, George E. 1992, *Matalurgi Mekanik* edisi ketiga, Penerbit Erlangga Jakarta.
- [3]. Keenen, at all. 1992, Alih bahasa Hadyana P. Ilmu Kimia Untuk Universitas. Edisi keenam. Jilid 2 Penerbit Erlangga. Jakarta.
- [4]. Askeland Donald R, (1984), *The Science and Engineering of Material*. Hand Book
- [5]. IGAK Suriadi, IK Suarsana, (2007), *Prediksi laju korosi dengan perubahan besar derajat deformasi plastis dan media pengkorosi pada material baja Karbon*, Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CAKRAM 1, 1-8, Badung, Denpasar Bali, Indonesia.
- [6]. AAIAS Komaladewi, IK Suarsana, (2009), *Pengaruh Perlakuan Panas dan Media Pendingin pada Paduan Perunggu 80% Cu-20% Sn terhadap Umur Lelah*, Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakram Vol 3 (1), 33-37, Badung, Denpasar Bali, Indonesia
- [7]. Daniel B, Dallas, *Tool and Manufacturing Engineering* Hand Book



Performansi Tempa Mekanis Pada Proses Pembuatan Bilah Gangsa Salah Satu Perangkat Gamelan Bali

IGN.Priambadi^{1*}, I Ketut Gede Sugita¹

¹Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana

Email : priambadi.ngurah@unud.ac.id

Abstract

Forging is one of the important processes in the work of Balinese gamelan that aims to compact and create a form of gamelan device. Gamelan craftsmen in the forging process are usually done manually, where the way the performance of this wrought material is difficult to control. The use of mechanical forging is expected to help craftsmen in the forging process and deliver better results from their productivity. The performance test of mechanical forging result of gamelan material is seen from time, product fail and productivity of crafters. The results of tests performed on this mechanical forging tool showed an increase in production amounted to 14.9% of failure of forging process decreased 41.1% and processing time decreased significantly.

Keywords: *forging, gamelan, mechanical forging*

Abstrak

Penempaan merupakan salah satu proses penting dalam pengerjaan gamelan Bali yang bertujuan untuk pemadatan serta pembuatan bentuk dari perangkat gamelan. Perajin gamelan dalam proses penempaan biasanya melakukan dengan cara manual, dimana cara ini performansi material tempa sulit dikontrol. Penggunaan tempa mekanis diharapkan dapat membantu perajin dalam proses penempaan dan memberikan hasil yang lebih baik dilihat dari produktivitasnya. Pengujian performansi hasil penempaan mekanis terhadap bahan gamelan ini dilihat dari waktu, produk gagal serta produktivitas perajin. Hasil pengujian yang dilakukan terhadap alat tempa mekanis ini menunjukkan peningkatan jumlah produksi 14,9 % kegagalan proses penempaan mengalami penurunan 41,1 % dan waktu proses mengalami penurunan secara signifikan.

Kata kunci : *penempaan, gamelan, tempa mekanis*

PENDAHULUAN

Produksi gamelan yang dilakukan perajin tidak terlepas dari langkah penempaan yang memang harus dilakukan, mengingat material yang digunakan adalah perunggu yang merupakan paduan dari tembaga (Cu) dan timah putih (Sn).. Sifat dasar dari perunggu adalah keras dan ketika proses pembentukan dilakukan dengan cara pengecoran, maka cenderung munculnya porositas. Porositas yang terjadi pada hasil coran perunggu sebagai bahan dasar membuat gamelan ini tentu tidak akan memberikan suara yang baik. Mencegah terjadinya hal ini, maka perajin gamelan melakukan proses penempaan untuk mendapatkan bahan gamelan yang padat dan terjadinya porositas pada material perunggu lebih sedikit. Proses penempaan yang dilakukan perajin adalah dengan proses panas yang bertujuan untuk melunakkan material perunggu sehingga mudah dalam melakukan proses penempaan. Temperatur material saat proses penempaan dilakukan masih berada di

bawah temperatur kritis dari material yaitu sekitar 300°C. Perajin gamelan dalam proses penempaan masih menggunakan cara-cara tradisional sehingga parameter yang ada seperti waktu, dimensi sulit dilakukan pengontrolan. Akibatnya masih cukup banyak terjadi kegagalan produksi sehingga produktivitas perajin cukup rendah.

Berdasarkan pertimbangan tersebut, maka dalam studi yang dilakukan diterapkan penggunaan alat tempa mekanis yang sederhana dengan tujuan proses penempaan menjadi lebih cepat. Penempaan yang terjadi pada material mendapatkan beban yang merata sehingga bentuk serta dimensi menjadi lebih seragam.. Dimensi alat tempa mekanis yang digunakan dirancang sesuai dengan ukuran dari pengguna sehingga secara ergonomis perajin nyaman dalam pemakainnya. Desain alat kerja yang berbasis ergonomis dapat meningkatkan produktivitas dan dapat mengurangi kegagalan produk serta

mengurangi biaya medis [1]. Penempaan dengan menggunakan mesin forging memberikan hasil yang berkualitas, penggunaan energi dapat diminimalkan serta biaya operasional secara keseluruhan lebih rendah [2]. Penempaan dengan sistem mekanis memberikan perbaikan terhadap kondisi operasi dan mengoptimalkan proses penempaan [3].

METODOLOGI PENELITIAN

Material dasar

Perunggu timah putih adalah merupakan komposisi paduan tembaga (Cu) dengan timah putih (Sn), material ini merupakan bahan dasar dalam pembuatan gamelan yang digunakan oleh perajin. Proses penempaan mekanik setidaknya harus memperhatikan kekuatan dari palu dalam melakukan penempaan, sehingga mendapatkan hasil tempa yang baik dan merata. Hal ini penting karena material yang ditempa difungsikan untuk menghasilkan bilah gamelan dengan suara yang baik. Proses penempaan yang dilakukan dengan memperhatikan parameter serta karakteristik bahan yang digunakan mempunyai kualitas baik tentu dapat mengurangi cacat mekanik yang dihasilkan [4].

Material tempa

Penempaan dilakukan setelah proses pengecoran, dimana bentuk material tempa seperti ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1 Material tempa

Gambar 1 menunjukkan bilah gamelan yang dihasilkan pada proses pengecoran, rata-rata perajin mampu menghasilkan bilah hasil pengecoran dalam 7 jam kerja/hari rata-rata sebanyak 40 batang. Berat masing-masing bilah adalah 1,25 kg dengan dimensi yang berbeda. Bilah tersebut selanjutnya

dilakukan diproses penempaan untuk mendapatkan nadadasar awal sertabentuk sesuai standar gamelan Bali

PROSES PENEMPAAN

Penempaan manual

Paduan perunggu yang sudah berupa bilah gamelan dilakukan pemanasan sampai mencapai temperatur $(300 \div 400)^{\circ}\text{C}$ yang bertujuan agar bilah tersebut lebih lunak sehingga mudah dilakukan penempaan. Proses penempaan yang dilakukan perajin adalah dengan memukulkan palu pada material bilah perunggu sampai mempunyai bentuk sesuai dengan yang diinginkan. Hasil pada proses penempaan secara manual tentu banyak dipengaruhi oleh keahlian, pengalaman serta kondisi perajin serta lingkungan. Penempaan secara manual cenderung memberikan potensi kesalahan yang tinggi [5]. Hasil observasi yang dilakukan di lapangan menunjukkan penempaan yang dilakukan secara manual memberikan kegagalan produk rata-rata sekitar 9 %, kondisi ini tentu memberikan pengaruh secara ekonomi maupun waktu proses. Kegagalan yang terjadi secara visual seperti keretakan, bentuk , kehilangan massa berat. Penempaan manual minimal dilakukan oleh 2 orang perajin dengan tugas satu orang memegang material tempa dan satu orang lagi melakukan penempaan.. Proses penempaan secara manual dapat dilihat sesuai dengan Gambar1.



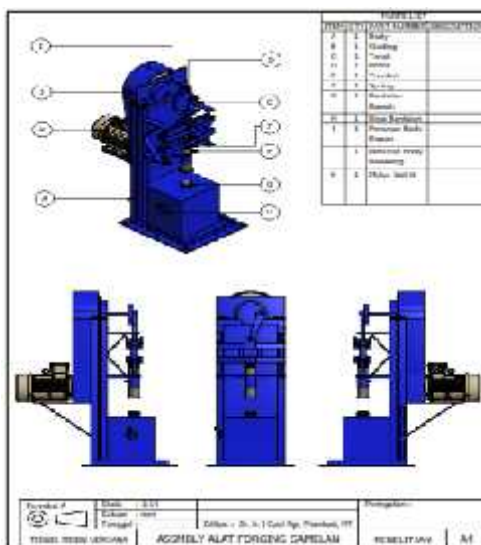
Gambar 2. Proses penempaan manual

Penempaan mekanik

Alat penempaan ini dirancang berdasarkan antropometri perajin, sehingga penggunaannya memberikan manfaat dalam peningkatan produksi serta waktu proses penempaan menjadi lebih singkat. Penerapan mesin penempaan juga memberikan manfaat pada efisiensi dari energi yang dikeluarkan oleh perajin saat bekerja yang akhirnya dapat mengurangi biaya yang dikeluarkan untuk menjaga kesehatan perajin. Rancangan mesin penempaan dapat dilihat pada gambar 3 sebagai berikut :



Gambar 4 Alat dan proses tempa mekanik



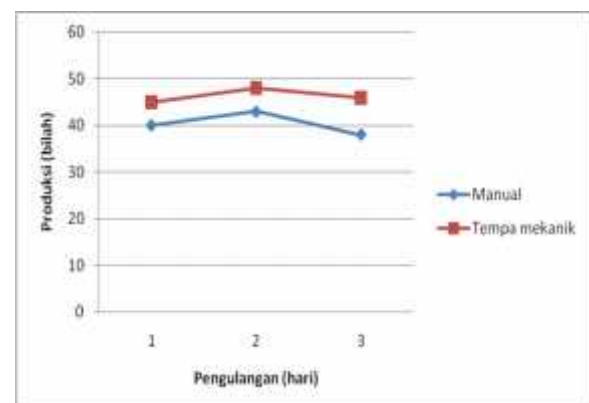
Gambar 3. Rancangan mesin penempaan

Mesin penempaan bekerja digerakkan dengan menggunakan motor listrik daya 420 watt pada putaran 400 Rpm dengan jumlah pukulan 2 kali/detik, beban dampak dari palu/hammer 78,5 N. Dimensi mesin dimana tinggi 1250 mm dengan ketinggian palu/hammer 900 mm, dimensi ini sesuai dengan antropometri dari perajin gamelan.

HASIL PEMBAHASAN

Hasil

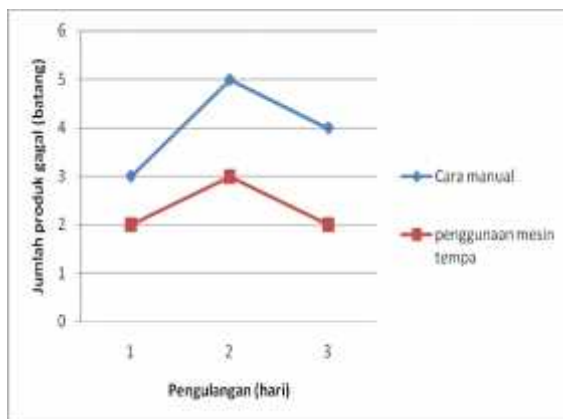
Aplikasi dari mesin penempaan yang diterapkan pada perajin gamelan yang digunakan untuk penempaan bilah gangsa sesuai yang ditunjukkan pada Gambar 3. Berdasarkan pengambilan data jumlah produksi bilah hasil penempaan, dimana dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali pada hari yang berbeda dengan waktu kerja 7 jam dapat ditunjukkan seperti pada Grafik 1 sebagai berikut :



Grafik 1. Jumlah produksi penempaan

Berdasarkan Grafik 1 dapat dikatakan bahwa penggunaan mesin tempa memberikan peningkatan jumlah produksi sebesar 14,9 % dibandingkan dengan proses penempaan cara manual. Kondisi ini tentu memberikan dampak yang positif pada perajin terkait dengan produktivitasnya, sehingga secara ekonomi pendapatan perajin juga mengalami peningkatan. Fenomena beban psikologis perajin dapat dikurangi karena penggunaan tenaga manusia sudah digantikan dengan mesin penempaan yang mempunyai dimensi skala ergonomi.

Kegagalan produksi pada proses penempaan juga berkurang sebesar 41,1 %, hal ini menunjukkan bahwa penggunaan mesin tempa cukup efektif untuk mengurangi kegagalan proses produksi seperti ditunjukkan pada Grafik 2 sebagai berikut :

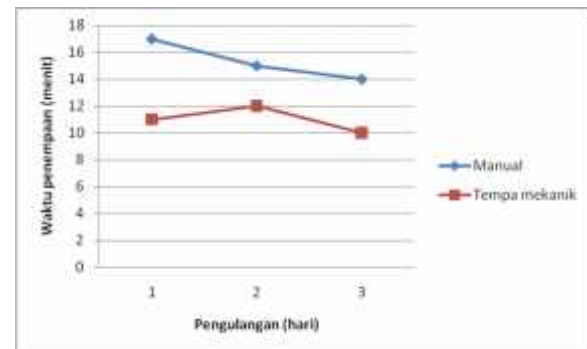


Grafik 2 Jumlah produk gagal

Kegagalan produk pada proses tempa ini terjadi karena keretakan mayor yang diakibatkan ketidakmampuan material tempa ketika menerima gaya. Kondisi ini juga disebabkan karena temperatur peleburan belum cukup untuk dilakukan proses pengecoran, sehingga material menjadi getas. Kegagalan pada proses tempa sangat signifikan memberikan pengaruh secara ekonomi bagi perajin karena produktivitas mengalami penurunan, berpengaruh pada peningkatan biaya produksi.

Waktu proses penempaan dengan cara manual rata-rata 15 menit per bilah sedangkan untuk penempaan dengan alat tempa mekanik rata-rata waktu prosesnya 11 menit. Rata-rata waktu proses penempaan menunjukkan pencapaian tingkat deformasi dilihat dari dimensi yang diharapkan oleh perajin. Dimensi deformasi pada bilah yang terjadi setelah proses penempaan selanjutnya dilakukan proses pembentukan suara gamelan sesuai dengan notasi yang diharapkan. Adapun waktu penempaan dapat ditunjukkan pada Gambar

3 dibawah.



Grafik 3 Waktu penempaan

DISKUSI

Pemanfaatan mesin tempa/*forging* secara umum memberikan pengaruh pada pengurangan waktu proses, peningkatan kualitas mekanis dari material serta menurunkan pengeluaran untuk biaya produksi [7],[8]. Proses penempaan dengan menggunakan mesin serta berlangsung pada proses panas memberikan keuntungan pada perbaikan geometri material yang ditempa, sehingga memberikan kualitas tempa yang baik [9]. Penempaan dengan menggunakan system mekanik memberikan keuntungan yang signifikan pada kecepatan produksi, kualitas penempaan serta dimensi yang seragam [10]. Kontrol proses dalam penempaan sangat penting untuk memastikan kualitas produk yang lebih baik dengan biaya lebih rendah [11]. Proses tempa konvensional dan desain yang kompleks cenderung lebih sensitive terhadap potensi kesalahan [12]

KESIMPULAN

Secara umum penggunaan mesin tempa pengaruh pada peningkatan sifat mekanis material tempa, hal ini terjadi karena beban yang diterima material cukup seragam. Aplikasi mesin tempa juga dapat mengurangi kegagalan produksi yang signifikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S.F. Cogan, R.M. Rose, 1980. Properties of CuSn bronze at 4.2 K. *Cryogenics*. Volume 20, Issue 6, June 1980, Pages 313-318
- [2] Md Israr Eqbal, P. Talukdar, R.K. Ohdar, 2013. Application of optimization techniques in metal forging- A review and reflection. *International Journal of Scientific &*



- Engineering Research, Volume 4, Issue 8, August 2013 ISSN 2229-5518
- [3] Zbigniew Gronostajski, Marek Hawryluk, Marcin Kaszuba, Przemyslaw Sadowski, Slawomir Walczak, Dariusz Jablonski, 2011. Measuring & control system in industrial die forging processes. Science and Technology, page 62 – 69.
- [4] Mahendra G. Rathi, Nilesh A. Jakhade, 2014. An Overview of Forging Processes with Their Defects. International Journal of Scientific and Research Publications, Volume 4, Issue 6, June 2014 ISSN 2250-3153.
- [5] Mladomir Milutinovic, Dragiša Vilotic, Dejan Movrin, 2008. Precision forging- tool concepts and process design. Journal for Technology of Plasticity, Vol. 33 (2008), Number 1-2.
- [6] Jorge Luis García Alcaraz, Alejandro Alvarado Iniesta, Manuel Celso Juárez Castelló, 2012. Benefits of advanced manufacturing technologies. African Journal of Business Management Vol. 6(16), pp. 5524-5532.
- [8] Khaleed Hussain M.T, Samad. Z, A.R.Othman, S.C.Pilli, Salman Ahmed N.J, Irfan Anjum Badruddin, Hakim SS, Quadir GA, A.B. Abdullah, 2009. A Study on Cold Forging Die Design Using Different Techniques. Modern Applied Science. Vol 3 No 3, pp 143-153.
- [9] Vipam Chand , Dr.S.S.Sen, M.S.Sethi, 2014. Taguchi Analysis of Defects for Gears. International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science Volume No.02, Issue No. 08, pp 52 – 59.
- [10] Soo-Young Kim*, Kaoru Tsuruoka, Tadashi Yamamoto, 2014. Effect of forming speed in precision forging process evaluated using CAE technology and high performance servo-press machine. ScienceDirect, Procedia Engineering 81 (2014) 2415 – 2420.
- [11] Zakaria Allam, Eric Becker, Cyrille Baudouin, Régis Bigot, Pierre Krumpipe (2014). Forging process control: Influence of key parameters variation on product specifications deviations . Available online at www.sciencedirect.com ScienceDirect Procedia Engineering 81 (2014) 2524 – 2529.
- [12] Mladomir Milutinovic, Dragiša Vilotic, Dejan Movrin (2008). Precision forging-tool concepts and process design Journal for Technology of Plasticity, Vol. 33 (2008), Number 1-2. P.74 - 88



PENGARUH LAMA WAKTU SINTERING TERHADAP MORFOLOGI HIDROKSIAPATIT (HA) BERBAHAN BATU KAPUR UNTUK APLIKASI PADA TULANG

Agus Hendriyanto^{1,*}, Tri Cahyo Wahyudi², Shirley Savetlana³ dan Irza Sukmana³
¹Jurusan Teknik Industri, STTN Lampung, Jl. Pulau Damar Gg. Sapta Marga, Sukarame,
Bandar Lampung 35131

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Metro, Jl. Ki Hajar
Dewantara No. 116, Kota Metro 34111

³Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Lampung, Jl. Prof. Soemantri
Brojonegoro No. 1, Bandar Lampung 35143

*E-mail koresponden: e-mail@koresponsensi

Abstract

*Damage to human bone tissue can cause impaired body function due to loss of support of the load bearing structure. one of the causes of bone tissue damage is osteoporosis, due to the loss of calcium and phosphate minerals. The type of calcium carbonate content found in limestone or limestone becomes an option in bone fillers with aragonite composition (CaCO_3). The objective of this research is to find out limestone composition in Lampung province as one of the material in human bone filler, which is processed by mixing 5 gr of lime powder, 5.34 gr of sodiumhydrogenphospat ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 * 2 \text{H}_2\text{O}$) and 10 ml of aquades, using Ball Mill tool during 2 hours, into liquid paste further in oven slama 17 hours temperature 80°C , then sintered 600°C 2 hours, 3 hours. Lampung limestones have the same grain boundary criteria as commercial products at 600°C for 2 hours, reinforced with XRD and FTIR diffraction patterns.*

Keywords: Limestone, Hydroxyapatite, Sintered, FTIR, XRD

Abstrak

*Kerusakan pada jaringan tulang manusia dapat menyebabkan gangguan fungsi tubuh karena kehilangan dukunganstruktur penahan beban (load bearing). salah satu penyebab kerusakan jaringan tulangadalah terjadinya osteoporosis,karena kehilangan mineral kalsium dan fosfat. Jenis kandungan kalsium karbonat yang terdapat pada batu kapur atau gamping menjadi pilihan dalam pengisi tulang dengan komposisi aragonit (CaCO_3). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui komposisi batu kapur di provinsi Lampung sebagai salah satu material dalam pengisi tulang manusia, yang di proses melalui pencampuran 5 gr serbuk batu kapur, 5.34 gr natriumhydrogenphospat ($\text{Na}_2\text{HPO}_4*2 \text{H}_2\text{O}$) dan 10 ml aquades, menggunakan alat Ball Mill selama 2 jam, menjadi pasta cair selanjutnya di oven slama 17 jam suhu 80°C ,kemudian disinter 600°C 2 jam, 3 jam. Batu kapur lampung memiliki kreteria batas butir yang sama seperti produk komersial pada suhu 600°C selama 2 jam, diperkuat dengan pola difraksi XRD dan FTIR*

Kata kunci: Batu Kapur, Hidroksiapatit, Sinter, FTIR, XRD

PENDAHULUAN

Secara luas tulang memiliki beberapa fungsi, diantaranya adalah fungsi mekanik, pelindung, *metabolisme* dan fungsi *hematopietik* atau juga berfungsi untuk organ jaringan tulang (sistem rangka tubuh) melindungi bagian penting. Kerusakan pada jaringan tulang dapat menimbulkan kecacatan struktur yang akan menyebabkan gangguan

fungsi tubuh karena kehilangan mineral seperti kalsium dan fosfat. Faktor utama pada implan tulang adalah bahan yang dapat di terima pada jaringan tubuh manusia, serta dapat menyatu dengan kuat dan dapat berfungsi pada jaringan tubuh yang akan diimplan, harus bersifat biokompatibilitas, toksisitas dan memiliki sifat bioaktif seperti hidroksiapatit [1].

Kini penderita pengeroposan tulang tidak



harus membayar mahal untuk melakukan pemulihan pengeroposan tulang dan tidak harus menggunakan produk impor yang bernilai komersil. Ada resolusi untuk pemulihan terhadap pengeroposan tulang dengan menggunakan material batu kapur lokal yang bernilai ekonomis. Metode baru yang di gunakan dalam pengisi tulang, teknologi itu berupa material pengganti tulang dari biokeramik dan hidroksiapatit akan membantu menyembuhkan trapi tulang dan akan menyatu kedalam tulang [2,3].

Penelitian terdahulu menjelaskan pembuatan hidroksiapatit menggunakan kalsium alami sebagai sumbernya, yaitu penggunaan limbah cangkang kerang, cangkang telur, dan koral. Batu gamping adalah jenis batuan yang banyak mengandung kalsium karbonat. Jenis mineral karbonat yang terdapat pada batu gamping yaitu aragonit (CaCO_3) yang banyak mengandung mineral, dimana pada waktu tertentu akan berubah menjadi kalsit (CaCO_3) [3].

Penggunaan batu kapur sebagai *implan* yang digunakan pada tulang dan untuk memperbaiki bagian dari tulang manusia, dengan menggubah batu kapur ke jenis serbuk Hidroksiapatit (Ha) yang terlebih dahulu mencari komposisi kimia supaya menjadi CaO (Margareta, dkk, 2015). Dimana CaO merupakan sarat utama untuk suatu proses pembuatan serbuk, dan harus mencapai rasio Ca/P sebesar 1,67 [4,5]. Serta membentuk susunan kristal yang sama pada hidroksiapatit untuk tulang manusia atau hewan.

Dalam penelitian ini, HA dari bahan batu kapur lokal disinter dengan lama waktu sintering yang bervariasi. Pengaruh lamanya waktu sintering akan dilihat terhadap morfologi HA berbahan batu kapur. Karakterisasi material yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu pengamatan komposisi HA dengan XRD, FTIR, dan pengamatan serbuk dengan SEM-EDX.

Material dan Metode

Pada proses pembuatan hidroksiapatit ini, material yang di gunakan berupa batu kapur dari daerah Lampung, natrium hydrogen fosfat ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$) dengan merk KGaA jerman dan aquades. Untuk menghasilkan material HA tersebut, pertama-tama dilakukan dengan proses pengambilan bongkahan batu kapur di daerah Lampung kemudian batu kapur dicuci menggunakan aquades dan dikeringkan, selanjutnya batu kapur dipecah menggunakan martil untuk mendapatkan kerikil batu kapur, kerikil tersebut keemudian di grinding dengan waktu 30 menit untuk mendapatkan serbuk, selanjutnya serbuk di ayak dengan ukuran $250 \mu\text{m}$ selama 5 menit, sehingga didapatkan serbuk dengan ukuran $250 \mu\text{m}$.

Pada proses pencampuran, diawali dengan menimbang serbuk seberat 5 gr, natrium hydrogen fosfat 5,34 gr, dan aquades 10 ml, kemudian semua bahan dicampur dengan metode pencampuran menggunakan *ball mill* dengan kecepatan 300 rpm selama 2 jam, hasil dari proses *ball mill* berupa pasta basah, lalu di oven dengan suhu 80°C selama 17 jam. Setelah proses *oven*, pasta basa tersebut berubah menjadi pasta kering. Selanjutnya pada pasta kering tersebut dipanaskan atau *sintering* pada temperatur 600°C selama 2 jam dan 3 jam.

Karakterisasi dalam penelitian ini menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (SEM-EDX) dan *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) diharapkan dapat memberikan informasi mengenai karakteristik biokeramik dari batu kapur lokal provinsi Lampung.

Hasil dan Pembahasan

Data XRD

Tabel 1 menunjukkan data XRD serbuk impor, sedangkan Tabel 2 adalah serbuk berbahan dasar batu kapur lokal. Hasil perbandingan kedua pola *X-Ray Diffraction* (XRD) tersebut menunjukkan adanya kesamaan

puncak tertinggi (*peak*) pada daerah 2 (*2 Theta*), sehingga dapat dinyatakan bahwa sebuk batu kapur berbahan lokal dapat digunakan sebagai sumber kalsit (CaCO_3) untuk memproduksi biokeramik hidroksiapatit.

Tabel 2 menguraikan data terinci unsur serbuk HA yang dipanaskan pada temperatur 600°C dengan berbagai variasi waktu selama 2, 3, dan 4 jam. Hasilnya analisa data XRD produk HA lokal untuk puncak sudut 2 adalah 32,26 atau pada kisaran yang sama dengan produk impor. Meskipun demikian, untuk pemanasan pada temperatur 600°C selama 4 jam menunjukkan pola XRD yang sedikit berbeda, dimana puncak 2 adalah 25,86.

Tabel 1. Pola XRD Produk Impor

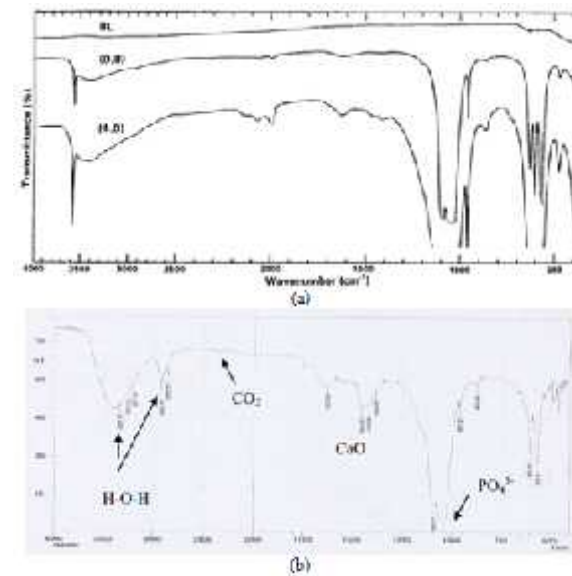
Hap SRM 2910			Hap 200		
2	D(A)	Tinggi (%)	2	D(A)	Tinggi (%)
31,77	2,81	100	31,80	2,81	100
32,18	2,78	53	32,24	2,77	57
32,90	2,72	63	32,92	2,72	61
25,86	3,44	35	25,96	3,43	38

Tabel 2. Pola difraksi serbuk pada temperatur 600°C dengan waktu sinter 2,3, dan 4 jam

Serbuk 600°C 2 jam			Serbuk 600°C 3 jam			Serbuk 600°C 4 jam		
	(Å)	Tinggi (%)		(Å)	Tinggi (%)		(Å)	Tinggi (%)
2.26	.77	00	2.15	.78	00	7.43	.40	00
3.03	.71	5	3.21	.69	1	8.71	.32	.8
4.14	.62	2	4.00	.63	2	9.68	.27	5
4.87	.57	7	5.62	.52	2	1.00	.20	1

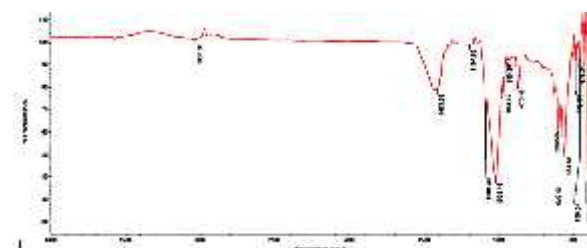
Hasil FTIR (Fourier Transform Infra-Red)

Gambar 1 menunjukkan karakteristik HA produk impor memiliki gugus fungsi pada range $4000\text{-}500\text{cm}^{-1}$ terdapat unsur fosfat (PO_4^{3-}) dengan jarak $1156\text{-}1000\text{ cm}^{-1}$, Pada bilangan gugus hidroksil (OH) dengan jarak $3800\text{-}2600\text{ cm}^{-1}$ dan untuk gugus karbonat (CO_3^{2-}) dengan jarak $1386\text{-}1417\text{ cm}^{-1}$.



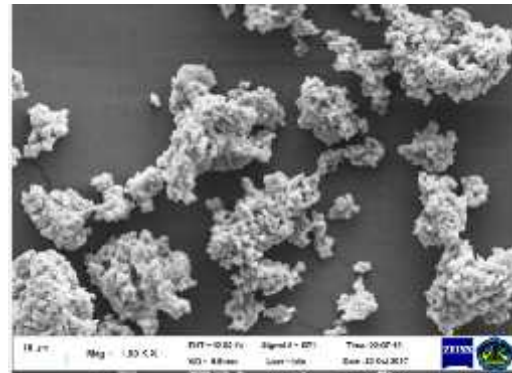
Gambar 1. Pola FTIR HA produk bermerek impor (a) SRM 2910, (b) Hap 200

Gambar 2. Menunjukkan batu kapur lokal yang sudah mengalami proses kalsinasi memiliki peak-peak dengan intensitas yang sangat kuat dengan gugus fosfat (PO_4^{3-}) pada peak $1025,45$, CaO memiliki peak pada $1422,14$, CO memiliki peak $2359,90$, OH memiliki peak $3467,40$ sehingga menyerupai produk impor.



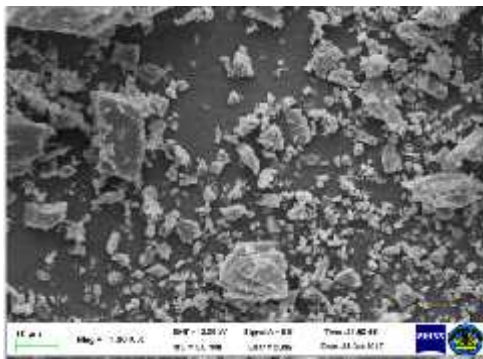
Gambar 2. Hasil FTIR HA lokal

Untuk mendefinisikan gugus fungsi utama paduan pembentuk HA, diantaranya: PO_4^{3-} , CaO , CO_2 , maka dilakukan pengujian FTIR, dimana pada jarak antara 4000 sampai 500 cm^{-1} , puncak grafik produk impor berada pada kisaran interval 1150 cm^{-1} PO_4^{3-} (fosfat), CaO 1410 (kalsium), CO_2 (karbonat) 2350 cm^{-1} . Dari hasil pengamatan pola ftir lokal pada gambar 2, terdapat kemiripan pola FTIR pada gelombang interval dikisaran $1025,45 \text{ cm}^{-1}$ PO_4^{3-} , $1413,59 \text{ cm}^{-1}$ CaO , 2330 cm^{-1} CO_2 ,



Gambar 5. Data SEM serbuk HA yang di sinter pada temperatur 600°C selama 3 jam.

Gambar pola SEM serbuk lokal



Gambar 3. Photo SEM serbuk kapur awal.



Gambar 4. Data SEM serbuk HA yang di sinter pada temperatur 600°C selama 2 jam.

Berdasarkan data hasil pengujian SEM pada Gambar 3 s.d. Gambar 5 di atas, menunjukkan adanya perbedaan bentuk mikrostruktur serbuk batu kapur sebelum kalsinasi dan sesudahnya. Struktur mikro serbuk sebelum kalsinasi menunjukkan adanya penggumpalan (aglomerasi) yang besar atau intensif bila dibandingkan pada serbuk HA yang di sinter pada temperatur 600°C selama 2 jam, dan untuk lama sinter 3 jam menunjukkan struktur serbuk yang lebih halus (*fine*). Meskipun demikian, kedua parameter proses tersebut menghasilkan fasa *aragonite* kalsium karbonat CaCO_3 yang merupakan bahan dasar produksi hidroksiapatit (HA) berbahan lokal.

KESIMPULAN

Berdasarkan Penelitian yang telah dilakukan terkait dengan penggunaan batu kapur sebagai salah satu material terapi tulang, di dapatkan kesimpulan bahwa dalam batu lokal terdapat unsur- unsur kalsium karbonat, yang direaksikan dengan natrium hidrogen posfat dan aquades melalui proses hidrotermal untuk memproduksi hidroksiapatit $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ yang menyerupai produk impor. Berdasarkan hasil pengujian XRD, FTIR dan SEM, batu kapur propinsi Lampung memiliki kualitas yang baik untuk memproduksi HA.



UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Lampung dan Kemenristekdikti atas bantuan finansialnya melalui dana Hibah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Asrizal, A.R., 2014, Closed Fracture 1/3 Middle Femure Dextra, *Mdula Vol.2 Nomor 3*, hlm.
- [2] Jamarun, N., Elfiana, S., Arief, S., Djaman, A., Mufitra., 2016, Hydroxiapatite Material : Synthesis By Using Precipitation Mthod From Limestone, *Der Pharma Chemica*, 8(13): 302-306.
- [3] Kosachan, N., Jaroenworoluck, A., Jiemsiriler, S., Jinawath, S., Steven, R., 2015, Hydroxiapatite Nanoparticles Formd Under a Wet Mechanochemical, *Method, Society For Biom aterial*.
- [4] Margeretha Hana, A.M., Fuad .A., Ilmiawati .A.S., Wonoraharjo .S., 2015, Sintesa Hydroxyapatite ($C_{A10} (PO_4)_6(OH)_2$) Berbasis Btu Kapur, *Vol5 No 1*, hlm.16.
- [5] Noviyanti., Jasarudin., Sujiono .H., 2015, Karakterisasi Kalsium Karbonat ($C_a (CO_3)$) D ari Batu Kap ur Kelurahan Tellu Limpoe Kecamatan Suppa, *Jurnal Sains Dan Pendidikan Fisika*, Jilid 11 Nomor 2, , hlm. 169



PENGARUH UKURAN SERBUK LOGAM HASIL PEMESINAN TERHADAP KUALITAS SINTERING MAGNESIUM AZ31 UNTUK APLIKASI BAUT TULANG

Suef Supriyadi¹, Ika Kartika², Yanuar Burhanuddin¹, Irza Sukmana^{1,*}

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Jl. Prof. Soemantri
Brojonegoro No. 1, Bandar Lampung 35143

²Pusat Penelitian Metalurgi dan Material, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Gedung 470,
Kawasan Puspiptek, Tangerang Selatan - 15314

*Penulis Korespondensi: irza.sukmana@eng.unila.ac.id

Abstrak

Magnesium AZ31 memiliki potensi sebagai implan pengganti bagian tubuh dari manusia karena memiliki kecocokan pada tubuh manusia magnesium bersifat biokompatibilitas. Porositas dan densitas menentukan hasil dari proses sintering, yang dilakukan dengan variasi ukuran serbuk 56 μm , 100 μm , 200 μm , dan 250 μm . yang diharapkan implan dari magnesium dapat luruh dalam tubuh. Pemanasan yang dilakukan dengan temperatur 450° ditahan selama 45 menit kemudian didinginkan pada temperatur ruang dan kompaksi dengan tekanan 300 psi selama 5 menit

Keyword: biomaterial, mampu luruh, biokompatibilitas, sintering, variasi temperatur

PENDAHULUAN

Industri modern banyak menggunakan mesin-mesin produksi dan komponen alat yang maju dengan berbagai modifikasi dan kemampuan aplikasi. Pada setiap operasi manufaktur mesin produksi untuk mendapatkan produk sesuai perancangan, dilakukan proses pemotongan dan penghalusan bahan. Proses permesinan tersebut, dihasilkan dua produk yaitu: produk jadi atau benda kerja dan geram (tatal). Geram (tatal) yang merupakan sisa dari proses pemotongan sampel.

Meningkatnya jumlah bengkel manufaktur di Indonesia biasanya tidak dimanfaatkan atau langsung dibuang. Limbah hasil proses pemesinan tersebut, yang hingga saat ini masih belum banyak dimanfaatkan. Limbah yang digunakan dan dimanfaatkan dari hasil proses permesinan adalah magnesium. Magnesium adalah jenis logam yang memiliki nilai luluh sebesar 700° celcius jenis logam ini banyak digunakan untuk dunia medis karena magnesium memiliki sifat mudah terdegradasi oleh tubuh manusia.

Magnesium aman serta memiliki sifat mudah korosi atau korosif (Gonzalez, 2013). Magnesium yang digunakan dalam penelitian ini adalah AZ31 yaitu memiliki campuran 3 % aluminium dan 1 % zink. Penggunaan magnesium banyak di gunakan dalam berbagai penelitian diantaranya untuk pengganti tulang manusia dalam dunia medis. Jenis material magnesium AZ31 adalah penelitian yang sedang dikembangkan dengan diberbagai pengujian dalam metalurgi serbuk biomaterial. AZ31 adalah jenis material yang sudah diteliti dan akan terus dikembangkan menggunakan berbagai jenis variasi pengujian (Gupta, 2016).

Penggunaan magnesium untuk pengganti tulang manusia harus mengalami beberapa tahapan sebelum dapat digunakan. Pada penelitian yang akan dilakukan tahap pertama yaitu proses penyiapan serbuk magnesium AZ31, pada tahap ini magnesium yang dipakai adalah magnesium hasil pemotongan atau tatal dari proses permesinan tahap pertama yaitu penyiapan serbuk cara yang dipakai untuk mendapat hasil serbuk dari limbah tatal proses permesinan dengan cara digiling dengan mesin



grinding. Serbuk yang telah didapat dari proses pengilingan magnesium kemudian dikompaksi

Dengan mesin penekan untuk memadatkan serbuk didalam *dies*. Dari proses penekanan magnesium didalam die magnesium saling berikatan namun belum semua terikat karena dari proses tersebut harus mengalami proses pemanasan (*sintering*) untuk mendapatkan magnesium yang saling berikatan atau homogen (Hermanto, 2016). Proses pemanasan (*sintering*) tersebut dapat dilakukan dengan dua cara yaitu dengan metode *furnace* dengan menambahkan gas pelindung dan metode *microwave* juga dengan menambahkan gas pelindung didalam proses pemanasannya. Pemanasan magnesium mengakibatkan magnesium saling berikatan serta homogen dari proses tersebut. Penelitian yang akan dilakukan dengan menggunakan serbuk ukuran 56 μm , 100 μm , 200 μm , dan 250 μm pada proses *sintering* yang dilakukan dengan menggunakan gas pelindung untuk melindungi magnesium dari oksidasi pada proses pemanasan didalam *furnace*. Pada pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan komposisi kimia dari logam magnesium AZ31 dengan melakukan uji SEM EDS

1.1. Biomaterial

Biomaterial merupakan suatu alat pengganti serupa yang digunakan dalam perangkat medis dan diharapkan akan berinteraksi pada suatu sistem yang ada dalam tubuh manusia. Biomaterial harus memiliki sifat biokompatibel, yaitu kemampuan material untuk meningkatkan respon ketika dipasangkan dalam aplikasi yang spesifik. Biomaterial digunakan pada komponen yang ditanamkan kedalam tubuh manusia untuk penggantian bagian tubuh yang sakit atau rusak. Material ini haruslah tidak menghasilkan zat beracun dan sesuai dengan jaringan tubuh, misalnya tidak menyebabkan reaksi biologis yang merugikan. Setiap kali material asing dimasukkan kedalam lingkungan tubuh, maka reaksi penolakan akan terjadi yang dapat berdampak iritasi ringan atau peradangan (Ratner, 1996).

Material untuk implan harus bersifat biokompatibel, yaitu harus menghasilkan tingkat penolakan yang minimum didalam tubuh. Produk yang dihasilkan dari reaksi

dengan cairan tubuh harus ditoleransi oleh jaringan tubuh di sekitarnya, sehingga jaringan dapat berfungsi dengan normal. Biokompatibilitas material memperhatikan lokasi dan bentuk implan serta reaksi oleh cairan tubuh. Biokompatibilitas material biasanya ditentukan secara empiris, yaitu dilakukan tes dimana material ditanamkan pada hewan laboratorium dan akan dinilai berdasarkan reaksi penolakan dalam tubuh, tingkat korosi dan zat beracun yang dihasilkan. telah ditemukan relatif biokompatibel pada hewan.

1.2. Macam–Macam Biomaterial

Material yang dipilih untuk digunakan dalam implan ortopedi ditentukan setelah bertahun-tahun penelitian secara kimia dan fisika dari sejumlah material yang berbeda. Idealnya, biomaterial yang dipilih tidak hanya bersifat biokompatibel, namun harus memiliki sifat mekanik yang sesuai, yaitu modulus elastisitas yang rendah, kekuatan mekanik yang sesuai, ketangguhan retak, koefisien gesek yang rendah dan ketahanan aus yang sangat baik antara implan dengan tulang sebagai komponen pengganti. Secara umum biomaterial dikategorikan dalam: jenis logam, keramik, polimer, dan komposit. Kelebihan dan kekurangan masing-masing bahan tersebut adalah sebagaimana Tabel 1.

Tabel 1. Kelebihan dan kekurangan serta aplikasi dari jenis-jenis material.

	Bahan	Kelebihan	Kekurangan	Contoh
1	Logam	Kuat, tangguh, ductile	Dapat terkorosi, berat jenis besar, proses pembuatannya sulit	Tugas sendi, akar gigi buatan, plat dan sekrup tulang
2	Polimer	Kenyal, mudah diproduksi	Tidak kuat, mudah terdeformasi, dapat terdegradasi	Benang bedah, pembuluh darah, sel-sel yang halus, sendi pinggul
3	Keramik	Biokompatibilitas tinggi	Rapuh, tidak kenyal tidak kuat ditekan	Gigi buatan dan tulang buatan
4	Komposit	Kuat dapat disesuaikan bentuknya	Proses pembuatannya sulit	<i>Bone cement</i> , dental resin

METODE PENELITIAN

2.1. Proses Sintering

Sintering merupakan proses pemanasan dibawah titik leleh dalam rangka membentuk fase kristal baru sesuai dengan yang diinginkan dan bertujuan membantu mereaksikan bahan-bahan penyusun baik bahan keramik maupun bahan logam dengan hanya perubahan kecil bentuk partikel. Proses *sintering* akan berpengaruh cukup besar pada pembentukan fase kristal dan volume porositas bahan (Bama, 2011).

Fraaksi fase kristal dan volume porositas yang terbentuk umumnya ditentukan dengan tingkat keterkaitan dan ukuran partikel yang dapat dikontrol oleh variabel proses seperti kepadatan serbuk, temperatur dan waktu *sintering*, serta tambahan unsur paduan. Semakin besar temperatur *sintering*, maka semakin cepat proses pembentukan yang terjadi. Besar kecilnya temperatur juga berpengaruh pada bentuk serta ukuran porositas dan pada struktur pertumbuhan Kristal.

2.2. Pengujian Densitas

Pengujian densitas dilakukan untuk mengetahui massa jenis dari magnesium AZ31 secara aktual. Untuk mendapatkan nilai densitas pengujian dilakukan dengan cara menimbang hasil sintering. Serbuk yang dijadikan parameter pengujian densitas ukuran 56 μm , 100 μm , 200 μm , dan 250 μm .

Pengujian densitas dilakukan dengan dua cara yaitu menimbang di udara bebas dan menimbang didalam cairan *aquades*. ini dilakukan berdasarkan penelitian yang sebelumnya (Hermanto, 2016).

2.3. Pengujian Porositas

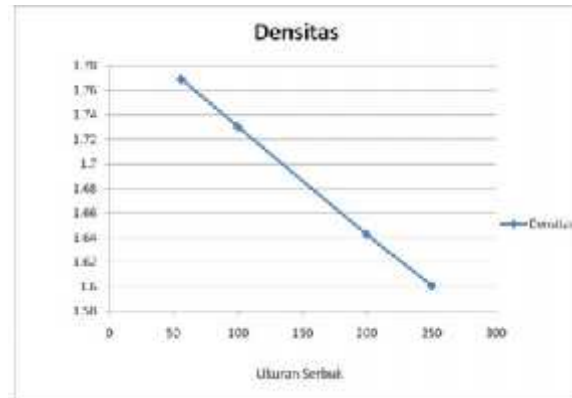
Pengujian Porositas adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kerapatan hasil sintering dari magnesium AZ31 dengan menghitung secara teoritis dan aktual. Parameter yang digunakan dalam pengujian ini dengan ukuran serbuk yang divariasikan yaitu 56 μm , 100 μm , 200 μm , dan 250 μm .

HASIL PENELITIAN

3.1. Pengujian Densitas dan Porositas

Hasil pengujian densitas dan porositas adalah sebagaimana Gambar 1 dan Gambar 2.

$$P_{\text{aktual}} = \left(\frac{m_{\text{kering}}}{m_{\text{basah}}} \right) \cdot P_{\text{air}}$$



Gambar 1. Grafik hasil uji densitas

$$= 1 - \frac{P_{\text{rata-rata aktual}}}{P_{\text{teoritik}}} \times 100 \%$$

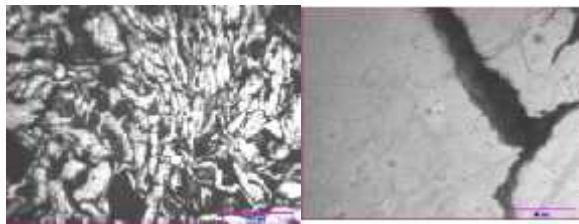


Gambar 2. Grafik hasil uji porositas

3.2. Pengujian Optikal Metalografi

Mikroskop optik adalah sebuah alat untuk mengamati logam, keramik, polimer, atau yang sejenisnya. Pada sampel bahan yang diamati yaitu dengan parameter ukuran serbuk berdasarkan ukuran pengayak. Mikroskop optik untuk membantu dalam mengamati struktur mikro pada permukaan material, kelelahan logam. Mikroskop optik menggunakan metode pencahayaan yang berbeda dibandingkan mikroskop konvensional dan langsung terpantul dan masuk ke layar monitor dan dapat menerangi spesimen yang solid untuk mengidentifikasi,

memeriksa, specimen benda dengan panjang gelombang cahaya mencapai 200 nanometer.



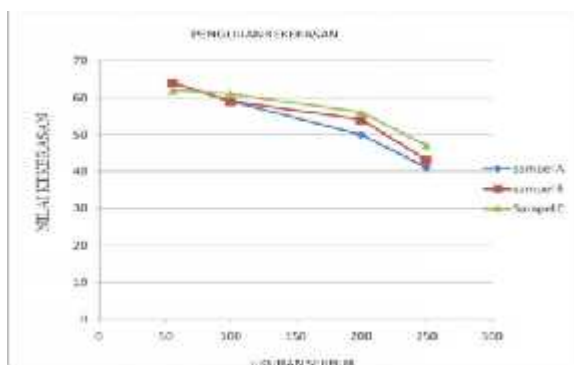
(a) (b)

Gambar 3. Gambar (a) hasil uji mikroskop optik ukuran serbuk 250µm dan Gambar (b) hasil uji mikroskop optik ukuran serbuk 56µm

3.3. Pengujian Kekerasan

Kekerasan didefinisikan sebagai kemampuan suatu material dalam menerima identasi (penekanan). Pada penelitian ini, pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan Metode vickers dengan standar ASTM E10 dan ISO 6506 dengan indenter intan berdiameter 2 mm dengan beban 60 Kg selama 3 detik dan hasilnya dilihat pada layar sebanyak 3 titik lokasi yang berbeda.

$$VHN = 1,854 \frac{F}{\frac{(d_1 + d_2)^2}{2}}$$



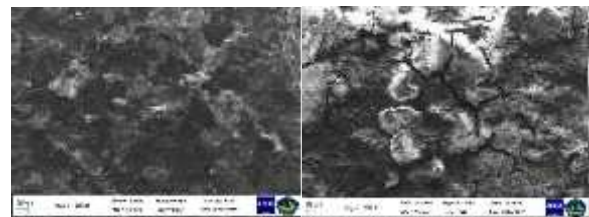
Gambar 4. Grafik hasil uji kekerasan

3.4. Pengujian SEM-EDX

Untuk melihat struktur yang tersusun pada permukaan hasil sintering digunakan alat SEM. *Scanning Electron Microscope (SEM)* EVO® MA 10 adalah sebuah mikroskop elektron yang digunakan untuk melihat permukaan dari sebuah

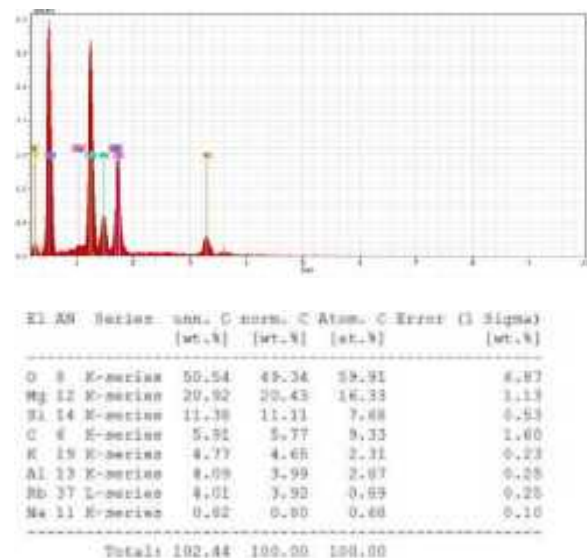
benda solid secara langsung. SEM EVO® MA 10 memiliki perbesaran 10 – 3000000x, *depth of field* 4 – 0.4 mm dan resolusi sebesar 1 – 10 nm.

Dilengkapinya SEM EVO® MA 10 dengan detektor Energy Dispersive X-ray (EDX) memungkinkan dilakukannya mikroanalisis secara kualitatif dan semi kuantitatif unsur-unsur yang terdapat pada titik tertentu.

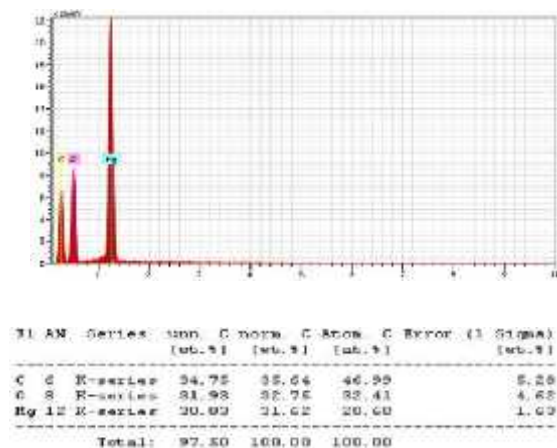


(a) (b)

Gambar 5. (a) hasil uji SEM ukuran serbuk 250µm dan Gambar (b) hasil uji SEM ukuran serbuk 56µm



Gambar 6. Hasil uji SEM-EDX ukuran serbuk 250µm



Gambar 7. Hasil uji SEM-EDX ukuran serbuk 56 μ m

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan untuk mencari nilai densitas untuk mengetahui porositas yang terjadi pada sampel hasil kompaksi yang telah disintering dengan parameter ukuran serbuk yaitu 56 μ m, 100 μ m, 200 μ m, dan 250 μ m, dengan temperatur yang digunakan 400 dan waktu tahan selama 45 menit spesimen didinginkan didalam furnace sampai suhu ruang parameter temperature dan waktu tahan mengacu pada penelitian yang sebelumnya (Hermanto,2016).

Nilai kekerasan pada penelitian ini ditunjukkan pada ukuran serbuk semakin besar ukuran serbuk semakin kecil nilai kekerasan pada magnesium AZ31. Pada proses terjadinya retakan atau poros pada lapisan permukaan yang terjadi di titik yang terkena indenter karena daerah tersebut pada proses difusi dan proses sinter terjadi pemanasan yang cukup untuk membuat matrik dan memperkuat ikatan (Burke. 2011).

Pengujian metalografi yaitu menggunakan mikroskop optik yang dihubungkan pada layar monitor untuk mengetahui batas butir dari material AZ31 yang dipantulkan oleh cahaya dari mikroskop dan ditangkap oleh layar monitor dapat terlihat bahwa rapat atau tidaknya material AZ31, yang telah mengalami proses sinter untuk menyatukan serbuk magnesium dibawah titik leleh (Guo,1998).

Semakin kecil ukuran serbuk, nilai densitas

semakin besar dan nilai porositas dari hasil sintering semakin kecil. Hasil pengujian metalografi dengan mikroskop optik dan SEM menunjukkan batas butir ukuran serbuk 56 μ m lebih terlihat dari pada batas butir ukuran serbuk 250 μ m. Hasil pengujian kekerasan yang dilakukan mendapatkan nilai terendah pada serbuk 250 μ m yaitu 43 HV dan nilai serbuk 56 μ m yaitu 63 HV. Nilai karbon dan oksigen masih terdapat pada ukuran serbuk ukuran 56 μ m dan 250 μ m

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada (P2MM) PUSAT Penelitian Metalurgi dan Material, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Serpong, Tangerang Selatan, dan Laboratorium Biomassa Universitas Lampung. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Kemenristekdikti atas bantuan finansialnya melalui program Hibah Penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bama, Aminuddin.2011. Pengaruh Suhu dan Waktu *Sintering* Terhadap Sifat Bahan Porselin Untuk Bahan Elektrolit Padat (Komponen Elektronik). Chapter 12. Vol 14 Nomer 3(B) 14305.Sumatra Selatan, Indonesia.
- [2] Burke, al., 2011, Processing Parameter and Post-Sintering Operation effects in Magnesium Powder Metallurgy, Canadian Metallurgical Quarterly Volume 50 issue 3, p. 241-245
- [3] German, 1984, Powder Metallurgy Science, USA. Metal Powder Industries Federation.
- [4] Gonzalez, S.2013. Biodegradation And Mechanical Integrity Of Magnesium And Magnesium Alloys Suitable For Implants Chapter.12
- [5] Gupta, Manoj. 2015.. Development Of high – Performance Quaternary LPSO Mg-Y-Zn-Al Alloys By Disintegrated Melt Deposition Technic.Material & Design 83 (2015) 443-450. Singapur.
- [6] Guo, S.J.,1998, *Powder Sintering Theory*, Metallurgical Industry Press, Beijing.
- [7] Hermanto, Asep.2016. Peluang dan Tantangan Aplikasi Baut Tulang Mampu Terdegradasi Berbasis Logam Magnesium. Dinamika Teknik.Vol 6. Bandar Lampung.



- [8] Ratner, Buddy D. 1996 Biomaterials Science-an Introduction to Material. Academic Press. United States Of America
- [9] Sujatno, Agus. 2015. Studi Scanning Electron Microscopy (SEM) Untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium. Jurnal Forum Nuklir (JFN), Volume 9, Nomor 2, November 2015.
- [10] Syanur, Nanda. 2015. Preparasi dan Karakterisasi Mekanik Paduan Logam Mg-Ca-Zn Berpori di (P2MM) PUSAT Penelitian Metalurgi dan Material Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia Serpong, Tangerang Selatan.



Proses Produksi dan Pemanfaatan Pewarna alami Antosianin Kulit Melinjo Merah Pada Makanan dan Minuman

Raskita Saragih^{1,*}, Ermiziar, T.², Latifa Hanum Lalasari³, Yuli Amalia Husnil⁴

¹Jurusan Teknologi Industri Pertanian, Institut Teknologi Indonesia, Jl. Raya Puspiptek-Serpong Tangsel-15320. E-mail koresponden: raskitasaragih@yahoo.com

²Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Indonesia, Jl. Raya Puspiptek-Serpong Tangsel 15320 *E-mail koresponden: ermitarmizi@gmail.com

³Jurusan Metalurgi dan Material, LIPI, Kawasan Puspiptek GD, 470 Tangerang Selatan 15314.E-mail koresponden Ifa_sari@yahoo.com

⁴Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Indonesia, Jl Raya Puspiptek-Serpong Tangsel 15320. E-mail koresponden : yuli.husnil@gmail.com

Abstrak

Industri pengolahan untuk hasil samping (by product) kulit melinjo masih terbatas, pada hal potensi ketersediaan bahan baku sangat besar dan dapat dimanfaatkan sebagai pewarna pangan alami. Pigmen antosianin sebesar 600,01 mg/dalam 100 g bahan, yang diekstrak dari kulit melinjo warna merah memiliki potensi sebagai food additive yaitu sebagai pewarna alami pada makanan dan minuman (Ermiziar, dkk, 2016) Penerapan teknologi tepat guna dan memanfaatkan antosianin sebagai pewarna alami pada makanan dan minuman adalah tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian. Ekstraksi antosianin dilakukan dengan cara maserasi kulit melinjo selama 48.jam dalam pelarut bioetanol dengan perbandingan 1:5 dan tambahan asam sitrat sebesar 5%. Pewarna antosianin yang ditambahkan pada makanan seperti agar-agar dan butter cream masing-masing sebesar 100, 150, 200, 250 dan 300 ppm. Pada yoghurt dan syrup formulasi antosianin yang ditambahkan sebesar 5,6,7,8,dan 9%. Penambahan antosianin sebesar 300 ppm pada agar-agar dan 150 ppm pada butter cream memberikan hasil warna yang terbaik. Minuman yoghurt dan syrup dengan warna terbaik pada penambahan antosianin sebesar 9%.

Keywords: Antosianin, kulit melinjo merah, butter cream dan yoghurt

PENDAHULUAN

Saat ini fokus pengolahan tanaman melinjo masih pada daging buah yaitu untuk produk emping. Industri pengolahan untuk hasil sampingnya (*by product*) kulit melinjo masih terbatas, pada hal potensi ketersediaan bahan baku sangat besar dan dapat dimanfaatkan sebagai pewarna pangan alami (500 ton pertahun untuk produksi emping dan sebanyak itu kulit melinjo terbuang, Koran Banten 2009). Teknologi sederhana dan tepat guna untuk proses produksi antosianin juga sudah diteliti dan proses ekstraksi menggunakan bioetanol dapat memproduksi antosianin. Penggunaan bioetanol dipilih karena aman untuk makanan dan tidak berbahaya bagi kesehatan Hasil penelitian Ermiziar dkk, 2016, menyebutkan bahwa kulit melinjo mengandung pigmen antosianin sebesar 600,01 mg/100 g.

Penelitian bertujuan untuk menerapkan teknologi sederhana dan tepat guna pada proses ekstraksi antosianin kulit melinjo serta memanfaatkan antosianin sebagai pewarna alami pada makanan dan minuman. Pewarna antosianin diaplikasikan pada makanan agar-agar dan *butter cream*. Pada minuman dipilih minuman yoghurt dan syrup.

Penggunaan tambahan makanan seperti pewarna diperbolehkan dengan tujuan

1. Mempertahankan nilai gizi makanan
2. Untuk mempertahankan mutu atau untuk memperbaiki sifat organoleptiknya sehingga tidak menyimpang dari sifat alaminya
3. Untuk keperluan pembuatan, pengolahan, penyediaan, perlakuan, pewadahan, pengemasan, pemindahan atau pengangkutan. (Menkes RI, 1988)

METODE PENELITIAN

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah pewarna antosianin dari kulit melinjo warna merah. Bahan makanan yang diuji antara lain agar-agar dan *butter cream*, untuk minuman dipilih minuman yoghurt dan syrup. Alat yang digunakan blender, evaporator, *food processor* dan alat-alat analisis lainnya.

Kulit melinjo warna merah disortasi dan dicuci bersih, kemudian dihaluskan menggunakan blender dan selanjutnya dimaserasi dalam pelarut bioetanol selama 48 jam dengan perbandingan 1:5 serta ditambahkan asam sitrat sebesar 5%. Kemudian disaring dan untuk memperoleh filtrat atau hasil ekstrak berupa antosianin. Selanjutnya hasil ekstrak dievaporasi menggunakan rotary evaporator. Hasil ekstrak seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Hasil Ekstrak Pewarna Antosianin

Rancangan percobaan menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK). Pewarna antosianin ditambahkan pada agar-agar dan *butter cream* bervariasi mulai dari 100 ppm, 150 ppm, 200 ppm, 250 ppm dan 300 ppm. Pada minuman yoghurt dan syrup antosianin yang digunakan masing-masing sebesar 5,6,7,8 dan 9%. Indikator penelitian uji mutu organoleptik meliputi warna, aroma dan rasa menggunakan skala hedonik mulai dari sangat tidak suka sampai dengan sangat suka dengan skala nilai mulai dari 1 hingga 5. Panelis semi terlatih dan jumlah panelis yang digunakan sebanyak 40 orang. Penambahan pewarna antosianin pada agar-agar, 100 ppm diberi kode 241, 150 ppm kode 202, 200 ppm dengan kode 073, 250 ppm kode 134 dan 300 ppm kode 025. Untuk *butter cream* 50 ppm dengan kode 245, 100 ppm kode 204, 150 ppm kode 074, 200 ppm kode 132 dan 250 ppm kode 021.

Penambahan antosianin pada minuman yoghurt sebesar 5% diberi kode 188, 6% kode 285, 7% kode 350, 8% kode 582 dan 9% dengan kode 610. Demikian juga pada syrup penambahan 5% dengan kode 566, 6% kode

312, 7% kode 418, 8% kode 106 dan 9% kode 207.

Uji aktivitas antioksidan dilakukan pada contoh antosianin yang akan ditambahkan pada makanan dan minuman menggunakan metoda DPPH.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penambahan Antosianin Pada Warna Agar-Agar dan Butter Cream

Hasil uji aplikasi pewarna antosianin pada agar-agar sebanyak 300 ppm, dapat dilihat pada Gambar 2. Gambar 3 hasil aplikasi sebanyak 150 ppm pada *butter cream*. Hasil sidik ragam uji kesukaan warna pada agar-agar dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 2
Agar-agar dengan Pewarna Antosianin



Gambar 3
Butter Cream dengan Pewarna Antosianin

Tabel 1. Hasil Sidik Ragam Penambahan Antosianin

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	F.Hit	F.Tab. 05	01
Perlakuan	4	39,47	98,67	141**	2,37	3,32
Kelompok	39	36,32	0,93			
Galat		156	107,73	0,70		
Total	199	183,52	100,31			

Ket : ** = Berbeda sangat nyata

Tabel 1. Menunjukkan bahwa perlakuan penambahan pewarna antosianin pada agar-agar berbeda sangat nyata. Oleh karena itu perlu dilakukan uji lanjut Duncan untuk mengetahui pengaruh perbedaan penambahan pewarna antosianin. Hasil uji lanjut Duncan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji DMRT Penambahan Antosianin Pada Warna Agar-agar

Perlakuan	Rata-rata	Notasi
202	2,60	a
241	2,85	a
073	3,10	b
134	3,53	c
025	3,83	c

Dari Tabel 2 diketahui bahwa penambahan warna memberi efek yang berbeda, penambahan pewarna antosianin sebesar 300 ppm, memperoleh nilai tertinggi 3,83 dan warna terbaik. Penambahan antosianin tidak mempengaruhi aroma dan rasa agar-agar. Artinya penambahan 300 ppm antosianin juga memberi nilai terbaik dari segi aroma maupun rasa.

Pada Tabel 3 dapat dilihat Hasil sidik ragam penambahan antosianin pada warna butter cream.

Tabel 3. Hasil Sidik Ragam Penambahan Antosianin Pada Warna *Butter Cream*

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	F.Hit	F.Tab. 05	01
Perlakuan	4	27,28	6,82	10,65**	2,37	3,32
Kelompok	39	65,76	1,69			
Galat	156	100,72	0,64			
Total	199	193,76	9,15			

Ket : ** = Berbeda sangat nyata

Tabel 3 menjelaskan bahwa perlakuan penambahan pewarna antosianin dari ekstrak kulit melinjo berpengaruh sangat nyata pada kesukaan warna *butter cream* yang dihasilkan. Uji lanjut Duncan perlu dilakukan untuk mengetahui perbedaan nilai tengah antar perlakuan. hasil uji lanjut Duncan (DMRT), dapat dilihat pada Tabel 4.

Penambahan antosianin sebanyak 150 ppm memperoleh nilai tertinggi 3,87, walau secara statistik tidak berbeda dengan penambahan 200 ppm. Namun untuk efisiensi maka yang dipilih adalah penambahan 150 ppm. Penambahan antosianin tidak mempengaruhi aroma dan rasa *butter cream*, dengan demikian penambahan 150

ppm terbaik digunakan untuk pewarna pada *butter cream*.

Tabel 4. Hasil Uji DMRT Penambahan Antosianin Pada Warna *Butter Cream*

Perlakuan	Rata-rata	Notasi
245	2,85	a
021	3,25	a
204	3,65	a
132	3,70	b
074	3,87	b

Penambahan Antosianin Pada Warna Minuman Yoghurt dan Syrup

Hasil uji penambahan pewarna antosianin pada minuman yoghurt dan syrup dengan konsentrasi 5,6,7,8 dan 9%, dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4. Hasil sidik ragam uji kesukaan warna pada Yoghurt dan syrup seperti pada Tabel 5 dan 6.



Gambar 3. Minuman Yoghurt dengan pewarna Antosianin



Gambar 4. Minuman Syrup dengan pewarna Antosianin



Tabel 5. Hasil Sidik Ragam Penambahan Antosianin Pada Warna Yoghurt

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	F.Hit	F.Tab. 05	01
Perlakuan	4	8,02	2,01	3,37**	2,37	3,32
Kelompok	39	39,75	1,02			
Galat	156	92,79	0,59			
Total	199	193,76	9,15			

Ket : ** = Berbeda sangat nyata

Tabel 5. Menunjukkan bahwa perlakuan penambahan pewarna antosianin pada yoghurt berbeda sangat nyata. Perlu dilakukan uji lanjut Duncan (DMRT) untuk mengetahui pengaruh penambahan pewarna antosianin. Hasil uji lanjut Duncan dapat dilihat seperti pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Uji DMRT Penambahan Antosianin Pada Warna Yoghurt

Perlakuan	Rata-rata	Notasi
188	3,02	a
285	3,09	ab
350	3,15	a
582	3,19	c
610	3,23	c

Dari Tabel 6 diketahui bahwa perlakuan 285 berbeda dengan perlakuan 582 dan 610, namun perlakuan 582 sama dengan 610. Artinya penambahan 8% atau 9% pewarna antosianin memberikan dampak yang sama pada warna yoghurt. Penambahan 9% pewarna antosianin pada yoghurt memiliki nilai tertinggi sebesar 3,23. Penambahan pewarna tidak mempengaruhi aroma dan rasa yoghurt. Dengan demikian penambahan 9% pewarna antosianin memberikan nilai terbaik (3,23).

Hasil uji sidik ragam penambahan pewarna antosianin pada sirup dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Sidik Ragam Penambahan Antosianin Pada Warna Sirup

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	F.Hit	F.Tab. 05	01
Perlakuan	4	29,32	7,33	17,46**	2,37	3,32
Kelompok	39	40,32	1,03			
Galat	156	65,48	0,42			
Total	199	135,12	8,78			

Ket : ** = Berbeda sangat nyata

Tabel 7 menjelaskan bahwa perlakuan penambahan pewarna kulit melinjo warna merah berpengaruh sangat nyata pada kesukaan warna sirup yang dihasilkan. Uji lanjut Duncan perlu dilakukan untuk mengetahui perbedaan nilai tengah antar perlakuan. Hasil uji lanjut Duncan (DMRT), dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Uji DMRT Penambahan Antosianin Pada Warna Sirup

Perlakuan	Rata-rata	Notasi
566	2,40	a
312	2,50	a
418	2,60	ab
106	2,73	b
207	2,90	b

Nilai tertinggi 2,90 pada perlakuan 207, namun hasil uji statistik menjelaskan bahwa perlakuan 207, sama dengan 106 dan 418 dalam hal kesukaan warna. Jadi penambahan 9% pewarna antosianin memberi nilai tertinggi pada warna sirup.

Hasil uji aroma dan rasa minuman yoghurt dan sirup menyatakan bahwa penambahan sebanyak 9% pewarna antosianin adalah hasil yang disukai.

Dalam penelitian ini juga diuji nilai aktifitas antioksidan antosianin yang akan digunakan. Dengan metoda DPPH diperoleh nilai aktifitas antioksidan adalah sebesar 8050 ppm.

Warna pangan dapat digunakan sebagai indikator kesegaran produk. Warna agar-agar yang ditambahkan antosianin sebanyak 300 ppm adalah terbaik dan memberi kesegaran dan warna cerah pada agar-agar. Pengolahan agar-



agar dan pencampuran pewarna antosianin setelah agar-agar matang menyebabkan warna agar-agar jadi seragam dan merata. Dalam penelitian ini juga dicobakan penambahan antosianin pada bolu kukus, namun karena proses pengolahan bolu kukus menggunakan uap panas suhu 100⁰C maka pewarna antosianin tidak tahan panas dan terjadi degradasi warna sehingga menyebabkan warna yang ditambahkan pada bolu kukus tidak merata dan seragam.

Penambahan antosianin pada *butter cream*, warna terbaik dengan menambahkan 150 ppm. *Butter cream* yang digunakan sudah siap pakai dan tidak mengalami pengolahan sehingga ketika ditambahkan 150 ppm sudah memberi warna yang merata dan seragam. Bahan dasar *Butter cream* juga dari minyak atau lemak dimana sesuai sifat antosianin lebih stabil pada bahan yang mengandung minyak atau lemak.

Jika dibandingkan antara minuman yoghurt dengan sirup, maka pewarna antosianin lebih stabil dan lebih merata pada yoghurt. Suasana atau sifat asam dari minuman yoghurt menyebabkan pewarna antosianin lebih stabil.

KESIMPULAN

Antosianin dapat diproduksi dari kulit melinjo warna merah menggunakan metoda maserasi selama 48 jam, menggunakan pelarut bioetanol perbandingan 1:5 dan penambahan asam asetat 5%. Antosianin dapat dimanfaatkan sebagai pewarna alami pada makanan dan minuman. Pewarna pangan ini dapat diaplikasikan pada makanan seperti pada Agar-agar dan *butter cream*, dan pada minuman yoghurt dan sirup. Penambahan pewarna antosianin sebanyak 300 ppm pada agar-agar dan 150 ppm pada *butter cream*, memberi warna yang disukai dan terbaik. Pada minuman yoghurt dan sirup warna terbaik dengan penambahan pewarna antosianin sebanyak 9%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih untuk Kemenristek Dikti yang mendukung dalam pendanaan Penelitian,

Hibah Unggulan Perguruan Tinggi, Tahun pendanaan 2017/2018. Terima kasih juga untuk LP3M ITI yang memberi ijin melaksanakan penelitian, Terima kasih untuk Kaprodi dan Laboratorium TIP yang memfasilitasi pelaksanaan penelitian. Terima kasih tak terhingga untuk Baldah dan Mutia yang membantu pengumpulan data penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Cahyadi, W. Analisa dan Aspek Kesehatan Bahan Tambahan Pangan. Jakarta. Bumi Aksara. Jakarta. 2006
- [2] Ermiziar, T; Raskita Saragih dan Latifa Hanum. Pengembangan Pewarna Food Grade pada Makanan dan Minuman dari Isolasi Pigmen Antosianin Kulit Melinjo Warna Merah. Laporan Penelitian hibah Bersaing Institut Teknologi Indonesia. Serpong. 2015.
- [3] Ermiziar, T; Raskita Saragih dan Latifa Hanum. Pengembangan Pewarna Food Grade pada Makanan dan Minuman dari Isolasi Pigmen Antosianin Kulit Melinjo Warna Merah. Laporan Akhir Penelitian hibah Bersaing Institut Teknologi Indonesia. Serpong. 2016.
- [4] Koran Banten, Emping Banten Dieksport 500 ton pertahun. www.koran.banten.com. Diakses pada tanggal 23 Desember 2009..
- [5] Menteri Kesehatan RI. Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 722/Menkes/Per/IX/1988, Tentang Tambahan Bahan Makanan. Diakses tgl 01 Oktober 2017



Energi dan Kontruksi Mesin



Peningkatan Kinerja Termal Heat Pipe dengan Hybrid Nanofluid

Wayan Nata Septiadi^{1,2*}, I K G Wirawan¹, I G K Sukadana¹, Nandy Putra³
Gemilang Ayu Iswari⁴

¹Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Udayana
Kampus Bukit Jimbaran Badung-Bali

²Laboratorium Perpindahan Panas Teknik Mesin Universitas Udayana

³Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Indonesia
Kampus Baru UI-Depok

⁴Mahasiswa S1 Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana

*E-mail koresponden: wayan.nata@gmail.com

Abstract

Heat Exchanger is mainly used in process industries, power plant, transportation, electronics etc. The heat transfer performance of single phase heat transfer fluids, in general, is very poor due to the low values of their thermal conductivity. Therefore, one possible route is the use of a two-phase heat exchanger system and increase the thermal conductivity of the working fluids with the addition of solids such as metals having higher thermal conductivity. The heat pipe is a two-phase heat exchanger which one of its performance is highly influenced by working fluid. Improved heat pipe thermal performance is carried out through the use of hydride working fluid based on water. Hybrid nanofluids were synthesized using metal-oxide nanoparticles of 20 nm dispersed in a water-based fluid using an ultrasonic processor. Hybrid nanofluids 0.1%, 0.3%, 0.5%, 0.7% and 0.9% volume fractions were injected in straight heat pipes and cascade straight heat pipe with sintered powder wick. Increasing the thermal conductivity of CuO-Al₂O₃-Water hybrid nanofluid is 42.8% higher than water and has a significant impact on decreased of heat pipes thermal resistance, both straight heat pipe and cascade straight heat pipe.

Keywords: heat pipe, thermal performance, hybrid nanofluids, thermal conductivity.

Abstrak

Alat penukar kalor merupakan teknologi yang banyak digunakan di industri, power plant, transportasi bahkan teknologi elektronika dan lain lain. Perpindahan panas fase tunggal terkadang tidak mampu mengatasi permasalahan termal yang terdapat pada teknologi, hal ini karena fase tunggal memiliki kemampuan perpindahan panas yang rendah karena konduktivitas termalnya yang rendah. Salah satu cara yang mungkin adalah penggunaan sistem penukar kalor dua fase serta meningkatkan konduktivitas termal fluida kerja dengan penambahan zat padat seperti logam yang memiliki nilai konduktivitas termal yang lebih tinggi. Heat pipe merupakan sistem penukar kalor dua fase yang salah satu kinerjanya sangat dipengaruhi oleh fluida kerja. Peningkatan kinerja termal heat pipe dilakukan melalui penggunaan fluida kerja hybrid nanofluida berbasis fluida dasar air. Hybrid nanofluida disintesa dengan menggunakan nano partikel oksida logam berukuran 20 nm yang didispersikan pada fluida dasar air dengan menggunakan ultrasonik prosessor. Hybrid nanofluida dengan fraksi volume 0.1%, 0.3%, 0.5%, 0.7 % dan 0.9% diinjeksikan pada straight heat pipe dan cascade straight heat pipe bersumbu kapiler sintered powder. Peningkatan konduktivitas termal hybrid nanofluida CuO-Al₂O₃-Air sebesar 42.8% dari fluida konvensional air berdampak signifikan terhadap penurunan hambatan termal heat pipe, baik straiht heat pipe maupun cascade straight heat pipe.

Keywords: heat pipe, kinerja termal, hybrid nanofluid, konduktivitas termal.



PENDAHULUAN

Alat penukar kalor banyak digunakan dalam banyak aplikasi teknik, seperti industri kimia, power plant, industri makanan, teknik lingkungan, pengolahan limbah, pengkondisian udara, radiator mobil dan pendinginan[1]. Berbagai upaya telah dilakukan untuk meningkatkan laju perpindahan panas pada alat penukar kalor guna mempercepat perpindahan panas dan meningkatkan efisiensi energi. Meskipun berbagai teknik telah diterapkan untuk meningkatkan perpindahan panas, upaya tersebut seringkali dibatasi oleh konduktivitas termal yang rendah dari fluida kerja serta mekanisme perpindahan panas satu fasa, dimana hal tersebut membatasi peningkatan kinerja dan kekompakan alat penukar kalor[2]. Dengan meningkatnya permintaan teknologi modern untuk miniaturisasi perangkat teknologi, timbul kebutuhan untuk mengembangkan jenis teknologi penukar kalor dua fasa dengan fluida kerja baru yang memiliki konduktivitas termal yang tinggi yang akan berdampak pada perpindahan panas yang lebih efektif dalam hal peningkatan kinerja termal alat penukar kalor[3].

Heat pipe merupakan alat penukar kalor yang menggunakan prinsip dua fasa serta bersifat pasif yakni dalam sirkulasi fluida kerja selama proses perpindahan kalor hanya memanfaatkan tekanan kapilaritas dari sumbu kapiler dan tidak menggunakan energi tambahan berupa energi listrik. Banyak penelitian mengenai heat pipe telah dilakukan oleh Putra., dkk., [4-8] dan Septiadi, dkk [9-11] dimana heat pipe dengan menggunakan wick berupa screen mesh, sintered powder serta biomaterial telah dikaji. Penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa heat pipe memiliki kinerja yang lebih tinggi dibandingkan dengan alat penukar kalor konvensional. Penggunaan heat pipe juga menunjukkan adanya penurunan hambatan termal pada peningkatan beban kalor yang diserap.

Peningkatan kinerja heat pipe juga sering dikombinasikan dengan fluida kerja nanofluida. Telah terbukti bahwa dispersi sejumlah kecil nanopartikel padat berukuran nano (dibawah 20 nm) pada fluida dasar, yang dikenal sebagai fluida nano atau nanofluida, dapat meningkatkan

konduktivitas termal dan memperbaiki kinerja thermal dari sistem perpindahan panas. Konsep cairan nano diciptakan oleh Stephen A.S. Choi pada tahun 1995 di Argonne National Laboratory di U.S.A. [12]. Cairan nano adalah campuran koloid di mana sifat-sifat anopartikel dan cairan dasar berkontribusi pada perubahan sifat transportasi dan termal dari fluida dasar [13]. Cairan nano secara mendasar ditandai oleh fakta bahwa gerak Brown lebih banyak terjadi pada cairan nanofluida sehingga mencegah terjadinya aglomerasi. Koblinski dkk. [14] telah meninjau literatur tentang sifat fluida nano dan tantangan masa depan dan melaporkan bahwa perkembangan fluida nano masih terhambat oleh beberapa faktor seperti kurangnya model properti teoritis yang baik, serta tingkat kestabilan yang kurang baik yang masih terdapat pada beberapa nanofluida pada penggunaan nano partikel yang justru memiliki konduktivitas termal yang tinggi.

Nanokomposit atau nano hybrid, merupakan komposit yang mengandung dua partikel terdispersi berbeda dalam ukuran nanometer, merupakan hal penting dari nanoteknologi yang mulai diteliti dan mengalami perkembangan sangat cepat di bidang sains, teknik material dan energi[15,16]. Cairan hybrid nano fluid adalah jenis cairan baru dari cairan nano, yang dapat disiapkan dengan mendispersikan dua atau lebih partikel nano dalam fluida dasar, dengan kata lain nanopartikel hibrida (komposit) kedalam fluida dasar. Sebuah nanopartikel hibrida adalah zat yang menggabungkan sifat fisik dan kimia dari bahan penyusun secara bersamaan dan memberikan sifat-sifat ini dalam fase homogen. Selanjutnya, fluida nano hibrida diharapkan menghasilkan konduktivitas termal yang lebih baik dibandingkan dengan cairan nano tunggal karena efek sinergis [17]. Namun penggunaan nanomaterial hibrida ini pada fluida dasar belum berkembang seperti itu. Penelitian pada fluida nano hibrida sangat terbatas dan masih banyak penelitian eksperimental yang masih harus dilakukan. Cairan nano ditemukan sebagai fluida alternative yang memiliki potensi untuk berbagai aplikasi. Namun, masih banyak tantangan yang harus diatasi. Tantangan ini meliputi stabilitas jangka panjang dispersi

nanopartikel, penurunan viskositas, kinerja thermal nano fluida pada aliran turbulen dan konduktivitas termal.

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kinerja termal heat pipe yang merupakan alat penukar kalor dua fasa dengan mengintegrasikan fluida kerja nanofluida berupa nanofluida hybrid (komposit), yakni gabungan dari dua partikel nano oksida logam.

METODOLOGI

Preparasi Hybrid Nanofluida

Preparasi cairan Nanofluida hibrida dilakukan dengan mendispersikan dua partikel nano oksida loga seperti CuO dengan Al₂O₃, CuO dengan TiO₂ dan Al₂O₃ dengan TiO₂. Pendispersian metode sintesa nano fluida menggunakan metode dua tahap (Two-step) [18] yakni dengan melakukan proses pendispersian nano partikel yang kemudian dilakukan proses sonifikasi atau penyebaran secara merata partikel nano pada fluida dasar. Hybrid nano fluida atau cairan nano hibrida disonifikasi dengan menggunakan ultrasonic processor dengan daya dan frekuensi sonifikasi 700 Watt dan 20 kHz menggunakan Ultrasonik Processor UP 800. Proses Sonifikasi dilakukan selama 30 menit pada temperatur 25°C, pada proses kontinyu. Gambar 1 merupakan proses sintesa

hybrid nanofluida.

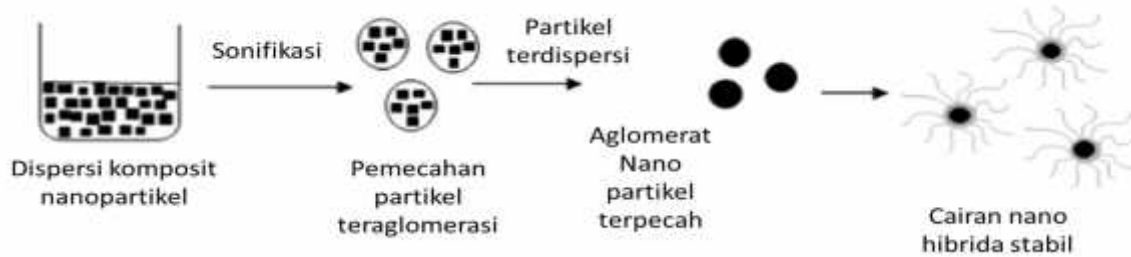
Hybrid nanofluid untuk peningkatan kinerja termal straight heat pipe dan cascade straight heat pipe di buat pada fraksi volume rendah yakni 0.1%, 0,3%, 0.5%, 0.7 % dan 0.9% untuk masing masing komposit nanopartikel (CuO-Al₂O₃), (CuO-TiO₂) dan (Al₂O₃-TiO₂). Komposit nano partikel dibuat dalam beberapa komposisi (75:25), (50:50) dan (25:75). Penentuan prosentase massa pada komposisi komposit nano partikel ditentukan berdasarkan besarnya fraksi volume yang akan di buat berdasarkan persamaan 1. Ilustrasi proses hibridisasi nano komposit menjadi hybrid nanofluid di tunjukkan pada gambar 2.

$$W_v = \frac{\begin{matrix} [W_{nc,p}] \\ \dots \\ [W_{nc,p}] \end{matrix}}{\begin{matrix} [W_{nc,p}] & [W_{bf}] \\ \dots & \dots \\ [W_{nc,p}] & [W_{bf}] \end{matrix}} \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

Cairan nano hibrida menggunakan air (H₂O) *destilated* sebagai fluida dasar. Adapun propertis nano partikel dan fluida dasar yang digunakan dalam sintesa hybrid nanofluid disajikan pada Tabell.



Gambar 1. Proses sintesa hybrid nanofluida



Gambar 2. Ilustrasi proses hibridisasi nano komposit pada sintesa hybrid nanofluid

Tabel 1. Propertis nano partikel dan fluida dasar

Nano partikel/Fluida dasar	Tipe	Ukuran [nm]	Tingkat kemurnian [%]	Densitas [kg/m ³]
CuO	Powder	20 nm	99.7	5800
Al ₂ O ₃	Powder	20 nm	98.4	1370
TiO ₂	Powder	20 nm	99.3	3900
H ₂ O	Cairan	-	-	1000

Karakterisasi Hybrid Nanofluida

Karakterisasi nano hibrida atau hybrid nanofluid meliputi karakterisasi konduktivitas termal dan sidimentasi (proses aglomerasi dalam cairan). Konduktivitas termal hybrid nano fluida diukur dengan metode KD₂ menggunakan termal konduktivitas meter KD₂ Decagon Pro, seperti yang ditunjukkan pada gambar 3. Intrumen KD₂ terdiri dari komponen pengontrol dan jarum sensor dengan tingkat kesalahan 2% atau sekitar 0.02 W/m²C. pengukuran dilakukan pada tabung reaksi dengan volume 10 ml yang dijaga pada temperatur 25°C menggunakan circulating thermostatic bath (CTB). Pengukuran konduktivitas termal dilakukan dalam 3 kali pengulangan dengan control perbedaan yang digunakan adalah di bawah 2.5%.

Gambar 4 merupakan konduktivitas termal hybrid nanofluid komposit oksida logam (CuO-Al₂O₃), (CuO-TiO₂) dan (Al₂O₃-TiO₂), dengan fluida dasar air pada beberapa fraksi volume dan beberapa komposisi nanopartikel pada nano komposit. Dari gambar 4 (a) terlihat bahwa konduktivitas termal hybrid nanofluid CuO-Al₂O₃-air meningkat seiring dengan peningkatan fraksi volume. Pada fraksi volume 0.09 dengan komposisi 75:25 konduktivitas termal mencapai 0.78 W/m²C, dimana 5.4% lebih tinggi dari komposisi 25:75. Konduktivitas termal hybrid naofluid CuO-TiO₂-air dan Al₂O₃-TiO₂-air

masing masing mencapai nilai konduktivitas termal 0.76 W/m²C dan 0.75 W/m²C, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4 (b) dan 4 (c). Perbandingan konduktivitas termal efektif antara hybrid nanofluid CuO-Al₂O₃-air, CuO-TiO₂-air dan Al₂O₃-TiO₂-air pada komposisi nano komposit 75:25 ditunjukkan pada gambar 5. Dibandingkan dengan air secara umum konduktivitas termal Hybrid nanofluid paling besar meningkat 42.9%.

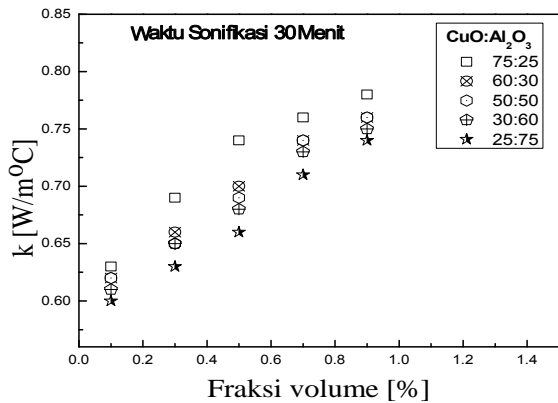
Kestabilan nano partikel pada fluida adasr merupakan hal yang pentig untuk menjaga agar nanofluida ataupun hybrid nanofluida tetap berada pada batasan gerak Brown yang relative sangat besar sehingga antar partikel mampu menghalangi partikel untuk tertarik oleh gaya gravitasi yang memungkinkan terjadinya sidimentasi atau aglomerasi. Pengamatan terhadap sidimentasi atau aglomerasi dilakukan melalui uji UV-Vis Spectrophotometer. Pengujian dilakukan menggunakan aparatur UV-Vis Spectrophotometer Shimadzu VV-Vis 1800 double-beam pada panjang gelombang 200 sampai dengan 6800 nm.

Besarnya absorpsi terhadap spectro gelombang cahaya pada panjang gelombang tertentu diuji mulai dari saat hybrid nanofluid di sintesa. Secara kontinyu pada selang 7 hari, 30 hari, dan 60 hari dilakukan pengujian yang sama untuk melihat besar absorbs cahaya yang terjadi untuk setiap hybrid nanofluid guna mengamati

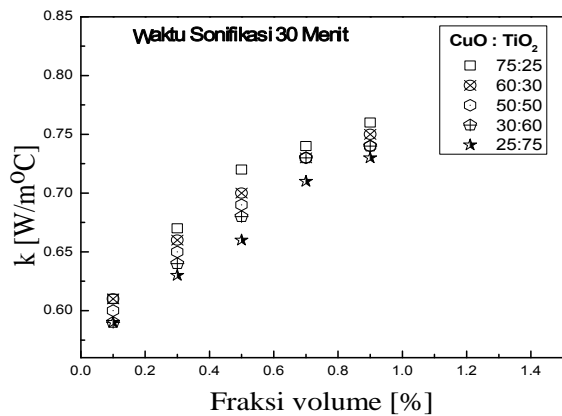


kapan mulai terjadi sidimentasi atau aglomerasi. Dari gambar 6 (a) terlihat bahwa absorsi spectro cahaya untuk hybrid nanofluid dari nano komposit ($\text{CuO-Al}_2\text{O}_3$), (CuO-TiO_2) dan ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$) dengan fluida dasar air pada hari ke-0 atau sesaat setelah nanofluida di produksi masing masing mencapai 0.721 pada panjang

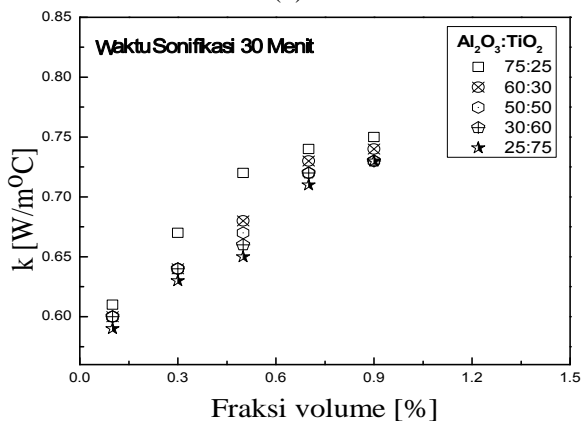
gelombang 550 nm, 0.563 pada panjang gelombang 540 nm dan 0.680 pada panjang gelombang 500 nm. Hasil pengujian pada hari ke-7, ke-30 dan hari ke-60 masih menunjukkan tingkat absorbs spectro cahaya yang sama seperti yang terlihat pada gambar 6 (b).



(a)

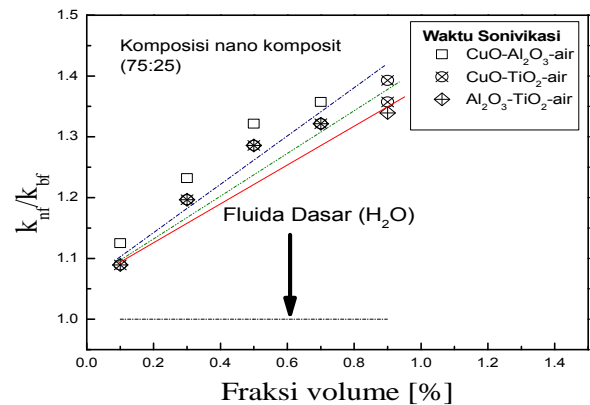


(b)

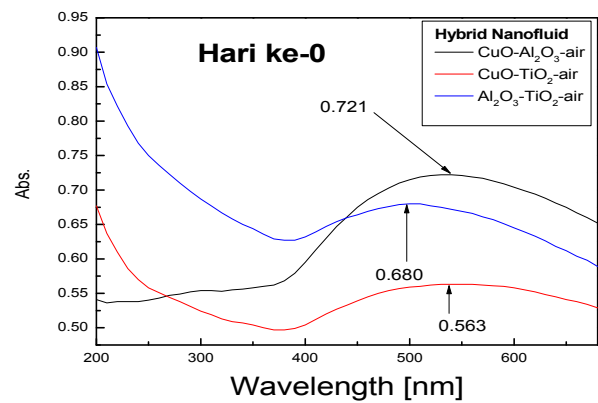


(c)

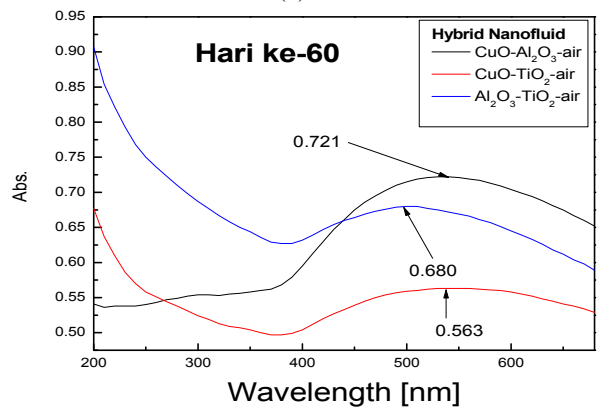
Gambar 4. Konduktivitas Termal hybrid nanofluid, (a) $\text{CuO-Al}_2\text{O}_3\text{-air}$, (b) $\text{CuO-TiO}_2\text{-air}$, (c) $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2\text{-air}$.



Gambar 5 Konduktivitas termal efektif hybrid nanofluid



(a)



(b)

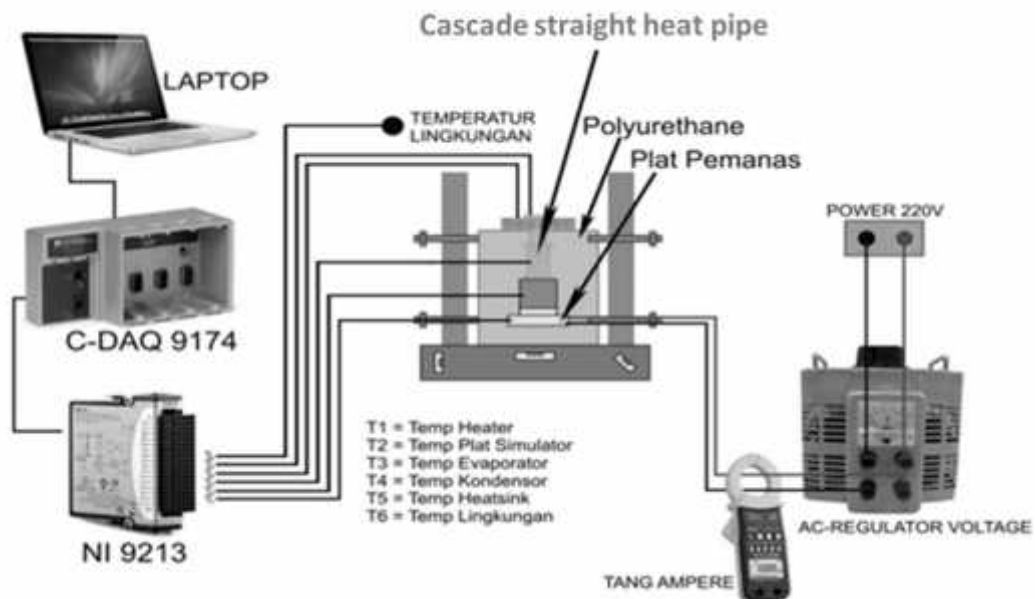
Gambar 6. Absorsi spectro cahaya hybrid nanofluid, (a) pada hari ke-0, (b) pada hari ke-60

Preparasi Heat Pipe

Straight heat pipe tembaga diameter 8 mm dengan wick sintered powder diinjeksikan fluida kerja hybrid nanofluid pada filling rasio 30% dengan tekanan vakum 27.95 in Hg, sedangkan rancangan cascade straight heat pipe dibuat dengan menggunakan pipa tembaga dengan panjang total 80 mm, dengan diameter pipa besar 25,4 mm dan diameter pipa kecil 19,05 mm. Pipa kalor dibagian bawah dilengkapi dengan plat datar tembaga berukuran 40 x 40 mm² tebal 5 mm sebagai area penyerap kalor dari sumber kalor dan diujungnya dilengkapi plat datar tembaga yang berdiameter 35 mm tebal 5 mm sebagai penyerapan kalor berikutnya [19]. Sumbu kapiler yang digunakan adalah sintered powder tembaga yang dibuat menggunakan metode sintering serta proses kompaksi secara sentrifugal. Adapun sumbu kapiler pipa kalor ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Sintered powder wick tembaga [19]



Gambar 8. Skematik pengujian termal cascade straight heat pipe [19]



Pengujian Kinerja Termal Heat Pipe

Pengujian termal cascade straight heat pipe dilakukan dengan menset-up apartur penelitian seperti terlihat pada Gambar 8. Cascade heat pipe diberikan pembebanan melalui plat simulator yang di atur melalui voltage regulator dengan tingkat pembebanan dari 9,24 Watt sampai dengan 46,22 Watt. Untuk menjaga kerugian kalor, pipa kalor dan plat simulator diisolasi dengan menggunakan polyurethane dengan konduktivitas termal 0,02 W/m°C. Pengukuran temperatur dilakukan dengan menggunakan data Aquisisi c-DAQ 9174 dan modul temperatur NI 9213 dengan menggunakan sensor temperatur termokopel tipe-K yang dipasang pada bagian plat simulator permukaan bawah dan atas, evaporator 1, evaporator 2, kondensor serta pada bagian heat-sink.

Hambatan termal pipa kalor dihitung melalui persamaan:

$$R_{pkb} = \frac{T_{e1} - T_c}{Q_{in}} = \left(\frac{T_{e1} - T_{e2}}{Q_{in-e1}} \right) + \left(\frac{T_{e2} - T_c}{Q_{in-e2}} \right) \quad (1)$$

Dimana T_{e1} , T_{e2} dan T_c masing-masing merupakan temperatur pada evaporator tingkat pertama, temperatur evaporator pada tingkat ke dua dan temperatur kondensor ($^{\circ}\text{C}$). Q_{in-e1} dan Q_{in-e2} merupakan beban kalor yang di serap oleh evaporator tingkat pertama dan tingkat ke dua (Watt) serta R_{pkb} merupakan hambatan termal total pipa kalor bertingkat ($^{\circ}\text{C}/\text{Watt}$).

HASIL DAN PEMBAHASAN

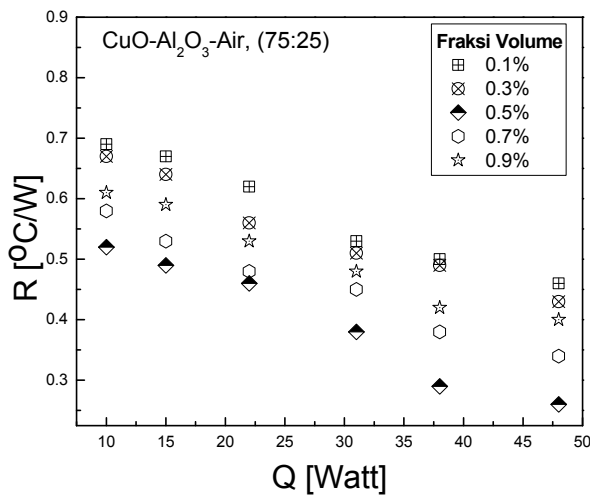
Hambatan Termal Straight Heat Pipe

Gambar 9 merupakan nilai hambatan termal straight heat pie dengan fluida kerja hybrid nanofluid CuO- Al_2O_3 -Air dengan komposisi 75% CuO dan 25% Al_2O_3 pada fraksi volume 0,01, 0,03, 0,05, 0,07 dan 0,009 yang di sonifikasi selama 30 menit. Dari gambar terlihat bahwa fraksi volume 0.05 memeberikan nilai hambatan termal paling rendah dibandingkan dengan hambatan termal pada fraksi volume yang lainnya yakni mencapai 0.26 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$.

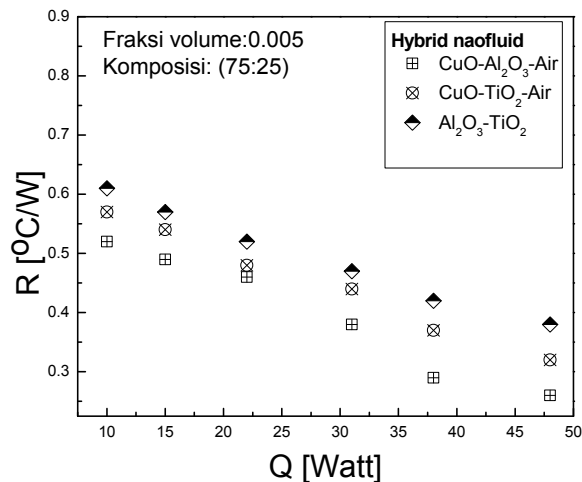
Penggunaan fluida kerja hybrid nanofluid pada straight heat pipe juga memperlihatkan adanya penurunan nilai hambatan termal dibandingkan dengan pemakaian fluida kerja konvensional air [20].

Penurunan hambatan termal straight heat pipe pada pemakaian fluida kerja hybrid nanofluid CuO- Al_2O_3 -Air dikarenakan hybrid nanofluid memiliki konduktivitas termal yang lebih tinggi dibandingkan dengan air. Dari gambar terlihat bahwa fraksi volume 0.05 memberikan nilai hambatan termal yang paling rendah dibandingkan dengan fraksi volume yang lain, hal ini dikarenakan pada tingkat fraksi volume 0.05 nilai konduktivitas termal yang tinggi masih mendominasi dibandingkan dengan nilai viskositas sehingga walaupun fraksi volume 0.07 dan 0.09 memiliki nilai konduktivitas termal yang lebih tinggi akan tetapi pada proses laju perpindahan kalor, fraksi volume ini memiliki kendala pada proses laju perpindahan kalor secara keseluruhan.

Perbandingan antara hambatan termal straight heat pipe pada penggunaan fluida kerja hybrid nanofluid CuO- Al_2O_3 -air, CuO- TiO_2 -air dan Al_2O_3 - TiO_2 -air diperlihatkan pada gambar 10. Dari gambar terlihat bahwa cairan hibrida CuO- Al_2O_3 -air memberikan nilai hambatan termal heat pipe paling rendah, dimana nilai hambatan termal terendah untuk masing masing fluida kerja hybrid nanofluid CuO- Al_2O_3 -air, CuO- TiO_2 -air dan Al_2O_3 - TiO_2 -air antara lain mencapai 0.26 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$, 0.32 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ dan 0.38 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$. Hal ini waja karena memang nilai konduktivitas termal hybrid nanofluid CuO- Al_2O_3 -air lebih besar dibandingkan dengan hybrid nanofluid CuO- TiO_2 -air dan Al_2O_3 - TiO_2 -air. Nilai konduktivitas termal yang lebih tinggi tentunya akan mempengaruhi laju perpindahan kalor di dalam heat pipe sehingga beda temperatur antara bagian evaporator dengan bagian kondensor menjadi kecil. Hal ini tentunya akan berpengaruh terhadap nilai hambatan termal heat pipe secara keseluruhan.



Gambar 9. Hambatan termal straight heat pipe dengan fluida kerja CuO-Al₂O₃-air



Gambar 11. Hambatan termal straight heat pipe dengan fluida kerja CuO-Al₂O₃-air, CuO-TiO₂-air dan Al₂O₃-TiO₂-air

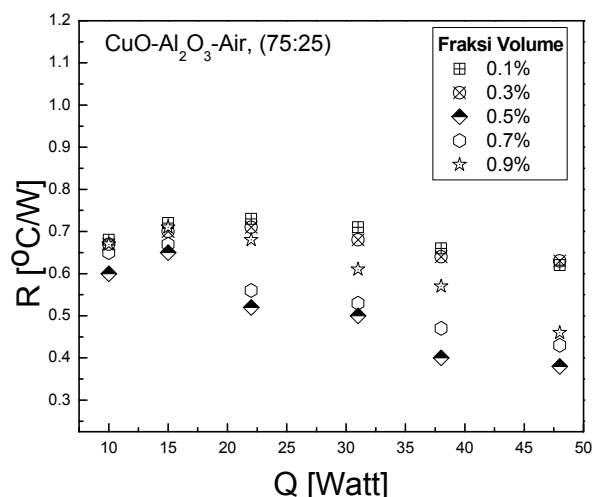
Hambatan Termal Cascade Straight Heat Pipe

Gambar 12 menunjukkan nilai hambatan termal cascade straight heat pipe dengan pemakaian hybrid nanofluida CuO-Al₂O₃-air pada fraksi volume 0.01 sampai dengan 0.09, dengan komposisi nano komposit 75:25. Dari masing masing fraksi volume hambatan termal cenderung menurun dengan naiknya beban kalor, akan tetapi pada beban kalor 15 Watt terlihat untuk seluruh fraksi volume hambatan termal cascade straight heat pipe mengalami peningkatan. Hal ini dikarenakan pada beban

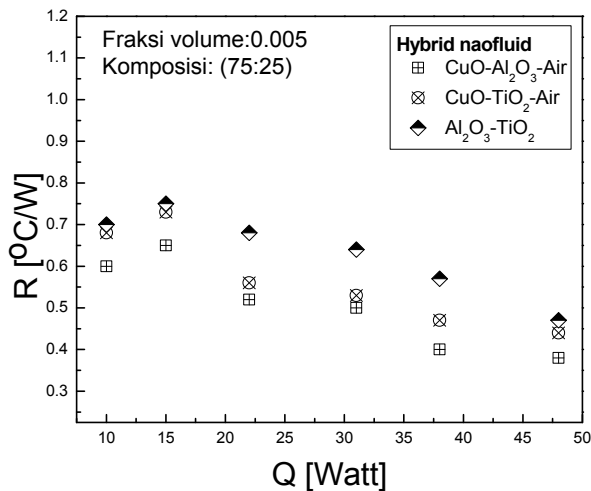
kalor 15 Watt perpindahan panas pada heat pipe tingkat pertama belum mampu memanaskan evaporator heat pipe pada tingkat ke dua sehingga proses perpindahan kalor pada heat pipe tingkat ke dua belum terjadi. Pada hambatan termal cascade straight heat pipe juga terlihat bahwa hambatan termal terendah diberikan oleh hybrid nanofluida CuO-Al₂O₃-air pada fraksi volume 0.005 sama seperti pada hambatan termal pada straight heat pipe.

Hybrid nanofluida CuO-Al₂O₃-air, CuO-TiO₂-air dan Al₂O₃-TiO₂-air yang di gunakan sebagai fluida kerja cascade straight heat pipe juga mampu memberikan penurunan nilai hambatan termal seiring dengan peningkatan beban kalor, seperti yang ditunjukkan pada gambar 13. Penurunan hambatan termal padapemakaian hybrid nanofluida paling besar terdapat pada penggunaan hybrid nanofluida CuO-Al₂O₃-air yakni sebesar 23.29% dari pemakai fluida kerja konvensional air [20].

Proses pendidihan fluida kerja yang lebih cepat serta transfer kalor dari bagian evaporator menuju bagian kondensor yang lebih cepat dikarenakan adanya peningkatan heat transfer coefficient secara keseluruhan akibat penggunaan hybrid nanofluida. Tingkat keterbasahan antara hybrid nanofluida dengan sumbu kapiler juga mengakibatkan pengangkutan fluida kerja dari bagian kondensor ke evaporator menjadi lebih cepat.



Gambar 12. Hambatan termal cascade straight heat pipe dengan fluida kerja CuO-Al₂O₃-air



Gambar 13. Hambatan termal straight heat pipe dengan fluida kerja CuO-Al₂O₃-air, CuO-TiO₂-air dan Al₂O₃-TiO₂-air

Penurunan hambatan termal secara signifikan terjadi pada heat pipe baik pada straight heat pipe maupun pada cascade straight heat pipe. Hal ini dikarenakan oleh penggunaan fluida kerja hybrid nanofluid yang memiliki nilai konduktivitas termal yang lebih tinggi dibandingkan dengan fluida kerja konvensional air. Hibridisasi nanofluida dapat memberikan tingkat kestabilan partikel nano pada fluida dasar yang mengakibatkan gerak Brown dapat terjadi lebih lambat dan lebih besar sehingga menjaga stabilitas partikel untuk tidak mengalami aglomerasi. Selain itu dengan gerak Brown yang lebih besar berdampak pada peningkatan nilai konduktivitas termal.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang dilakukan penggunaan hybrid nanofluida sebagai fluida kerja heat pipe, baik pada straight heat pipe maupun pada cascade straight heat pipe mampu meningkatkan kinerja termal heat pipe yang ditunjukkan melalui penurunan nilai hambatan termal heat pipe. Peningkatan konduktivitas termal hybrid nanofluida CuO-Al₂O₃-Air sebesar 42.8% dari fluida konvensional air berdampak signifikan terhadap penurunan hambatan termal heat pipe, baik straight heat pipe maupun cascade straight heat pipe.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi dan Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Udayana atas dukungan dana melalui skema Hibah Penelitian Fundamental Tahun 2017 dengan Kontrak Nomor 415.59/ UN14.4.A/PL/201, serta kepada Laboratorium AHTRG FT UI atas dukungan peralatan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Ghadimi, R. Saidur, H.S.C. Metselaar, A review of nanofluid stability properties and characterization in stationary conditions, *Int. J. Heat Mass Transfer* 54 (2011) 4051–4068.
- [2] J.A.E.S.U.S. Choi, *Enhancing Thermal Conductivity of Fluids with Nanoparticles*, International Mechanical Engineering Congress and Exhibition San Francisco, CA (United States), 1995.
- [3] Y. Abbassi, M. Talebi, A.S. Shirani, J. Khorsandi, Experimental investigation of TiO₂/water nanofluid effects on heat transfer characteristics of a vertical annulus with non-uniform heat flux in non-radiation environment, *Ann. Nucl. Energy* 69 (2014) 7–13.
- [4] Nandy Putra. *Nano Teknologi: Pengembangan Potensi Nanofluida Sebagai Fluida Kerja Alternatif*. (2003).
- [5] Saleh, R., Putra, N., Wibowo, R. E., Septiadi, W. N., Prakoso, S. P. Titanium dioxide nanofluids for heat transfer applications. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 52, (2014).19-29.
- [6] Putra, Nandy, Wayan Nata Septiadi, Rosari Saleh, Rardi Artono Koestoer, and Suhendro Purbo Prakoso. "The Effect of CuO-Water Nanofluid and Biomaterial Wick on Loop Heat Pipe Performance." In *Advanced Materials Research*, 875, (2014). 356-361.
- [7] Putra, N., Septiadi, W. N., Rahman, H., Irwansyah, R. (2012). Thermal performance of screen mesh wick heat pipes with nanofluids. *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol.40, pp.10-17.
- [8] Putra, N et al., "Application of Al₂O₃ Nanofluid on Sintered Copper-Powder Vapor Chamber for Electronic Cooling", *Advanced Materials Research*, Vol. 789, pp. 423-428, 2013.



- [9] Wayan Nata Septiadi, I Gusti Ketut Sukadana, I Ketut Astawa², Cahyo Sudarmo, I Nyoman Swar Raditya M. Hambatan Termal Pipa Kalor Bertingkat dengan Fluida Kerja Hybrid Nanofluid Al₂O₃-CuO-Air. SNTTM XV, 2016. 490-497.
- [10] Wayan Nata Septiadi, Cahyo Sudarmo. Konduktivitas Termal Hybrid Nanofluid Al₂O₃-CuO-Air. Seminar Nasional Mesin dan Industri (SNMI X) 2016. TM43-TM49.
- [11] Wayan Nata Septiadi, I Gusti Ketut Sukadana, I Ketut Astawa, Cahyo Sudarmo, I Nyoman Swar Raditya. Hambatan Termal Pipa Kalor Bertingkat dengan Fluida Kerja Hybrid Nanofluid Al₂O₃-CuO-Air. Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XV (SNTTM XV), 2016. 490-497.
- [12] Huminic Gabriela, Huminic Angel. Application of nanofluids in heat exchangers: A review. *Renew and Sustain Energy Rev* 2012;16:5625–38.
- [13] Ghadimi A, Saidur R, Metselaar HSC. A review of nanofluid stability properties and characterization in stationary conditions. *Int J Heat and Mass Transf* 2011;54(17–18):4051–68.
- [14] Keblinski P, Eastman JA, Cahill DG. Nanofluids for thermal transport. *Mater Today* 2005;8(6):36–44.
- [15] Suresh S, Venkitaraj KP, Selvakumar P, Chandrasekar M. Effect of Al₂O₃-Cu/water hybrid nanofluid in heat transfer. *Exp Therm Fluid Sci* 2012;38:54–60.
- [16] Oh Sung-Tag, Lee Jai-Sung, Sekino Tohru, Niihara Koichi. Fabrication of Cu dispersed Al₂O₃ nanocomposite using Al₂O₃/CuO and Al₂O₃/Cu nitrate mixtures. *Scr Mater* 2001;44:2117–20.
- [17] Li H, Ha CS, Kim I. Fabrication of carbon nanotube/SiO₂ and carbon nanotube/ SiO₂/Ag nanoparticles hybrids by using plasma treatment. *Nanoscale Res Lett* 2009;4:1384–8.
- [18] Han ZH, Yang B, Kim SH, Zachariah MR. Application of hybrid sphere/carbon nanotube particles in nanofluids. *Nanotechnology* 2007;18:105701.
- [19] [13]. Wayan Nata Septiadi, I Gede Putu Agus Suryawan, I Ketut Gede Wirawan, I Komang Jana Mujaya, Mochamad Rizal Sugiono, Putu Wardana. Karakterisasi Kinerja Pipa Kalor Bertingkat dengan Wick Screen Mesh untuk Pendingin CPU. *Prosiding KNEP VI ISSN 2338-414X* (2015) 193-199.
- [20] Putra, N, Wayan Nata Septiadi, Rosari Saleh, Rardi Artono Koestoer, and Suhendro Purbo Prakoso. "The Effect of CuO-Water Nanofluid and Biomaterial Wick on Loop Heat Pipe Performance." In *Advanced Materials Research*, [21] 875, (2014). 356-361.



Analisis Pembakaran Mesin Sepeda Motor dengan Rasio Kompresi dan Bahan Bakar Yang Berbeda

Ainul Ghurri^{1,*}, IKG Wirawan¹, Tegar Putra Kirana¹, Dhama Kusuma¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Universitas Udayana, Bukit Jimbaran, Bali, Indonesia 80361

*E-mail koresponden: a_ghurri@unud.ac.id

Abstrak

Populasi sepeda motor semakin meningkat dari tahun ke tahun seiring peningkatan daya beli dan mobilitas masyarakat. Sepeda motor tersedia dengan tipe dan spesifikasi mesin yang semakin bervariasi pula. Di sisi lain, pemerintah menyediakan 4 jenis bahan bakar bensin yang dibedakan berdasar angka Oktannya; masing-masing Premium 88, Pertalite 90, Pertamax 92, dan Pertamax Turbo 98. Bahan bakar dengan angka Oktan rendah diperuntukkan mesin dengan rasio kompresi rendah, sedangkan angka Oktan tinggi untuk mesin dengan rasio kompresi tinggi. Sayangnya informasi tersebut tidak selalu tersedia secara jelas dari pabrikan sepeda motor, sehingga ada potensi pemilihan bahan bakar yang tidak atau kurang tepat dengan yang dibutuhkan mesin. Kesalahan ini akan berdampak pada kinerja mesin, emisi gas buang dan konsumsi bahan bakar oleh mesin. Mengingat jumlah sepeda motor telah mendekati 100 juta, kesalahan kecil saja akan memberi dampak keseluruhan yang besar. Penelitian ini mengkaji dan menganalisis proses pembakaran mesin dua sepeda motor dengan rasio kompresi yang 9,5:1 dan 11:1, menggunakan empat macam bahan bakar bensin yang tersedia di pasaran. Pengujian dilakukan pada chassis dynamometer untuk mengukur torsi dan daya mesin, serta uji emisi gas buang meliputi CO, CO₂, HC dan lambda gas buang. Analisis dilakukan berdasarkan nilai rasio ekivalensi (equivalence ratio, lambda) yang diukur pada gas buang dan dicek-silang dengan data torsi, daya, konsumsi bahan bakar spesifik, serta emisi gas buang yang dihasilkan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kondisi pembakaran stoikiometris, campuran miskin dan kaya dipengaruhi oleh kesesuaian antara rasio kompresi mesin dan jenis bahan bakar yang digunakan. Selanjutnya, hal itu sangat mempengaruhi kinerja mesin, emisi gas buang dan konsumsi bahan bakar spesifiknya. Analisis lebih lanjut dapat menduga kemungkinan terjadinya detonasi pada penggunaan bahan bakar dengan Oktan lebih rendah dari yang dibutuhkan serta proses pembakaran yang berjalan lambat akibat penggunaan bahan bakar dengan angka Oktan yang lebih tinggi dari yang dibutuhkan mesin.

Keywords: rasio kompresi, oktan, lambda, pembakaran.

Design and Finite Element Analysis of Universal Test Rig on Indonesian AGT

Bagus Budiwantoro^{1a)}, Abdul Hakim Masyhur^{1b)}, Didi Rushadi^{1c)}

¹Mechanical Engineering Department, Faculty of Mechanical and Aerospace Engineering, Institut Teknologi Bandung.

*Correspondent e-mail: ^{a)}budiwan@edc.ms.itb.ac.id ^{b)}hakim@ftmd.itb.ac.id
^{c)}didi.rushadi37@gmail.com

Abstract

Indonesian AGT (Automated Guideway Transit) is designed as one of alternatives transportation that serves to overcome the traffic jammed. As one of mass transportation type, the safety aspect of the Indonesian AGT especially passenger's safety must be taken seriously. Therefore various types of testing should be carried out to ensure that Indonesian AGT are in good condition and feasible to operate. One of the tests performed is static test. The static testing process needs to be evaluated against the requirements of Regulation of the Minister of Transportation No. 175, 2015. To perform this static test requires regulation and standard, test equipment and standard operating procedures in accordance with the design criteria of Indonesian AGT. One of the required static test tools is the Universal Test Rig. The function of this tool is to conditioning the Indonesian AGT body so that it is ready for static test. The Universal Test Rig design should be capable of supporting various types of static tests consisting of a vertical load test, compression load test, torque load test and three point test. The method used in designing the Universal Test Rig begins with creating 3D models using SolidWorks 2017 based on its function then analyzed its structural's strength using the ANSYS R16.0 software. Universal Test Rig design consists of vertical guide system, load transfer device and compression force generator. The maximum stress generated from each subsystem is 47,719 MPa, 147,52 MPa and 210,154 MPa respectively, indicating that the result of the design is safe because the yield strength of material SS400 is 245 MPa.

Keywords: Universal Test Rig, Finite Element Analysis, Static Test.

INTRODUCTION

Severe traffic jam has occurred in several major cities in Indonesia. This traffic jam obviously causes huge financial losses and pollutes the air. But to overcome this problem is quite difficult, because the development in the big cities are already too dense and difficult to build an efficient transportation system.

Basically land transportation is divided into several groups based on the position of the track. Underground transport, above ground and elevated. Underground transport such as subway fast trains has huge development cost constraints and a very long development time. Land transportation such as Transjakarta and Tramway have relatively low cost and time of development but are crossed or intersected with existing modes of transportation and limited land for construction.

Public elevated transportation is the right choice because there is no crossing with other pre-existing and cheaper transport links

compared to public transport on the underground line. The greatest cost for building a public transport system of float paths is the infrastructure (civil structure), with 53% of the development costs used for infrastructure.

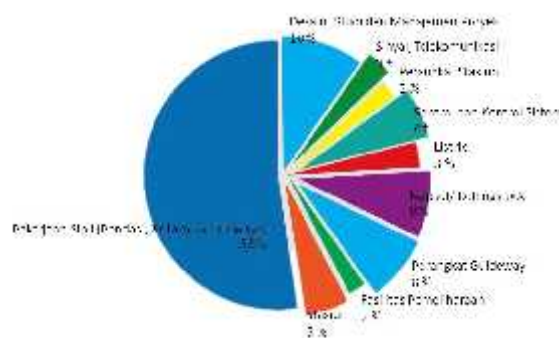


Figure 1. Infrastructure cost of Indonesian AGT

Based on the problems above, Indonesian AGT has come to provide solutions. Indonesian AGT is a new elevated transportation designed to solve traffic congestion problems in large cities that are

growing rapidly in line with the economic progress of a country. Indonesian AGT operating system is designed to control the distance between Indonesian AGT to always run between two columns so that the size of girder and column construction will be much reduced. Indonesian AGT can run at an average speed of 40 km/h and a maximum speed of up to 80 km/h. Passenger capacity is 24,000 per hour per direction with 8 unit per series.

Indonesian AGT has the ability to climb up to 10% because Indonesian AGT is equipped with 4 pieces of electric motor and using 8 pieces of rubber tires. Turning radius is only 15 meters so as to be able to go through the streets inside a big city that is already dense with buildings.

In its operation, the passenger safety aspect is the most important aspect. To determine the safety of Indonesian AGT operations should start from the initial phase of design. The design of Indonesian AGT should be able to meet the minimum requirements set by the standards in order to be operated as a means of public transportation. One of the requirements of the standard that must be met related to the security of its operation is the strength of the structure of the Indonesian AGT compiler. In the design phase, the Indonesian AGT structure must be able to withstand the burdens that occur without failure. To simulate these loads it is necessary to perform static tests on Indonesian AGT.

In this paper, will be designed Universal Test Rig, which is a tool that serves to carry out the static test of Indonesian AGT. In addition, there will be a strength analysis of the Universal Test Rig itself. This needs to be done to ensure the strength and viability of this tool during the static test process.

STATIC TEST METHOD

Based on Ministerial Regulation no. 175, 2015 (PM 175), it is explained that static tests need to involve components consist of the base frame, floors, walls and body skin of the specimens. In Indonesian AGT, each component can be seen in Figure 2. The four components are then assembled into a single unit in order to become a specimen that is ready to be tested. Assembly of the specimen

can be seen in Figure 3.

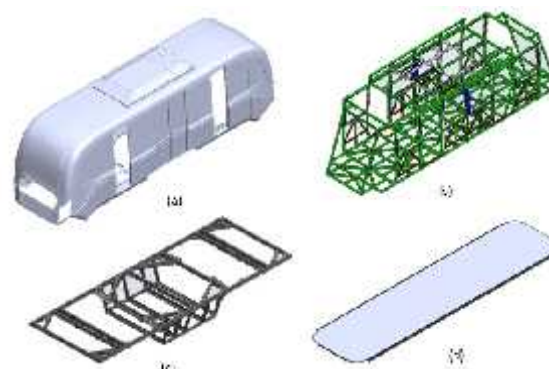


Figure 2. (a) Body Skin, (b) Body Frame, (c) Base Frame and (d) Floor

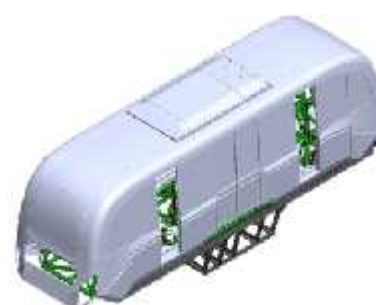


Figure 3. Specimen of static test

Static test consists of 4 kinds of testing, consisting of vertical load test, compression loading test, torsional load test and three point test. The scheme of each test can be seen in Figure 4 up to Figure 7.

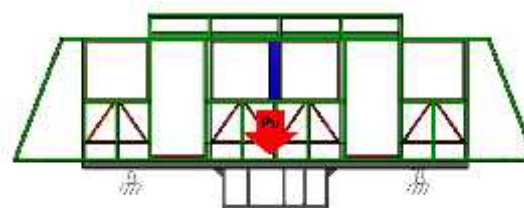


Figure 4. Vertical load test scheme

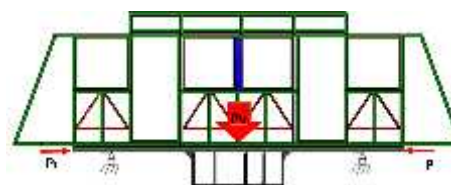


Figure 5. Compression load test scheme

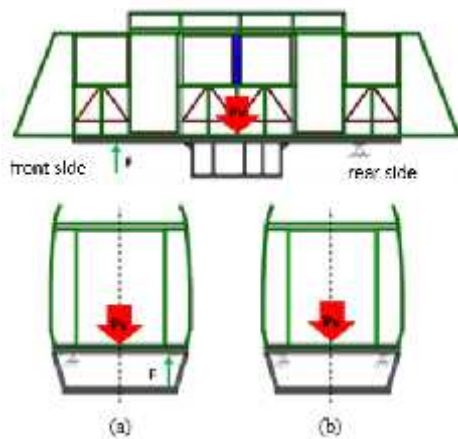


Figure 6. Torsional load test scheme (a) front view
 (b) rear view

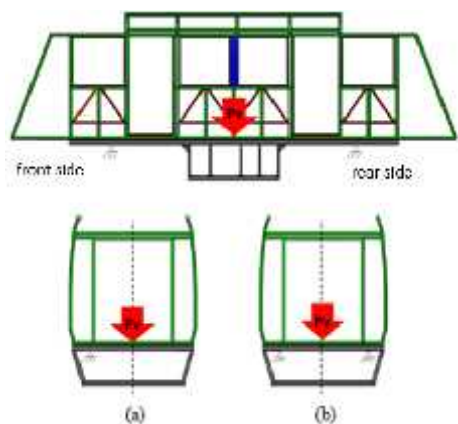


Figure 7. Three-support load test (a) front view
 (b) rear view

Load Definition

The entire calculation of testing load is determined by PM No.175, 2015. However, the test specification that is explained on the PM 175 only includes the vertical load test and compression load test, so the value of torsional load testing and three points load test are taken from other standard JIS E 7105 which is about "Test Method for Static Load of Body Structures of Railway Rolling Stock ". Based on PM 175, the vertical load test value is calculated according to equation (1) :

$$P_v = k (P_1 + P_2) \tag{1}$$

With :

- P_v : Vertical Load (kg)
- K : Dynamic Coefficient (1.3)
- P₁ : Weight of speciment = 3022 kg
- P₂ : Passenger's weight = 3500 kg

For compression load test, the load value used

was 20 ton because Indonesian AGT included the classification of the train with its own propulsion and consisted only one carriage.

Applied torsional load test is 4 ton.m for all types of trains whereas on three-point test, object is not loaded by anything and just support at three points. List of test load values can be seen in Table 1.

Table 1. Static test load

No.	Load Case	Value	Note
1	Vertical Load Test	8.478 ton	70 kg/people
2	Compression Load Test	20 ton	-
3	Torsional Load Test	4 ton.m	Full loading condition
4	Three Point Test	-	Tare loading condition

UNIVERSAL TEST RIG DESIGN

Universal Test Rig (Figure 8) has a function to hold the static test on the Indonesian AGT. The design is done based on JIS E7105 standard and the design basis documents of Indonesian AGT. This test instrument is called universal because it can serve to perform vertical load test, compression load test, torsional load test and three-point support test. Universal Test Rig consists of 3 sub-assembly with different functions.

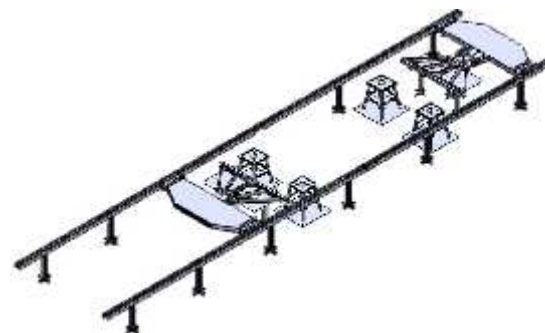


Figure 8. Universal Test Rig

The first sub-assembly is called the vertical guide system (Figure 9). This sub-assembly is 4 pieces and serves to support the test object vertically. In addition, the tool is also designed to be able to move up and down so as to give the load of torque on the specimen when the torsional test took place. The upward force is generated by a hydraulic jack that pushes the

cylinder block. The torque value provided by this tool can be measured by a load cell located under the hydraulic jack. This sub-assembly can also be supporting chair during a three point test.



Figure 9. Vertical Guide System

The second sub-assembly is Load Transfer Device (Figure 10). This tool serves to continue the longitudinal force or compression force of the hydraulic jack toward the front and rear end of the specimen. The construction of the tool is designed to divide the force from one point to two points, the two points representing the crashboxes location of Indonesian AGT.

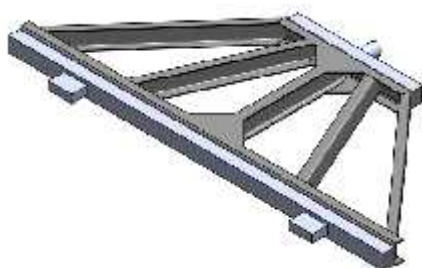


Figure 10. Load Transfer Device

The last sub-assembly was called Compression Force Generator (Figure 11). As the name implies, this tool serves to produce a compression force of 20 tons against the specimen. Consisting of two tension bars located on the right and left side and 2 pieces of head reaction as a ground of reaction force. This tool also has a 12 support beam that has a function to adjust the altitude level and maintain stability.

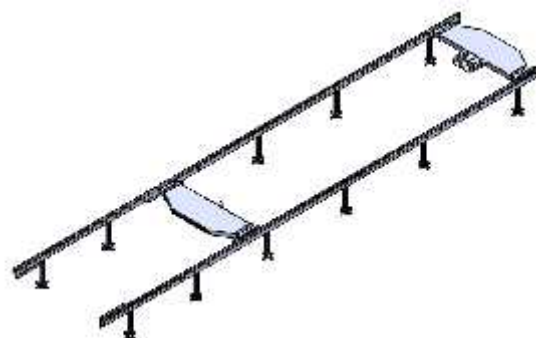


Figure 11. Compression Force Generator

STRENGTH ANALYSIS

The material used to make a universal test rig is SS400. This material is chosen because of the availability factor. It is easy to find in the domestic market, the price is relatively cheap and strong enough if used as the basic material for the test tool. Characteristics of SS400's material can be seen in Table 2.

Table 2 SS400's mechanical properties

No.	Properties	Value
1	Density (kg/m ³)	7850
2	Poissons's Ratio	0.3
3	Modulus Elasticity (GPa)	200
4	Yield Strength	245
5	Ultimate Strength (MPa)	480

Vertical Guide System

Based on the conditions described in the preceding sections, the force of $(8478.6 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m} / \text{s}^2) / 4 = 20,793.76 \text{ N}$ is applied to the top surface of the vertical guide system in contact with the suspension seat of Indonesian AGT as seen in Figure 12. Also on the bottom surface of the base plate is given a fixed support condition that makes the plate unable to move in any direction. This is done because in the testing process, the base plate is bolted to the surface of the floor where the test takes place so that the tool is stable and does not shake. In this simulation, the earth gravity standard condition is $9.806 \text{ m} / \text{s}^2$ in the -y direction.

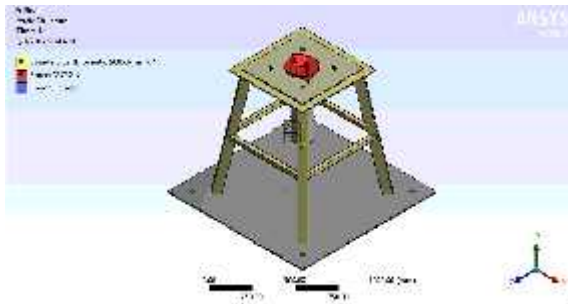


Figure 12. Load and boundary condition of Vertical Guide System

The simulation results are shown in Figure 13. It can be seen that the overall structure of the vertical guide system is secure with a maximum stress value of 47.719 MPa located at the center of the top-plate (Figure 14). The stress appearing at critical areas caused by the bending load which is distributed to each of the center portions of the plate support rod.. It can be concluded that the placement of the barrier rod is appropriate because it proves to absorb the bending load of the plate so that the structure becomes more rigid. The maximum deflection occurring in the vertical guide system is 0.05523 mm and is located in the corners of the support plate as shown in Figure 15.

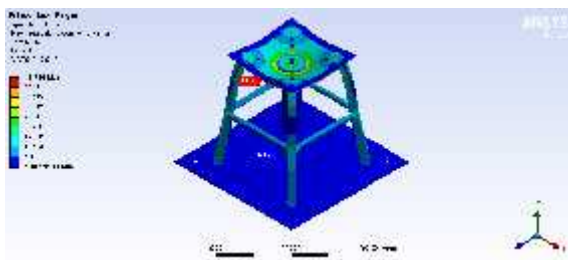


Figure 13. Stress value of vertical guide system

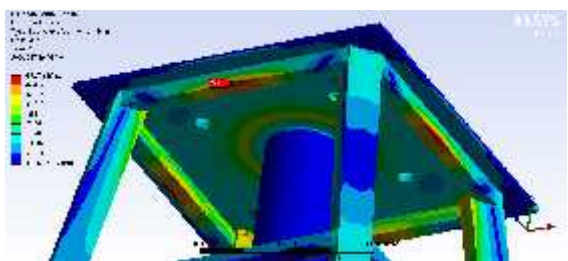


Figure 14. Critical stress area of vertical guide system

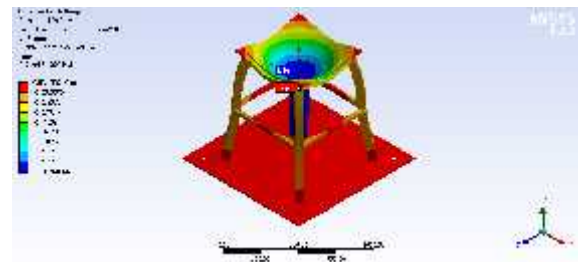


Figure 15. Deflection value of vertical guide system

Load Transfer Device

Based on the conditions described in the previous chapter, a force of 20 tonnes or 196,200 N is applied to an area which is contact with a load cell marked with a red arrow (Figure 16) on a compression force generator. On the outer surface of 2 pieces front beam are given displacement boundary conditions in the direction of x equal 0 and on the side surface of the front beam is given z direction displacement equal 0. During the test process, the load transfer device is also supported in the vertical direction so it is necessary to provide y displacement equal 0. In this simulation, the earth gravity standard condition is 9.806 m/s^2 in direction -y, so it can represent the weight of the object in the simulation process.

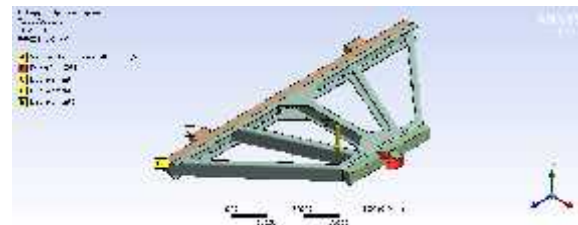


Figure 16. Load and boundary condition of Load Transfer Device

The simulation results are shown in Figure 17. It can be seen that the overall structure of Load Transfer Device is safe with a maximum stress value of 147.52 MPa. The critical location spotted on the edge of the ribbing as shown in Figure 18. The maximum deflection occurring in the Load Transfer Device is 0.60541 mm, located in the center of the back C-beam then propagates to the center of the trapezoidal skeleton and finally towards the center of the front C-beam as shown in Figure 19.

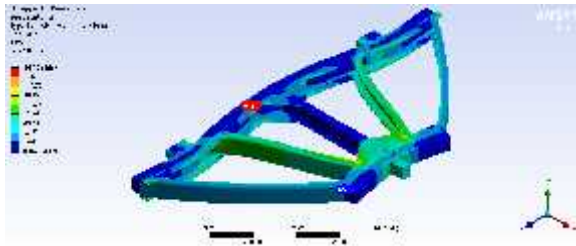


Figure 17. Stress value of *Load Transfer Device*

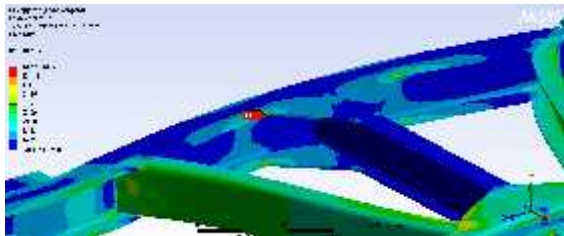


Figure 18. Critical stress area of *Load Transfer Device*

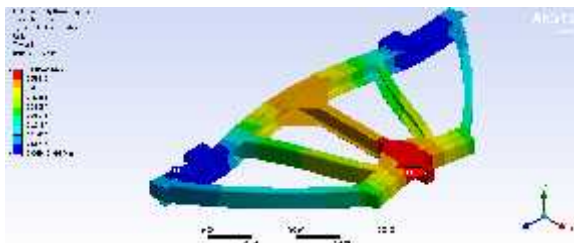


Figure 19. Deflection value of *Load Transfer Device*

Compression Force Generator

Based on the conditions described in the previous chapter, the longitudinal force of 196,200 N is given to the area on which the compression test is based, marked with a red color label as shown in Fig. 20. In addition to the lower surface of the right and left tension bars there is provided a boundary condition in the form of displacement in the y direction equal 0. This thing is done because in the test process, there is a support beam that holds Compression Force Generator in the vertical direction while maintaining the stability of the test equipment.

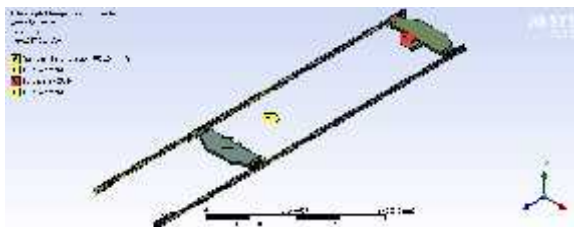


Figure 20. Load and boundary condition of *Compression Force Generator*

The simulation results are shown in Figure 21. It can be seen that the overall structure of the Compression Force Generator

is safe with a maximum stress value of 210.54 MPa located at the corner of bottom ribbing in the tension bar as shown in Figure 22. The maximum deflection that occurs in Compression The Force Generator is 3.339 mm and it is located at the end of the tension bar as shown in Figure 23.

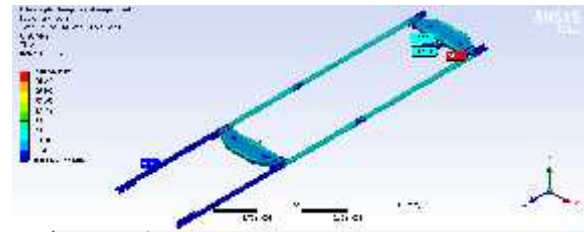


Figure 21. Stress value of *Compression Force Generator*

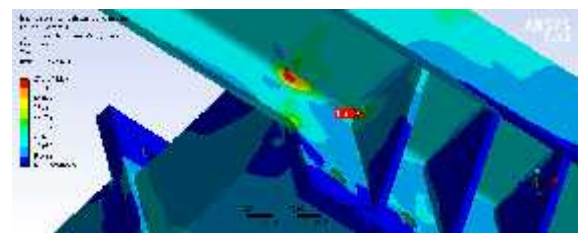


Figure 22. Critical stress area of *Compression Force Generator*

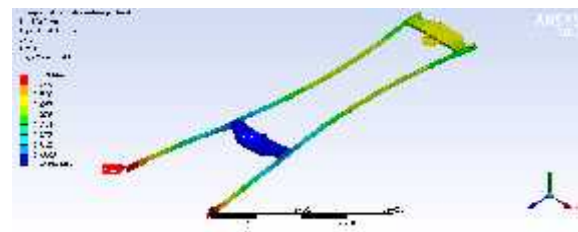


Figure 23. Deflection of *Compression Force Generator*

Theoretical Calculation of Bolt's Stress

The position of the bolt to which the stress value is calculated lies in the position of the extension component, which is the component that connects the tension bar and the head reaction as shown in Figure 24. There are two force sources that produce the shear stress at this bolt junction, the first one is the primary shear stress caused by 200,000 N of longitudinal force toward the z axis and second is secondary shear stress caused by the load from the head reaction itself to the -y direction. In this theoretical analysis, the magnitude of secondary shear stress is negligible because its value is much smaller than the primary shear stress.

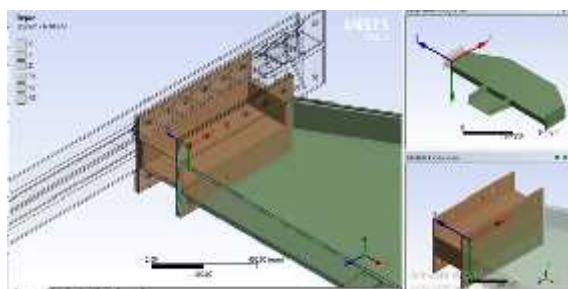


Figure 24. Bolt location

Based on the assumption that the bolt only has a primary shear stress due to the longitudinal force, then to calculate the value of the stress is enough to use the equation (2)

$$\tau_{\text{baut}} = \frac{(P/i)}{A_t} \quad (2)$$

P is a force, i is the number of bolts and A_t is the projected area of the affected bolt. To calculate the projection area of the bolt using the equation (3).

$$A_t = d \times t \quad (3)$$

The bolts used has a diameter of 22 mm. So that the projection area, A_t :

$$\begin{aligned} A_t &= d \times t \\ &= 22 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} = 220 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{bolt} &= \frac{200.000 \text{ N} / (24)}{220 \text{ mm}^2} \\ &= \frac{8333,33}{220 \text{ mm}^2} \\ &= 37.87 \text{ MPa (each bolt)} \end{aligned}$$

Based on calculation above and the stress values obtained from the simulation as shown in Figure 25, the two results are still in the same order so it can be concluded that the simulation result is valid.

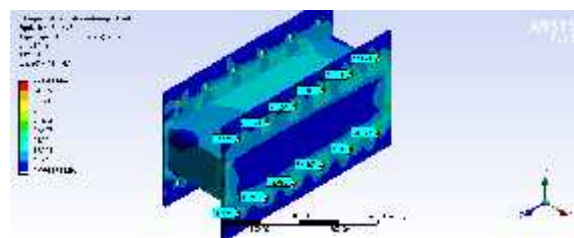


Figure 25. Stress value of bolt hole

CONCLUSION

The result of Universal Test Rig design consists of three sub-assembly, there are vertical guide system, longitudinal load system and compression force generator. The result of strength analysis from Universal Test Rig is as follows, maximum stress generated from each sub-assembly are 47.719 MPa, 147.52 Mpa and 210.154 MPa consecutively. It can be concluded that the Universal Test Rig design is safe to use.

ACKNOWLEDGMENT

On this occasion the author would like to thank for those who always provide direction, support and criticism, Dr. Ir. Bagus Budiwantoro as the main counselor and Abdul Hakim Masyhur ST, M. Sc as the second counselor. In addition thanks to Prof. Dr. Ir. Muljo Widodo Kartidjo as the inventor and designer of Indonesian AGT.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Menteri Perhubungan, "PM 175 Tahun 2015 Standar Spesifikasi Teknis Kereta Kecepatan Normal dengan Penggerak Sendiri," Jakarta, 2015.
- [2] "JIS E7105 Test Method for Static Load of Body Structures of Railway Rolling Stock," Tokyo, 1992.
- [3] Prof. Dr. Ir. Muljo Widodo, PT. Teknik Rekayasa Kereta Kapsul, Bandung, 2016..
- [4] Shigley, Mechanical Engineering Design - 8th Edition, The-McGrawHill , 2006.
- [5] N. S. Gokhale, Practical Finite Element Analysis, 2008.



RANCANGAN DAN PENGUJIAN ALAT PIROLISIS BERBAHAN BAKAR DAN BAHAN BAKU BIOMASSA

Kemas Ridhuan^{1,*}, Dwi Irawan², Triyono³

¹Jl. Kihajar Dewantara No.116 Iring Mulyo Kota Metro Lampung34111.

²Jl Kihajar Dewantara No.116 Iring Mulyo Kota Metro Lampung34111.

³Desa Rantau Fajar Kecamatan Raman Utara Kabupaten Lampung Timur
kmsridhuan@yahoo.co.id; dwi_irawan12@yahoo.co.id; triyono@yahoo.com

Abstract

Pyrolysis is a combustion using little or no air to get product in the form of charcoal and liquid smoke. Charcoal is a source of fuel and liquid smoke is a food preservative. The results are affected by factors as the combustion process, fuel and biomass. The purpose of this research is to obtain design of the pyrolysis device shape, size and capacity in producing bio-charcoal and liquid smoke with the biomass used and to know the amount of fuel and raw materials and the amount of fuel, biomass and energy required. The experimental method of the pyrolysis performance using fuel, materials biomass of rubber shell. The data taken temperature, time, charcoal mass and liquid smoke, the research result that is high reactor 120 cm and in diameter 53 cm. Small cylinder raw material with diameter 27 cm and height 52 cm. Condenser is cylindrical height 60 cm and diameter 35 cm. rubber shell burning for 220 minute at the fire temperature 307 °C and pyrolysis temperature 403 °C shows that efficiency of carbonization was 46,7% and the mass of liquid smoke 246 gr. Energy combustion fuel is 1126,44kJ, The average production capacity charcoal is 0.37 kg/hour and the average liquid smoke is 74.3 gr/hour. The heat losses in the rubber shell biomass testing are 2227,32 W; young coconut skin qr = 2177,38 W; rice husk qr = 2118,65 W. comparison of raw material fuel is 6 : 1

Abstrak

Pirolisis merupakan suatu pembakaran dengan menggunakan sedikit atau tanpa udara agar didapat produk berupa arang dan asap cair. Arang merupakan sumber bahan bakar dan asap cair adalah sebagai bahan pengawet makanan. Hasil yang diperoleh tersebut sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti bahan bakar, bahan baku biomassa dan proses pembakaran serta alat pirolisis. Maka perlu dirancang suatu peralatan yang memadai sehingga hasil yang didapat bisa lebih optimal. Tujuan dari penelitian ini untuk mendapatkan bentuk dan ukuran serta kapasitas alat pirolisis dalam memproduksi bio-arang dan asap cair dengan biomassa yang digunakan dan mengetahui jumlah bahan bakar dan bahan baku serta jumlah energi yang diperlukan. Metode penelitian dengan kaji eksperimental yaitu rancangan dan pengujian unjuk kerja alat pirolisis dengan menggunakan bahan bakar dan bahan baku biomassa cangkang karet. Data yang diambil temperatur, waktu, massa arang dan asap cair, Hasil penelitian didapat yaitu reaktor tinggi 120 cm dan diameter dalam 53 cm. Silinder kecil tempat bahan baku berdiameter 27 cm dan tinggi 52 cm. Kondensor berbentuk silinder dengan tinggi 60 cm dan diameter 35 cm. Pembakaran biomassa selama 220 menit dengan suhu api 307 °C dan suhu pirolisis 403 °C, efisiensi pengarangan 46,7%. massa asap cairnya 246 gr. Energi pembakaran bahan bakar yaitu 1126,44kJ. Kapasitas produksi alat dalam menghasilkan arang yaitu 0,37 kg/jam dan asap cair rata-rata 74,3 gr/jam. Kerugian panas yang terjadi pada reaktor pirolisis yaitu 2227,32 W. Perbandingan bahan bakar dengan bahan baku adalah 6 : 1.

Kata Kunci: *Pirolisis, Reaktor, Biomassa, Energi, Pembakaran*

1. PENDAHULUAN

Pirolisis merupakan suatu dekomposisi kimia bahan organik melalui proses pemanasan pada suhu tinggi yang terjadi tanpa atau sedikit oksigen atau reagen lainnya, di mana material mentah akan mengalami pemecahan struktur kimia menjadi fase gas. Dan menurut Fatima (2004) produk dari pirolisis berupa padatan (charcoal/arang), gas (fuel gas) dan cairan (bio-oil). Padatan merupakan bahan

bakar bioarang, kemudian cair merupakan bahan bakar minyak (bio oil) atau cairan pengawet makanan (asap cair) kemudian gas merupakan bahan bakar gas atau gas panas. Semua produk hasil pirolisis tersebut sangat bermanfaat dan dapat digunakan terutama sebagai bahan bakar. Untuk proses tersebut diperlukan reaktor pembakaran pirolisis.

Reaktor pembakaran merupakan alat khusus yang selama ini hanya digunakan untuk proses



pembuatan arang saja. Sedangkan bila kita tinjau lebih dalam lagi, dari proses pembakaran biomassa melalui tungku ini bisa dimanfaatkan lagi untuk proses pemanasan. Misalnya untuk memanaskan sebuah tabung tertutup berisi biomassa yang memiliki kapasitas lebih kecil dari tungku pembakaran. Dengan dipanaskan tanpa adanya oksigen atau dengan pasokan oksigen yang terbatas, tabung tersebut dapat kita manfaatkan untuk menghasilkan uap organik yang memiliki potensi untuk dijadikan sebuah produk asap cair.

Proses pirolisis dapat dibagi menjadi 3 jenis yang berbeda yaitu : pirolisis lambat dan pirolisis cepat. Dalam pirolisis cepat terjadi pada suhu pembakaran tinggi 600 dan waktu pemanasan singkat (<5 menit) produk paling dominan yang dihasilkan adalah dalam bentuk cairan (*bio-oil*/minyak), sedangkan pirolisis lambat (400) waktu pemanasan lama (>15 menit) untuk produksi *biochar* dalam bentuk padatan. Ketiga proses pirolisis tersebut akan menghasilkan komposisi produk akhir yang berbeda beda pula. Proporsi komponen produk akhir pada masing proses pirolisis disajikan di tabel 1.

Tabel 1. Komposisi produk yang dihasilkan pada berbagai kondisi *pyrolysis*

Bahan	Uap Cair (%)	Padatan (%)	Gas (%)
Pinus (400-600°C), waktu pemanasan singkat (5 menit)	75%	12%	13%
Pinus (400-600°C), waktu pemanasan sedang (5-15 menit)	40%	50%	10%
Pinus (400-600°C), waktu pemanasan lama (>15 menit)	10%	70%	20%
Pinus (600-800°C), waktu pemanasan singkat (5-15 menit)	10%	15%	75%

a. Biomassa

Biomassa adalah bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintetik. Biomassa dapat diubah menjadi energi alternatif dengan tiga proses utama yaitu pembakaran langsung, konversi secara termokimia dan proses biologi. Komponen dari biomassa sendiri sebagian besar terdiri dari selulosa 40-45% (untuk tumbuhan kasar dan halus), lignin 25-35% (untuk tumbuhan halus) dan 17-25% (untuk tumbuhan kasar), hemiselulosa 20% (untuk tumbuhan halus) dan 17-25% (untuk tumbuhan kasar) (Hornell, 2001). Pembakaran pada biomassa dapat mencapai suhu yang cukup tinggi dan waktu yang cukup singkat, seperti kulit kelapa muda dengan suhu 430°C dan waktu 80 menit berdasarkan penelitian Ridhuan (2015). dan kulit durian mencapai suhu 443°C dengan waktu 90 menit menurut penelitian Ridhuan (2016).

b. Bio-arang

Arang atau karbon merupakan residu hitam berbentuk padatan berpori yang mengandung 85-95 % karbon yang nantinya akan dihasilkan dengan menghilangkan kandungan air dan komponen *volatile* dari bahan-bahan yang mengandung karbon melalui pemanasan pada suhu tinggi. Kendati demikian, masih terdapat sebagian pori – pori yang tetap tertutup dengan hidrokarbon, ter dan senyawa organik lain. Kualitas arang karbon juga dipengaruhi oleh kesempurnaan dalam proses karbonisasinya. Banyaknya arang karbon yang dihasilkan ditentukan oleh komposisi awal biomassa yang digunakan. Bila dalam proses karbonisasi kandungan zat menguap semakin banyak maka akan semakin sedikit karbon yang dihasilkan karena banyak bagian yang terlepas ke udara. Ridhuan (2015), meneliti tentang pengaruh proses pirolisis dan nonkarbonisasi pada sampah kulit durian terhadap nilai kalori yang dihasilkan. Hasilnya menunjukkan bahwa nilai kalor arang proses pirolisis lebih tinggi 5726,1789 Cal/gr dibandingkan nilai kalor nonkarbonisasi 3418,9846 Cal/gr.

c. Asap Cair

Asap cair merupakan salah satu bahan cair berwarna kehitaman yang berasal dari biomassa seperti kayu, kulit kayu dan limbah industri biomassa lainnya melalui teknologi pirolisis. Wibowo (2013) mengatakan pirolisis serbuk gergaji sengon pada suhu 350°C - 500°C menghasilkan rendemen liquid 43,75% dengan rendemen asap cair sebesar 7,95%, kadar fenol 3,80, pH 2,84, bobot jenis 1,116 g/cm , nilai kalor 22,42 MJ/kg dan daya nyala sedang. Asap air yang dihasilkan didominasi oleh asam asetat dan fenol, selain itu terdapat beberapa komponen yang termasuk bahan bakar mudah terbakar yaitu 2-propanon (CAS) aseton, benzena, 1,2,4 trimethylbenzena, dan 2- Furanmetanol.

d. Isolasi Termal

Isolasi termal (isolasi termal) adalah metode atau proses yang digunakan untuk mengurangi laju perpindahan panas/kalor. Panas atau energi panas (kalor) bisa dipindahkan dengan cara konduksi, konveksi, dan radiasi atau ketika terjadi perubahan wujud. Mengenai insulasi termal, hanya dibicarakan perpindahan panas secara konduksi, konveksi, dan radiasi. Aliran panas dapat dikendalikan tergantung pada sifat material yang dipergunakan. Bahan yang digunakan untuk mengurangi laju perpindahan panas itu disebut isolator atau insulator. Panas dapat lolos meskipun ada upaya untuk menutupinya, tapi isolator mengurangi panas yang lolos tersebut. Kemampuan insulasi suatu bahan diukur dengan konduktivitas termal (*k*). Konduktivitas termal yang rendah setara



dengan kemampuan insulasi (resistansi termal atau nilai R) yang tinggi. Dalam teknik termal, sifat-sifat lain suatu bahan insulator atau isolator adalah densitas (ρ) dan kapasitas panas spesifik (c).

e. Reaktor Pirolisis

Reaktor Pirolisis adalah alat pengurai senyawa-senyawa organik yang dilakukan dengan proses pemanasan tanpa berhubungan langsung dengan udara luar dengan suhu 300-600°C. Reaktor pirolisis dibalut dengan selimut dari bata dan tanah untuk menghindari panas keluar berlebih, memakai bahan bakar kompor minyak tanah atau gas. Menurut Hadi (2014) Instalasi dengan ceret dapat menghasilkan biochar dengan biaya sangat murah, efisiensi rendah, kualitas biochar rendah. Sedangkan instalasi wajan dan drum menghasilkan efisiensi tinggi, biaya murah, asap cair tidak dapat ditampung.

Caturwati, (2015) melakukan penelitian alat pirolisis dengan tempurung kelapa sawit menggunakan metode VDI 2221 dengan temperatur pirolisis: 250°C, 300°C, 350°C dan 400°C. Menggunakan elemen pemanas kawat nikelin berbentuk spiral dililitkan pada reaktor. Hasil yang diperoleh selama 1 jam menghasilkan produk char (padatan) arang dengan nilai kalor 7070,335 kalori/gram.

Duwi (2010) menggunakan reaktor pirolisis tak kontinyu, pemanasan berasal dari luar. dengan temperatur 250°C, 350°C dan 450°C, serta komposisi campuran sampah kertas dan daun yaitu 75% kertas - 25% daun, 50% kertas - 50% daun dan 25% kertas - 75% daun. Hasilnya menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu maka tar yang dihasilkan relatif meningkat, viskositas tertinggi minyak pirolisis sebesar 65 mm²/s pada komposisi 25% kertas - 75% daun temperatur 350°C, densitas rata-rata minyak pirolisis 1140,33 kg/m³, pada komposisi 25% kertas - 75% daun. Nilai kalor terbesar 11,59 MJ/kg pada komposisi 75% kertas - 25% daun dengan temperatur 450°C.

f. Prinsip Kerja Alat Pirolisis

Prinsip kerja dari alat pirolisis dengan menggunakan bahan bakar dan bahan baku biomassa ini yaitu dengan memanfaatkan pembakaran biomassa (sebagai bahan bakar) dari dalam reaktor untuk memanaskan tabung pitot yang berisi biomassa (sebagai bahan baku). Setelah biomassa dalam tabung pitot terdekomposisi dan menghasilkan uap organik, uap ini akan disalurkan dengan pipa penghubung menuju ke kondensor. Kemudian uap akan berubah fase menjadi cairan setelah melalui pipa kondensat. Proses ini akan berlangsung sampai bahan bakar dalam reaktor menjadi *char* (arang), yang ditandai dengan menurunnya temperatur dalam ruang bakar secara drastis dan cairan pirolisis sudah tidak dihasilkan lagi.

f. Analisis Perhitungan

1. Energi pembakaran adalah energi yang dihasilkan dari proses pembakaran sejumlah biomassa untuk proses pemanasan pirolisis, besar energi tersebut (Endarko : 2008) :

$$E_h = m_{bio} \cdot c_{bio} \cdot (T_{p\ max} - T_{a\ bio}) \dots \dots \dots (1)$$

2. Energi kondensor adalah energi yang diserap oleh air kondensor untuk mendinginkan panas asap cair. besar energi tersebut (Endarko : 2008) :

$$E_{kd} = m_{air} \cdot c_{air} \cdot (T_{max\ air} - T_{awal\ air}) \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

E_h = Energi pembakaran dari biomassa (kJ)

m_{bio} = Massa biomassa (kg)

c_{bio} = Panas jenis (*specific heat*) biomassa (kJ/kg.K)

$T_{awal\ bio}$ = Suhu awal biomassa tercatat (°C)

$T_{p\ max}$ = Suhu pembakaran maksimal biomassa tercatat (°C)

E_{kond} = Energi yang diserap oleh air kondensor (kJ)

m_{air} = Massa air (kg)

c_{air} = Panas jenis (*specific heat*) air (kJ/kg.K)

$T_{awal\ air}$ = Suhu awal air tercatat (°C)

$T_{max\ air}$ = Suhu maksimal air tercatat (°C)

3. Kinerja reaktor pirolisis, adalah kemampuan reator dalam menghasilkan banyaknya bio-arang dan asap cair yang didapat. Besarnya produk tersebut (Aulia N., 2011) :

$$Kka = \frac{\text{produk yang dihasilkan (kg)}}{\text{waktu pirolisis (jam)}} \dots \dots \dots (3)$$

$$R = \frac{\text{produk yang dihasilkan (kg)}}{\text{total bahan pirolisis (kg)}} \times 100\% \dots (4)$$

$$S = \frac{\text{produk yang dihasilkan (kg)}}{\text{total bahan pirolisis (kg)}} \times 100\% \dots (5)$$

Keterangan:

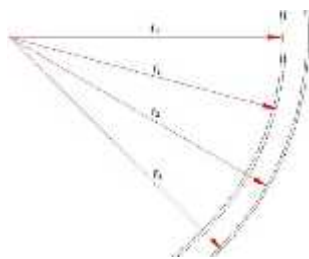
Kka = Kapasitas kerja alat (kg/jam)

R = Rendemen (%)

S = Persentase hasil *bio-oil* terhadap padatan (%)

4. Kerugian panas yang terjadi pada aliran kalor dalam silinder berlapis (Holman, 1997) :

$$q_r = \frac{2 \pi L (T_1 - T_2)}{\frac{\ln(r_2/r_1)}{k_a} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{k_b}} \dots\dots\dots(6)$$



Gambar 1. Jari-jari lapisan dinding reaktor

5. Kerugian panas yang terjadi pada dinding reactor dapat dicari (Holman, 1997) :

$$A_r = 2 \pi r L \dots\dots\dots(6)$$

Sehingga menjadi :

$$q_r = -k A_r \frac{\partial T}{\partial r} = -k (2 \pi r L) \frac{\partial T}{\partial r} \dots\dots\dots(7)$$

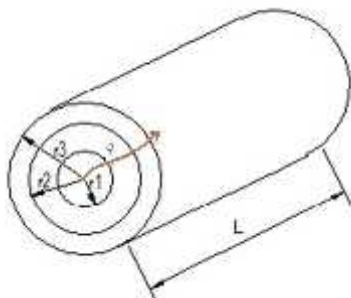
Dimana:

q_r = Laju perpindahan kalor pada sistem silinder (W)

k = Konduktivitas termal (W/m.K)

A_r = Luas bidang aliran (m²)

$\frac{\partial T}{\partial r}$ = Gradient temperatur



Gambar 2. Silinder berlapis

6. Efisiensi termal reaktor merupakan jumlah panas yang terserap dan yang terjadi khususnya pada bagian dinding reaktor dapat diketahui dengan persamaan berikut :

$$i = \text{panas yang terjadi} - \text{rugi panas} = E_h - q_r$$

3. METODE PENELITIAN

A. Perancangan alat pirolisis

Alat pirolisis terlebih dahulu dirancang mengenai bentuk dan ukuran serta bahan yang akan digunakan agar didapat

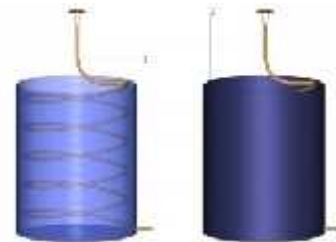
rancangan yang sesuai dengan biomassa yang akan digunakan.

B. Bahan Pembuatan

1. Plat *mild steel*,
2. Pipa galvanis
3. Pipa tembaga

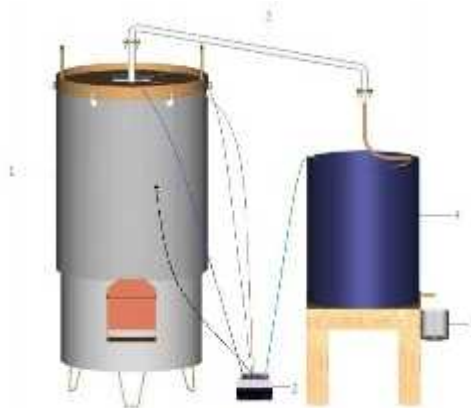
C. Gambaran Alat

1. Bentuk ilustrasi 3D kondensor tipe vertical



Gambar 3. Silinder Kondensor

2. Skema pengujian alat pirolisis



Gambar 4. Rangkaian Reaktor Pirolisis

- 1) Reaktor dan Tabung Pitot

Reaktor tungku pembakaran merupakan alat khusus untuk pembakaran. Pembakaran berlangsung di dalam reaktor dengan membatasi pasokan udara terhadap bahan yang sedang dibakar. Pasokan udara diberikan melalui lobang udara pada badan silinder.

- 2) Tabung pitot difungsikan sebagai alat pengurai senyawa-senyawa organik dari biomassa yang dilakukan dengan proses pemanasan tanpa berhubungan langsung dengan udara luar. Alat ini diletakkan di dalam reaktor, dimana proses pemanasannya diambil dengan memanfaatkan pembakaran biomassa yang terjadi di dalam reaktor.



- 3) Kondensor Kondensor merupakan komponen alat yang berfungsi untuk mengembunkan asap menjadi cairan. Kondensor yang digunakan merupakan kondensor tipe vertikal. Uap organik yang mengalir dari tabung pitot melalui pipa penghubung akan masuk pada kondensor dan akan mengembun pada pipa kondensat yang terdapat dalam kondensor. Pipa kondensat ini berbentuk spiral dengan arah vertikal. Selama uap tersebut dalam pipa kondensat maka akan terjadi pengembunan sehingga terbentuk cairan.

D. Prosedur Pengujian

1. Siapkan semua peralatan dan bahan biomasanya serta pasang termokopel pada bagian titik-titik yang sesuai dengan temperatur yang dicari.
2. Timbang dan masukan biomassa ke dalam tabung pitot. Sisakan sedikit ruang untuk uap organik yang dihasilkan dari proses pemanasan tabung pitot. Kemudian tutup dan masukkan pitot ke dalam reaktor.
3. Timbang dan masukkan juga biomassa ke dalam tabung reaktor sebagai bahan bakar. Pengisian cangkang ke dalam tabung reaktor dilakukan sampai tabung pitot tertutupi bahan bakar atau hampir memenuhi kapasitas reaktor.
4. Setelah tabung reaktor terisi biomassa, siram sedikit minyak tanah untuk mempermudah saat proses pembakaran.
5. Nyalakan api dan setelah api benar-benar hidup, tutup reaktor dan pasang saluran pipa penghubung yang menuju ke kondensor.
6. Lakukan pencatatan kenaikan temperatur pada tiap-tiap titik setiap 5 menit.
7. Amati saat asap cair mulai menetes dan tampung dengan wadah.
8. Tunggu sampai proses pirolisis selesai yaitu dengan cara melihat temperatur api dan temperatur tabung pitot mencapai temperatur maksimal dan asap cair tidak menetes lagi.
9. Setelah proses selesai, arang membara dari tabung reaktor dan tabung pitot siram dengan air.
10. Kemudian dipilah dan dibersihkan bongkahan arang dari serbuknya.
11. Setelah itu jemur arang pada sinar matahari hingga kering, lalu timbang dan

ukur arang dan asap cair yang didapatkan.

4. HASIL DAN PERHITUNGAN

A. Hasil

Berdasarkan hasil dari pengujian reaktor pirolisis dengan menggunakan bahan biomassa, maka didapat data sebagai berikut :

- a. Waktu proses pembakaran pirolisis 270 menit
- b. Suhu pembakaran bahan bakar 307
- c. Suhu pembakaran pirolisis pada tabung pitot 403
- d. Suhu dinding dalam reaktor 337
- e. Suhu dinding luar reaktor 114
- f. Bahan bakar yang digunakan 12 kg
- g. Arang hasil bahan bakar 1,5 kg
- h. Bahan baku yang digunakan 2,1 kg
- i. Hasil arang pirolisis 1 kg
- j. Asap cair yang dihasilkan 246 gr

B. Perhitungan

Dari data di atas maka dapat dihitung nilai-nilai sebagai berikut :

Energi yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar (E_h) biomassa cangkang karet yaitu :

$$\begin{aligned} E_h &= m_{bio} \times c_{bio} \times (T_{p\max} - T_{a\ bio}) \\ &= 12 \text{ kg} \times 1,255 \text{ kJ/kg.} \times (307 - 33) \\ &= 4126,44 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Energi yang terjadi pada pembakaran pirolisis (E_p) di tabung pitot bahan bakar biomassa cangkang karet yaitu :

$$\begin{aligned} E_h &= m_{bio} \times c_{bio} \times (T_{p\max} - T_{a\ bio}) \\ &= 2,1 \text{ kg} \times 1,255 \text{ kJ/kg.} \times (403 - 30) \\ &= 983,04 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Energi yang diserap air kondensor (E_{kond}) pada pendinginan asap cair, yaitu :

$$\begin{aligned} E_{kd} &= m_{air} \cdot c_{air} \cdot (T_{\max\ air} - T_{awal\ air}) \\ &= 62,8 \text{ kg} \times 4,178 \text{ kJ/kg.} \times (34 - 32) \\ &= 787,13 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Kapasitas kerja reaktor pirolisis (KKA) dalam menghasilkan produk arang, yaitu :

$$KKA_{arang\ pirolisis} = \frac{1 \text{ kg}}{4,5 \text{ jam}} = 0,2 \text{ kg/jam}$$



Dan efiseinsi pengarangan pirolisis dari bahan baku yang dihasilkan, yaitu :

$$R_{arang\ pirolisis} = \frac{1\ kg}{2,1\ kg} \times 100\% = 47,6\ \%$$

Dan efiseinsi arang yang dihasilkan dari bahan bakar yang digunakan, yaitu :

$$R_{arang\ bb} = \frac{1,5}{12} \times 100\% = 12,5\ \%$$

Kapasitas kerja reactor pirolisis (Kka) dalam menghasilkan produk asap cair, yaitu :

$$Kka_{asap\ cair} = \frac{246}{4,5} = 54,7\ gr/jam$$

Dan persentase hasil asap cair pirolisis dari bahan baku cangkang karet, yaitu :

$$R_{arang\ bb} = \frac{0,246}{12} \times 100\% = 2,1\ \%$$

kerugian panas pada dinding reactor pirolisis (q_r) yang terjadi, yaitu :

$$q_r = \frac{2 \pi L (T_1 - T_2)}{\frac{\ln(r_2/r_1)}{k_a} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{k_b}}$$

$$= \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,67\ m (337^\circ C - 114^\circ C)}{\frac{\ln(\frac{0,28\ m}{0,2475\ m})}{60,5\ W/mK} + \frac{\ln(\frac{0,28\ m}{0,25\ m})}{0,27\ W/mK} + \frac{\ln(\frac{0,2812\ m}{0,28\ m})}{60,5\ W/mK}}$$

$$= \frac{938,2948\ m^\circ C}{0,421266\ mK/W}$$

$$q_r = 2227,32\ W$$

C. Pembahasan

Hasil dari perancangan dan pengujian reactor pirolisis serta perhitungannya tersebut sehingga diketahui reactor pirolisis tersebut mampu memproduksi hasil bio-arang dan asap cair dengan kualitas dan kuantitas yang cukup memadai. Ukuran diameter 27 cm dan tinggi 53 cm cukup idel untuk ukuran alat pirolisis skala penelitian dan produksi karena kinerjanya terlihat cukup baik yaitu untuk arang 0,2 kg/jam dan untuk asap cair 54,7 gr/jam. Produksi arang dan asap cair merupakan kondisi

yang berbeda yaitu semakin tinggi suhu pembakaran maka hasil arang akan menjadi sedikit namun untuk asap cair menjadi lebih banyak. Semakin lama proses pirolisis maka akan menghasilkan asap cair yang banyak namun sebaliknya dengan arang akan menghasilkan jumlah yang sedikit.

Suhu pembakaran pirolisis yang terjadi pada reactor ini dengan menggunakan bahan biomassa cangkang karet terlihat cukup tinggi yaitu 403 dan suhu api pembakaran bahan bakar 307, kondisi ini cukup ideal untuk tipe pirolisis lambat. Kemudian efisiensi pengarangan bahan bakau pirolisis cukup besar yaitu 47,6%. Sementara itu persentasi hasil asap cair yang didapat yaitu 2,1%, hal ini dikarenakan adanya kebocoran pada sambungan dan pada bagian keluar asap cair masih terdapat uap yang belum terkondensasi. Dan perbedaan suhu pendingin air yang terjadi masih cukup kecil yaitu 2.

5. KESIMPULAN

- Hasil suhu pembakaran bahan bakar dan pembakaran pirolisis maksimal dan lama waktu yang diperoleh saat proses pengujian :

$$T_{max} = 307 \quad \text{dan} \quad T_{max} = 403$$

$$t = 270\ \text{menit}$$

- Kapasitas kerja alat (ΣKka), rendemen (R), dan presentase hasil cairan pirolisis terhadap padatan (s), untuk semua jenis bahan pengujian diperoleh hasil sebagai berikut :
Produk arang karbonisasi langsung :

$$\Sigma KKA = 0,67\ kg/jam \quad \text{dan} \quad R = 24,88\%$$

- Produk arang karbonisasi dengan pirolisis :

$$\Sigma KKA = 0,2\ kg/jam; \quad R = 47,6\%$$

- Produk cairan pirolisis (*bio-oil*) :

$$\Sigma KKA = 54,7\ gr/jam \quad ; \quad S = 2,1\%$$

- Kerugian panas (q_r) yang terjadi saat proses pengujian menggunakan biomassa cangkang karet yaitu 2227,32 W,

DAFTAR PUSTAKA

- Fatimah, Is. 2004, Pengaruh Laju Pemanasan Terhadap Komposisi Biofeul Hasil Pirolisis Serbuk Kayu, *Jurnal Logika*, Vol.1 No.1 Issn:1410-2315 - Hlm.46-50.



- [2] Ridhuan, Kemas. Suranto, Joko. 2016. Perbandingan pembakaran Pirolisis dan Karbonisasi pada biomassa Kulit Durian Terhadap Nilai Kalori. *Jurnal Teknik Mesin "Turbo"*. Volume 5 Nomor 1. ISSN: 2301 6663
- [3] Ridhuan, Kemas. Arya, Sepit. 2015. Karakteristik Pembakaran berbagai Jenis Bahan Limbah Biomassa dengan Menggunakan Proses Nonkarbonisasi. *Jurnal Teknik Mesin "Turbo"*. Volume 4 Nomor 1. ISSN: 2301 6663
- [4] Wibowo, Santiyo. 2013, Karakteristik Bio-Oil Serbuk Gergaji Sengon Menggunakan Proses Pirolisis Lambat Paraserianthes Falcatari, *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* Vol. 31 No. 4, Issn: 0216-4329 - Hlm.258-270.
- [5] Hadi, Abdul. Gafur, A. Udiantoro. Mukhlis, 2014, Desain Instalasi Pirolisis Limbah Pertanian Dalam Rangka Minimalisasi Emisi Gas Rumah Kaca Dari Lahan Basah, *Prosiding SNST Ke-5, Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang*, ISBN: 978-602-99334-3-7. Hlm.1-9.
- [6] Caturwati, NK., Suhendi, Endang., Prasetyo, Eko. 2015. *Alat Pirolisis Tempurung Kelapa Sawit Sebagai Bahan Baku Briket Biomassa*. *Jurnal Teknik Mesin Untirta*. Vol 1, no 2, hal. 38-45.
- [7] Duwi Sukseswati, Dini. 2010. *Karakteristik Sifat Fisik dan Kimia Minyak Hasil Pirolisis Lambat Campuran Sampah Kertas dan Daun*. Jurusan Teknik Mesin. Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- [8] Endarko., Muntini, Melania Suweni., Prasetyo, Lea., & Faisal, Heny. 2008. *Fisika SMK Teknologi Jilid II*. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- [9] Aulia Novita, Sri. 2011. *Kinerja dan Analisis Tekno-Ekonomi Alat Penghasil Asap Cair dengan Bahan Baku Limbah Pertanian*. Artikel. Program Pascasarjana Universitas Andalas Padang.
- [10] Holman, P. 1997. *Perpindahan Kalor*. Jakarta: Edisi ke Enam. Penerbit Erlangga.



PERENCANAAN TURBIN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG MENGGUNAKAN TEKNOLOGI OSCILATING WATER COLUMN MENGGUNAKAN PROGRAM ANSYS 6.0

Jenny Delly¹⁾, Al Ichlas Imran²⁾, Baso Mursidi³⁾

¹⁾ Jurusan Teknik Mesin Universitas Halu Oleo

²⁾ Jurusan Teknik Mesin Universitas Halu Oleo

³⁾ Jurusan Teknik Sipil Universitas Halu Oleo

ABSTRAK

Untuk di Sulawesi Tenggara saat ini, telah berdiri beberapa jenis pembangkit listrik. Pembangkit-pembangkit itu adalah pembangkit listrik tenaga diesel, pembangkit listrik tenaga uap, dan pembangkit listrik tenaga gas. Dari semua jenis pembangkit yang telah ada, keseluruhannya tergantung dari pemakaian bahan bakar yang berasal dari pembakaran fosil yang berumur jutaan tahun yaitu batu bara dan minyak bumi. Keseluruhan pembangkit-pembangkit yang sudah ada ini, tentu saja menimbulkan beberapa permasalahan baik itu terhadap lingkungan, kesehatan dan ekonomi. Untuk mengantisipasi hal tersebut maka dilakukan suatu upaya dengan penyediaan energi listrik berbahan bakar alternatif yang sifatnya non konvensional yakni pembangkit listrik tenaga gelombang laut. Pembangkit listrik tenaga gelombang laut ini menggunakan teknologi *oscillating water column* (PLTGL-OWC). Energi gelombang merupakan energi yang sifatnya dapat diperbaharui dan ramah lingkungan, serta selalu tersedia sepanjang waktu.

Dalam penelitian ini dianalisis mengenai besarnya energi yang dihasilkan gelombang laut dengan penggunaan teknologi *oscillating water column* (OWC) dengan bervariasi jumlah blade (4,5 dan 6 buah) pada turbin yang akan digunakan juga diameter kolom dari desain OWC dengan cara mensimulasikan menggunakan program ANSYS 16.00.

Dari hasil simulasi diperoleh bahwa tekanan maksimum terjadi pada turbin dengan jumlah blade 6 sebesar 90,017 Pa dan tekanan terendah pada jumlah blade 4 buah sebesar 7,083 Pa. Dari visualisasi diperoleh pola aliran yang terjadi ketika melawati turbin dan stream line dari aliran udara yang melewati turbin terlihat banyaknya aliran balik pada sisi belakang blade turbin dengan jumlah blade 6 yang mengakibatkan kecepatan aliran meningkat. Akibat dari kecepatan aliran yang meningkat maka putaran turbin juga naik sehingga daya yang dihasilkan juga meningkat.

Kata kunci: Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut, *Oscillating water column*, PLTGL-OWC

PENDAHULUAN

Semakin menurunnya cadangan minyak bumi dan bahan bakar sumber fosil lain akhirnya menjadi permasalahan serius bagi seluruh dunia. Untuk itulah perlu adanya solusi alternatif sumber energi terbarukan yang efisien dan ramah lingkungan. Di beberapa negara negara seperti Amerika Serikat, Rusia, Inggris, Perancis, Kanada, Jepang, Belanda, dan Korea telah mulai meneliti kemungkinan pemanfaatan energi dari laut terutama gelombang, pasang surut, dan panas laut dengan hasil yang memberikan harapan cukup baik. Bagi Indonesia yang memiliki luas perairan hampir 60% dari luas wilayahnya, pemanfaatan sumber energi terbarukan yang berasal dari lautan sangatlah mungkin dilakukan untuk bisa menggantikan ketergantungan terhadap bahan

bakar fosil. Akhirnya penelitian hingga pemanfaatan lautan sebagai upaya mencari jawaban terhadap tantangan kekurangan energi di waktu mendatang dan upaya penggunaan sumber daya energi tersebut tengah dilakukan berbagai pihak.

Berdasarkan data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (Kemen ESDM), Indonesia memiliki potensi energi laut yg bisa dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif sebesar 49 GW (Giga Watt). Pemanfaatan energi laut untuk kebutuhan listrik sebenarnya bisa dilakukan melalui 3 cara yakni dengan memanfaatkan gelombang, arus hingga perbedaan suhu lapisan lautnya (*Ocean Thermal Energy Conversion* atau OTEC). Dari masing-masing cara pemanfaatan energi laut Asosiasi Energi Laut Indonesia (ASELI) di tahun 2011 telah mendata potensi energi listrik



yang bisa dihasilkan. Arus pasang surut memiliki potensi teoritis sebesar 160 gigawatt (GW), potensi teknis 22,5 GW, dan potensi praktis 4,8 GW. “Gelombang laut mempunyai potensi teoritis 510 GW, potensi teknis 2 GW, dan potensi praktis 1,2 GW. Serta panas laut memiliki potensi teoritis 57 GW, potensi teknis 52 GW, dan potensi praktis 43 GW,” Mukhtasor, Ketua ASELI. Berdasarkan data yang dikeluarkan oleh asosiasi tersebut, secara teoritis, total sumberdaya energi laut nasional sangat melimpah, meliputi energi dari jenis panas laut, gelombang laut dan arus laut, yaitu mencapai 727.000 MW. Namun demikian, potensi energi laut yang dapat dimanfaatkan dengan menggunakan teknologi sekarang dan secara praktis memungkinkan untuk dikembangkan, berkisar antara 49.000 MW. Diantara potensi sedemikian besar tersebut, industri energi laut yang paling siap adalah industri berbasis teknologi gelombang dan teknologi arus pasang surut, dengan potensi praktis sebesar 6.000 MW.

Pijakan pengembangan energi laut sebenarnya telah tersedia dalam UU No. 30/2007 tentang Energi maupun UU No. 17/2007 tentang Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional (RPJPN). Undang-undang tersebut mengamanatkan bahwa penyediaan dan pemanfaatan energi terbarukan wajib ditingkatkan oleh pemerintah dan pemerintah daerah (pasal 20 angka 4 dan pasal 21 angka 2), penyediaan dan pemanfaatan energi dari sumber energi terbarukan dapat memperoleh kemudahan dan/atau pemerintah daerah sesuai dengan kewenangannya untuk jangka waktu tertentu hingga tercapai nilai keekonomiannya (pasal 20 angka 5 dan pasal 21 angka 3).

Penelitian awal mengenai pemanfaatan energi laut khususnya pemanfaatan arus laut sebenarnya sudah dilakukan oleh Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) lewat Balitbang KP. “Energi laut yang menghasilkan listrik sebanyak 5Kw (Kilo watt) sudah berhasil dilakukan di Selat Larantuka, Flores, Nusa Tenggara Timur. Energi ini dihasilkan dari arus selat yang sangat besar di Selat Larantuka,” (Prof Rizald Max Rompas). Balitbang KP tengah melakukan penelitian untuk bisa menghasilkan listrik sebanyak 10 Kw sembari meneliti lokasi yang potensial untuk

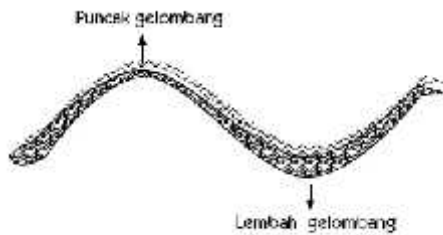
pengembangan energi arus ini. Setidaknya ada 4 lokasi lain yang potensial selain di Larantuka yakni Pulau Jawa, Sulawesi Tenggara, Papua dan Batam

Melihat topografi Sulawesi Tenggara yang dikelilingi oleh laut, jenis pembangkit listrik tenaga gelombang laut sangat cocok dibangun di Sulawesi Tenggara. Jenis pembangkit listrik tenaga gelombang laut ini selain ramah lingkungan, dalam pembangunan dan pengoperasiannya tidak akan merusak ekosistem alam di Sulawesi Tenggara, sehingga Sulawesi Tenggara akan menjadi daerah tujuan wisata yang terkenal dengan keindahan alamnya. Saat ini telah banyak jenis teknologi yang dikembangkan pada pembangkit listrik tenaga gelombang laut, diantaranya: teknologi *buoy tipe*, teknologi *overtopping devices*, dan teknologi *Oscilating water column*. Untuk di Sulawesi Tenggara sendiri, teknologi yang cocok dikembangkan adalah pembangkit listrik tenaga gelombang laut dengan teknologi *oscilating water column* (PLTGL-OWC). Hal ini dikarenakan teknologi *oscilating water column* (OWC) sangat cocok dibangun di daerah dengan topografi dasar laut yang landai dan memiliki ketinggian gelombang laut yang konstan, serta tidak memerlukan daerah konstruksi yang luas.

Pada penelitian ini kami meneliti pengaruh dari jumlah blade/kipas turbin terhadap daya yang di hasilkan tubin

GELOMBANG LAUT

Gelombang laut merupakan energi dalam transisi, merupakan energi yang terbawa oleh sifat aslinya. Prinsip dasar terjadinya gelombang laut adalah sebagai berikut (waldopo,2008): “ *Jika ada dua massa benda yang berbeda kerapatannya (densitasnya) bergesekan satu sama lain, maka pada bidang geraknya akan terbentuk gelombang.* ” Gelombang merupakan gerakan naik turunnya air laut. Hal ini seperti ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Gambar pergerakan air laut.
(Sumber: Waldopo, 2008)

Gelombang permukaan merupakan gambaran yang sederhana untuk menunjukkan bentuk dari suatu energi lautan. Gejala energi gelombang bersumber pada fenomena-fenomena sebagai berikut (Pudjanarsa, 2006):

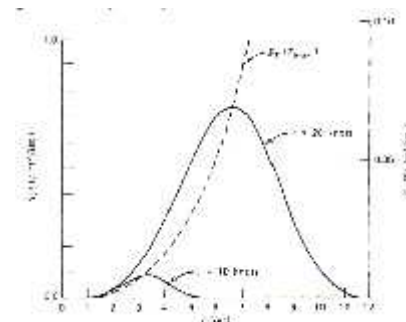
- Benda (*body*) yang bergerak pada atau dekat permukaan yang menyebabkan terjadinya gelombang dengan periode kecil, energi kecil pula.
- Angin merupakan sumber penyebab utama gelombang lautan.
- Gangguan seismik yang menyebabkan terjadinya gelombang pasang atau tsunami. Contoh gangguan seismik adalah: gempa bumi, dll.
- Medan gravitasi bumi dan bulan penyebab gelombang-gelombang besar, terutama menyebabkan gelombang pasang yang tinggi.

Selanjutnya gelombang laut ditinjau dari sifat pengukurannya dibedakan menurut ketinggian serta periode alunannya. Dari kebanyakan data yang ada, tinggi gelombang lautan dapat diukur melalui alat ukur gelombang ataupun dengan cara visual dengan melakukan pengamatan langsung di lapangan. Gelombang laut sukar dijabarkan dengan pasti, tetapi dapat diformulasikan dengan pendekatan. Berbagai macam teori pendekatan digunakan untuk memberikan informasi ilmiah tentang sifat gelombang lautan pada suatu tingkat fenomena yang aktual. Suatu teori sederhana tentang gelombang lautan dikenal sebagai teori dari Airy atau teori gelombang linier.

Selanjutnya para ahli membedakan sifat gelombang laut sebagai gelombang linier dan gelombang non-linier.

Pengaruh angin

Angin adalah sumber utama terjadinya gelombang lautan. Dengan demikian tinggi gelombang, periode, dan arah gelombang selalu berhubungan dengan kecepatan dan arah angin. Angin dengan kecepatan rendah akan menyebabkan kecilnya tinggi gelombang dan rendahnya periode gelombang yang terjadi, sedangkan angin yang kuat dan angin ribut akan menyebabkan variasi tinggi serta periode gelombang serta mengarah ke berbagai penjuru. Pada kondisi angin yang baik, gelombang laut dapat diobservasi secara random, baik untuk tinggi, periode, maupun arahnya. Angin memberikan pengaruh yang besar terhadap terjadinya gelombang laut sehingga efisiensi hampir semua pesawat konversi energi gelombang laut dipengaruhi oleh frekuensi angin yang terjadi sepanjang tahun pada suatu zone lautan tertentu. Gambar 2 menunjukkan suatu spektrum periode gelombang untuk berbagai variasi kecepatan angin.



Gambar 2. Spektrum periode gelombang untuk berbagai kecepatan angin (Pudjanarsa, 2006)

Komponen dasar PLT gelombang laut

Konstruksi pembangkit listrik tenaga (PLT) gelombang terdiri dari mesin konversi energi gelombang, turbin, generator.

A. Mesin konversi energi gelombang laut

Energi gelombang laut dapat dimanfaatkan untuk menggerakkan pesawat-pesawat yang nantinya bermanfaat demi kesejahteraan manusia. Upaya untuk memanfaatkan energi gelombang laut telah banyak dilaksanakan baik dengan konsep yang sederhana maupun yang canggih. Sejumlah percobaan telah dilaksanakan oleh para



ahli di bidang gelombang laut dan telah ditemukan beberapa konsep pemanfaatannya, diantaranya (Pudjanarsa, 2006):

- a. Konsepsi yang sederhana:
 - *Heaving and pitching bodies*
 - *Cavity resonators*
 - *Pressure device*
 - *Surging wave energy convertors*
 - *Particel motion convertors*
 - *Float wave-power machine*
 - *The dolphin type wave power generators*
- b. Konsepsi yang lebih tinggi:
 - *Salter's nodding duck*
 - *Cockerell's rafts*
 - *Russel rectifier*
 - *Wave focusing techniques*

B. Turbin

Turbin merupakan bagian penting dalam suatu pembangkit tenaga listrik. Pada pembangkit listrik tenaga gelombang laut ini jenis turbin yang digunakan ada dua jenis turbin yang banyak digunakan yaitu turbin air dan turbin udara. Dimana turbin air menggunakan media air sebagai fluida kerjanya. Sedangkan turbin udara menggunakan udara sebagai fluida kerjanya. Jenis turbin air biasanya digunakan pada pembangkit listrik tenaga gelombang laut yang menggunakan teknologi *buoy tipe* dan teknologi *overtopping devices*. Sedangkan jenis turbin udara dipakai pada pembangkit listrik tenaga gelombang laut yang menggunakan teknologi *oscillating water column*.

Jenis turbin udara (*wells turbine*) yang digunakan pada PLTGL-OWC ini adalah *unidirectional wells turbine*. Dimana turbin ini terdiri dari 2 jenis ukuran turbin, hal ini disesuaikan dengan prinsip kerja 2 arah pada PLTGL-OWC. Dua buah turbin ini diatur dengan kemiringan posisi bidang turbin yang berlawanan, sehingga nantinya pada pergerakan udara keluar masuk *chamber* dihasilkan arah putaran yang sama. Kemudian dari perputaran turbin inilah nantinya akan dikopel dengan generator sehingga dapat menghasilkan daya

listrik.

Cara kerja PLT gelombang laut

Dalam sistem pembangkitan tenaga gelombang laut, ada beberapa peralatan penting yang sangat berperan mulai dari awal proses pembangkitan hingga tenaga listrik dihasilkan yang nantinya tenaga listrik tersebut akan disalurkan kepada para konsumen. Peralatan-peralatan tersebut adalah:

- a. Mesin konversi energi gelombang laut Berfungsi untuk menyalurkan energi kinetik yang dihasilkan oleh gelombang laut yang kemudian dialirkan ke turbin.
- b. Turbin Berfungsi untuk mengubah energi kinetik gelombang menjadi energi mekanik yang dihasilkan oleh perputaran rotor pada turbin.
- c. Generator Di dalam generator ini energi mekanik dari turbin dirubah kembali menjadi energi listrik atau boleh dikatakan generator ini sebagai pembangkit tenaga listrik.

Sistem pembangkitan pada pembangkit listrik tenaga gelombang ini dapat dijelaskan melalui skema dibawah ini.

Pertama-tama aliran gelombang laut yang mempunyai energi kinetik masuk kedalam mesin konversi energi gelombang. Kemudian dari mesin konversi aliran gelombang yang mempunyai energi kinetik ini dialirkan menuju turbin. Di dalam turbin ini, energi kinetik yang dihasilkan gelombang digunakan untuk memutar rotor. Kemudian dari perputaran rotor inilah energi mekanik yang kemudian disalurkan menuju generator. Di dalam generator, energi mekanik ini dirubah menjadi energi listrik (daya listrik). Dari generator ini, daya listrik yang dihasilkan dialirkan lagi menuju sistem transmisi (beban) melalui kabel laut. Daya listrik yang disalurkan melalui kabel laut ini adalah daya listrik arus searah (DC).

PLTGL-OWC

OWC merupakan salah satu sistem dan peralatan yang dapat mengubah energi gelombang laut menjadi energi listrik dengan menggunakan kolom osilasi. Alat OWC ini akan menangkap energi gelombang fluktuasi



atau osilasi gerakan air dalam ruang OWC, kemudian tekanan udara ini akan menggerakkan baling-baling turbin yang dihubungkan dengan generator listrik sehingga menghasilkan listrik

Teknologi *oscilattng water column* (OWC)

Pada teknologi OWC ini, digunakan tekanan udara dari ruangan kedap air untuk menggerakkan *whells turbine* yang nantinya pergerakan turbin ini digunakan untuk menghasilkan energi listrik.

Ruangan kedap air ini dipasang tetap dengan struktur bawah terbuka ke laut. Tekanan udara pada ruangan kedap air ini disebabkan oleh pergerakan naik-turun dari permukaan gelombang air laut. Gerakan gelombang di dalam ruangan ini merupakan gerakan *compresses* dan gerakan *decompresses* yang ada di atas tingkat air di dalam ruangan. Gerakan ini mengakibatkan, ihasilkannya sebuah *alternating streaming* kecepatan tinggi dari udara. Aliran udara ini didorong melalui pipa ke turbin generator yang digunakan untuk menghasilkan listrik. Sistem OWC ini dapat ditempatkan permanen di pinggir pantai atau bisa juga ditempatkan di tengah laut. Pada sistem yang ditempatkan di tengah laut, tenaga listrik yang dihasilkan dialirkan menuju transmisi yang ada di daratan menggunakan kabel laut.

Kerapatan energi yang dihasilkan PLTGL OWC

Dalam menghitung besarnya energy gelombang laut dengan metode *oscilattng water column* (OWC), hal yang pertama yang harus diketahui adalah ketersediaan akan energi gelombang laut. Total energi gelombang laut dapat diketahui dengan menjumlahkan besarnya energi kinetik dan energi potensial yang dihasilkan oleh gelombang laut tersebut. Energi potensial adalah energi yang ditimbulkan oleh posisi relatif atau konfigurasi gelombang laut pada suatu sistem fisik. Bentuk energi ini memiliki potensi untuk mengubah keadaan objek-objek lain di sekitarnya, contohnya, konfigurasi atau gerakannya. Besarnya energy potensial dari gelombang laut dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (University of Michigan,2008):

$$P.E = m \cdot g \frac{y(x,t)}{2} \quad (\text{Joule}) \quad (2.1)$$

Dimana:

$m = w \cdot y$: Massa Gelombang (kg)

: massa jenis air laut (kg/m³)

w : lebar gelombang (m) (diasumsikan sama dengan luas *chamber* pada OWC).

$Y = y(x,t) = a \sin(kx - t)$ (m) : persamaan gelombang (diasumsikan gelombang sinusoidal).

$a = h/2$: amplitudo gelombang.

h = ketinggian gelombang (m)

$k = \frac{2\pi}{\lambda}$: konstanta gelombang

: panjang gelombang (m)

$\omega = \frac{2\pi}{T}$: frekuensi gelombang.

T : periode gelombang (sec)

Maka persamaan energi potensial ini dapat ditulis sebagai berikut:

$$P.E = w \cdot pg \frac{y^2}{2} = w \cdot pg \frac{a^2}{2} \sin^2(kx + \omega t) \quad (2.2)$$

Selanjutnya dihitung besarnya energi potensial gelombang lebih dari 1 periode, diasumsikan bahwa gelombang hanya merupakan fungsi dari x terhadap waktu, sehingga didapatkan persamaan $y(x,t) = y(x)$.

Jadi didapatkan:

$$d P.E = 0,5 w p g a^2 \sin^2(kx + \omega t) dx \quad (2.3)$$

Berdasarkan persamaan $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ dan $\omega = \frac{2\pi}{T}$, maka didapatkan persamaan:

$$P.E = \frac{1}{4} w p g a^2 \lambda \quad (2.4)$$

Besarnya energi kinetik lebih dari 1 periode adalah sebanding dengan besarnya energi potensial yang dihasilkan.

$$K.E = \frac{1}{4} w p g a^2 \lambda \quad \left(\frac{J}{m^2}\right) \quad (2.5)$$

Dimana energi kinetik adalah bagian energi yang berhubungan dengan gerakan dari gelombang laut. Setelah besarnya energi potensial dan energi kinetik diketahui, maka dapat dihitung total energi yang dihasilkan selama lebih dari 1 periode dapat dicari dengan menggunakan persamaan:

$$E.W = PE + KE = \frac{1}{2} w \cdot \rho g a^2 \lambda \quad (\text{J/m}^2) \quad (2.6)$$

Total energi yang dimaksud disini adalah jumlah besarnya energi yang dihasilkan gelombang laut yang didapatkan melalui penjumlahan energi potensial dan energi kinetik yang dimilikinya. Melalui persamaan diatas, maka dapat dihitung besarnya *energy density* (EWD), daya listrik (PW), dan *power density* (PWD) yang dihasilkan gelombang laut. Untuk menentukan besarnya *energy density* (EWD) yang dihasilkan gelombang laut digunakan persamaan berikut ini.

$$E_{WD} = \frac{E_W}{T} \quad (W) \quad (2.7)$$

Energy density adalah besarnya kerapatan energy yang dihasilkan gelombang laut tiap 1 satuan luas permukaan. Untuk menentukan besarnya daya listrik (PW) yang dihasilkan gelombang laut digunakan persamaan berikut ini.

$$P_W = \frac{E_W}{T} \quad (W) \quad (2.8)$$

Dimana *wave power* adalah besarnya daya listrik yang mampu dihasilkan oleh gelombang laut.

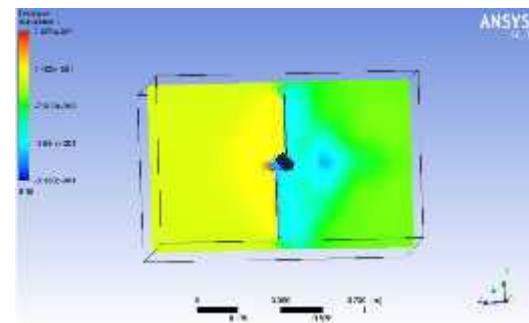
Untuk menentukan besarnya *power density* (PWD) yang dihasilkan gelombang laut digunakan persamaan 2.11 berikut ini.

$$P_{WD} = \frac{P_W}{\lambda W} = \frac{1}{2l} \rho \cdot g \cdot a^2 \quad (W/m^2) \quad (2.9)$$

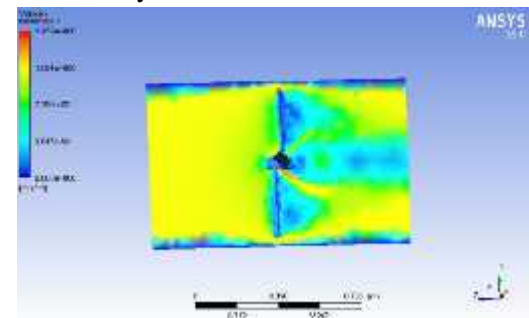
HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Untuk turbin dengan jumlah blade 4

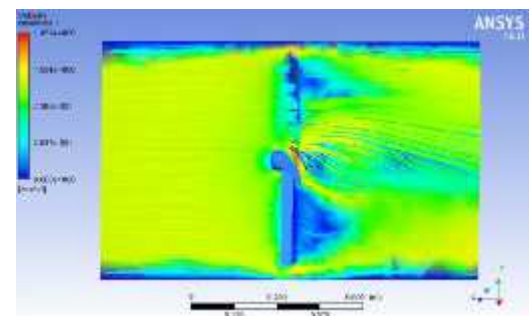
a. Pressure



b. Velocity

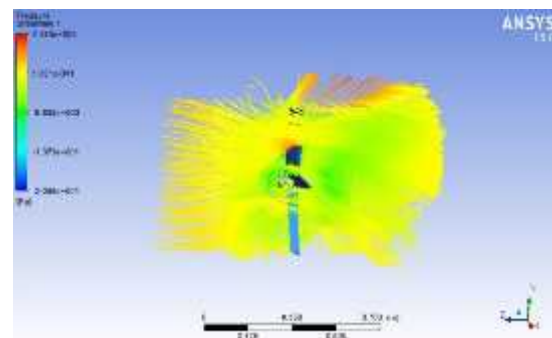


c. Stream line

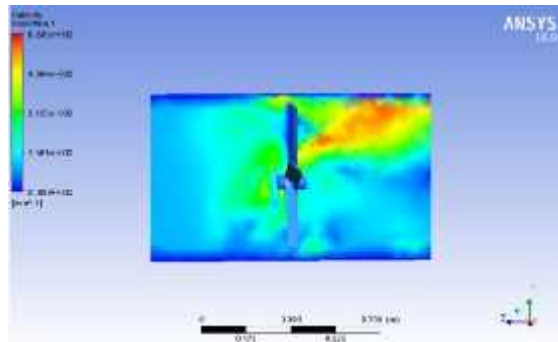


2. Untuk jumlah blade 5

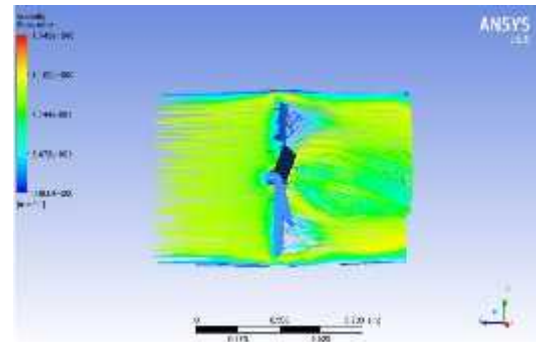
a. Pressure



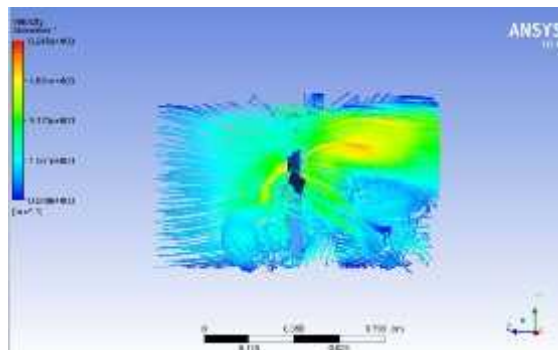
b. Velocity



c. Stream line

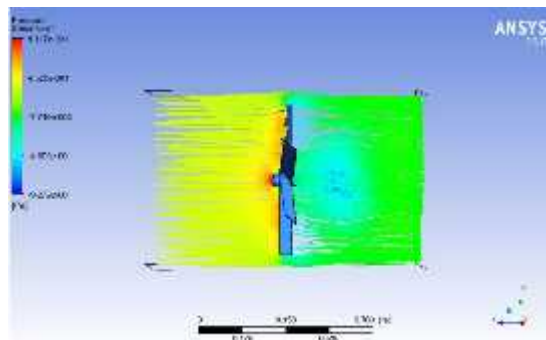


c. Stream line

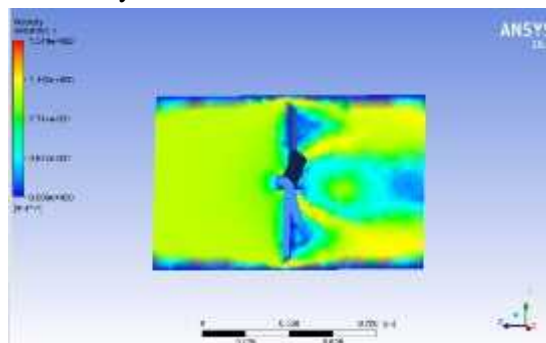


3. Untuk jumlah blade 6

a. Pressure



b. Velocity



KESIMPULAN

1. Dari hasil simulasi diperoleh bahwa tekanan maksimum terjadi pada turbin dengan jumlah blade 6 sebesar 90,017 Pa dan tekanan terendah pada jumlah blade 4 buah sebesar 7,083 Pa. Dari visualisasi diperoleh pola aliran yang terjadi ketika melewati turbin dan stream line dari aliran udara yang melewati turbin terlihat banyaknya aliran balik pada sisi belakang blade turbin dengan jumlah blade 6 yang mengakibatkan kecepatan aliran meningkat. Akibat dari kecepatan aliran yang meningkat maka putaran turbin juga naik sehingga daya yang dihasilkan juga akan.
2. Daya turbin terbesar pada kecepatan udara 8 m/det yakni senilai 93,53 watt dan terendah pada kecepatan 0,8 m/det senilai 0,09 watt.

REFERENSI

- [1] Arismunandar, W. 2004. **Penggerak Mula Turbin**. Bandung : ITB.
- [2] Arismunandar, W. 2004. **Teknik Tenaga Listrik Jilid 1**. Jakarta : Pradnya Paramitha.
- [3] Mandiharta, A. 2007. **Kajian Potensi Pengembangan Energi Pasang Surut Sebagai Energi Alternatif**. Bukit Jimbaran : Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana.
- [4] Nafika, I. 2008. **Pemanfaatan Energi Ombak Sebagai Pembangkit Tenaga Listrik**. www.beritanet.com . diakses hari Rabu 20 April 2016.



- [5] Navarro, D, dkk. 2007. **California Ocean Wave Assessment**. California : Electric Power Research Institute.
- [6] Pontes, M.T. 2001. **Ocean Energies Resources and Utilisation**. Portugal : Instituto Superior Tecnico.
- [7] Pudjanarsa, A. 2006. **Mesin Konversi Energi**. Yogyakarta : ANDI.
- [8] Vining, J. 2005. **Ocean Wave Energi Conversion**. Madison : University of Wisconsin.
- [9] Waldopo, dkk. 2008. **Perairan Darat dan Laut**. www.google.com. Diakses hari Sabtu 20 september 2008.
- [10] -----, 2004. **Rencana Umum Ketenagalistrikan Daerah (RUKD) Provinsi Sulawesi Tenggara**. : Bappeda Provinsi Sulawesi Tenggara i.
- [11] -----, 2007. **Californian Ocean Wave Energy Assesment**. USA: EPRI (Electric Power Research Institute).
- [12] -----, 2008. **Bali Map Info**. www.support@baliaces.com. Diakses pada hari Kamis, 11 Desember 2015.
- [13] -----, 2008. **Wave Energy Conversions**. USA : Departement of Naval Architecture and Marine Engineering.



STUDI KONDUKTIVITAS TERMAL BATUAN AREA MANIFESTASI AIR PANAS NATAR SEBAGAI ZONA OUTFLOW SISTEM PANAS BUMI WAY RATAI, PROVINSI LAMPUNG

Karyanto¹, Nandi Haerudin¹, Ahmad Zaenudin¹, Evi Muharoroh¹, Ryan Donovan¹

¹ Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung

Jln. Prof. Dr. Soematri Brojonegoro, No.1 Bandar Lampung, Lampung

*E-mail koresponden: karyanto@eng.unila.ac.id

Abstract

Thermal conductivity survey has conducted in Natar Hot Spring Manifestation, South Lampung Regency. This survey aim to indentify heat flow direction with thermal conductivity measurement using M.A.E A5000T with depth 50 cm. Thermal conductivity correlated with both temperature and permeability. More higher value of thermal conductivity, the temperature and permeability will be higher and more lower value of thermal conductivity, the temperature and the permeability will be lower. In this survey area, thermal conductivity value ranged about 0.155-2.035 W/mK. In the area there are hot springs manifestation, the thermal conductivity value is high, while in the area there are not hot springs manifestation the thermal conductivity value is low. From the interpretation result, high thermal conductivity area located along the fault directed NE-SW. This shown that the hot springs manifestation appearances in Natar controlled by that fault.

Keywords: *thermal conductivity, manifestation, geothermal*

Abstrak

Survei konduktivitas termal telah dilakukan di area manifestasi air panas Natar, Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung. Survei ini bertujuan untuk mengidentifikasi konduktivitas termal batuan dengan menggunakan alat M.A.E A5000T pada kedalaman 50 cm di bawah permukaan tanah. Nilai konduktivitas akan berasosiasi dengan nilai permeabilitas suatu batuan, semakin besar nilai konduktivitas termal batuan maka permeabilitas batuan akan semakin besar. Sebaliknya, semakin kecil nilai konduktivitas termal batuan maka permeabilitas batuan akan semakin kecil. Pada area survei, nilai konduktivitas panas batuan berkisar antara 0.155-2.035 W/mK. Nilai konduktivitas termal batuan tersebut termasuk ke dalam nilai yang kecil. Hal ini menunjukkan bahwa daerah manifestasi air panas Natar tergolong ke dalam zona permeabilitas rendah, yang dapat diindikasikan sebagai zona outflow dari sistem panasbumi Way Ratai, Kabupaten Pesawaran.

Keywords: *konduktivitas termal, manifestasi, panasbumi*

PENDAHULUAN

Suatu kemunculan manifestasi air panas memiliki kemungkinan hal tersebut dikontrol oleh adanya permeabilitas sekunder berupa struktur sesar. Pembentukan sesar menyebabkan batuan yang berada di zona sesar mengalami kehancuran yang sangat intensif, sehingga batuan yang ada menjadi lebih *permeable* dan pada zona tersebut menjadi reservoir yang baik. Pada daerah yang memiliki permeabilitas besar umumnya memiliki nilai konduktivitas yang besar pula. Hal ini

dikarenakan area yang memiliki nilai permeabilitas besar dapat meloloskan panas dalam keadaan yang sangat baik. Perpindahan panas secara konduksi adalah perpindahan panas yang terjadi pada suatu media padat atau pada media fluida yang diam. Konduksi terjadi akibat adanya perbedaan temperatur antara permukaan yang satu dengan permukaan yang lain pada media tersebut. Dalam penelitian ini, dilakukan pengukuran konduktivitas panas di daerah manifestasi air panas Kecamatan Natar dan sekitarnya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya konduktivitas

termal batuan di wilayah tersebut.

LOKASI PENELITIAN DAN GEOLOGI REGIONAL

Daerah penelitian berada di Kecamatan Natar, Kabupaten Lampung Selatan yang berada pada Formasi Lampung (QTI) yang terdiri dari batuan tuf berbatu apung, tuf riolitik, tuf padu tufit, batulempung tufan, dan batupasir tufan (**Gambar 1**). Daerah ini di lewati oleh Sesar Panjang yang berarah NW-SE yang melintang sampai Teluk Lampung, selain Sesar Panjang juga terdapat Sesar yang terdapat di daerah Natar ini yang berarah NE-SW. Daerah penelitian memiliki topografi landai hingga datar dan sebagian merupakan daerah persawahan, perkebunan, dan pemukiman. [1]



Gambar 1. Peta Geologi Lembar Tanjung Karang, Sumatera [1]

HUKUM DASAR PERPINDAHAN PANAS SECARA KONDUKSI

Hubungan dasar untuk perpindahan panas secara konduksi dikemukakan oleh ilmuwan Prancis, J.B.J Fourier. Hubungan ini menyatakan bahwa laju aliran panas dengan cara konduksi dalam suatu bahan sama dengan hasil kali dari tiga buah besaran, yaitu: [2]

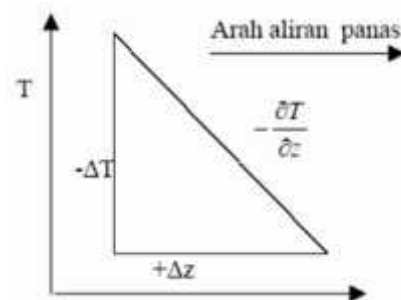
- Konduktivitas panas bahan (k)
- Luas penampang melalui magma panas mengalir secara konduksi, yang harus diukur secara tegak lurus terhadap arah aliran panas (A),

- Gradien suhu pada penampang tersebut, yaitu perubahan suhu T terhadap jarak dalam arah aliran panas z ($\frac{\partial T}{\partial z}$).

Dapat dituliskan sebagai berikut:

$$q_k = -kA \frac{\partial T}{\partial z}$$

Hukum kedua Termodinamika menyatakan bahwa konduktivitas panas akan mengalir secara otomatis dari titik bersuhu tinggi menuju ke titik bersuhu lebih rendah, maka aliran konduksi panas q adalah positif jika gradien suhu berharga negatif. Selain itu, arah kenaikan jarak z merupakan arah aliran konduksi panas positif.



Gambar 2. Ilustrasi Hukum kedua Termodinamika [3]

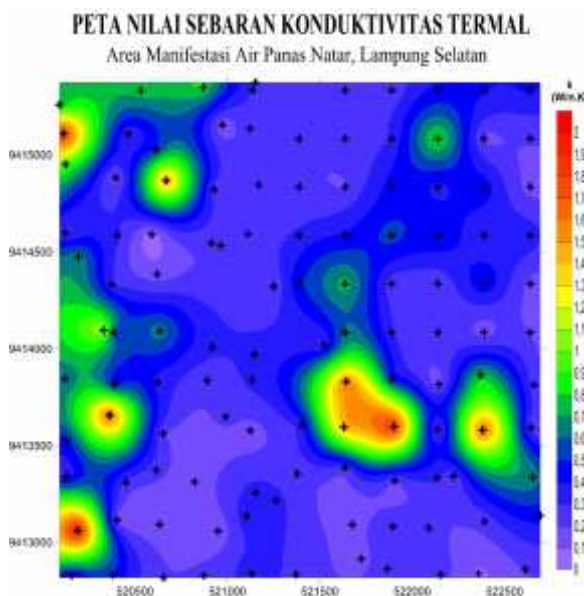
Jika gradien suhu $\frac{\partial T}{\partial z} = 1$, maka besarnya konduktivitas panas suatu bahan merupakan jumlah energi panas yang mengalir pada suatu bahan tiap satuan luas. Suatu bahan yang memiliki nilai konduktivitas panas besar merupakan penghantar yang baik dan sering disebut konduktor panas, sebaliknya suatu bahan yang memiliki nilai konduktivitas panas kecil merupakan penghantar panas yang jelek dan disebut isolator. [3]

PEMBAHASAN

Kemunculan air panas di area Natar berkaitan erat dengan kondisi geologi berupa sesar berarah NE-SW yang mengontrol area tersebut. Pada area penelitian terletak pada Formasi Lampung (QTI) yang tersusun dari batuan tuf berbatu apung, tuf riolitik, tuf padu tufit, batulempung tufan, dan batupasir tufan. Batuan-batuan ini memiliki nilai konduktivitas

panas yang relatif tinggi berkisar antara 0.3-2.0 W/mK. Nilai konduktivitas ini sesuai dengan hasil yang didapatkan dari pengukuran bahwa nilai konduktivitas batuan di area Natar berkisar antara 0.155-2.035 W/mK.

Area ini tergolong ke dalam area dengan nilai konduktivitas panas rendah (**Gambar 3**), yang mengindikasikan bahwa permeabilitas di area tersebut juga tergolong rendah. Daerah dengan permeabilitas rendah mengindikasikan bahwa area tersebut berada jauh dari sumber utama (reservoar). Berdasarkan analisa geologi regional daerah Natarm dapat diduga bahwa manifestasi air panas Natar merupakan zona *outflow* dari sistem panasbumi yang terdapat di Way Ratai, Kabupaten Pesawaran.



Gambar 3. Peta persebaran konduktivitas termal batuan area manifestasi air panas Natar, Lampung Selatan.

KESIMPULAN

Sesar yang mengontrol mata air panas Natar adalah yang berarah NE-SW. Nilai konduktivitas terukur di area penelitian sebesar 0.155-2.035 W/mK. Berdasarkan nilai konduktivitas termalnya, area manifestasi air panas termasuk ke dalam zona permeabilitas rendah sehingga mengindikasikan bahwa area ini terletak jauh dari zona reservoar, yang diduga merupakan zona *outflow* dari sistem

panasbumi Way Ratai.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada KEMENRISTEK DIKTI yang telah membiayai penelitian ini melalui skema Penelitian Produk terapan tahun 2016.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mangga, S.A., Amirudin, Suwart, T., Gafoer, S., dan Sidarto, 1993, *Peta Geologi Lembar Tanjung Karang, Sumatera*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, Indonesia.
- [2] Beardsmore, G. R., and Cull, J. P., 2001. *Crustal Heat Flow: A Guide to Measurement and Modeling*, Cambridge University Press, United Kingdom
- [3] Carslaw, H. S., and Jaeger, J. C., 1959, *Conduction of heat in solids*, Second Edition, Oxford University Press, United Kingdom



Pengaruh Penambahan Etanol Pada Solar Terhadap Prestasi Dan Emisi Gas Buang Mesin Diesel

Untung Surya Dharma^{1,*}, Erik Tri Mahyudi²

¹ Universitas Muhammadiyah Metro Jl. Ki Hajar Dewantara No.116 Kota Metro Lampung Indonesia,

² Politeknik Sugar Group Companies, Site PT. GPM Desa Mataram Udik Kec. Bandar Mataram Kab. Lampung Tengah Lampung Indonesia

*E-mail koresponden: untungsdh@yahoo.co.id

Abstract

The scarcity of fuel oil is fueling research to find alternative fuels. Ethanol is a non-fossil fuel source that can be used as a solution to overcome the scarcity of fossil fuels. This research was conducted by adding ethanol(97.05%) to diesel oil which was applied to KW 20-388 generator machine with 2300 rpm rotation variation, 2400 rpm and 2500 rpm. The objective of this study was to compare the engine performance and emissions of exhaust gases from engines with diesel fuel which have been given ethanol 5% (E5%), 7.5% (E7.5%), 10% (E10%) ethanol additions, 12.5% (E12.5%) and 15% (E15%). The results obtained that the diesel with the addition of 5% ethanol (E5%) produces the highest indicator of the average of 7.44 kW almost close to pure diesel is 7.48 kW, compared with diesel with the addition of ethanol 7.5% to 15%. Even on testing fuel consumption and exhaust emissions also shows that diesel with the addition of 5% ethanol (E5%) gives better value. From the test results can be concluded that the addition of ethanol into the solar only in a small percentage (maximum 5%) because the greater percentage of ethanol addition into the diesel will reduce the performance of the diesel engine itself.

Keywords: diesel fuel, ethanol, engine performance, emissions of exhaust gases.

Abstrak

Kelangkaan bahan bakar minyak yang terjadi mendorong dilakukannya penelitian untuk mencari bahan bakar alternatif. Etanol merupakan sumber bahan bakar non fosil yang dapat dijadikan solusi mengatasi kelangkaan bahan bakar fosil. Penelitian ini dilakukan dengan dengan cara menambahkan etanol(97,05%) kedalam minyak solar yang diaplikasikan pada mesin genset KW 20-388 dengan variasi putaran 2300 rpm, 2400 rpm dan 2500 rpm. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan prestasi dan emisi gas buang dari mesin dengan bahan bakar solar yang telah diberi penambahan Etanol sebanyak 5% (E5%), 7,5% (E7,5%), 10% (E10%), 12,5% (E12,5%) dan 15% (E15%). Dari hasil pengujian didapatkan hasil yaitu solar dengan penambahan etanol 5% (E5%) menghasilkan daya indicator tertinggi yaitu rata-rata sebesar 7.44 kW hampir mendekati solar murni yaitu 7,48 kW, dibandingkan dengan solar dengan penambahan etanol 7,5% hingga 15%. Bahkan pada pengujian konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang juga menunjukkan bahwa solar dengan penambahan 5% etanol (E5%) memberikan nilai yang lebih baik. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa penambahan etanol kedalam solar hanya dalam persentase kecil (maksimal 5%) karena semakin besar persentase penambahan etanol kedalam solar akan menurunkan prestasi mesin diesel itu sendiri.

Keywords: solar, ethanol, prestasi mesin, emisi gas buang.

PENDAHULUAN

Dalam perkembangan zaman seperti sekarang ini, kebutuhan bahan bakar minyak sangat tinggi baik digunakan untuk alat-alat transportasi maupun dunia industri. Bahan bakar minyak tentunya suatu saat akan habis karena bahan bakar minyak merupakan bahan bakar fosil dimana bahan bakar ini tidak dapat

diperbarui. Permasalahan inilah yang mendorong berbagai upaya dalam mencari bahan bakar alternatif yang bisa diperbaharui.

Senyawa etanol merupakan salah satu bahan bakar pengganti yang telah digunakan. Etanol merupakan senyawa hasil fermentasi dari tumbuhan yang mudah terbakar. Etanol memiliki karakteristik yang mirip dengan bensin sehingga sering digunakan sebagai

bahan substitusi dari mesin bensin. Dan ternyata penggunaan etanol memberikan efek positif terhadap kinerja mesin karena dapat menurunkan kadar kepekatan emisi gas buang motor diesel [1]. Namun disamping memberikan efek positif, etanol yang digunakan sebagai campuran solar juga memiliki kekurangan, antara lain yaitu dapat meningkatkan resiko keausan pada komponen pompa bahan bakar dan dapat menurunkan angka setana [2]

Hasil penelitian tentang pengaruh penambahan etanol kedalam bahan bakar solar telah banyak dilakukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan variasi persentase etanol dalam bahan bakar solar menunjukkan terjadinya efek positif terhadap BHP yang dihasilkan, untuk bahan bakar campuran etanol 2.5 % terjadi kenaikan daya rata-rata 0,742 kW, untuk campuran etanol 5 % terjadi kenaikan daya rata-rata 2,088 kW, untuk campuran etanol 7.5 % terjadi kenaikan daya rata-rata 2,313 kW dan untuk bahan bakar campuran etanol 10 % terjadi kenaikan daya rata-rata 2,748 kW [3]. Dari hasil penelitian lain [4] yang juga menggunakan variasi campuran bahan bakar solar dan etanol mulai dari 2.5%, 5%, 7.5% dan 10% campuran etanol namun diaplikasikan pada putaran mesin 1500 rpm diketahui bahwa pada rasio campuran solar dan etanol sebesar 5% menghasilkan peningkatan tekanan rata-rata indikasi sebesar 48% disertai penurunan konsumsi bahan bakar spesifik mencapai 9.5%. Pada rasio campuran ini terjadi perbaikan karakteristik emisi gas buang dimana emisi karbon monoksida (CO) tereduksi hingga 37%, emisi hidrocarbon (HC) tereduksi hingga 44% dan kadar kepekatan emisi gas buang sebesar 15.9% jika dibandingkan menggunakan bahan bakar solar murni.

Dari hasil penelitian-penelitian tersebut telah mendorong penulis untuk melakukan penelitian lebih lanjut tentang bagaimana pengaruh campuran solar dengan etanol terhadap emisi gas buang dan prestasi mesin menggunakan variasi campuran antara solar dan etanol pada putaran mesin 2300 rpm, 2400 rpm dan 2500 rpm.

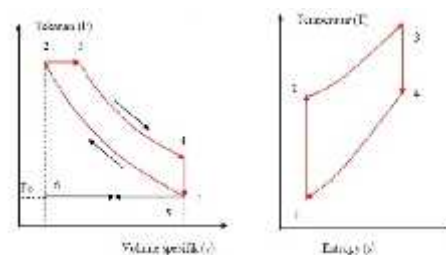
LANDASAN TEORI

Prinsip kerja pada mesin diesel berbeda

dengan mesin bensin. Pada mesin bensin gas yang masuk kedalam ruang silinder merupakan campuran antara udara dengan bahan bakar, sedangkan pada mesin diesel berupa udara murni. Udara murni tersebut kemudian dikompresikan melalui gerakan piston dari TMB (titik mati bawah) ke TMA (titik mati atas). Beberapa derajat sesaat sebelum atau setelah piston pada posisi TMA nozzle akan menyemprotkan bahan bakar dalam bentuk kabut yang kemudian akan terjadi ledakan pada ruang bakar.

Siklus Ideal Diesel

Pada mesin diesel siklus yang berlangsung pada proses pembakaran adalah siklus diesel yaitu proses perpindahan atau aliran yang berlangsung dari satu titik ke titik yang lain. Dengan memperhatikan gambar dan arah perpindahan maka kita akan memahami proses yang berlangsung pada grafik ini.



Gambar1. Diagram hubungan P-V dan T-s [5]

Bahan bakar solar dan etanol

Bahan Bakar Solar

Solar adalah salah satu jenis bahan bakar yang dihasilkan dari proses pengolahan minyak bumi, pada dasarnya minyak mentah dipisahkan fraksi-fraksinya pada proses destilasi sehingga dihasilkan fraksi solar dengan titik didih 250° C sampai 300° C.

Bahan Bakar Etanol

Etanol termasuk dalam rantai tunggal, dengan rumus kimia C_2H_5OH dan rumus empiris C_2H_6O . Etanol sering disingkat menjadi EtOH, dimana "Et" merupakan singkatan dari



gugus etil (C_2H_5). Etanol dibuat dari proses fermentasi tanaman atau biomassa yang mengandung gula, pati atau selulosa [4]. Etanol merupakan cairan tidak berwarna, memiliki aroma yang khas dan mudah larut dengan air. Karena memiliki kandungan oksigen yang tinggi pada etanol akan membuat proses pembakaran menjadi lebih baik [6]

Karakteristik bahan bakar

Bahan bakar memiliki beberapa karakteristik yang sangat mempengaruhi proses pembakaran yaitu :

Angka setana

Bilangan setana atau *cetane number* adalah suatu indeks atau angka yang digunakan pada bahan bakar motor diesel untuk menunjukkan tingkat kepekaannya terhadap penyalaan atau ledakan. Angka Setana juga menunjukkan apakah bahan bakar sukar dan mudah berdetonasi.

Volatilitas

Volatilitas atau penguapan adalah suatu sifat bahan bakar untuk cenderung berubah fasa menjadi uap. Tekanan uap yang tinggi dan titik didih yang rendah menandakan tingginya penguapan.

Titik tuang (*pour point*)

Titik tuang adalah suatu angka yang menyatakan suhu terendah dari bahan bakar minyak sehingga bahan bakar tersebut masih dapat mengalir karena gaya gravitasi. Hal ini berhubungan pada saat proses pemompaan.

Titik nyala (*flash point*)

Titik nyala adalah suatu angka yang menyatakan suhu terendah dari bahan bakar minyak dimana akan timbul penyalaan api sesaat.

Viskositas

Viskositas adalah suatu angka yang menyatakan besar perlawanan / hambatan dari suatu bahan cair untuk mengalir atau ukurannya

tahanan geser dari bahan cair. Makin tinggi viskositas minyak akan makin kental dan lebih sulit mengalir.

Nilai Kalor (*Calorific Value*)

Nilai kalor bahan bakar (*calorific value*) adalah jumlah panas dihasilkan jika satu satuan bahan bakar dibakar sempurna karena adanya reaksi kimia antara bahan bakar dengan oksigen dari udara.

Parameter Prestasi Mesin

Daya Mesin

Dengan menggunakan alat pengukur tekanan yang teliti, tekanan gas didalam silinder sebuah mesin empat langkah dapat diukur dengan baik. Kerja pada mesin dapat diketahui dengan melakukan pengukuran pada silinder dan panjang langkah. Untuk hal tersebut didefinisikan parameter yang disebut “tekanan efektif rata-rata”, yaitu kerja yang dihasilkan per siklus dalam setiap silinder dibagi volume langkah torak. Pada mesin empat langkah satu siklus kerja diselesaikan dalam dua putaran poros engkol. Maka jika poros engkol berputar dengan kecepatan n rpm, daya yang dihasilkan mesin dinyatakan dalam PS adalah [7]

$$P_{\text{eff}} = \frac{P_{\text{maks}} - P_{\text{min}} \cdot \frac{\pi \cdot D^2 \cdot L \cdot n \cdot \frac{1}{2}}{75 \cdot 10^2}}{75 \cdot 10^2} \quad (1)$$

Energi bahan bakar yang digunakan (Q_m)

Kalor Q_m untuk menaikkan tekanan dan temperatur fluida kerja siklus udara. Tetapi dalam motor bakar torak yang sebenarnya kenaikan temperatur dan tekanan fluida kerja yang diperlukan itu diperoleh dari hasil pembakaran bahan bakar dan udara di dalam silinder. Oleh karena itu energi yang dipergunakan dihitung berdasarkan jumlah energi bahan bakar tersebut, dengan persamaan:

$$Q_m = G_{\text{bb}} \times Q_c \quad (2)$$

Konsumsi bahan bakar spesifik

Konsumsi bahan bakar spesifik (B) didefinisikan sebagai jumlah bahan bakar yang dikonsumsi per satuan daya yang dihasilkan per jam operasi. Untuk mengetahui konsumsi bahan bakar spesifik dapat diketahui menggunakan persamaan berikut :

$$B = \frac{G_{bb}}{W_b} \quad (3)$$

Efisiensi termal

Efisiensi termal suatu mesin didefinisikan sebagai perbandingan antara energi keluaran dengan energi kimia yang masuk dan dikandung bahan bakar yang dihisap kedalam ruang bakar. Untuk mengetahui nilai efisiensi termal digunakan persamaan berikut :

$$\eta_{te} = \frac{N_e}{G_{bb} \times C_L} \times 60 \quad (4)$$

Emisi gas buang

Exhaust diesel menghasilkan lebih dari 4000 campuran partikel berbeda, uap, dan material racun organik yang disebabkan proses pembakaran bahan bakar. Oleh karena itu harus ada proses pencegahan agar efek dari *exhaust diesel* dapat dikurangi sehingga tidak membahayakan bagi lingkungan. Untuk mengetahui tingkat polutan *exhaust diesel* digunakan *smoke analyzer*.

Polutan Mesin Diesel

Polusi yang dihasilkan oleh pembakaran motor diesel terhadap lingkungan adalah polusi udara dari gas buang dan bunyi pada saat pembakaran motor diesel terjadi. Komponen-komponen gas buang yang membahayakan antara lain adalah asap hitam, hidrokarbon yang tidak terbakar (UHC), karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (NO), nitrogen dioksida (NO₂). Jika dibandingkan dengan motor bensin, motor diesel lebih sedikit mengandung CO dan UHC. Selain itu kadar NO₂ sangat rendah jika dibandingkan NO.

Jelaga

Jelaga (soot) adalah butiran arang yang halus dan lunak yang menyebabkan munculnya asap hitam dimana asap hitam terjadi karena proses pembakaran yang tidak sempurna. Asap ini berbahaya karena membuat udara di lingkungan keruh sehingga dapat mengganggu pandangan dan kemungkinan mengandung karsinogen.

METODE PENELITIAN

Persiapan Pengujian

Untuk mendapatkan hasil pengujian yang optimal dan menghindari gangguan-gangguan yang mungkin terjadi saat pengujian berlangsung, maka perlu disiapkan segala hal yang dibutuhkan dalam penelitian ini yaitu :

1. Mempersiapkan bahan bakar yang akan diuji yaitu solar produk Pertamina dengan angka setana 48 dan etanol dengan tingkat kemurnian mencapai 97,05%.
2. Mesin genset type Mesin Generator Diesel KW20-388 dengan spesifikasi yaitu mesin 4 langkah, kapasitas 0,296 L, 1 silinder, sistem pembakaran direct injection, yang telah dimodifikasi sehingga dapat mengukur tekanan hasil pembakaran didalam silinder.



Gambar 2. Mesin Generator Diesel KW20-388

Prosedur Pengujian

Pengujian emisi gas buang dilakukan pada dengan langkah sebagai berikut :

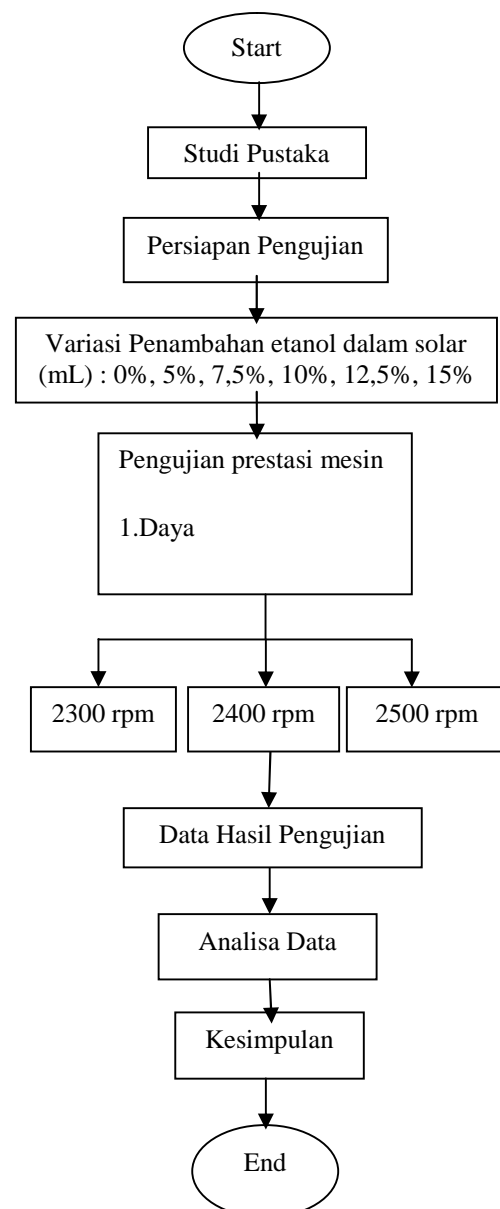
1. Pengujian konsumsi bahan bakar
 - a. Tangki bahan bakar diisi dengan solar murni sebanyak 1 liter.
 - b. Mesin dihidupkan dengan cara menarik tuas engkol, lalu tuas gas disetel pada putaran berturut-turut 2300 rpm, 2400

- rpm dan 2500 rpm dengan menggunakan tachometer.
 - c. Hidupkan stopwatch bersamaan dengan mesin hidup
 - d. Matikan stopwatch setelah mesin dihidupkan selama 30 menit
 - e. Ukur sisa bahan bakar di dalam tangki dengan menggunakan gelas ukur.
 - f. Ulangi langkah b,c,d dengan variasi campuran bahan bakar yaitu 100% solar tanpa campuran (E0%), solar dengan 5% etanol (E5%), 7,5% (E7,5%), 10% (E10%), 12,5% (E12,5%) dan 15% (E15%).
2. Pengujian emisi gas buang
- a. Tangki bahan bakar diisi dengan solar murni sebanyak 1 liter.
 - b. Mesin dihidupkan dengan cara menarik tuas engkol, lalu tuas gas disetel pada putaran 2300 rpm, 2400 RPM dan 2500 rpm dengan menggunakan tachometer.
 - c. Sambungkan muffler pada mesin uji ke alat uji emisi.
 - d. Ambil data pengujian hasil emisi gas buang lalu matikan mesin.
 - e. Ulangi langkah b,c,d dengan variasi campuran bahan bakar yaitu 100% solar tanpa campuran (E0%), solar dengan 5% etanol (E5%), 7,5% (E7,5%), 10% (E10%), 12,5% (E12,5%) dan 15% (E15%).
3. Pengujian prestasi mesin
- a. Mesin genset dipasangkan dengan pressure gauge sebelum dihidupkan.
 - b. Mesin genset dihidupkan dengan bahan bakar solar murni sebanyak 1 liter.
 - c. Saat mesin hidup, atur putaran mesin 2300 rpm, 2400 rpm dan 2500 rpm dengan menggunakan tachometer.
 - d. Tutup silinder head yang sebelumnya telah dimodifikasi dan diasambungkan dengan pressure gauge dibuka katup / kran nya

sehingga tekanan di dalam ruang bakar dapat terbaca pada pressure gauge.

- e. Ulangi langkah b,c,d dengan variasi campuran bahan bakar yaitu 100% solar tanpa campuran (E0%), solar dengan 5% etanol (E5%), 7,5% (E7,5%), 10% (E10%), 12,5% (E12,5%) dan 15% (E15%).

Diagram alir penelitian



Gambar 3. Diagram alir Penelitian



HASIL DAN PEMBAHASAN

Daya Mesin Indicator dan Daya Mesin Efektif

Daya mesin indicator dapat dihitung setelah tekanan rata-rata didapatkan melalui pengujian menggunakan pressure gauge yang dihubungkan ke silinder ruang bakar engine. Data pengujian tekanan ruang bakar dapat dilihat di tabel 1.

Tabel 1 Data Hasil Pengujian Tekanan Rata-rata pada Mesin diesel

n (rpm)	Tekanan rata-rata (kg/cm ²)					
	Solar	E5%	E7,5%	E10%	E12.5%	E15%
2300	12	13	11	10	9	7
2400	11	13	11	10	10	9
2500	12	12	10	10	9	9

Dari data hasil pengujian tekanan rata-rata seperti yang ditunjukkan pada tabel 1 diatas maka daya indicator pada mesin diesel dapat dihitung.

1. Putaran engine 2300 rpm

$$N_{j \text{ solar}} = \frac{P_{1-2} - P_{1-3} \times \frac{\pi}{4} \times D^2 \times L \times \frac{n}{60} \times \frac{1}{2}}$$

$$N_{j \text{ solar}} = \frac{12 \text{ kg/cm}^2 \times \frac{\pi}{4} \times (7,8 \text{ cm})^2 \times 6,2 \text{ cm} \times \frac{2329}{60} \times \frac{1}{2}}$$

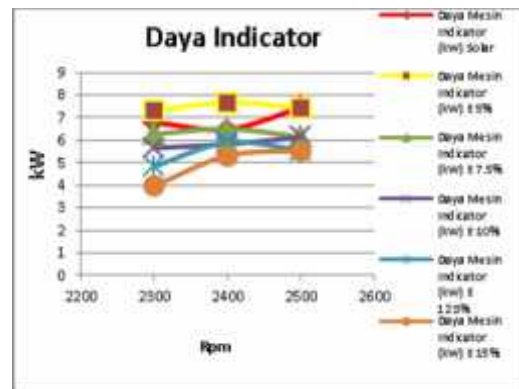
$$N_{j \text{ solar}} = 9,195 \text{ Ps} = 6,80 \text{ kW}$$

Dari perhitungan diatas, maka daya indicator dari semua variasi putaran dan tekanan rata-rata hasil pengujian dapat dilihat melalui tabel 2 berikut.

Tabel 2 Hasil Perhitungan Daya Mesin Indicator

N (rpm)	Daya Mesin Indicator (kW)					
	E0%	E5%	E7,5%	E10%	E12.5%	E15%
2300	6.80	7.32	6.28	5.66	4.85	3.98
2400	6.48	7.68	6.51	5.83	5.91	5.32
2500	7.48	7.44	6.14	6.14	5.54	5.53

Untuk melihat perbandingan daya indicator semua variasi bahan bakar dapat dilihat melalui grafik seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4 Grafik perbandingan daya indicator setiap variasi bahan bakar

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa daya indicator paling tinggi terjadi pada variasi campuran solar dengan etanol 5% dengan besar daya indicator rata-rata 7.48 kW, solar murni dengan daya indicator 6.63 kW, E7.5 % dengan daya indicator 6.31 kW, E10 dengan daya indicator 5.88 kW, E12.5 dengan daya indicator 5.43 kW dan E15 dengan daya indicator 4.94 kW. Meningkatnya daya ini disebabkan karena penambahan etanol dengan komposisi yang tepat akan menurunkan densitas bahan bakar tanpa menyebabkan penundaan pembakaran di ruang silinder. Dengan turunnya densitas bahan bakar, maka bahan bakar yang diinjeksikan kedalam ruang bakar dapat membentuk butiran kabut yang lebih halus. Dengan kondisi seperti ini maka proses pencampuran udara dan bahan bakar di dalam ruang bakar akan lebih homogen



sehingga akan lebih mudah terbakar.

Selain itu sifat etanol yang sangat mudah terbakar juga ikut memicu semakin cepatnya bahan bakar terbakar. Sehingga waktu pembakaran bahan bakar semakin singkat. Dengan demikian tekanan yang ada di ruang bakar akan semakin besar dan menghasilkan daya yang besar pula. Akan tetapi jika komposisi campuran bahan bakar tidak tepat akan menyebabkan penundaan pembakaran yang terlalu panjang. Hal ini akan mengakibatkan terlalu banyak bahan bakar yang diinjeksikan pada tahap ini, sehingga saat periode perambatan pembakaran dimulai akan terlalu banyak bahan bakar yang terbakar. Hal ini akan menyebabkan tekanan didalam silinder meningkat drastis sebelum piston melewati TMA. Akibatnya saat piston masih bergerak naik akan ditahan oleh tekanan pembakaran dan ini akan menimbulkan suara dan getaran yang kasar. Inilah yang disebut *diesel knock* atau detonasi. Terjadinya *diesel knock* akan mengakibatkan penurunan tenaga, borosnya pemakaian bahan bakar dan juga memperpendek usia mesin.

Hasil pengujian ini ada perbedaan dengan jurnal sebelumnya, dimana pada jurnal yang ditulis M Yusla [3] menyimpulkan bahwa daya paling besar dihasilkan oleh variasi E10. Perbedaan ini disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya kadar kemurnian etanol yang digunakan dalam pengujian berbeda, hal ini sangat berpengaruh terhadap densitas dan kualitas campuran bahan bakar. Kualitas bahan bakar akan sangat berpengaruh terhadap kualitas butiran kabut yang dihasilkan bahan bakar saat diinjeksikan melalui nozzle sehingga akan mempengaruhi hasil pembakaran di ruang bakar dan tenaga yang dihasilkan. Selain itu mesin yang digunakan dalam pengujian M. Yusla mempunyai daya maksimum 32 kW dengan empat silinder dan mempunyai kapasitas mesin 1760 cc, jauh lebih besar dibandingkan mesin yang digunakan dalam pengujian ini yang hanya menggunakan mesin satu silinder dengan kapasitas mesin 296 cc dengan daya maksimum 5.5 kW.

Namun hasil penelitian pada putaran tinggi (2300 rpm, 2400 rpm, 2500 rpm) menunjukkan hal yang sama pada penelitian Arifin Nur dkk [4] bahwa penambahan etanol sebanyak 5%

(E5%) menunjukkan prestasi dan emisi gas buang yang baik walaupun pada putaran rendah (1500 rpm).

Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar Indikator Spesifik.

Tabel 3 Data Hasil Pengujian Laju Bahan Bakar

N (rpm)	Laju konsumsi Bahan Bakar (Liter / jam)					
	E0%	E5%	E7,5%	E10%	E12.5%	E15%
2300	1.04	0.98	1.06	1.12	1.10	1.12
2400	1.06	1.08	1.04	1.12	1.08	1.10
2500	1.14	1.12	1.08	1.14	1.10	1.14

Dengan mengkonversikan hasil data pada tabel 3 dengan massa jenis masing-masing variasi bahan bakar dan dibagi dengan daya indicator maka didapatkan konsumsi bahan bakar spesifik.

- Putaran engine 2300 rpm

$$m_{\text{solar}} = \rho_{\text{solar}} \times \text{Volume}$$

$$m_{\text{solar}} = 0.838 \text{ kg/dm}^3 \times 1.04 \text{ dm}^3$$

$$m_{\text{solar}} = 0.872 \text{ kg}$$

$$E = \frac{C_{\text{EE}}}{W_b}$$

$$= 0.872 \text{ kg/jam} : 6.80 \text{ kW}$$

$$= 0.128 \frac{\text{kg} \cdot \text{jam}}{\text{kWh}}$$

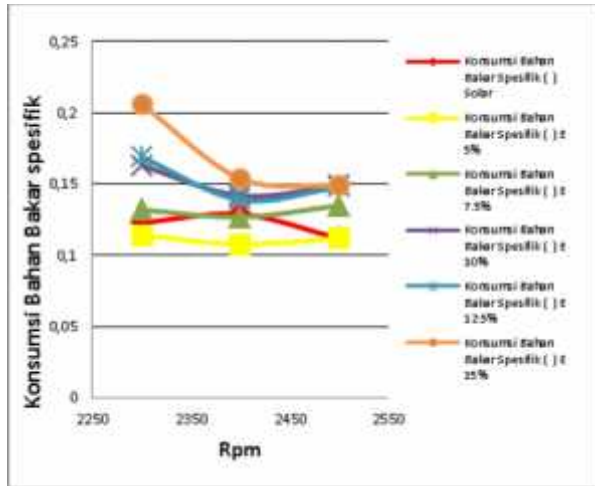
Hasil perhitungan bahan bakar spesifik tersebut dapat dilihat melalui tabel 4 berikut ini.

Tabel 4 Hasil Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar Indikator Spesifik

N (rpm)	Konsumsi Bahan Bakar Indikator Spesifik ($\frac{\text{kg} \cdot \text{jam}}{\text{kWh}}$)					
	E0%	E5%	E7,5%	E10%	E12.5%	E15%
2300	0.128	0.11	0.14	0.163	0.187	0.231
2400	0.137	0.11	0.13	0.159	0.150	0.170
2500	0.128	0.12	0.14	0.153	0.164	0.169



Konsumsi bahan bakar spesifik dari variasi bahan bakar solar dengan etanol juga dapat ditunjukkan melalui grafik berikut .



Gambar 5 Grafik perbandingan konsumsi bahan bakar Indikator spesifik setiap variasi bahan bakar campuran solar dengan etanol

Dari gambar 5 dapat dilihat bahwa variasi campuran solar dengan etanol 5% memiliki nilai konsumsi bahan bakar spesifik paling rendah dibanding variasi campuran yang lainnya. Artinya variasi campuran 5% etanol adalah komposisi bahan bakar yang paling efisien dan tepat digunakan untuk mesin diesel. Akan tetapi jika komposisi campuran bahan bakar tidak tepat akan menyebabkan penundaan pembakaran yang terlalu lama. Hal ini akan mengakibatkan terlalu banyak bahan bakar yang diinjeksikan, sehingga saat periode perambatan pembakaran dimulai akan terlalu banyak bahan bakar yang terbakar.

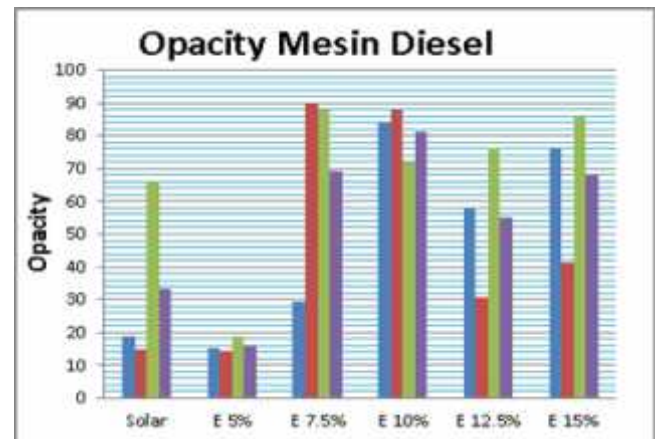
Hasil Uji Emisi Gas Buang

Tabel 5. Data Hasil Uji Emisi Gas Buang (opacity)

Pengujian ke	Uji Emisi Gas Buang (opacity)										
	Solar		E5%		E7.5		E10 %		E12.5%		E 15%
R	o	R	o	R	o	R	o	R	o	R	o
p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p
m	a	m	a	m	a	m	a	m	a	m	a
c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
m	i	m	i	m	i	m	i	m	i	m	i
a	t	a	t	a	t	a	t	a	t	a	t
x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y

1	4	1	4	1	4	2	4	8	3	5	4	7
	1	8	2	5	3	9	1	3	1	7	0	6
	9	.	1	.	0	.	0	.	8	.	0	.
2	0	8	0	1	0	5	0	9	0	8	0	5
	4	1	4	1	4	8	3	7	3	7	3	4
	2	4	1	4	1	9	1	7	7	0	6	1
3	1	.	6	.	4	.	1	.	7	.	5	.
	0	9	0	3	0	9	0	8	0	6	0	4
	4	6	4	1	4	8	3	7	3	7	3	8
Rata-rata	2	6	1	8	1	8	9	2	7	6	8	5
	4	.	9	.	8	.	1	.	4	.	9	.
	0	3	0	9	0	0	0	1	0	3	0	6
Rata-rata	4	3	4	1	4	6	4	8	3	5	3	6
	2	3	1	6	2	9	0	1	5	4	8	7
	1	.	8	.	0	.	4	.	6	.	4	.
	3	3	6	1	6	1	0	3	3	9	6	8

Dari tabel data hasil pengujian emisi gas buang diatas, opacity juga dapat dibaca pada gambar 6 dibawah ini.



Gambar 6 Diagram perbandingan Emisi Gas Buang Setiap Variasi Bahan Bakar Campuran Solar Dengan Etanol.

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa opacity paling rendah ditunjukkan oleh variasi campuran etanol 5%, kemudian solar, E12.5, E15, E7.5, dan E 10. Hal ini dikarenakan opacity sangat dipengaruhi oleh hasil pembakaran pada mesin diesel. Ketepatan waktu penginjeksian dan ketepatan jumlah bahan bakar yang diinjeksikan sangat berpengaruh terhadap emisi dan warna gas buang. Pada variasi E5% merupakan komposisi paling tepat, sehingga jumlah bahan bakar dapat diinjeksikan dengan tepat kedalam ruang bakar. Hal inilah yang menyebabkan opacity E5% sangat rendah dibanding yang lain. Akan tetapi jika komposisi campuran bahan bakar tidak tepat akan menyebabkan penundaan



pembakaran yang terlalu panjang. Hal ini akan mengakibatkan terlalu banyak bahan bakar yang diinjeksikan pada tahap ini, sehingga saat periode perambatan pembakaran dimulai akan terlalu banyak bahan bakar yang terbakar. Hal ini akan menyebabkan warna gas buang berwarna hitam. Hal inilah yang menyebabkan opacity menjadi tinggi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan dan hasil pengujian prestasi mesin diesel dengan menggunakan bahan bakar solar (E0%), solar dengan 5% etanol (E5%), solar dengan 7.5% etanol (E7,5%), solar dengan 10% etanol (E10%), solar dengan 12.5% etanol (E12,5%), dan solar dengan etanol 15% (E15%) dapat disimpulkan bahwa pada penambahan etanol 5% (E5%) yang diaplikasikan pada Mesin genset type Mesin diesel KW20-388 dengan variasi putaran 2300 rpm, 2400 rpm dan 2500 rpm menunjukkan hasil pengujian terbaik. Baik pada hasil uji daya indicator mesin, konsumsi bahan bakar maupun opacity dari pengujian emisi gas buang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Laboratorium Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Metro dan kepala Laboratorium Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah banyak membantu dalam proses pengambilan data pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Lei, J. Shen, Bi, Y. Chen, H., 2012, "A Novel Emulsifier For Ethanol-Diesel Blend And Its Effect On Performance And Emission Of Diesel Engine", *Fuel*, Vol 93, 305-311.
- [2] D.C. Rakopoulos, R.G. Papagiannakis, D.C. Kyriasis, "Combustion Heat Release Analysis of Ethanol or n-Butanol Diesel Fuel Blends in Heavy Duty DI Diesel Engine", *Fuel*, 90, 1855-1867.

- [3] M. Yusla. 2011, *Kaji pengaruh Substitusi Etanol pada Solar Terhadap Kinerja mesin Diesel Perkins Tipe 4 – 108 V*, Tugas Akhir Teknik Mesin, Universitas Hassanudin, Makasar.
- [4] Arifin Nur, Yanuandri Putrasari, Iman Kartolaksone Reksowardoyo, 2012, "The Effect of Ethanol-Diesel Blends on The Performance of A Direct Injection Diesel Engine", *Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology* 03, LIPI, 49-56.
- [5] Michel A. Saad, 1999, *Termodinamika Prinsip dan Aplikasi* "edisi pertama PT. Prenhallindo, Jakarta.
- [6] Zhu L, Cheung C.S, Zhang W.G. Huang Z, 2011, "Combustion, Performance and Emission Characteristic of a DI Diesel Engine Fueled with Ethanol-Biodiesel Blends", *Fuel* 90, 1743-1750.
- [7] Wiranto Arismunandar, Koichi Tsuda, 1993, *Motor Diesel Putaran Tinggi*, Pradnya Paramitha, Jakarta.



Pemanfaatan Bahan Alami Sebagai Material Membran Penjernih Air

A.A.I.A.S.Komaladewi^{1*}, I.D.G.Ari Subagia¹

¹Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana
email : sri.komaladewi@unud.ac.id

Abstract

In water treatment, membrane technology is used to replace conventional separation processes that are still widely used. This is because membrane technology has several advantages, among others, in the use of energy, does not require additional chemicals and environmentally friendly. Starting from efforts to improve the quality of raw water with the use of natural ingredients most likely to be developed further is the seeds of moringa and mountain rocks. Hybridization of two reinforcing agents was developed in this study, using Cellulose Acetate (CA) as a binder polymer. The purpose of hybridization of this material is based on the ability of each material to the negative compounds in the water to obtain membranes that have multi-function in filtering and water purification.

In this study, the feasibility test of the designed membrane is one of the important components associated with improving water quality. The prototype of organic membrane was made for laboratory scale using experimental method, whereas membrane formation process using phase inversion technique, by comparison of variation of fraction weight (wt%) between reinforce and polymer was 60: 40% by weight. The result of membrane test is the feasibility of membrane physical performance. From result of turbidity test of sample no 2 shows decrease of turbidity 28,89 NTU, down 15% to control with average value 34,108 NTU. The use of samples 1, 2, and 3 for 2 hours can reduce E. Coli bacteria in water, but tend to increase the number of Coliform bacteria in the water.

Keywords: Membranes, hybridization, moringa seeds, Cellulosa Acetat

Abstrak

Dalam pengolahan air, teknologi membran digunakan sebagai pengganti dari proses pemisahan secara konvensional yang masih banyak digunakan. Hal ini disebabkan karena teknologi membran memiliki beberapa keunggulan antara lain dalam penggunaan energi, tidak memerlukan bahan kimia tambahan dan ramah lingkungan. Berangkat dari upaya untuk memperbaiki kualitas air baku dengan penggunaan bahan alami yang paling memungkinkan untuk dikembangkan lebih lanjut adalah biji kelor dan batu gunung. Hibridisasi dari kedua bahan penguat tersebut dikembangkan dalam penelitian ini, dengan menggunakan Cellulosa Acetat (CA) sebagai polimer pengikat. Tujuan hibridisasi material ini adalah didasarkan pada kemampuan masing - masing bahan terhadap senyawa negatif di air sehingga diperoleh filter berupa membran yang memiliki multifungsi dalam penyaringan dan penjernihan air. Dalam penelitian, pengujian kelayakan dari membran yang dirancang merupakan salah satu komponen penting terkait dengan perbaikan kualitas air. Prototipe membran organik dibuat untuk skala laboratorium dengan menggunakan metode eksperimen, sedangkan proses pembentukan membran menggunakan teknik inversi fase, dengan rasio variasi fraksi berat (%wt) antara penguat dan pengikat yaitu 60:40 %wt. Hasil dari pengujian membran adalah berupa kelayakan kinerja membran secara fisis. Dari hasil uji kekeruhan sampel no 2 menunjukkan penurunan kekeruhan sebesar 28.89 NTU, turun 15 % terhadap control dengan nilai rata-rata 34.108 NTU. Penggunaan sampel 1, 2, dan 3 selama 2 jam dapat mengurangi bakteri E. Coli dalam air, namun cenderung meningkatkan jumlah bakteri Coliform dalam air.

Kata kunci : Membran, Hibridisasi, Biji kelor, Cellulosa Acetat

PENDAHULUAN

Air merupakan sumber kehidupan pokok makhluk hidup. Air sesuai Undang-Undang nomor 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air pada Pasal 5 [1] dan Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 907/Menkes/SK/VII/2002 akan dapat dikonsumsi apabila memenuhi 4 syarat yaitu

syarat fisik, kimia, biologis, radioaktif [2]. Permasalahan menurunnya kualitas dan kuantitas air yang disebabkan oleh pencemaran yang tinggi telah meresahkan. Sehingga mendorong peneliti untuk terus berupaya memperbaiki kualitas air, yang salah satunya adalah dengan penyaringan (Filtrasi).

Penyaringan adalah salah satu pendekatan yang dapat dilakukan untuk mengurangi atau memperbaiki kualitas air. Sejak dua puluh

tahun terakhir teknologi penyaringan air telah berkembang dengan pesat yaitu digunakannya penyaringan membran. Jenis penyaring membran cukup menguntungkan dari segi teknis, fisis maupun ekonomi. Akan tetapi hasil yang dicapai belum menggembirakan, karena sifat penyaringannya masih parsial. Jenis membran menurut tingkat filtrasinya dibedakan menjadi membran *microfiltration* (MF), *ultrafiltration* (UF), *nanofiltration* (NF) dan *reversible osmosis* (RO) [3]. Membran type MF menjadi yang paling banyak digunakan karena merupakan modifikasi pengolahan secara konvensional (*Koagulasi-Flokulasi-Sedimentasi*) dengan membran.

Berangkat dari isu lingkungan dan pemanfaatan sumber daya alam (SDA) sebagai material baru, metode hibridisasi merupakan metode yang efektif digunakan untuk pembuatan membran dengan bahan baku alam yang ramah lingkungan[4]. Dalam penelitian ini ditawarkan dua jenis bahan baku penguat dalam bentuk partikel yaitu biji kelor (*moringa oleifera*) dan batu gunung dengan *Cellulosa Acetat* (CA) sebagai pengikat. Pemanfaatan biji kelor sebagai penjernih air telah diteliti oleh [5-10]. Pemanfaatan CA sebagai polimer biokompatibel dan biodegradable yang ramah lingkungan sehingga dapat dikombinasikan dengan polimer lain untuk membentuk material membran telah banyak diteliti. Tujuan hibridisasi material ini adalah didasarkan pada kemampuan masing - masing bahan terhadap senyawa negatif di air maupun organisme, sehingga diperoleh filter berupa membran yang memiliki multifungsi dalam *penyaringan dan penjernihan air*

Dalam penelitian, pengujian kelayakan dari membran yang dirancang merupakan salah satu komponen penting terkait dengan perbaikan kualitas air. Prototipe membran organik dibuat untuk skala laboratorium dengan menggunakan metode eksperimen, sedangkan proses pembentukan membran menggunakan teknik inversi fase, dengan rasio variasi fraksi berat (%wt) antara penguat dan pengikat yaitu 60:40 %wt. Hasil dari pengujian membran adalah berupa kelayakan kinerja membran secara fisis produktivitas dan dapat mengurangi kegagalan produk serta mengurangi biaya medis [1].

Penempaan dengan menggunakan mesin forging memberikan hasil yang berkualitas, penggunaan energi dapat diminimalkan serta biaya operasional secara keseluruhan lebih

rendah [2]. Penempaan dengan sistem mekanis memberikan perbaikan terhadap kondisi operasi dan mengoptimalkan proses penempaan [3].

METODOLOGI PENELITIAN

Kegiatan penelitian secara umum adalah dikelompokkan menjadi dua tahapan yaitu tahap persiapan bahan dan pembuatan membran dan tahap kedua adalah pengujian membran secara fisis.

a. Tahap persiapan bahan dan pembuatan membran

Biji kelor yang sudah kering dihilangkan kulit luarnya dan dikupas hingga tinggal biji kelor yang putih. Kemudian biji kelor tersebut dihancurkan dan disaring dengan saringan ukuran 200 mesh. Selanjutnya dilakukan treatment pada biji kelor tersebut dengan melakukan perendaman menggunakan larutan Hexan sambil dilakukan pengadukan hingga kandungan minyak pada biji kelor berkurang/habis. Kemudian bubuk biji kelor disaring dengan menggunakan kertas saring lalu di angin-anginkan hingga kering.



Gambar 1 Biji Kelor

Batu gunung dihancurkan dan dihaluskan dan disaring dengan saringan ukuran 200 mesh, kemudian dipanaskan hingga 200°C untuk mengurangi kadar air yang terkandung di dalamnya.



Gambar 2 Batu gunung



Gambar 3 Sellulosa Asetat

Setelah semua bahan disiapkan dan sesuai dengan perbandingan yang sudah ditentukan, ketiga bahan tersebut dicampur dengan larutan acetone dan dimasukkan kedalam tabung erlenmayer tertutup dan diaduk menggunakan magnetic stirrer selama 24 jam. Setelah itu didiamkan beberapa menit agar gelembungnya menghilang baru dituang dalam cetakan. Pembentukan membran adalah didasarkan pada rasio fraksi berat 60:40%wt, dengan masing-masing memiliki 3 (tiga) variasi. Adapun untuk komposisi membran adalah seperti ditunjukkan pada Tabel 1 Proses produksi membran dilakukan melalui proses casting pada suhu kamar yaitu sekitar 28°C.

Tabel 1 Komposisi membran

Kelompok	Variasi	Prosentase bahan (%wt)		
		MO	BG	CA
(60:40)%wt	1	30	30	40
	2	40	20	40
	3	20	40	40

b. Tahap pengujian membran

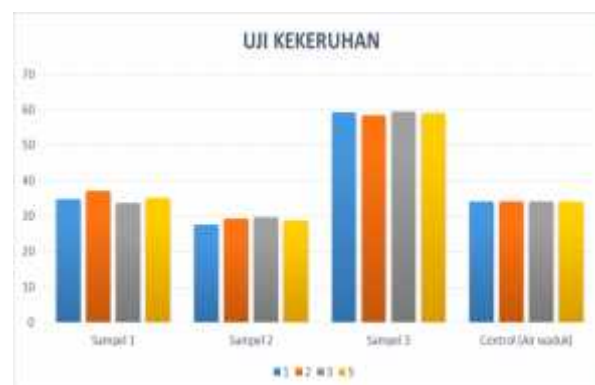
Pengujian adalah tahap untuk mengetahui kelayakan dari membrane berbasis hibrid komposit dengan bahan penguat berupa partikel biji kelor dan batu gunung pada pengendalian kualitas air. Adapun kelayakan fungsi dari membran diuji terhadap fisis membran yaitu tingkat kekeruhan dan jumlah bakteri.

HASIL PEMBAHASAN

HASIL UJI KEKERUHAN

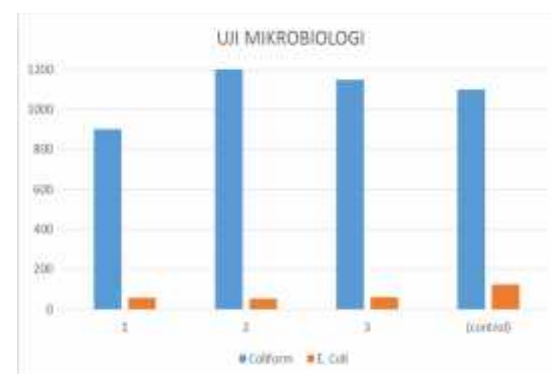
Dari grafik 1, sampel 2 menunjukkan nilai kekeruhan yang cenderung menurun yaitu sekitar 28.89 NTU, turun 15 % terhadap control dengan nilai rata-rata 34.108 NTU. Hal

ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Jatindranat [11] bahwa komposisi fraksi wt% biji kelor memberikan dampak penurunan terhadap kekeruhan.



Grafik 1 Hasil uji kekeruhan

HASIL UJI MIKROBIOLOGI



Grafik 2 Hasil uji mikrobiologi

Pada grafik 2 menunjukkan penggunaan sampel 1, 2, dan 3 selama 2 jam dapat mengurangi bakteri E. Coli dalam air [12], namun cenderung meningkatkan jumlah bakteri Coliform dalam air. Hal ini mungkin disebabkan pada waktu proses pengeringan membran yang terkontaminasi dengan udara terbuka atau botol penyimpanan air sampel dan alat uji kurang steril.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat ditarik kesimpulan:

- Perlakuan membran dengan menggunakan alat uji yang dibuat memberi dampak terhadap kualitas air baku diantaranya nilai kekeruhan. Pada sampel 2 dengan 40% biji kelor mampu menurunkan 15% kekeruhan terhadap



- control.
- Pada sampel 1, 2, dan 3 menunjukkan kemampuan menurunkan jumlah bakteri E. Coli namun cenderung meningkatkan kadar Coliform dalam air

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Subekti, (2012), "Studi identifikasi kebutuhan dan potensi air baku air minum kabupaten pasuruan," *Momentum* vol. 8, No. 2, No, pp. 43- 51.
- [2] MENTERI KESEHATAN REPUBLIK INDONESIA, (2002), Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia, No. 907/MENKES/SK/VII/2002 "Syarat-syarat dan pengawasan kualitas air minum".
- [3] Bahareh Asadollahi Esfahani, Banafsheh Asadollahi Esfahani, Mina Shams Koupaei, and S.Z. Ghasemi., (2014), "Industrial waste water treatment by membrane systems," *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences* vol. 4 No, pp. 1168-1177.
- [4] C. Stoquart, P. Servais, P.R. Bérubé, and B. Barbeau, (2012), "Hybrid membrane processes using activated carbon treatment for drinking water: A review," *Journal of Membrane Science*, vol. 411-412, No, pp. 1-12.
- [5] Eman N. Ali, Suleyman A. Muyibi, Hamzah M. Salleh, Mohd Ramlan M. Salleh, and a.M.Z. Alam., (2009) "Moringa oleifera seeds as natural coagulant for water treatment," Thirteenth International Water Technology Conference, IWTC 13 Hurgada, Egypt, pp. 163-168.
- [6] Emelie Arnoldsson, Maria Bergman, Nelson Matsinhe, and a.K.M. Persson., (2008), "Assessment of drinking water treatment using moringa oleifera natural coagulant," *VATTEN*, vol. 64, No, pp. 137-150.
- [7] J. Sánchez-Martín, (2010), "Surfactant-polluted surface water treatment with moringa oleifera seed extract," *Water Practice and Technology*, vol. 5, No 1, pp. 1-10.
- [8] I.r. Yuliastari, (2010), "Penggunaan serbuk biji kelor (moringa oleifera) sebagai koagulan dan flokulan dalam perbaikan kualitas air limbah dan air tanah.," *Starata S1*, Program studi Kimia, Fakultas sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta.
- [9] Tambak Manurung, Yusriani Sapta Dewi, and B. J.Lekatompessy, (2012), "Efektivitas biji kelor (moringa oleifera) pada pengolahan air sumur tercemar limbah domestik," *Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik LIMIT'S*, vol. 8 Nomor 1 No, pp. 37 - 46.
- [10] Syahru Ramadhani, Alexander Tunggul Sutanhaji, and d.B.R. Widiatmono, (2013), "Perbandingan efektivitas tepung biji kelor (moringa oleifera lamk), poly aluminium chloride (pac), dan tawas sebagai koagulan untuk air jernih," *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*, vol. Vol. 1 No. 3, No, pp. 186-193.
- [11] Gilar S. Pambayun, Remigius Y.E. Yulianto, M. Rachimoallah, and E.M.M. Putri., (2013), "Pembuatan karbon aktif dari arang tempurung kelapa dengan aktivator znc12 dan na2co3 sebagai adsorben untuk mengurangi kadar fenol dalam air limbah," *JURNAL TEKNIK POMITS*, vol. 2, No. 1, No, pp. 116-120.
- [12] Frischa Marcheliana Wachid and Darminto., (2012), "Analisis fasa karbon pada proses pemanasan tempurung kelapa," *JURNAL TEKNIK POMITS*, vol. 1, No. 1, No, pp. 1-4.



Komputasi Visual Basic Untuk Optimalisasi Dan Redesain Proses Awal Pengeringan Kopra Di Usaha Koperasi Bersama Kopra Putih Sonia Kabupaten Pringsewu

A.Yudi Eka Risano, Ahmad Su'udi dan Jati Wahyu Nugraha

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung

Jl. Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No. 1, Gedung H Lt.2, Bandar Lampung 35145

Telp.(0721)7479221

E-mail koresponden : yudi_95@yahoo.com

Abstract

Copra is a pulp of a fresh coconut that is dried, known as two kind, that is white and black copra. Copra drying process can be divided into two part, that is initial process which is to dried a coconut pulp with the shell containing water 55% until 35% of water and final process which is to dried a coconut pulp which contain 35% of water to be 7-8% of water. The problem in copra drying process is the uneven drying temperature and duration. Therefore, this research aims to optimize the copra dryers tool, especially at the of the initial process drying.

Method of this research is by redesign copra drying tools of initial process, calculate thermal process and total heat that needed for drying process by using Microsoft visual basic.

Results of the research were obtained for the copra drying process by using pipe 1 inch of diameter and length 39.12 cm, with the dimension of drying tools is 270 cm x 180 cm x 180 cm and material construction is a zinc wall with asbestos layer. And the drying temperature of copra is 74.51 °C with total heat needed is 501,858.1 kJ and drying process takes 3.65 hours.

Keywords : Copra, Redesign, Microsoft Visual Basic, Drying Process

1. PENDAHULUAN

Kelapa merupakan salah satu jenis tanaman tropis dengan kegunaan yang sangat beragam. Salah satu daerah penghasil kelapa adalah Kabupaten Pringsewu, Provinsi Lampung yang memiliki produksi tahunan buah kelapa mencapai 4220 Ton dengan produktivitas 1046 Kg/Ha serta jumlah petani yang mencapai 7189 KK [10]. Untuk menambah nilai ekonomisnya buah kelapa di olah untuk menjadi kopra putih.

Kopra adalah daging buah kelapa segar yang dikeringkan dengan menggunakan sinar matahari atau panas buatan. Proses pengeringan kopra putih meliputi dua proses yaitu proses awal dan proses akhir. Proses awal adalah pengeringan daging buah kelapa bersama tempurung yang berkadar air sekitar 55% hingga menjadi 35% dan proses akhir adalah pengeringan akhir daging buah kelapa

tanpa tempurung yang berkadar air 35% hingga menjadi 7-8%.

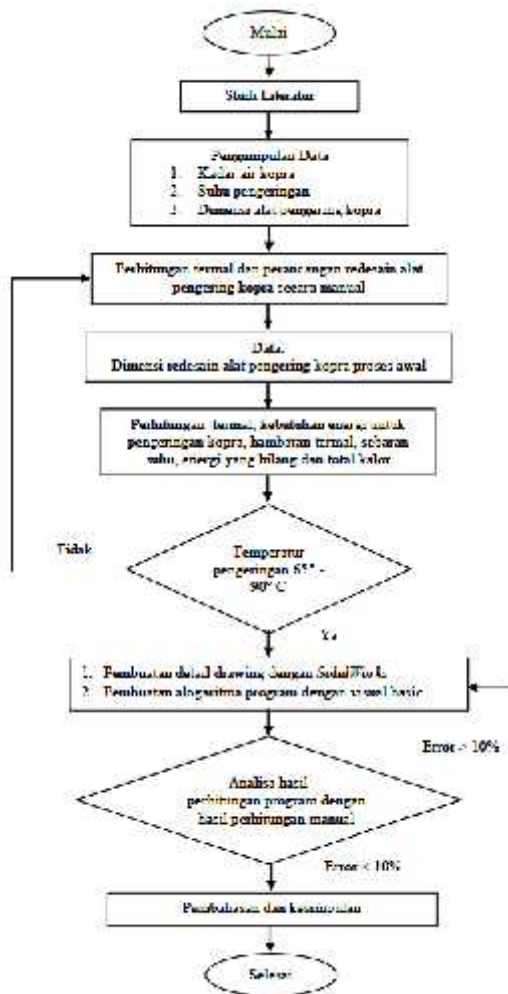
Proses pengeringan buah kelapa menjadi kopra memiliki masalah antara lain waktu pengeringan yang lama yaitu sekitar 3 hari, serta pengeringan yang tidak merata Dalam hal ini dibutuhkan analisis perhitungan termal dan perancangan alat pengering kopra putih proses awal yang tepat dengan menggunakan *software Microsoft Visual Basic 6.0*, sehingga dapat mempermudah proses analisis dan perancangan alat pengering kopra proses awal.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini akan dilakukan proses perancangan redesign alat pengering kopra proses awal sehingga di dapatkan suhu yang optimal untuk proses pengeringan kopra putih. Kemudian dilakukan proses perhitungan termal dan total kalor yang dibutuhkan untuk

proses pengeringan kopra proses awal dengan menggunakan software Microsoft visual basic agar mempermudah proses tersebut.

Langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini guna memenuhi tujuan penelitian dan penyelesaian rumusan masalah diatas adalah seperti pada gambar 1 berikut.



Gambar 1. Diagram alir

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Data Hasil Penelitian

Adapun data hasil penelitian yang telah dilakukan redesain dan optimalisasi alat pengering kopra proses awal adalah sebagai berikut ini :

Tabel 1. Data hasil

No	Keterangan	Hasil
1	Panjang alat	270 cm
2	Lebar alat	180 cm
3	Tinggi alat	180 cm
4	Diameter pipa	2,54 cm

5	Panjang pipa	39,17 m
6	Kadar awal kopra	55 %
7	Kadar akhir kopra	35 %
8	Berat kopra awal	338,4 kg
9	Berat air kopra	186,67 kg
10	Berat air yang diuapkan	68,23 kg
11	Panas jenis kopra	1,88 kJ/kg°C
12	Panas jenis air	4,18 kJ/kg°C
13	Temperatur masuk	200 °C
14	Temperatur awal kopra	30 °C

3.2. Perhitungan Termal Alat Pengering Kopra Proses Awal

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah melakukan redesain alat pengering kopra proses awal, setelah itu alat pengering kopra tersebut dilakukan proses perhitungan hambatan termal yang terjadi pada alat pengering kopra dengan menggunakan persamaan berikut:

$$R = \frac{1}{h.A} \text{ untuk konveksi}$$

$$R = \frac{\Delta x}{K.A} \text{ untuk konduksi}$$

Maka didapatkan nilai hambatan termal pada alat pengering kopra adalah sebagai berikut :

Tabel 2. Nilai hambatan termal

No	Keterangan	Hasil (°C/W)
1	R ₁	0,0279
2	R ₂	0,00000286
3	R ₃	0,0279
4	R ₄	0,00894
5	R ₅	0,000000918
6	R ₆	0,001998
7	R ₇	0,00892
8	R _{total}	0,0756

Selanjutnya dilakukan perhitungan termal yang terjadi pada alat pengering kopra proses awal dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$q = \frac{\Delta T}{R}$$

maka diperoleh sebaran suhu pada alat pengering kopra proses awal yaitu sebagai berikut:



Tabel 3. Sebaran suhu

No	Keterangan	Hasil (°C)
1	Suhu pipa dalam	137,26
2	Suhu pipa luar	137,25
3	Suhu pengeringan	74,51
4	Suhu dinding dalam	54,41
5	Suhu dinding luar	49,92

3.3. Perhitungan Aliran Konveksi Pada Alat Pengering Kopra (Q_{kv})

Untuk menghitung aliran konveksi pada alat pengering kopra proses awal, langkah pertama adalah membuat asumsi-asumsi terlebih dahulu, kemudian lakukan perhitungan koefisien perpindahan panas konveksi bebas pada alat pengering kopra dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Gr_{dPr} = \frac{g\beta(T_s - T_d)d^3}{\nu^2} \cdot Pr$$

Setelah diperoleh koefisien perpindahan panas, kemudian menghitung nilai aliran konveksi pada alat pengering kopra yaitu sebagai berikut:

$$Q_{kw} = h.A.(T_s - T_a)$$

Maka diperoleh nilai aliran konveksi pada alat pengering kopra yaitu sebesar 60,664 kJ/jam.

3.4. Perhitungan Energi Yang Hilang Dari Dinding Ruang Pengering

Untuk menghitung energi yang hilang dari dinding ruang pengering langkah pertama yang dilakukan adalah menghitung koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) pada dinding alat pengering kopra, setelah itu dilakukan perhitungan energi yang hilang dari dinding ruang pengering menggunakan persamaan berikut :

$$Q_{lw} = U \times A \times T$$

Sehingga energi yang hilang dari dinding pengering (Q_{lw}) adalah sebesar = 16.156,22 kJ/jam.

3.5. Program Perhitungan Termal Alat Pengering Kopra

Setelah dilakukan perhitungan manual, langkah selanjutnya adalah membuat

algoritma (bahasa program) untuk pembuat program perhitungan termal alat pengering kopra. Program aplikasi perhitungan termal alat pengering kopra proses awal yang dibuat bertujuan untuk mempermudah proses perhitungan dalam meredesain alat pengering kopra. Program ini dibuat dengan menggunakan *software Microsoft visual basic 6.0*, dimana terdapat input data dan output data. Program ini memiliki error sebesar 0,5 % dari hasil perhitungan manual. Pada program ini terdapat 6 command fungsi utama yaitu sebagai berikut:

1. Command hitung, yaitu command yang bertujuan untuk menghitung proses data untuk perhitungan termal pada alat pengering kopra.
2. Command energi hilang dinding, yaitu command yang bertujuan untuk pindah ke perhitungan energi hilang pada dinding.
3. Command konveksi dalam pengering, yaitu command yang bertujuan untuk pindah ke perhitungan konveksi dalam pengering.
4. Command Total Energi, yaitu command yang bertujuan untuk pindah ke perhitungan total energi pengeringan kopra
5. Command rumus, yaitu command yang bertujuan untuk menunjukkan rumus-rumus perhitungan.
6. Command Cara Penggunaan, yaitu command yang bertujuan untuk menampilkan cara penggunaan program aplikasi perhitungan termal alat pengering kopra.



Gambar 2. Tampilan awal program



3.6. Perbandingan Antara Perhitungan Manual dan Perhitungan Program

Setelah dilakukan perhitungan manual dan perhitungan program maka didapatkan error dibawah 0,5 %, maka dapat dikatakan aplikasi ini berhasil karna memiliki error yang sangat kecil.

Error adalah kesalahan atau kekeliruan antara perhitungan manual dan aplikasi yang diakibatkan perbedaan dalam pembulatan angka sesudah koma.

Berikut adalah tabel perbandingan antara perhitungan manual dan perhitungan program :

Tabel 3. Perbandingan antara perhitungan manual dan perhitungan program

No	Nama Perhitungan	Manual	Aplikasi	Error
1	Koefisien Perpindahan Panas Konveksi Pada Pengereng Kopra	11,5	11,5	0%
2	Rtotal	0,0756	0,0756	0%
3	Laju aliran panas menyeluruh pada pengereng kopra	2.248,68	2.248,68	0%
4	Temperatur pipa dalam (Tp1)	137,26	137,26	0%
5	Temperatur pipa luar (Tp2)	137,25	137,25	0%
6	Temperatur udara pengeringan (Td)	74,51	74,51	0%
7	Temperatur pada dinding seng dalam (Tws1)	54,41	54,41	0%
8	Temperatur pada dinding Seng luar (Tws2)	54,41	54,41	0%
9	Temperatur pada dinding asbes bagian luar (Twa)	49,92	49,92	0%
10	Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh Pada Dinding ruang Pengereng Kopra	51,31	51,31	0%
11	Energi hilang dari dinding ruang pengereng	4.487,84	4.487,84	0%
12	Laju aliran panas konveksi dari dalam ruang pengereng	60.664	60.664	0%
13	Laju pemanasan kopra	28.316,90	28.316,91	0,000016%
14	Laju pemanasan air kopra	34.730,29	34.730,29	0%
15	Laju penguapan air kopra	158.417,1	158.417,1	0%
16	Total energi pengeringan kopra	221.464,29	221.464,29	0%
17	Total kalor yang dibutuhkan	137.495,37	137.495,37	0%
18	Kebutuhan Kayu Bakar	147,6	147,61	0,000016%

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan perhitungan yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan bahwa setelah dilakukan proses redesain diperoleh dimensi panjang alat pengering 2,7 m, lebar = 1,8 m, tinggi = 1,8 m dengan diameter pipa 0,0254 m, panjang pipa 39,12 m dan tebal pipa 0.001 m. Sementara tebal dinding pengering adalah 0,004 m dengan panjang dan lebar rak pengering adalah 2,3 m.

Selain itu dari hasil perhitungan dengan program diperoleh temperatur pengeringan

kopra tahap awal sebesar 74,51 °C dengan laju aliran energi konveksi diruang pengering adalah 60.664 kJ/jam. Sedangkan laju energi yang hilang dari dinding pengering adalah 4.487,84 kJ/jam. Dan total kalor yang dibutuhkan untuk proses pengeringan kopra pada proses awal ini adalah 501.858,1 kJ. Sehingga dengan total kalor tersebut waktu yang dibutuhkan untuk satu kali proses pengeringan kopra pada proses awal yaitu untuk menghasilkan kopra dengan kadar air 35% adalah selama 3 jam 39 menit.



Daftar Pustaka

- [1] Ashshiddieqy, Ahmad Q . 2010. “Perancangan dan Alat pengering kopra dengan tipe *cabinet dryer* untuk kapasitas 6 kg per-siklus”. Universitas Sumatera Utara, Medan.
- [2] Awang, S.A. 1991. *Kelapa Kajian Sosial Ekonommi*. Aditya Media : Yogyakarta.
- [3] Cengel, Y.A. *Heat Transfer A Practical Approach, Second Edition*. Mc GrawHill,BookCompany,Inc: Singapore.
- [4] Holman, J.P.1986. *Heat Transfer. Sixth Edition*, New York : McGraw-Hill
- [5] Incropera, F.P, David P. De Witt. 1985. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Second Edition*. John Wiley & Sons Inc. : New York.
- [6] Kartika, Bambang. 1981. *Pengolahan kelapa (Bagian I)*. Lembaga Pendidikan Perkebunan : Yogyakarta.
- [7] Ketaren, S. 1986. *Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan*. Cetakan Pertama.Jakarta : UI-Press.
- [8] Palungkung, Rony (1992). *Aneka Produk Olahan Kelapa*. Jakarta Penebar Swadaya.
- [9] Setyamidjaja, D. 1999. *Bertanam Kelapa Hibrida*. Kanisius: Yogyakarta
- [10] Sulaeman dan M. Rusyadi. 2013. “Analisa Efisiensi *Rooftop Solar Copra Dryer* Dengan Susunan Kolektor Secara Seri”. Institut Teknologi Padang.
- [11] Supriyono. 2003. Mengukur Faktor-faktor dalam Proses Pengeringan. Departemen Pendidikan Nasional. Jakarta.
- [12] Warisno. 2003. *Budidaya Kelapa Genjah*. Kanisius: Yogyakarta.



Uji Pembentukan Biogas dari Sampah Organik pada Biodigester Portable

Nitya Santhiarsa

Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali
Email : santhiarsa@yahoo.com

Abstrak

Biogas merupakan zat berwujud gas dimana pembentukannya dari proses anaerob atau proses fermentasi yang membutuhkan ruangan yang kedap udara atau tertutup. Prototype biodigester yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan prinsip ruang kedap udara tersebut, dibuat dari tangki plastik ukuran 300 liter yang dimodifikasi. Sampah organik yang digunakan ada dua macam yaitu pertama, campuran kotoran sapi dan sampah rumput, yang kedua, campuran kotoran sapi dan sampah dapur. Pengukuran dan pengambilan data dilakukan selama 14 hari. Hasil pengujian pada hari ke-14, menunjukkan kandungan biogas dari campuran pertama adalah 22 % Volume CH₄, 12 % Volume CO₂ dan 137 ppm H₂S, sedangkan campuran kedua adalah 27 % Volume CH₄, 24 % Volume CO₂ dan 178 ppm H₂S

Kata kunci: sampah organik, biodigester, biogas

Biogas Formation Test of Organic Waste on Portable Biodigester

Abstract

Biogas is a gaseous substance in which its formation of an anaerobic process or a fermentation process that requires a room that is airtight or closed. The biodigester prototype used in this study is based on the airtight space principle, manufactured from a modified 300 liter plastic tank. Organic garbage is used there are two kinds of first, mixture of cow dung and garbage, second, mixture of cow dung and kitchen waste. Measurement and data retrieval is done for 14 days. The test results on the 14th day showed that the biogas content of the first mixture was 22% Volume CH₄, 12% Volume CO₂ and 137 ppm H₂S, while the second mixture was 27% Volume CH₄, 24% Volume CO₂ and 178 ppm H₂S

Keywords : organic waste, biodigester, biogas

1. Pendahuluan

Sampah atau limbah adalah permasalahan klasik terutama bagi masyarakat kota yang padat penduduknya. Sampah ada dua macam yaitu sampah organik dan sampah anorganik. Sampah organik berasal dari sisa-sisa atau buangan bahan dari hewan dan tanaman, seperti kotoran ternak serta potongan ranting dan dedaunan, sedangkan sampah anorganik, sampah yang berasal dari bahan seperti plastic, keramik dan logam. Sampah organik ternyata mempunyai potensi, salah satunya sebagai sumber energy terbarukan yaitu sumber energi biogas. Biogas merupakan zat berwujud gas dimana pembentukannya membutuhkan ruangan yang kedap udara atau tertutup. Pada prinsipnya biogas

terbentuk melalui proses yang berlangsung dalam ruang yang anaerob atau tanpa oksigen. Apabila diuraikan lebih rinci, secara keseluruhan terdapat tiga proses utama dalam pembentukan biogas, yaitu proses hidrolisis, pengasaman yaitu asidogenesis dan asetogenesis, serta proses metanogenesis. Keseluruhan proses ini tidak terlepas dari bantuan kinerja mikroorganisme *anaerob*. [1] Berdasarkan prinsip pembentukan biogas, maka telah dirancang sebuah model atau prototype biodigester yang portable yaitu peralatan digester yang dapat dengan mudah dipindahkan dan diangkat. Digester dibuat dari kontainer atau tangki plastic berukuran 300 liter, dimodifikasi menjadi tiga bagian, pertama, bagian dasar, yang menampung air lindi hasil proses pembusukkan sampah, nantinya bisa digunakan sebagai pupuk cair,

bagian kedua atau bagian tengah, merupakan ruang diletakkan sampah organik padat, di bagian ini untuk menghasilkan biogas. Kemudian bagian ketiga, bagian atas, yang menampung gas hasil dari proses fermentasi sampah.[2] Perancangan biodigester telah dilakukan, kemudian dilanjutkan dengan pengujian unjuk kerja peralatan untuk mengetahui apakah prototype ini dapat menghasilkan gas metan sebagai komponen utama biogas dan berapa waktu yang dibutuhkan serta berapa jumlah gas metan yang bisa dihasilkan.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimental yaitu pengamatan langsung untuk mengetahui unjuk kerja dari prototype peralatan biodigester.

Alat dan Bahan

- Alat yang digunakan dalam penelitian ini
- Timbangan digital untuk menimbang berat sampah organik yaitu berat kotoran sapi dan sampah rumput serta sampah dapur
 - Biogas Multi Gas Detector berfungsi untuk mengukur kandungan karbondioksida/ CO_2 , metana/ CH_4 dan Hidrogen Sulfida/ H_2S dengan ketelitian CO_2 100 % Vol, CH_4 100 % Vol, dan H_2S 999 ppm



Gambar 1. Biogas Tester[3]

- Biodigester Portable, berukuran 300 liter (dimodifikasi kapasitasnya hanya 100 liter) sebanyak 2 unit



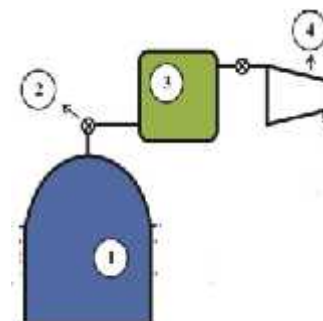
Gambar 2. Prototype Biodigester Portable

- Bag Biogas, untuk tempat menyimpan sementara biogas

Bahan yang digunakan adalah campuran pertama sampah organik yaitu campuran kotoran sapi dan sampah rumput, dan campuran sampah organik kedua, kotoran sapi dan sampah dapur. Kedua campuran ini masing-masing diaduk hingga merata dan sebelum dimasukkan ke digester, campuran dituangkan air secukupnya hingga lembab merata.

Pembentukan biogas dilakukan pada suhu lokal Kota Denpasar, Bali yang berkisar antara $22-32^\circ\text{C}$, (www.accuweather.com/id/denpasar), sehingga tidak memerlukan suplai energi tambahan untuk pengkondisian temperatur. Rentang suhu di atas termasuk rentang suhu *mesophilic* ($20-40^\circ\text{C}$).

Instalasi Alat Penelitian



Gambar 3. Instalasi Peralatan penelitian

Keterangan gambar :

1. Biodigester
2. Stp kran
3. Bag biogas
4. Biogas Tester



Biogas yang keluar dari digester akan ditampung dalam bag biogas, selanjutnya dilakukan pengukuran kandungan gas dalam biogas serta besar kandungannya dengan menggunakan alat ukur Biogas Tester.

Lokasi penelitian

Penelitian ini dilakukan di workshop yang terletak di Desa Pedungan, Denpasar, Bali. Biodigester diletakkan di bawah atap ruangan terbuka, jadi tidak langsung terpapar sinar matahari. Pengambilan data setiap percobaan berlangsung selama 14 hari.

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil pengukuran kandungan biogas diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 1. Kandungan Biogas produksi Biodigester Portable(Percobaan Pertama)

30kg kotoran sapi + 72kg sampah rumput			
Hari/ Tanggal	CH ₄ (% Vol)	CO ₂ (% Vol)	H ₂ S (ppm)
Selasa/ 06-06-2017	0	4	56
Rabu/ 07-06-2017	0	5	79
Kamis/ 08-06-2017	0	4	78
Jumat/ 09-06-2017	0	6	77
Sabtu/ 10-06-2017	0	7	78
Minggu/ 11-06-2017	0	8	78
Senin/ 12-06-2017	0	9	83
Selasa/ 13-06-2017	0	9	116
Rabu/ 14-06-2017	0	9	127
Kamis/ 15-06-2017	7	9	137
Jumat/ 16-06-2017	8	12	137
Sabtu/ 17-06-2017	12	12	137
Minggu/ 18-06-2017	18	12	137
Senin/ 19-06-2017	22	12	137

Tabel 2. Kandungan Biogas produksi Biodigester Portable(Percobaan Kedua)

30kg kotoran sapi + 150kg sampah dapur			
Hari/ Tanggal	CH ₄ (%vol)	CO ₂ (%vol)	H ₂ S(ppm)
Selasa/ 06-06-2017	0	5	66
Rabu/ 07-06-2017	0	7	76
Kamis/ 08-06-2017	0	8	76
Jumat/ 09-06-2017	0	8	79
Sabtu/ 10-06-2017	0	8	96
Minggu/ 11-06-2017	0	8	96
Senin/ 12-06-2017	0	9	112
Selasa/ 13-06-2017	0	9	116
Rabu/ 14-06-2017	0	9	127
Kamis/ 15-06-2017	0	9	126
Jumat/ 16-06-2017	0	12	134
Sabtu/ 17-06-2017	12	20	137
Senin/ 18-06-2017	18	22	165
Selasa/ 19-06-2017	27	24	176

Dari kedua tabel diketahui kandungan biogas yang dapat dideteksi adalah gas metana(CH₄), gas karbondioksida (CO₂) dan gas hydrogen sulfide(H₂S), sesuai karakteristik alat ukur /biogas tester yang digunakan. Adapun gas-gas yang lain seperti karbon monoksida, nitrogen, oksigen dan hydrogen tidak dapat terukur. Pada tabel 1, dari bahan baku berupa campuran kotoran sapi dan sampah rumput, komponen gas yang terpenting dalam hal ini yaitu gas metana, baru terbentuk pada hari ke-10, sebesar 7 % Volume setelah itu jumlahnya meningkat sampai pengukuran pada hari ke-14, sebesar 22 % Volume. Kemudian, pada tabel 2, dimana bahan baku kotoran sapi dan sampah dapur, gas metana baru terbentuk pada hari ke-12, sebesar 12 % ,juga meningkat pada hari ke 14 menjadi sebesar 27 %. Berdasarkan kedua data ini, diketahui campuran pertama lebih cepat menghasilkan gas metana diandingkan campuran kedua. Seperti diketahui, proses pembentukan gas metana ada tiga tahap yaitu tahap hidrolisis, pada fase ini senyawa-senyawa organik polimer kompleks didegradasi oleh mikroorganisme hidrolitik menjadi monomer gula, asam amino dan peptide. Kemudian,, tahap pengasaman, baik asidogenesis maupun asetogenesis, monomer-monomer di atas dikonversi menjadi senyawa organik sederhana seperti asam asetat dan alcohol. Tahap berikutnya, tahap metanogenesis, yaitu tahap pembentukan gas metana, asam asetat dirubah oleh bakteri metanogen menjadi metan dan karbondioksida. Cepat dan lambatnya proses pembentukan gas metana dipengaruhi oleh beberapa faktor, ada faktor biotik seperti jenis mikroorganisme, dan ada faktor abiotik seperti jenis bahan baku, rasio C/N, homogenitas campuran, PH dan suhu.[4]. Faktor lain yang dapat menghambat terbentuknya gas metana adalah adanya konsentrasi yang tinggi bahan-bahan tertentu seperti ammonia, logam berat, oksigen dan sulfida. [5] Campuran pertama yaitu campuran kotoran sapi dan sampah rumput, lebih cepat menghasilkan gas metana lebih dikarenakan factor homogenitas campuran, dimana semakin homogeny campuran, proses pembentukan biogas lebih cepat, meskipun jumlah sampah dapur lebih banyak dua kali lipat. Secara garis besar, karena prototype alat biodigester ini dapat memproduksi gas metana (CH₄), maka dapat dikatakan bahwa



rancangan alat ini telah berhasil dan alat ini bisa berfungsi sebagai biodigester sampah organik.

4. Simpulan

Dari hasil pengujian dan pembahasan, dapat disimpulkan prototype biodigester ini bisa berfungsi dengan baik, karena telah dapat menghasilkan gas metana CH_4 dimana dengan bahan baku berupa campuran kotoran sapi dan sampah rumput, serta campuran kotoran sapi dan sampah dapur, masing-masing gas metana mulai terbentuk pada hari ke-10, sebesar 7% volume dan pada hari ke-12 sebesar 12%. Penelitian ini masih tahap awal, sehingga penelitian perlu dilanjutkan untuk mengamati pengaruh rasio C/N, suhu, kadar air dan PH dari campuran bahan baku terhadap kecepatan proses pembentukan gas metana dalam biodigester portable.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini terlaksana dengan baik terutama atas dana yang telah diberikan oleh Kemenristek dan Dikti dalam perancangan biodigester serta bantuan operasional penelitian dari Teguh Suputra.

Daftar Pustaka

- [1] Hardoyo, Tri Atmojo, Dadang Rosadi, Sigit Cahyono, *Panduan Praktis Membuat Bioga Portabel Skala Rumah Tangga dan Industri*, Lily Publisher, Yogyakarta, 2014
- [2] Santhiarsa, Wijaya, Suryada, *Rancang Bangun alat Biokomposter Digester*, Proseding Senastek III, Universitas Udayana, 2016
- [3] Suputra, Teguh, *Pemurnian Biogas dari Gas Pengotor Menggunakan Campuran Kalium Hidroksida Padat dengan Sekam Padi*, Skripsi, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, 2016
- [4] Yenni, Yommi Dewillda, Sely Mutia Sari, *Uji Pembentukan Biogas dari Substrat Sampah Sayur dan Buah dengan Ko-substrat Limbah Isi Rumen Sapi*, Jurnal Teknik Lingkungan UNAND 9 (1) :26-36 (Januari 2012)
- [5] Wahyuni, Sri, MP, *Biogas*, Penebar Swadaya, Jakarta, 2008



Audit Energi dan Analisis Peluang Penghematan Konsumsi Energi Listrik Pada Bangunan Gedung Di Universitas Lampung

Yul Martin¹, Muhammad Salim²

Lecturer at Electrical Engineering Department, University of Lampung
Jl. Prof. Dr. Soemantri Brojonegoro No.1 Gedung Meneng, Bandar Lampung
¹ yul.martin16@gmail.com, ² Muhammadsalim628@gmail.com

Abstract

The need for electrical energy is increasing in accordance with the development of modern equipment that works with electricity sources. This affects the level of consumption of electrical energy more and more even electricity has been included in the primary needs. Energy conservation activities can minimize or make efficient use of electrical energy, to achieve energy conservation activities is conducted an energy audit aimed at controlling the use of electrical energy. The audit process carried out has measurement parameters that are about lighting design, air system and Energy Consumption Intensity (IKE). BSNI has provided a standard of lighting and air conditioning to provide comfort while doing the work.

Keywords: Energy Conservancy, Energy Audit, Illumination system, Air system, IKE, SNI

Abstrak

Kebutuhan energi listrik semakin meningkat sesuai dengan perkembangan peralatan modern yang bekerja dengan sumber listrik. Hal ini mempengaruhi tingkat konsumsi energi listrik semakin banyak bahkan listrik sudah masuk dalam kebutuhan primer. Kegiatan konsevasi energi dapat meminimalisir atau mengefisienkan pemanfaatan energi listrik, untuk mencapai kegiatan konsevasi energi ini dilakukan audit energi yang bertujuan mengendalikan penggunaan energi listrik. Proses audit yang dilakukan memiliki parameter pengukuran yaitu mengenai tata pencahayaan, tata udara serta Intensitas Konsumsi Energi (IKE). BSNI sudah memberikan standar tingkat pencahayaan dan tata udara untuk memberikan rasa nyaman saat melakukan pekerjaan.

Kata kunci: Konsevasi Energi, Audit Energi, Tata pencahayaan, Tata Udara, IKE, SNI

PENDAHULUAN

Meningkatnya pertumbuhan manusia pada saat ini mengakibatkan permintaan atau konsumsi energi listrik dalam segala kegiatan yang dilakukan oleh manusia seperti industri, kegiatan rumah tangga sehingga biaya yang harus dibayarkan juga semakin meningkat. Oleh sebab itu tidak ada jalan lain untuk menghemat pengeluaran maka harus dilakukan hemat energi.

Metode yang dapat digunakan untuk melakukan penghematan energi listrik adalah konsevasi energi. Konsevasi energi adalah usaha meningkatkan efisiensi penggunaan listrik atau yang dikenal dengan penghematan energi listrik. Dalam melakukan konsevasi energi, salah satu jenis kegiatannya adalah audit energi. Hasil dari audit energi akan dibandingkan dengan nilai standar yang ada,

sehingga akan dapat ditemukan solusi-solusi untuk menghemat energi jika hasil audit melebihi nilai standar yang ada.

TINJAUAN PUSTAKA

Pengertian Audit Energi

Definisi audit energi berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) No 6196 Tahun 2011 tentang Prosedur audit energi pada bangunan gedung adalah proses evaluasi pemanfaatan energi dan identifikasi peluang penghematan energi serta rekomendasi peningkatan efisiensi pada penggunaan energi dan penggunaan sumber energi dalam rangka melakukan konservasi energi. Dalam melakukan audit energi terdapat tiga proses dalam melakukan audit energi yaitu audit energi singkat (*walk thourgh audit*), audit energi awal (*preliminary*



audit) dan audit energi rinci (*detail audit*)^[1]. Berdasarkan Keputusan Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia Nomor 80 Tahun 2015, audit energi diartikan sebagai proses koreksi penggunaan energi dan mengidentifikasi kemungkinan atau peluang penghematan energi yang digunakan sekaligus merekomendasikan peningkatan efisiensi kepada pengguna sumber energi dalam rangka mengupayakan konsevasi energi^[2].

Tata Pencahayaan

Tujuan utama yaitu untuk mendapatkan nilai penggunaan energi pada sistem pencahayaan yang meliputi pada bagian penghematan atau pada bagian untuk memaksimalkan dalam penggunaannya. Hal ini harus diperoleh agar dalam penerapan program konsevasi energi dapat berjalan dengan mudah.

Jenis Lampu

Gedung-gedung yang dibangun mempunyai ukuran yang berbeda, hal ini juga akan mempengaruhi jenis lampu yang akan dipasang. Jenis lampu dapat dibagi kedalam 3 kelompok, yaitu:

1. Lampu *Discharge*
Lampu jenis ini dibagi menjadi dua jenis, yaitu:
 - a. Lampu *High Intensity Discharge* (HID). Jenis lampu ini terdiri dari: *high pressure sodium*, *low pressure sodium* dan *metal mercury*.
 - b. Lampu neon atau *fluorescent*. Jenis lampu ini terdiri dari: lampu *fluorescent* linier dan lampu *fluorescent* kompak (*compact fluorescent lamp-CFL*)
2. Lampu Pijar (*incandescent*)
Terdiri dari lampu pijar standar dan halogen
3. *Light Emitting Diode* (LED)
Sebuah jenis lampu yang memiliki teknologi baru yang saat ini sedang berkembang.

Tabel 2.1 Jenis lampu, efisiensi, life time^[3].

No	Jenis Lampu	Watt	Lumen Awal	Life Time (Jam)
1	<i>Incandescent</i>	200	4.000	750
2	<i>Fluorescent</i>	407	3.250	12.000-20.000
3	<i>Mercury Vapor</i>	400	23.000	16.000-24.000
4	<i>Self-Ballasted</i>	450	14.500	16.000
5	<i>Metal Halide</i>	400	34.000	7.500-15.000
6	<i>High Pressure Sodium</i>	400	50.000	20.000-24.000
7	<i>Low Pressure Sodium</i>	180	33.000	18.000
8	<i>LED</i>	variasi	variasi	variasi

Sistem Pencahayaan

Sistem pencahayaan pada ruangan dapat dikelompokkan menjadi:

1. Sistem pencahayaan merata
Sistem ini memberikan tingkat pencahayaan yang merata pada seluruh ruangan. Sistem pencahayaan yang merata dapat diperoleh dengan memasang armatur secara merata langsung atau tidak secara langsung.
2. Sistem pencahayaan setempat
Sistem pencahayaan setempat hanya memberikan tingkat pencahayaan di area kerja yang tidak merata, hanya di tempat kerja atau tugas visual yang diberikan cahaya yang lebih banyak. Sistem ini diperoleh dengan memasang armatur di atas tempat tugas tersebut.
3. Sistem pencahayaan gabungan
Sistem ini merupakan gabungan antara sistem setempat dan sistem merata. yang dipasang di dekat tugas visual. Sistem ini digunakan untuk:
 - a) Area tugas atau kerja yang memerlukan tingkat pencahayaan yang tinggi.
 - b) Digunakan untuk orang tua atau yang kemampuan penglihatannya sudah berkurang.
 - c) Terhalangnya pencahayaan merata, menyebabkan tidak dapat sampai pada tempat yang terhalang.
 - d) Memperlihatkan bentuk dan tekstur yang memerlukan cahaya datang dari arah tertentu^[4].



Intensitas Konsumsi Energi (IKE)

Intensitas Konsumsi Energi merupakan salah satu tujuan audit energi dimana Intensitas Konsumsi Energi ini ditentukan dengan pembagian antara konsumsi energi listrik pada kurun waktu tertentu dengan luas bangunan gedung. Penggunaan energi dapat dihitung jika diketahui^[8]:

1. Rincian luas gedung dan luas totalnya (m²).
2. Konsumsi energi per tahun (kWh/tahun).
3. Biaya energi bangunan gedung (Rp/kWh).
4. IKE bangunan gedung per tahun (kWh/m²/tahun).

Dengan ini didapatkan persamaan mencari Intensitas Konsumsi Energi sebagai berikut:

$$IKE = \frac{kWh\ total\ (kWh\ /\ bulan)}{Luas\ Total\ (m^2)}$$

Berdasarkan Pedoman Pelaksanaan Konversi Energi dan Pengawasan di Lingkungan Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, nilai IKE yang ada pada sebuah gedung dapat digolongkan menjadi dua kriteria. Kriteria tersebut adalah bangunan menggunakan AC dan bangunan tanpa menggunakan AC^[5].

Tabel 2.2 Kriteria standar nilai IKE berdasarkan Departemen Pendidikan dan Kebudayaan tanpa penggunaan AC

Kriteria	Keterangan
Efisien (0,84–1,67) kWh/m ² /bln	Efisiensi penggunaan energi masih mungkin ditingkatkan melalui penerapan sistem manajemen energi terpadu.
Cukup Efisien (1,67 – 2,5) kWh/m ² /bln	Penggunaan energi cukup efisien namun masih memiliki peluang konservasi energi.
Boros (2,5 – 3,34) kWh/m ² /bln	Desain bangunan maupun pemeliharaan dan pengoperasian gedung belum mempertimbangkan konservasi energi.
Sangat Boros (3,34 – 4,17) kWh/m ² /bln	Agar dilakukan peninjauan ulang atas semua instalasi /peralatan energi serta penerapan manajemen energi dalam pengelolaan bangunan.

Tabel 2.3 Kriteria standar nilai IKE berdasarkan Departemen Pendidikan dan Kebudayaan dengan penggunaan AC.

Kriteria	Keterangan
Sangat Efisien (4,17 – 7,92) kWh/m ² /bulan	Pengoperasian peralatan energi dilakukan dengan prinsip-prinsip manajemen energi.
Efisien (7,93 – 12,08) kWh/m ² /bulan	Efisiensi penggunaan energi masih mungkin ditingkatkan melalui penerapan sistem manajemen energi terpadu.
Cukup Efisien (12,08 – 14,58) kWh/m ² /bulan	Pengoperasian dan pemeliharaan gedung belum mempertimbangkan prinsip konservasi energi.
Agak Boros (14,58 – 19,17) kWh/m ² /bulan	Desain bangunan maupun pemeliharaan dan pengoperasian gedung belum mempertimbangkan konservasi energi

Selain dari Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, berikut adalah acuan untuk nilai standar IKE berdasarkan Peraturan Menteri ESDM No. 13 Tahun 2012.

Tabel 2.4 Nilai Standar IKE dari Peraturan Menteri ESDM No.13 Tahun 2013.

Katagori	IKE AC		IKE Non AC	
	kWh/m ² /bln		kWh/m ² /bln	
Sangat Efisien	<8.5		<3.4	
Efisien	= 8.5	<14	= 3.4	< 5.6
Cukup Efisien	= 14	< 18.5	= 5.6	< 7.4
Boros	18.5		7.4	

Dalam standar nilai IKE selalu dibedakan antara bangunan yang menggunakan AC serta bangunan yang tanpa AC. Ditinjau dari standar yang menggunakan AC, dikatakan boros apabila nilai ukur IKE melebihi 18,5 kWh/m²/bulan dan untuk bangunan tanpa AC dikatakan boros apabila nilai IKE yang terhitung adalah lebih besar 7,4 kWh/m²/bulan^[6].

Sistem Tata Udara

Diperlukan peralatan yang dapat menunjang untuk mencapai suhu dan kelembaban tersebut, biasa digunakan kipas angin dan *air conditioning* (AC). Tujuan audit energi pada sistem tata udara yang dilakukan

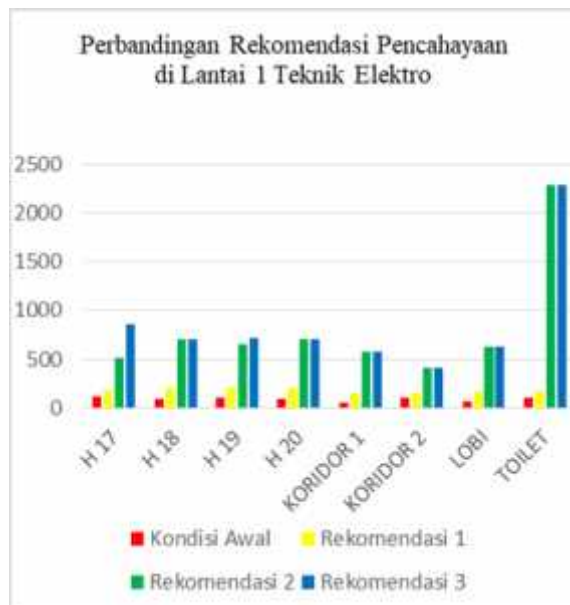
adalah dapat mengetahui kondisi suhu dan kelembaban pada area kerja sudah sesuai tandar yang berlaku atau belum, serta mengidentifikasi tingkat efisiensi penggunaan peralatan pendingin ruangan. Standar temperatur dan RH (kelembaban) pada setiap ruangan berbeda-beda, hal ini disesuaikan dengan kegunaan atau fungsi dari ruangan tersebut. Berikut ini adalah SNI kelembaban untuk kondisi perencanaan gedung yang berada di wilayah dataran rendah (atau pantai)^[7].

- a) Ruang kerja: temperatur bola kering berkisar antara 24°C hingga 27°C atau $25,5^{\circ}\text{C} \pm 1,5^{\circ}\text{C}$ dengan kelembaban relatif $60\% \pm 5\%$.
- b) Ruang transit (lobi, koridor): temperatur bola kering berkisar antara 27°C hingga 30°C atau $28,5^{\circ}\text{C} \pm 1,5^{\circ}\text{C}$ dengan kelembaban relatif $60\% \pm 10\%$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Hasil Pengukuran Lux

Berikut adalah hasil dari audit di gedung H Teknik Elektro Universitas Lampung dapat dilihat pada grafik di bawah ini. Dalam grafik yang ditampilkan mencakup nama ruangan, hasil pengukuran, nilai standar SNI:



Gambar 3.1 Perbandingan perubahan *lux* dari setiap rekomendasi terhadap kondisi awal di setiap ruangan gedung Teknik Elektro.

Berdasarkan gambar 3.1 di atas

menunjukkan bahwa nilai *lux* yang mengalami perubahan sangat signifikan dari kondisi awal hingga rekomendasi ketiga. Pada kondisi awal tingkat pencahayaan pada setiap gedung masih belum mencapai standar SNI kemudian setelah melewati rekomendasi pertama, kedua hingga yang ketiga mengalami perubahan sangat drastis. Pada rekomendasi ketiga merupakan hasil perhitungan ketika semua lampu pada setiap ruangan diganti dengan jenis lampu LED. Perubahan ini akan memberikan efek positif untuk sistem pencahayaan yang tentu saja akan memberikan rasa kenyamanan untuk bekerja atau beraktifitas di dalam ruangan tersebut.



Gambar 3.2 Perbandingan perubahan daya maksimum setiap rekomendasi terhadap kondisi awal

Berdasarkan gambar 3.2 di atas menunjukkan bahwa nilai hasil rekomendasi penggunaan daya dari sistem pencahayaan. Dalam kondisi awal hingga hasil rekomendasi mengganti semua lampu dengan lampu LED menunjukkan pada rekomendasi nomor tiga lebih kecil dari rekomendasi yang lainnya karena daya pada satu lampu LED yaitu 9 watt sehingga penggunaan daya lebih efisien untuk ruangan dan iluminasi yang dihasilkan lebih besar dari yang sebelumnya. Untuk pemilihan rekomendasi yang baik yaitu rekomendasi nomor tiga karena dengan begitu rekomendasi ini tidak menimbulkan pemborosan energi^[9].

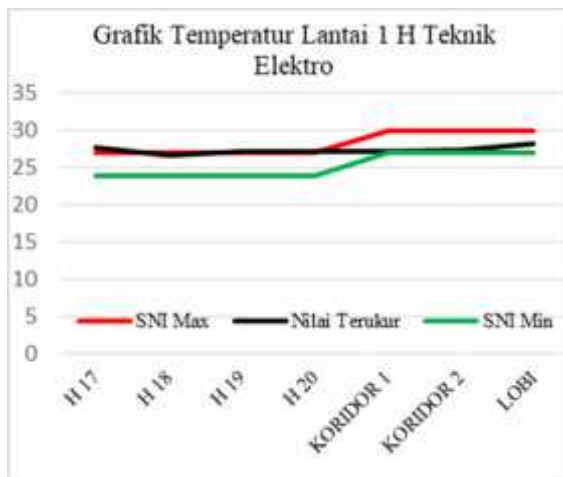
Tata Udara

Kenyamanan suatu gedung ditunjang pula

dengan kondisi tata udara dalam ruangan tersebut, pengolahan sistem tata udara bertujuan untuk mengendalikan kondisi suhu, kelembaban, kesegaran dan kebersihan udara. Istilah VAV (*Variabel Air Volume*) dalam sistem tata udara adalah sistem pengendalian temperatur bola kering pada suatu ruangan dengan cara mengendalikan laju udara yang masuk. Parameter yang digunakan dalam audit sistem udara ini adalah parameter suhu ($^{\circ}\text{C}$) dan parameter kelembaban relative (RH).

Grafik Temperatur

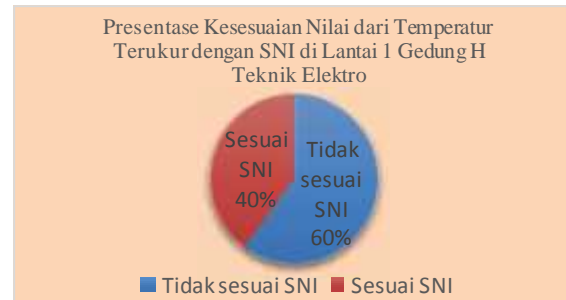
Grafik dibentuk dari nilai eksisting pada gedung H Teknik Elektro Universitas Lampung:



Gambar 3.3 Grafik temperatur di gedung H Teknik Elektro

Grafik di atas dibentuk dengan tiga warna, warna merah sebagai batas maksimal, warna hitam sebagai nilai terukur, dan warna hijau sebagai batas minimum. Ketika nilai terukur dibentuk dalam garis grafik dapat dilihat bahwa ada beberapa ruangan yang berada di antara garis batas minimum dan garis batas maksimum. Hal ini menunjukkan bahwa hasil pengukuran tersebut jika melewati garis merah maka temperatur pada ruangan tersebut di atas standar sesuai dengan standar SNI, jika hasil pengukuran tidak melewati garis merah maka temperatur pada ruangan masih dalam standar.

Berdasarkan grafik garis tersebut dapat dibentuk presentase kesesuaian nilai terukur dengan SNI, seperti di bawah ini:

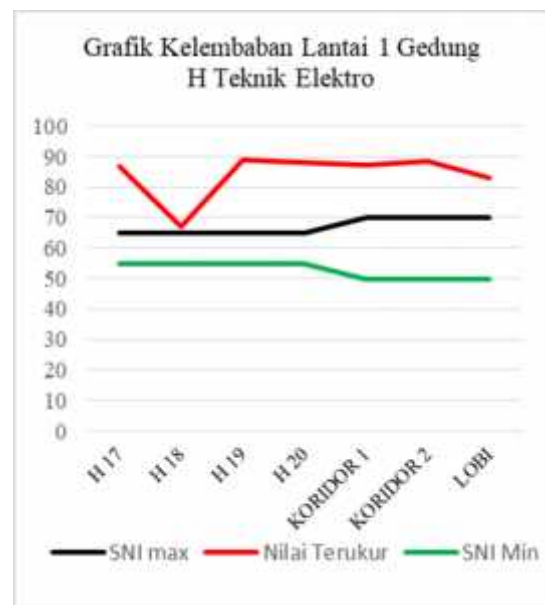


Gambar 3.4 Grafik presentase kesesuaian nilai terukur dari temperatur dengan standar SNI.

Kesesuaian yang terukur dari grafik garis dapat dibentuk seberapa besar nilai presentase yang sesuai atau tidak sesuai SNI. Grafik 4.6 menunjukkan bahwa 60% ruangan yang ada di lantai 1 pada gedung H Teknik Elektro Universitas Lampung tidak sesuai dengan standar SNI. Sedangkan yang sesuai dengan standar SNI hanya 40%.

Kelembaban

Grafik kelembaban ini menunjukkan besarnya suatu nilai yang terukur ketika pengukuran dilakukan yang kemudian nilai tersebut dikomparasikan dengan SNI. Berikut grafik yang dibentuk dari data yang diperoleh.



Gambar 3.5 Grafik kelembaban di gedung H Teknik Elektro

Dapat dilihat bahwa gambar 3.5 menunjukkan adanya garis yang terbentuk dari sebuah nilai baik nilai ketetapan serta nilai terukur terdapat tiga warna, warna merah sebagai batas maksimal untuk temperatur, warna hitam sebagai nilai terukur pada saat audit, dan warna hijau sebagai batas minimum untuk temperatur. Nilai yang melebihi ambang batas atau nilai SNI maksimum maka dapat dinyatakan belum sesuai dengan ketetapan SNI, dan sebaliknya untuk nilai yang masuk dalam garis batas maksimum dan garis batas minimum maka dikatakan sesuai standar SNI. Dalam hasil pengukuran kelembapan gedung H Teknik Elektro setiap ruangan masih dalam standar SNI karena tidak melewati batas maksimum dan masih dalam garis batas minimum.

Berdasarkan grafik garis kelembapan tersebut dapat dibentuk presentase kesesuaian nilai terukur dengan SNI, seperti di bawah ini:



Gambar 3.6 Presentase kesesuaian nilai terukur dari kelembapan dengan standar SNI pada Gedung H Teknik Elektro.

Setelah mengamati grafik garis yang ada pada grafik 3.5 maka dapat ditarik kesimpulan bahwa gedung H Teknik Elektro Universitas Lampung di lantai 1 memiliki 100% sudah memenuhi kriteria standar SNI yang sudah ditetapkan. Sedangkan 0% belum sesuai dengan standar SNI. Hasil pengukuran kelembapan pada lantai 1 gedung H Teknik Elektro masih dalam standar SNI setelah di komperasikan, hasil ini adalah komparasi dari nilai yang terukur dengan standar SNI.

Rekomendasi Terhadap Tata Udara

Sistem tata udara yang belum memberikan kenyamanan di setiap ruangan dapat disebabkan oleh kondisi ruangan yang tidak tertutup rapat atau jumlah pending yang tidak sesuai dengan luas ruangan. Pada sistem tata udara dikenal istilah PK = *Paard Kracht* (Daya Kuda) yaitu daya yang dibutuhkan oleh mesin AC untuk memperoleh *British Thermal Unit per hour* (BTU/h). PK dengan BTU saling berbanding lurus itu artinya untuk mendapatkan nilai BTU yang besar maka dibutuhkan nilai PK yang besar. Perlu diingat bahwa PK adalah satuan untuk daya pada mesin *compressor* AC, sehingga untuk menentukan efek pendinginan yang ada di ruangan ditentukan berdasarkan PK-nya pada mesin yang digunakan. Untuk menentukan nilai PK sangat dipengaruhi oleh panjang, lebar dan tinggi ruangan yang akan dihitung. Berikut persamaan untuk menentukan nilai BTU^[15]:

$$\frac{BTU}{h} = \frac{\text{panjang (m)} \times \text{lebar (m)} \times \text{tinggi (m)}}{3} \times 500$$

Berikut contoh perhitungan menentukan nilai PK yang ada di ruangan kuliah H 17 Teknik Elektro:

Diketahui :

Panjang	= 7,93m
Lebar	= 7,93 m
Tinggi	= 4,72 m

Maka nilai kebutuhan BTU/h adalah:

$$\frac{BTU}{h} = \frac{\text{panjang (m)} \times \text{lebar (m)} \times \text{tinggi (m)}}{3} \times 500$$

$$\frac{BTU}{h} = \frac{7,93 \times 7,93 \times 4,72}{3} \times 500$$

$$\frac{BTU}{h} = 49469,455$$

Berdasarkan perhitungan kebutuhan BTU/h pada ruang kuliah H 17 bila dibagi dengan nilai BTU/h yang berdasarkan nilai PK yang diinginkan, maka pada ruang kuliah H 17 membutuhkan AC sebanyak 2 unit dengan nilai PK 2. Sesuai dengan perhitungan di bawah ini:

$$\frac{BTU/h \text{ terukur}}{BTU/h \text{ sesuai kebutuhan AC}} = \frac{49469,455}{18000} = 2,75$$



Kesesuaian yang terukur dari grafik garis dapat dibentuk seberapa besar nilai presentase yang sesuai atau tidak sesuai SNI. Grafik 4.2 menunjukkan bahwa 60% ruangan yang ada di lantai 1 pada gedung H Teknik Elektro Universitas Lampung tidak sesuai dengan standar SNI. Sedangkan yang sesuai dengan standar SNI hanya 40%.

Intensitas Konsumsi Energi (IKE)

Intensitas Konsumsi Energi (IKE) merupakan besar nilai pemakaian energi listrik untuk setiap satuan luas bangunan dalam waktu setahun. Nilai IKE dapat dicari dengan membagi pemakaian energi listrik (kWh) dengan luas bangunan (m²).

$$IKE = \frac{kWh \text{ total (kWh / bulan)}}{Luas \text{ Total (m}^2)}$$

Menentukan nilai IKE bertujuan untuk mengetahui nilai konsumsi energi pada sebuah gedung, dalam hal ini adalah gedung H Teknik Elektro dan Teknik Mesin Universitas Lampung yang akan dikomparasikan dengan nilai standar IKE. Pada peraturan Menteri ESDM No. 13 Tahun 2012, sebuah gedung dikatakan boros jika nilai IKE mencapai atau melebihi 18,5 kWh/m²/bulan untuk sebuah gedung yang menggunakan AC. Sementara untuk gedung tanpa AC dikatakan boros bila IKE yang terukur adalah mencapai atau melebihi 7,4 kWh/m²/bulan. Berikut adalah tabel acuan yang dikeluarkan oleh Menteri ESDM.

Tabel 3.5 Data nilai pemakaian daya dalam sebulan, luas area, dan IKE

Intensitas Konsumsi Energi (IKE) Gedung Teknik Elektro						
Area	Total daya terpasang (W)	Total daya terpakai dalam sehari (kWh)	Asumsi penggunaan daya (jam/bulan)	Total daya terpakai dalam sebulan	Luas area	IKE
Lantai 1	3761	29.824	22	656.128	491,9	1.334
Lantai 2	10693	81.728	22	1.798.016	559,8	3.212
Lantai 3	6443	43.552	22	958.144	1971,2	486
Jumlah						5.032

Dari persamaan menentukan nilai IKE yang

diterapkan pada tabel 3.5, saat dikomparasikan dengan nilai standar SNI (Peraturan Menteri ESDM No. 13 Tahun 2012). Untuk mendapatkan nilai IKE diatas dapat dilakukan dengan menggunakan perhitungan:

$$IKE = \frac{(\sum \text{ daya } x \sum \text{ jam / hari }) x \sum \text{ bulan / hari}}{Luas \text{ Area}}$$

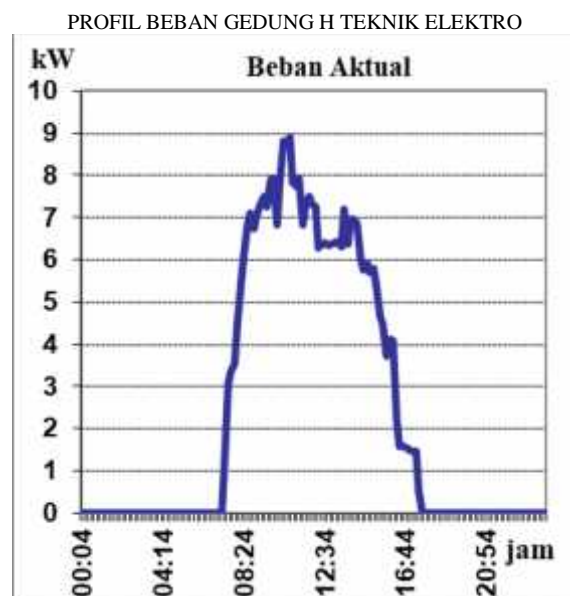
$$IKE = \frac{(\sum \text{ daya } x 8 \text{ jam}) x 22 \text{ jam}}{Luas \text{ Area}}$$

Nilai IKE pada Gedung H Teknik Elektro Universitas Lampung termasuk dalam kategori sangat efisien, dimana nilai IKE Gedung H Teknik Elektro Universitas Lampung yaitu 5,032 masuk dalam rentang < 8,5 kWh/m²/bln maka IKE pada gedung H Teknik Elektro.

Total Konsumsi Energi

Hasil yang telah didapatkan akan diketahui besar beban yang dipakai pada gedung yang telah diukur, tegangan dan arus yang mengalir pada setiap fasanya dan ketidakseimbangan tegangan maupun arus pada suatu gedung, data didapatkan dari suatu perangkat yaitu Power Quality Analyzer. Sehingga didapatkan hasilnya dalam bentuk grafik sebagai berikut:

- Grafik profil beban pada gedung H Teknik Elektro



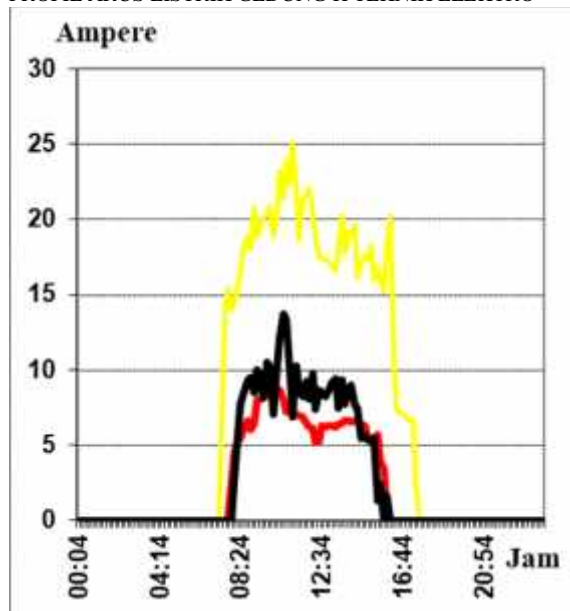
Gambar 3.7 Profil perubahan pemakaian beban

Berdasarkan gambar 3.7 merupakan perubahan

dalam pemakaian beban yang terdapat pada gedung H Teknik Elektro. Profil beban tersebut didapatkan dari jumlah daya seluruh peralatan yang digunakan pada semua ruangan. Dari data didapatkan pada sekitar pukul 07.30 grafik pemakaian beban mulai menunjukkan kenaikan yang melonjak cukup tinggi hingga pada pukul 10.00 yaitu pemakaian beban maksimal sekitar 8,9 kW. Kemudian pada pukul 15.00 menunjukkan penurunan hingga pada pukul 17.00, karena pada waktu tersebut jam kerja berakhir sehingga seluruh peralatan dimatikan.

- b) Grafik profil arus pada gedung H Teknik Elektro

PROFIL ARUS LISTRIK GEDUNG H TEKNIK ELEKTRO



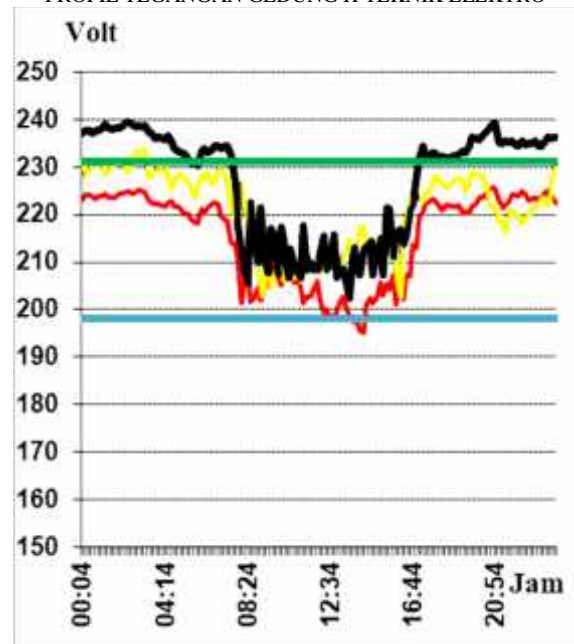
Gambar 3.8 Profil perubahan pemakaian arus

Berdasarkan gambar 3.8 merupakan gambar dari grafik perubahan pemakaian arus yang terjadi pada gedung Teknik Elektro. Pada gambar diatas terdapat tiga warna yaitu garis merah menunjukkan fasa R, garis kuning menunjukkan fasa S dan garis hitam menunjukkan fasa T. Dari pengukuran yang telah dilakukan didapatkan pada fasa S terjadi lonjakan yang cukup signifikan dibandingkan fasa R dan fasa T dikarenakan pada fasa S merupakan fasa yang mengalirkan arus dilantai 2 Teknik Elektro, pada lantai 2 ini banyak ruangan yang menggunakan peralatan seperti komputer, AC, printer dan lain sebagainya.

Semakin banyak beban yang digunakan maka semakin besar pula arus yang digunakan untuk mensuplai peralatan tersebut.

- c) Grafik profil tegangan pada gedung H Teknik Elektro

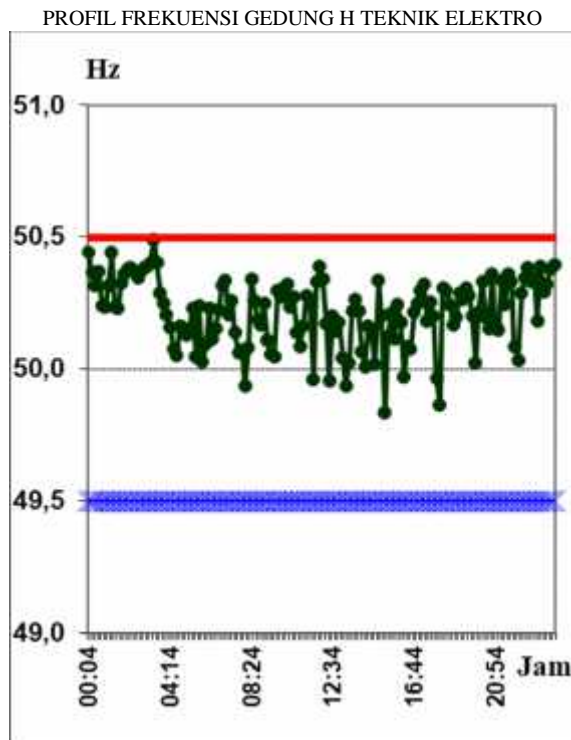
PROFIL TEGANGAN GEDUNG H TEKNIK ELEKTRO



Gambar 3.9 Profil perubahan pemakaian tegangan

Berdasarkan gambar 3.9 merupakan gambar grafik perubahan pemakaian tegangan yang terjadi pada gedung Teknik Elektro. Pada gambar diatas terdapat beberapa warna line, yaitu line berwarna hijau merupakan batas atas pemakaian dan warna biru merupakan batas bawah pemakaian, ada garis merah menunjukkan fasa R, garis kuning menunjukkan fasa S dan garis hitam menunjukkan fasa T. Pada fasa T tegangan yang mengalir melampaui batas atas (maks) dari standar yang telah diberikan karena fasa T merupakan lantai 3 gedung Teknik Elektro. Pada lantai 3 hanya sedikit peralatan yang terpasang dan jarang digunakan untuk perkuliahan. Semakin sedikit beban yang dialiri maka tegangan semakin besar. Dari grafik diatas juga terjadi ketidakseimbangan antara ketiga fasanya.

d) Grafik profil frekuensi pada gedung H Teknik Elektro



Gambar 3.10 Profil perubahan frekuensi

Berdasarkan gambar 3.10 merupakan perubahan pemakaian frekuensi yang terjadi pada gedung H Teknik Elektro. Pada gambar tersebut terdapat beberapa warnalime, warna merah menunjukkan batas atas limit frekuensi, warna biru menunjukkan batas bawah limit frekuensi dan warna hijau titik merupakan hasil pengukuran frekuensi yang didapatkan. Dari gambar diatas dihasilkan frekuensi masih dalam batas aman yaitu antara 49,5 Hz dan 50,5 Hz sehingga frekuensi pada gedung H Teknik Elektro dalam keadaan normal.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Setelah melakukan pemaparan dalam pembahasan, penulis menarik kesimpulan dari apa yang dilakukan saat melakukan audit. Terdapat beberapa lampu yang mati dan tidak ada lagi lampunya yang menjadi penyebab kurangnya tingkat pencahayaan pada suatu ruangan.

Sistem tata udara yaitu suhu dan kelembapan pada gedung H Teknik Elektro dan Mesin belum sesuai dengan standar SNI yang diinginkan.

Intensitas Konsumsi Energi (IKE) pada gedung H Teknik Elektro dan Teknik Mesin yaitu efisien berdasarkan hasil perhitungan, dilihat dari sistem pencahayaan dan tata udara yang berbanding lurus.

Saran

Banyak dijumpai kejanggalan- kejanggalan pada setiap ruangan sehingga penulis memberikan saran yaitu perawatan dan penggunaan jenis lampu yang tepat dan disesuaikan dengan luas ruangan diharapkan mampu membantu tercapainya standar pencahayaan.

Melakukan pengecekan secara berkala pada sistem tata udara, sistem pencahayaan serta instalasi listrik lainnya. Menghidupkan peralatan jika ingin digunakan dan mematikan setelah menggunakannya guna menajemen energi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada segenap pihak yang telah membantu dalam penyelesaian paper ini, terutama kepada kedua orang tua dan dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktunya alam membimbing penulis. Kemudian kepada para kerabat dan rekan-rekan yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Standar Nasional Indonesia 6196 tahun 2011 tentang Prosedur Audit Energi pada Bangunan Gedung.
- [2] Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia Nomor 80 Tahun 2015 tentang Penetapan Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia Kategori Jasa Profesional, Ilmiah dan Teknis Golongan Pokok Jasa Profesional, Ilmiah dan Teknis Lainnya pada Jabatan Kerja Manajer Energi Di Industri dan Bangunan Gedung.
- [3] Widyantoro, Titovianto. 2006. Diklat Konservasi Energi tentang Sistem



- Pencahayaan. Departemen Pendidikan Nasional: Jakarta.
- [4] Standar Nasional Indonesia 03-6575 tahun 2001 tentang Tata Cara Perancangan Sistem Pencahayaan Buatan pada Bangunan Gedung
 - [5] Untoro, Jati. 2014. Audit Energi dan Analisis Penghematan Konsumsi Energi pada Sistem Peralatan Listrik di Gedung Pelayanan Unila. Teknik Elektro Universitas Lampung : Bandar Lampung.
 - [6] Departemen Pendidikan Nasional Republik Indonesia. 2006. Pedoman Pelaksanaan Konservasi Energi dan Pengawasan Di Lingkungan Departemen Pendidikan Nasional. Jakarta.
 - [7] Standar Nasional Indonesia 6390 tahun 2011 tentang Konservasi Energi Sistem Tata Udara Bangunan Gedung.
 - [8] Ir. Marpaung, Parlindungan. 2006. Makalah Tata Udara Bangunan Gedung Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral: Jakarta.
 - [9] PHILIPS 2009, Data Sheet Philips Flourescent Lamp, Based On Philips Lightning Catalogue 2008-2009
 - [10] Standar Nasional Indonesia 6196 tahun 2011 tentang Konservasi Energi Tentang Sistem Pencahayaan.



Pengaruh Kemiringan Flow Straightener Terhadap Tingkat Keseragaman Aliran Gas Buang Pada Sampling Point

Dewi Puspitasari^{1*}, Pramadhony², Ellyanie¹, Marwani¹, M. Imam A³

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Jl. Raya Prabumulih, Km. 32, Inderalaya, OI, Sumatera Selatan, Indonesia - 30662

²Program Magister Teknik Mesin, Universitas Sriwijaya, Jl. Srijaya Negara, Bukit Besar, Palembang, Sumatera Selatan, Indonesia - 30139

³ Program Sarjana Teknik Mesin, Universitas Sriwijaya, Jl. Srijaya Negara, Bukit Besar, Palembang, Sumatera Selatan, Indonesia - 30139

*dewipuspitasari@unsri.ac.id

Abstract

Emission generated by industrial sector is causing degradation of ambient air quality. In order to monitor the impacts, Indonesian government has regulated the company to conduct monitoring of emission quality. According to U.S. EPA method 1, the swirling flow in flue is prohibited, and exhaust gas flow at sampling point should be uniform and vertical. Installing flow straightener is one of methods to condition exhaust gas, so the flow can fulfill the requirements of emission measurement. In this work had done modified inclination of flow straightener by computational analysis to observe the effects of flow of flue gas at sampling point. There are four conditions of computational analysis, there were: flue with no flow straightener, with installing flow straightener which inclination of 0°, 30° and 45°. Based on computational analysis, the inclination of flow straightener is able to improve the uniform level of exhaust gas flow which is needed to improve the accuracy of measurement. In other side the inclination is also effect to increasing the pressure drop flue inside but still in tolerated.

Keywords: flow straightener, speed uniformity, pressure drop

Abstrak

Emisi yang dihasilkan oleh sektor industri menyebabkan degradasi kualitas udara ambien. Untuk memantau dampaknya, pemerintah Indonesia telah mengatur perusahaan untuk melakukan pemantauan terhadap kualitas emisi. Menurut metode 1 EPA A.S., aliran berpusar di cerobong asap dilarang, dan penyederhanaan gas buang pada sampling point harus seragam dan vertikal. Pemasangan flow straightener adalah salah satu metode untuk mengkondisikan gas buang, sehingga aliran dapat memenuhi persyaratan pengukuran emisi. Dalam pekerjaan ini telah dilakukan modifikasi kemiringan flow straightener dengan analisis komputasi untuk mengamati efek dari aliran gas buang pada sampling point. Ada empat kondisi analisis komputasional, yaitu: cerobong tanpa flow straightener, dengan memasang flow straightener yang memiliki kemiringan 0°, 30° dan 45°. Berdasarkan analisis komputasional, kemiringan flow straightener mampu memperbaiki tingkat seragam aliran gas buang yang dibutuhkan untuk meningkatkan akurasi pengukuran. Di sisi lain kemiringan juga berpengaruh pada peningkatan tekanan di cerobong asap namun masih bisa ditolerir.

Keywords: flow straightener, keseragaman kecepatan, pressure drop

PENDAHULUAN

Sektor industri mempunyai peran penting dalam menunjang perekonomian nasional. Kehadiran industri dapat menambah penghasilan daerah, membuka kesempatan kerja dan mendorong terbukanya usaha-usaha kecil disekitar industri tersebut. Disisi lain perkembangan Industri juga memberikan beberapa dampak negatif, salah satunya adalah dengan terjadinya pencemaran udara yang

berasal dari proses pembakaran. Untuk memonitor dampak yang ditimbulkan oleh udara emisi maka pemerintah mempersyaratkan pihak perusahaan untuk melakukan pengukuran/pemantauan kualitas emisi gas buang pada setiap cerobong sumber emisi, terutama pada industri-industri skala besar.

Berdasarkan Standard Internasional [1], salah satu persyaratan pengukuran emisi adalah kecepatan gas harus diukur pada suatu bidang dengan jarak tertentu dari ujung buangan

cerobong (*Discharge Outlet*). Untuk menjaga tingkat akurasi pengukuran kecepatan aliran pada lokasi *sampling point* harus seseragam mungkin, membentuk sudut yang kecil (kurang dari 5 derajat) dan tidak ada aliran berpusar/*cyclonic flow*. Untuk mengatasi menghilangkan faktor-faktor yang mengganggu tingkat akurasi pengukuran dapat diatasi dengan memasang *flow straightener* [2].

METODELOGI PENELITIAN

Tinjauan Pustaka

Pada penelitian sebelumnya, telah didesain *flow straightener* yang bertujuan untuk menghilangkan aliran yang berpusar. Berdasarkan hasil penelitian tersebut *flow straightener* tersebut efektif mengurangi sudut kemiringan aliran dari 35° menjadi kurang dari 5° . Namun performa *flow straightener* ini masih memiliki kelemahan yaitu kemampuannya dalam menghasilkan aliran yang lebih seragam pada bidang referensi/*sampling point* [3]. Dalam kasus ini *cyclonic flow* pada cerobong ditimbulkan oleh perubahan orientasi arah aliran dari vertikal ke horizontal dan kembali ke vertikal. Dampak lain dari perubahan arah orientasi aliran fluida ini adalah dengan terjadinya *pressure drop*.

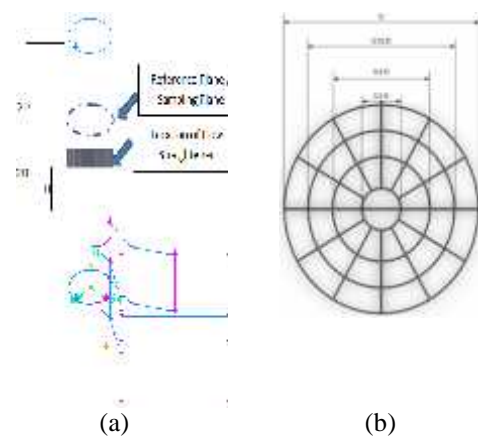
Zanker Plate Flow straightener, salah satu jenis *flow straightener* yang sering digunakan, mempunyai lubang-lubang dengan diameter beragam. Pada *flow straightener* ini ukuran diameter lubang pada bagian tengah lebih besar dari bagian pinggir *flow straightener*. Diameter diletakkan pada bagian pinggir ini dikarenakan arus eddy dan pusaran aliran terkonsentrasi pada bagian dekat dinding pipa [4].

Berdasarkan referensi sebelumnya, peneliti mencoba memperbaiki/memodifikasi geometri *flow straightener* terutama pada sudut masuk aliran gas buang yang melalui *flow straightener*. *Flow straightener* dimodifikasi menjadi berbentuk kerucut tegak. Bentuk ini diharapkan mempunyai fungsi ganda yaitu untuk mereduksi aliran berpusar dan juga mengarahkan fluida agar bergerak dari pinggir ke pusat cerobong. Pergerakan ini diakibatkan oleh perbedaan tekanan antara dekat dinding dan pusat cerobong. Maka pada penelitian ini

sudut masuk fluida terhadap *flow straightener* dimodifikasi sehingga menyerupai kerucut tegak dengan sudut kemiringan masing-masing adalah sebesar 0° , 30° dan 45° (*upward*).

Geometri Cerobong dan Flow Straightener

Untuk menganalisa pengaruh sudut kemiringan *flow straightener* maka dibuatlah geometri cerobong dan *flow straightener* dengan sudut kemiringan 0° , 30° dan 45° . Instalasi cerobong dibuat dengan dimensi yang serupa dengan penelitian sebelumnya, dengan aliran masuk kedalam cerobong membentuk sudut untuk mengasilkan aliran yang berpusar. Sementara *flow straightener* juga dibuat dengan tinggi tiap plat silinder sebesar 0,45 diameter cerobong. Dimensi cerobong dan *flow straightener* ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Dimensi tetap pemodelan (a) Cerobong
(b) *Flow Straightener*

Kondisi Batas

Tiap jenis *flow straightener* yang dipasang pada cerobong dianalisa secara komputasi dengan mengalirkan gas buang dari inlet ke outlet. Gas buang pada cerobong diasumsikan mengalir pada kecepatan sekitar 17.5 m/s dengan temperature cerobong 190° celcius [6]. Cerobong diasumsikan beroperasi pada kondisi lingkungan standar dengan tekanan udara sebesar 1 atm. Gas buang terdiri atas berbagai macam zat, sehingga gas buang diasumsikan memiliki komposisi sebagai berikut⁷:



Tabel 1. Komposisi zat penyusun gas buang [7]

Nama Zat	Fraksi Volume (%)	Fraksi Massa (%)
Karbon	11	16,66
Dioksida (CO ₂)		
Argon (Ar)	1	1,32
Uap Air (H ₂ O)	6	3,97
Oksigen (O ₂)	6	6,57
Nitrogen (N ₂)	76	72,81
Zat lain	Mendekati nol	Mendekati nol

Analisis Komputasi

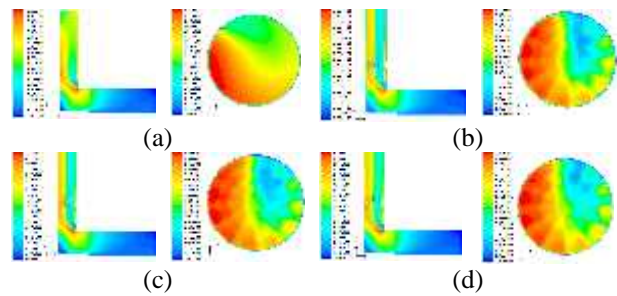
Gas buang diasumsikan sebagai fluida mampu mampu dengan aliran *steady*. Perbedaan temperatur antara *inlet* dan *outlet* cerobong diasumsikan sama, sehingga perpindahan kalor melalui dinding cerobong dapat diabaikan. Solver didasarkan pada sifat tekanan fluida atau *pressure based*, untuk pemodelan digunakan *K-realizable* model dengan *standard wall treatment*. Karena informasi terkait sifat fluida gas buang tidak tersedia, maka pada simulasi ini menggunakan metode *spressies transport* untuk mencampur lima zat penyusun utama gas buang. Massa jenis dihitung sebagai gas ideal sementara viskositas dihitung dengan metode “*mass-weighted mixing law*”.

Jenis *mesh* yang digunakan adalah hexahedron dengan dimensi 1,5/100 pada bagian cerobong. Sementara itu bagian lain diluar *flow straightener* berukuran 1/20 sampai 1/10 diameter cerobong.

HASIL DAN DISKUSI

Profil Kecepatan

Pengambilan sampel emisi dilakukan dengan menggunakan metode isokinetic pada *sampling point*/bidang referensi. Bidang referensi ini berada pada lokasi dua kali diameter dari *outlet* cerobong. Salah satu persyaratan pada metode ini adalah kecepatan gas buang harus sama dengan kecepatan pengambilan sampel. Untuk mendapatkan hasil pengukuran yang akurat dibutuhkan profil kecepatan yang seragam pada bidang referensi. Semakin kompleks distribusi kecepatan maka semakin banyak titik yang harus diambil pada saat pengambilan sampel.



Gambar 2. Profil kecepatan dari *inlet* ke *outlet*.

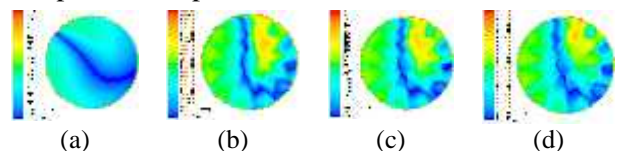
- (a) tanpa *flow straightener*,
- (b), dengan *flow straightener* bersudut 0°
- (c) dengan *flow straightener* bersudut 30°
- (d) dengan *flow straightener* bersudut 45°

Gambar 2 memperlihatkan efek pemasangan *flow straightener* dalam upaya mengkondisikan aliran gas buang. Kemiringan *flow straightener* mempengaruhi jumlah fluida yang mengalir didalam *flow straightener*. Dengan adanya sudut kemiringan *flow straightener*, gas buang yang sebelumnya mengalir terkonsentrasi di dinding pipa bergeser ke center cerobong. Hambatan yang diakibatkan oleh *flow straightener* akan mengakibatkan meningkatnya tekanan. Pada akhirnya peningkatan tekanan ini mengakibatkan aliran gas buang berubah arah, karenanya perlu dijaga nilai *pressure drop* tidak berubah secara signifikan (masih dalam batas toleransi).

Untuk mengetahui tingkat keseragaman aliran gas buang dilakukan dengan menghitung Koevisien Variasi (KV). Koevisien variasi dihitung dengan menggunakan formula sebagai berikut:

$$KV = \frac{|v-\bar{v}|}{\bar{v}} \times 100\% \quad (1)$$

Semakin kecil persentase nilai KV menandakan bahwa kecepatan pada bidang tersebut semakin seragam. Secara visual nilai KV ini dijelaskan dengan oleh Gambar 3. Selanjutnya Tabel 2. merangkum besarnya nilai KV pada ke-empat kondisi simulasi.



Gambar 3. Profil kontur nilai koefisien variasi pada bidang referensi. (a) tanpa *flow straightener*, (b), dengan *flow straightener* bersudut 0° (c) dengan *flow straightener* bersudut 30° (d) dengan *flow straightener* bersudut 45



Tabel 2. Koevisien Variasi kecepatan pada bidang referensi

Kondisi Simulasi	Kecepatan rata-rata (m/s ²)	Koevisien variasi (%)
Tanpa <i>flow straightener</i>	17,51	21,61
Dengan <i>flow straightener</i> 0°	17,51	36,91
Dengan <i>flow straightener</i> 30°	17,52	37,36
Dengan <i>flow straightener</i> 45°	17,52	35,62

<i>straightener</i>		
Dengan <i>flow straightener</i> 0°	7,331	0,727
Dengan <i>flow straightener</i> 30°	7,700	1,096
Dengan <i>flow straightener</i> 45°	7,459	0,854

Penurunan Tekanan (Pressure Drop)

Penambahan alat *flow straightener* yang bertujuan untuk mengkondisikan aliran fluida sehingga kualitas alirannya dapat memenuhi persyaratan yang telah ditentukan. Namun pemasangan *flow straightener* juga berdampak pada peningkatan tahanan yang dihitung sebagai Penurunan tekanan (*pressure drop*). Penurunan tekanan dinyatakan sebagai koefisien penurunan tekanan (K) seperti yang dijelaskan pada persamaan berikut:

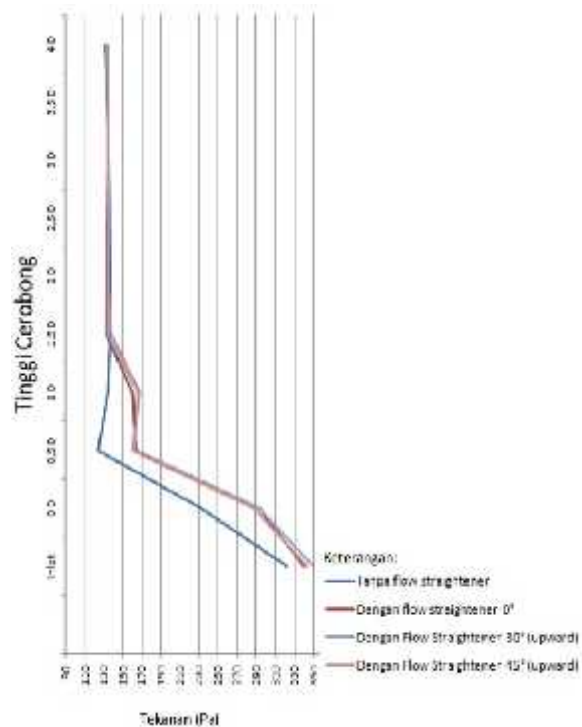
$$K = \frac{\Delta PT}{0.5 \rho c_h V_{ch}^2} \quad (2)$$

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan hasil penurunan tekanan yang diakibatkan oleh tiap sudut kemiringan *flow straightener* seperti yang disajikan pada Tabel 3. Secara visual, grafik penurunan tekanan dari inlet sampai outlet ditunjukkan pada Gambar 4.

Tabel 3. Perhitungan koefisien *pressure drop* pada variasi sudut kemiringan *flow straightener*

Kondisi Simulasi	$P_{inlet} - P_{outlet}$ (Pa)	Kecepatan (m/s)	Densitas (Kg/m ³)
Tanpa <i>flow straightener</i>	191,268	8,654	0,733
Dengan <i>flow straightener</i> 0°	205,505	8,503	0,755
Dengan <i>flow straightener</i> 30°	215,206	8,490	0,755
Dengan <i>flow straightener</i> 45°	209,444	8,511	0,755

Kondisi Simulasi	K	
	Total	FS
Tanpa <i>flow</i>	6,604	0,000



Gambar 4. *Pressure drop* dari sisi inlet sampai ke sisi outlet cerobong

Tabel 3 menunjukkan *flow straightener* dengan sudut 0° memiliki nilai koefisien *pressure drop* yang terkecil diikuti oleh *flow straightener* bersudut 45° dan 30°. Kemiringan *flow straightener* berdampak pada distribusi kecepatan dan tekanan gas buang ketika melalui *flow straightener*.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi komputasi 3D yang difokuskan pada dua parameter, yaitu: distribusi kecepatan dan *pressure* diperoleh distribusi kecepatan terbaik dihasilkan oleh *flow straightener* bersudut 45°; sementara itu pada *flow straightener* bersudut 30° tingkat keseragamannya tidak lebih baik dari *flow straightener* bersudut 0°. *Pressure drop* terbesar dihasilkan oleh *flow straightener* 30°



dengan nilai sebesar 1,096, sementara itu flow straightener 0° memiliki koefisien *pressure drop* yang terendah dengan nilai 0,727. Berdasarkan hasil simulasi, *flow straightener* 45° mampu meningkatkan kualitas distribusi kecepatan. Sebagai konsekuensi dari perubahan arah aliran gas buang, modifikasi ini juga berdampak pada peningkatan *pressure drop* namun dengan peningkatan yang masih bisa ditoleransi. Penelitian lanjutan sangat penting dilakukan untuk memodifikasi variasi sudut dan tata letak *flow straightener* agar didapat aliran yang lebih seragam dan dengan *pressure drop* yang minimum.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada DIPA BLU Universitas Sriwijaya tahun anggaran 2017, Kementerian Riset, Teknologi dan Perguruan Tinggi, yang telah memberikan dukungan finansial dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [6] Carter BJJ, Petersen RL, Cochran BC. Designing Exhaust Systems to minimize energy costs. 2005;47(7).
- [7]. Zevenhoven R, Kilpinen P. *Flue Gases and Fuel Gases*; 2001. <http://users.abo.fi/rzevenho/gases.PDF>.
- [1] U.S. EPA Method 1. Sample and Velocity Traverses for Stationary Sources. *Title 40, Chapter 1, Subchapter C, Part 60, Append A-1 to Part 60 - Test Methods 1 through 2F*. 1996:1-12. <http://www3.epa.gov/ttnemc01/promgate/m-01.pdf>.
- [2] Mattingly GE, Yeh TT. Effects of pipe elbows and tube bundles on selected types of flowmeters. *Butterworth-Heinemann Ltd*. 1991;2(2 January 1991):4-13.
- [3]. Scarabino A, Bacchi F, Filace RJ, Raviculé M. Computational Fluid Dynamic Analysis of a Heater Chimney with and without a Flow Straightener. *J Sci Eng Res*. 2015;2(2):79-93.
- [4]. El Drainy Y a., Saqr KM, Aly HS, Nazri Mohd. Jaafar M. CFD Analysis of Incompressible Turbulent Swirling Flow through Zanker Plate. *Eng Appl Comput Fluid Mech*. 2009;3(4):562-572. doi:10.1080/19942060.2009.11015291.
- [5]. Xiong J, Johnson A, Liu F, Papamoschou D. Body Force Model for the Aerodynamics of Inclined Perforated Surfaces. *AIAA J*. 2012;50(11):2525-2535. doi:10.2514/1.J051699.



Perancangan Alat Pengujian Model Turbin Air Ultra Low Head untuk Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

Jorfri Boike Sinaga*, Ahmad Suudi, M. Aang Khonaifi, Milia Rahman, Sugiman
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung Jl. Prof. Dr. Sumantri
Brojonegoro No. 1, Gedung H Lt.2, Bandar Lampung 35145 Telp.(0721)7479221
*E-mail koresponden: jorfri6@yahoo.com

Abstract

Microhydro Power Plant (MPHP) is a term used for electrical energy generation systems that use hydraulic energy where the power generated is less than 100 kW. MPHP technology has been proven reliable to meet the electricity needs for villages in remote areas. Generally, existing MPHP systems utilize high flow heads, but many areas in villages do not have potential of high flow heads but only potential of free water flow energy or kinetic energy. By using ultra low head hydraulic turbines, potential of this energy can be utilized to drive a MPHP system. Before this potential is utilized, it is necessary to design the test equipment of water turbine model that will be used to estimate the performance of the water turbine prototype to drive a PLTMH system. This paper presents the design of equipment testing and parameters of helical turbine model for the model of PLTMH system conducted in Fluid Mechanics Laboratory of Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Lampung.

Keywords: Hydraulic Turbine, Helical Turbine, Ultra Low Head, Electric Generation.

Abstrak

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah istilah yang digunakan untuk sistem pembangkit energi listrik yang menggunakan energi air dimana daya yang dihasilkan lebih kecil dari 100 kW. Teknologi PLTMH ini sudah terbukti handal untuk memenuhi kebutuhan listrik bagi desa-desa di daerah terpencil. Umumnya sistem PLTMH yang ada memanfaatkan energi aliran air yang memiliki tinggi jatuh, namun banyak daerah di pedesaan yang tidak memiliki potensi aliran yang memiliki tinggi jatuh air tetapi hanya potensi aliran air yang memiliki energi kinetik. Dengan menggunakan turbin air ultra low head (head sangat rendah), potensi aliran ini dapat dimanfaatkan untuk menggerakkan suatu sistem PLTMH. Namun sebelum potensi energi aliran air suatu aliran air dimanfaatkan maka perlu dilakukan perancangan alat pengujian terhadap model turbin air yang akan digunakan untuk memperkirakan unjuk kerja prototipe turbin air untuk menggerakkan suatu sistem PLTMH. Pada makalah ini disajikan perancangan alat pengujian dan parameter-parameter model turbin helik untuk model sistem PLTMH yang dilakukan di Laboratorium Mekanika Fluida Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Keywords: Turbin Air, Turbin Helik, Ultra Low Head, Pembangkit Listrik.

PENDAHULUAN

Energi telah menjadi kebutuhan pokok dan memainkan peranan yang penting dalam kehidupan manusia terutama energi listrik. Namun demikian isu mengenai langkanya energi akhir-akhir ini yang disebabkan oleh berbagai faktor perlu mendapat perhatian khusus. Di satu sisi laju kebutuhan energi final (energi langsung pakai) terus meningkat. Di sisi lain cadangan energi fosil yang menjadi pemasok semakin terbatas. Untuk itu perlu dilakukan berbagai upaya penghematan energi dan penggunaan sumber-sumber energi alternatif, khususnya energi baru dan terbarukan, dan salah satunya pemanfaatan

energi potensi air. Pemanfaatan potensi energi diluar energi konvensional ini dirasa amat perlu mengingat tingginya kebutuhan listrik, yang saat ini defisit energi listrik. Defisit ini terjadi karena tingkat pertumbuhan permintaan tenaga listrik yang cukup tinggi yaitu sebesar 15 % per tahun [1]. Dari 4.355 desa yang ada di Provinsi Lampung, 681 desa di antaranya belum masuk aliran listrik [2]. Provinsi Lampung dengan luas 3.528.835 Ha memiliki kekayaan sumber daya energi yang cukup banyak sebagai pengganti energi fosil yaitu energi terbarukan. Salah satu sumber energi yang terbarukan dan ramah terhadap lingkungan tersebut adalah tenaga air dan diperkirakan potensinya di Provinsi

Lampung mencapai 2.697,4 MW [3]. Saat ini potensi tersebut dimanfaatkan sebagian besar merupakan pembangkit listrik tenaga air skala besar (PLTA). Alternatif pemanfaatan tenaga air yang sudah populer di Indonesia dan berpotensi untuk dikembangkan di daerah ini adalah pembangkit listrik tenaga air skala kecil atau yang lebih dikenal dengan pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH).

Dalam memanfaatkan potensi tenaga air tersebut maka digunakanlah turbin air sebagai alat pengubah energi potensial air menjadi energi mekanis dan dimanfaatkan sebagai penggerak generator. Pemilihan jenis turbin yang sesuai untuk suatu pembangkit tenaga mikro hidro tergantung pada karakteristik aliran air, yaitu tinggi jatuh dan debit aliran yang tersedia. Namun tidak semua potensi sumber air yang ada di daerah pedesaan memiliki tinggi jatuh (head) tinggi tetapi tinggi jatuh (head) yang rendah atau hanya memiliki energi aliran. Potensi aliran ini dapat juga dimanfaatkan untuk system PLTMH dengan menggunakan turbin air *ultra low head*.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka perlu dirancang sistem alat pengujian model turbin air *ultra low head* untuk sistem pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik unjuk kerja dari model turbin air *ultra low head* dan alat ini dapat menjadi pengujian model untuk memberikan informasi karakteristik unjuk kerja prototipe turbin sebelum diterapkan untuk memanfaatkan potensi energi aliran air suatu tempat dengan sistem PLTMH. Dan juga alat uji ini dapat mendukung kegiatan proses belajar mengajar di Jurusan Teknik Mesin UNILA untuk mendukung pelaksanaan mata kuliah Praktikum Prestasi Mesin seperti yang telah dilakukan sebelumnya.

Sistem PLTMH

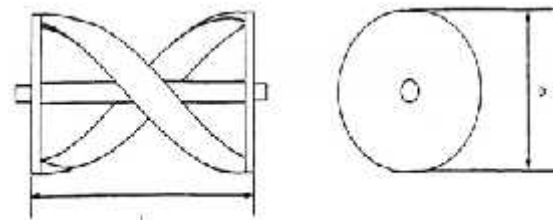
Pembangkit listrik mikro hidro (PLTMH) adalah istilah yang digunakan untuk pembangkit listrik yang menggunakan energi aliran air dimana daya dihasilkan lebih kecil dari 100 kW [4]. Teknologi ini sudah terbukti handal untuk pembangkit listrik pada daerah-daerah terpencil. Persyaratan pokok untuk sebuah PLTMH adalah tersedianya aliran air

(debit) dan adanya jatuhnya air (head). Air yang mengalir dengan kapasitas tertentu disalurkan dari ketinggian (H) tertentu menuju instalasi turbin. Dengan menggunakan nosel atau sudu pengarah air akan disemburkan menumbuk sudu turbin air untuk memutar poros turbin. Poros yang berputar tersebut kemudian ditransmisikan ke generator dengan menggunakan kopling atau sabuk untuk menghasilkan listrik. Namun untuk potensi aliran yang memiliki tinggi jatuh rendah atau hanya energi aliran digunakan turbin air *ultra low head* (head sangat rendah) yaitu turbin helik [5].

Turbin Helik (Helical Turbine)

Selama puluhan tahun para ilmuwan telah mencoba untuk memanfaatkan turbin konvensional untuk head aliran yang rendah. Turbin air yang sangat efisien dalam head aliran yang tinggi menjadi sangat mahal bila diaplikasikan pada stasiun pembangkit listrik tenaga air dengan head rendah dan sangat rendah. Maka untuk memanfaatkan potensi head aliran yang rendah secara efisien digunakan turbin heliks dimana turbin ini memiliki seluruh keunggulan yang dimiliki turbin Darrieus dan mampu mengatasi kelemahan yang dimilikinya seperti mampu memberikan laju aliran massa dari aliran air yang mengalir lambat, dapat menangkap energi kinetik $\frac{v^2}{2g}$ aliran fluida dan menggunakan rotor

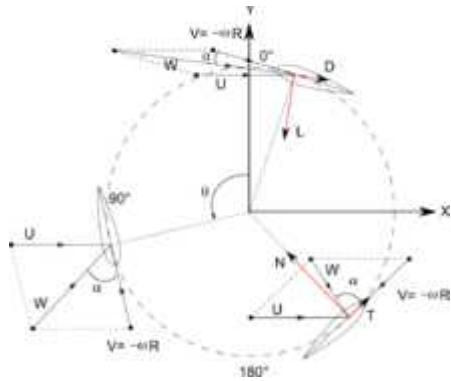
yang sangat simpel yang menjadikan biaya turbin ini murah dibanding dengan turbin lainnya. Susunan heliks sudu rotor turbin meningkatkan unjuk kerja yang dihasilkan turbin Darrieus.



Gambar 1. Model turbin air helik

Poligon kecepatan yang di gunakan pada sudu turbin air heliks merupakan pendekatan

dari turbin udara sumbu vertikal seperti dapat dilihat pada Gambar 2. Dimana resultan vektor kecepatan (W) merupakan jumlah dari vektor kecepatan fluida (V) dan vektor kecepatan keliling sudu (U) [6].



Gambar 2. Diagram kecepatan pada turbin sumbu vertikal.

Persamaan yang digunakan untuk menghitung daya yang dihasilkan turbin:

$$P_t = \eta P_h \quad (1)$$

dimana P_t adalah daya yang dihasilkan turbin (W), P_h adalah daya air yang melalui penampang turbin heliks, dan η adalah efisiensi turbin. Besar daya air ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

$$P_h = 0,5 \rho A V^3 \quad (2)$$

dimana ρ adalah massa jenis air (1.000 kg/m^3), V adalah kecepatan aliran air (m/s), $A = L D$ adalah penampang aliran melintang turbin heliks (m^2), L adalah tinggi (lebar) turbin (m), dan D adalah diameter turbin (m).

Daya yang dihasilkan turbin juga dapat dihitung dengan menggunakan data pengukuran:

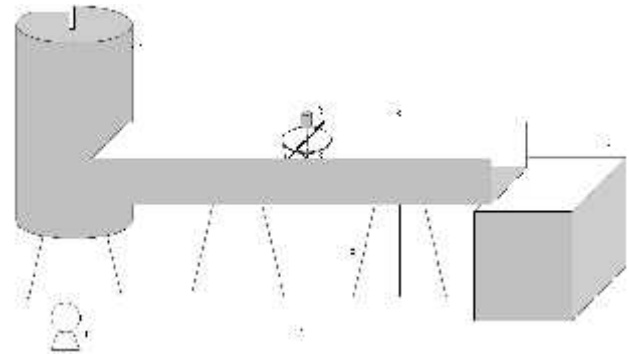
$$P_t = T \dot{\theta} = T \frac{2\pi n}{60} \quad (3)$$

Dimana T adalah torsi yang didapat dari pengukuran langsung menggunakan torsi meter (N.m), dan n adalah putaran turbin (rpm) diperoleh dari pengukuran menggunakan

tachometer.

METODE PENELITIAN

Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu: penyediaan alat dan bahan dalam pembuatan model sistem alat pengujian turbin heliks, penentuan parameter-parameter turbin heliks yang akan digunakan. Skema alat pengujian yang akan dirancang dapat dilihat seperti pada Gambar 3. Alat ukur yang digunakan dalam pengujian turbin ini adalah tachometer yaitu alat untuk mengukur kecepatan putaran turbin per menit dan torsimeter yaitu alat untuk mengukur besarnya torsi yang di hasilkan oleh poros turbin. Kemampuan alat ukur Torsimeter yang digunakan yaitu 147 N.cm .



Gambar 3. Skema model sistem alat pengujian sistem PLTMH menggunakan turbin air heliks.

Keterangan gambar:

1. Turbin air heliks.
2. Generator.
3. Saluran air.
4. Pompa air.
5. Pipa sirkulasi air.
6. Tangki air.
7. Bak penampung air.
8. Dudukan alat.



Gambar 4. Alat ukur Tachometer.



Gambar 5. Alat ukur torsimeter.

Karakteristik unjuk kerja dari pengujian model turbin air heliks didapat dengan menghitung daya hidraulis (P_h), daya poros (P_b), dan efisiensi dari model turbin air. Persamaan yang digunakan dalam menghitung unjuk kerja model turbin air adalah Persamaan 1 sampai 3.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perencanaan sistem pengujian alat uji model turbin helik ini harus memperhatikan kondisi laboratorium dimana head yang tersedia 1 m, dan kemampuan alat ukur torsimeter yang digunakan. Ukuran saluran air yang dibuat untuk sistem pengujian turbin helik ini yaitu ukuran 20 cm x 30 cm. Dan ukuran tangki air yang digunakan untuk memberikan laju aliran air di dalam saluran adalah: 1 m x 1 m x 1 m. Hasil rancang bangun sistem alat pengujian turbin helik dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Rancangan sistem pengujian model turbin helik.

Model turbin heliks yang dirancang dapat dilihat pada Gambar 7. Parameter-parameter

perancangan turbin ini adalah: bentuk sudu dan jumlah sudu n , tinggi turbin L , diameter turbin D , dan kemiringan sudu turbin. Berdasarkan kondisi saluran alat pengujian yang dirancang ditentukan diameter turbin adalah 10 cm, dan tinggi turbin adalah 20 cm.



Gambar 7. Model turbin helik.

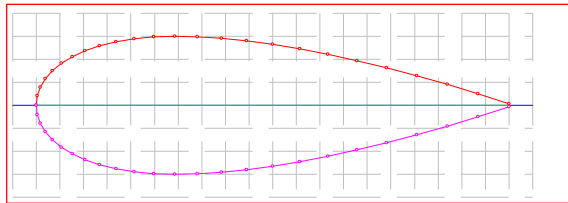
Kebanyakan turbin memakai sudu berbentuk penampang *airfoil*, karena efisiensinya tinggi dan menghasilkan beda tekanan yang besar di antara kedua sisi sudu untuk berputar dengan momen gaya yang cukup besar dimana momen gaya ini dihasilkan oleh gaya angkat (*lift*) dan gaya geser (*drag*). Gaya angkat dan gaya geseran yang terjadi pada penampang *airfoil* dipengaruhi oleh bentuk sudu dan sudut serang (*attack angle*) yang terbentuk. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Batista dkk.(2007)[7] dengan mengoptimasi bentuk sudu multi kriteria aerodinamik terhadap beberapa profil sudu yang simetri menunjukkan perancangan bentuk yang optimal adalah bentuk sudu dari NACA0030 dimana sudu turbin ini menghasilkan torsi awal yang besar untuk menggerakkan turbin. Maka dalam model turbin ini bentuk sudu yang digunakan profil NACA0030.

Jumlah sudu yang digunakan dalam perancangan turbin helik ini adalah 3 buah [8]. Panjang *chord* sudu turbin c yang digunakan ditentukan dengan menggunakan persamaan [9]:

$$\dagger = \frac{n}{f} \left(d + \sum_{k=1}^n \sin \left(\frac{f k}{n} - d \right) - \sin \frac{f k}{n} \right) \quad (4)$$

dimana adalah soliditas relatif, n adalah

jumlah sudu turbin, dan d adalah setengah panjang cord dalam radian terhadap sumbu putar.



Gambar 9. Bentuk sudu NACA0030.

Torsi awal total yang dibangkitkan oleh sudu turbin di dalam aliran air V dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan [5]:

$$T = k_2 \frac{\sqrt{1+q^2}}{2} \sin^2\left(\frac{L}{Rq}\right) \quad (5)$$

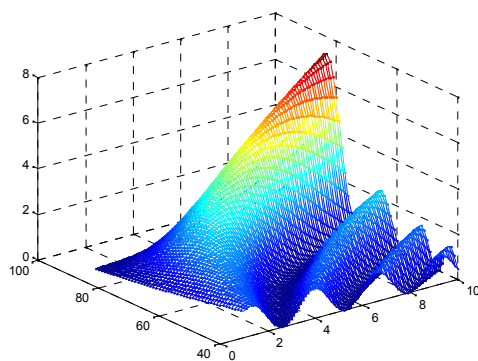
Atau dalam bentuk tanpa dimensi dapat dituliskan menjadi:

$$T_1 = \frac{T(q)}{k_2} = \frac{\sqrt{1+q^2}}{2} \sin^2\left(\frac{L}{Rq}\right) \quad (6)$$

dimana: $k_2 = \frac{1}{2} k_0 b V^2 R^2$, $k_1 = k_0 b V^2 R$,

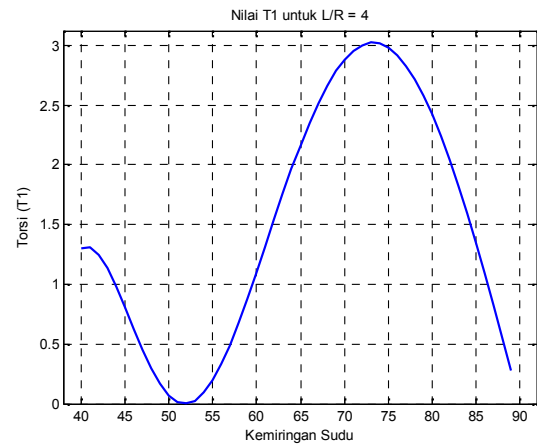
$q = \tan u = \frac{L}{\{0R}$, L adalah tinggi turbin, dan R

adalah jari-jari turbin. Gambar 10 memperlihatkan grafik hubungan antara torsi T_1 sebagai fungsi sudut kemiringan sudu dan rasio dari tinggi turbin terhadap jari-jari turbin L/R yang disimulasikan dengan menggunakan program Matlab [10]. Berdasarkan rasio dari tinggi turbin terhadap jari-jari turbin $L/R = 4$, maka diperoleh sudut kemiringan sudu $= 72^\circ$, seperti dapat dilihat pada Gambar 11.



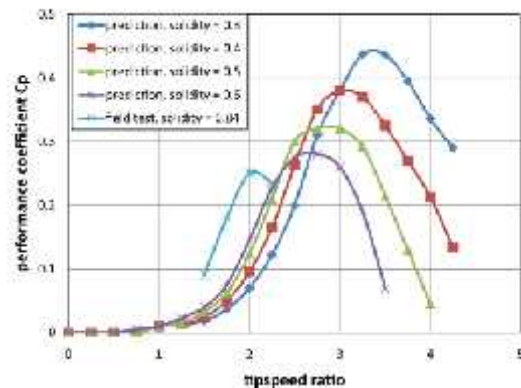
Gambar 10. Grafik hubungan antara torsi T_1 sebagai

fungsi sudut kemiringan sudu dan rasio dari tinggi turbin terhadap jari-jari turbin L/R .



Gambar 11. Grafik hubungan antara torsi T_1 sebagai fungsi sudut kemiringan sudu .

Pada Gambar 12 dapat dilihat pengaruh *tip speed ratio* terhadap *coefisien performance* C_p (efisiensi) untuk masing-masing *relative solidity* dari *hydrokinetic turbin* Darrieus (HKT) dengan sudu lurus.



Gambar 12. Unjuk kerja perkiraan dan hasil pengujian Darrieus HKT untuk berbagai *relative solidity*[11].

Tip speed ratio pengoperasian turbin ini ditentukan $=3$, hal ini untuk mencegah terjadinya kavitasi saat pengoperasian turbin. Dari grafik hubungan antara *coefisien performance* C_p terhadap *tip speed ratio* *hydrokinetic turbin*, maka untuk *tip speed ratio* $=3$ ditentukan *relative solidity* $0,4$. Dengan menggunakan Persamaan 4 ditentukan panjang *chord* sudu turbin yang akan diuji 25



cm.

Setelah dilakukan perancangan parameter-parameter perancangan turbin ini adalah: bentuk sudu dan jumlah sudu n , tinggi turbin L , diameter turbin D , dan kemiringan sudu turbin. Saat ini sedang dilakukan pembuatan alat pengujian dan model turbin helik ini di Laboratorium Mekanika Fluida, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Lampung. Dan metode perancangan ini telah digunakan juga untuk merancang model sistem pembangkit listrik tenaga air untuk memanfaatkan energi kinetik aliran di saluran irigasi Way Tebu, di Kecamatan Pugung, Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung [12]. Jadi rancangan sistem alat pengujian ini nanti dapat digunakan untuk mendukung pelaksanaan mata kuliah Praktikum Prestasi Mesin bagi mahasiswa di Jurusan Teknik Mesin, Universitas Lampung.

KESIMPULAN

Pada makalah ini diberikan hasil metode perancangan dan pembuatan sistem alat pengujian model turbin air helik (*helical turbine*) untuk sistem PLTMH pada skala laboratorium dengan menggunakan head sumber 1 m. Hasil perancangan menghasilkan parameter-parameter turbin yang digunakan adalah: bentuk sudu profil NACA 0030, jumlah sudu $n = 3$ buah, tinggi turbin $L = 20$ cm, diameter turbin $D = 10$ cm, dan kemiringan sudu turbin $= 73^\circ$. Dan saat ini sedang dilakukan pembuatan alat pengujian model turbin helik di Laboratorium Mekanika Fluida, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Lampung. Hasil rancang bangun alat pengujian model turbin helik untuk sistem PLTMH ini nantinya dapat digunakan untuk mendukung pelaksanaan mata kuliah Praktikum Prestasi Mesin di Jurusan Teknik Mesin.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Sampurna, H. 2014. Pertumbuhan Permintaan Listrik di Lampung Cukup Tinggi. Diakses dari: <http://www.saibumi.com/artikel-2423-pertumbuhan-permintaan-listrik-di-lampung-ukup-tinggi.html#ixz4xZCP9k00>.

- [2] Yasland, M., 2013. Masih Ada Desa di Lampung Belum Dialiri Listrik, Diakses dari: <http://nasional.republika.co.id/berita/nasional/daerah/13/02/18/mif70b-masih-ada-desa-di-lampung-belum-dialiri-listrik>.
- [3] Fikri, M. A. (2008). Alternatif Energi Terbarukan dan Konversi Energi. PLN Lampung. Diakses dari: www.plnlampung.co.id/warta_PLN.htm.
- [4] Jiandong, T., Zheng N, Wang X., Hai J., and Ding H., 1996, *Mini Hydropower*, New York: John Wiley & Sons.
- [5] Gorlov, A., 2008. "Development of The Helical Reaction Turbine". *Final Technical Report (DE-FG01-96EE 15669)*.
- [6] *Vertical axis wind turbine*. Wikimedia Foundation, Inc. Diakses dari: http://en.wikipedia.org/wiki/Vertical_axis_wind_turbine.html.
- [7] Batista, N.C., R. Melicio, J.C.O. Matias dan J.P.S. Catalao. 2011. "Self-Start Performance Evaluation in Darrieus-Type Vertical Axis Wind Turbines: Methodology and Computational Tool Applied to Symmetrical Airfoils". *Prosiding The International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'11)*. Diakses dari: <http://www.icrepq.com/icrepq%2711/302-batista.pdf>. Diakses pada tanggal 11 April 2012.
- [8] Supramanto, D., 2016, Kajian Eksperimental Pengaruh Jumlah Sudu terhadap Unjuk Kerja Turbin Helik untuk Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). *Tugas Akhir Teknik Mesin*, Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- [9] Gorlov, A. 2010. Helical Turbine and Fish Safety. Diakses dari: www.mainetidalpower.com/files/gorlovrevised.pdf
- [10] Sinaga, J. B., N. Tanti, dan M. Badarruddin. 2012. Rancang Bangun Turbin Air Ultra Low Head untuk Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Guna Mendukung Program Desa Mandiri Energi di Provinsi Lampung. *Laporan Penelitian Strategis Nasional*.



- [11] Kirke, B. K. 2011. Tests on ducted and bare helical and straight blade Darrieus hydrokinetic turbines *Renewable Energy*. No. 36 : 3013-3022.
- [12] Sinaga, J. B., N. Tanti, dan A. Zakaria, 2013. Rancang Bangun Turbin Air Ultra Low Head untuk Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Guna Mendukung Program Desa Mandiri Energi di Provinsi Lampung. *Laporan Penelitian Strategis Nasional*.