



SNTTM XVII

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin 2018

PROSIDING

“Peran Ilmu Teknik Mesin yang Berorientasi Global dalam Mendukung Pembangunan Nasional Berkelanjutan”

Organized by :



Program Studi

TEKNIK MESIN

4-5 Oktober 2018

Hotel Swiss Belinn Kupang, Nusa Tenggara Timur

Indonesia

Kata Pengantar

Segala puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena hanya dengan rahmat-Nya buku prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) XVII dapat diterbitkan. SNTTM XVII dengan tema “Peran Ilmu Teknik Mesin yang Berorientasi Global Dalam Mendukung Pembangunan Nasional Berkelanjutan” merupakan kegiatan tahunan Badan Kerja Sama Teknik Mesin (BKS-TM) Indonesia. SNTTM kali ini diselenggarakan oleh Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana (UNDANA) Kupang pada tanggal 4-5 Oktober 2018 di hotel Swiss-Belinn Kristal Kupang.

Dengan terlaksananya seminar ini, diharapkan adanya kerjasama antar Program Studi Teknik Mesin seluruh Indonesia yang semakin erat dan baik, dalam pengembangan peran ilmu teknik mesin dalam mendukung pembangunan nasional. Mulai tahun 2017, BKS-TM menggunakan sistem *Open Conference System* (OCS) dalam tahapan pengiriman abstrak dan makalah, sehingga seluruh prosiding yang dihasilkan dari SNTTM nantinya dapat diakses secara daring. Upaya ini merupakan bagian dari usaha BKS-TM untuk meningkatkan mutu publikasi karya ilmiah teknik mesin ke level yang lebih tinggi.

Perlu diketahui bahwa seleksi SNTTM XVII dilakukan dalam dua tahapan: 1) seleksi abstrak untuk kegiatan seminar dan 2) seleksi makalah lengkap untuk prosiding daring. Penyelenggaraan kali ini telah berhasil menjaring 198 abstrak untuk diseminarkan yang berasal dari berbagai institusi. Dari 198 abstrak yang diseminarkan, jumlah makalah yang sampai pada tahap prosiding adalah 143 artikel ilmiah, dengan perincian 35,66% konversi energi, 22,37% perancangan dan mekanika terapan, 13,98% proses manufaktur, 23,77% rekayasa material dan 4,19% pendidikan teknik mesin.

Pada kesempatan ini, kami menyampaikan penghargaan setinggi-tingginya kepada BKS-TM Indonesia, para pimpinan Program Studi Teknik Mesin, *keynote speaker*, tim peninjau, sponsor, para pemakalah, serta segenap panitia yang telah berpartisipasi aktif atas terselenggaranya SNTTM XVII dan terbitnya prosiding dari acara ini. Tidak lupa kami selaku panitia pelaksana memohon maaf atas kekurangan dan ketidaksempurnaan yang terjadi dalam keseluruhan proses penyelenggaraan seminar dan penerbitan buku prosiding. Akhir kata, semoga prosiding SNTTM XVII ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Salam hangat,

Dominggus G. H. Adoe, S. T., M. Eng
Ketua Panitia Pelaksana

Profil Pembicara Utama

Dalam rangkaian acara SNTTM XVII telah diselenggarakan Sesi Pembicara Utama pada hari Kamis, 4 Oktober 2018, pukul 09.10-11.30 WIB. Acara tersebut dilaksanakan di *ballroom* Kristal, Hotel Swiss Belinn, Kupang. Lima pembicara telah hadir dan memberikan presentasinya dalam Sesi Pembicara Utama SNTTM XVII.



Prof. Dr. Ir. Tresna Priyana Soemardi,, M.Si., S.E.

Prof. Dr. Ir. Tresna Priyana Soemardi M.Sc. adalah Guru Besar di Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Kelahiran Palembang, 1 September 1955. Beliau menikah dengan Diah Hariyani dan memiliki dua orang anak, yaitu Una Amanda Priharani dan Ezra Ganesha Prihardanu.

Gelar Insinyur diperoleh dari Teknik Mesin ITB - Bandung tahun 1980, memperoleh Gelar Magister Ilmu Lingkungan pada tahun 1985 dan Sarjana Ekonomi tahun 1988 dari Universitas Indonesia.

Pada tahun 1990, lulus sebagai Doktor dalam bidang Applied Mechanics & Advanced Composites Materials dari Ecole Centrale de Paris-France.

Selama lebih dari 25 tahun melakukan kegiatan mengajar, konsultasi dan riset dibidang mekanika terapan dan material komposit, perancangan dan pengembangan produk, inovasi produk, manajemen stratejik inovasi, EPC & Project Management, Project Risk Management, Kelayakkan Angkutan Udara, Transportasi Udara dan Engineering Management. Beliau juga pernah bekerja sebagai Researcher di Industri Pesawat Terbang Aerospatiale dan Industri Otomotif Renault di Perancis. Menghasilkan lebih dari 100 karya ilmiah dalam jurnal, seminar, konferensi dan lokakarya nasional maupun internasional. Berbagai pendanaan riset nasional maupun internasional berhasil ia menangkan antara lain: Hibah Bersaing, RUT, RUTI, Toray Science Foundation dan EU-Asialink Biomedical Engineering.



Prof. Yoshihiro Narita

Penasihat akademik JICA, Expert di C-BEST project

merupakan lulusan dari Universitas Hokkaido tahun 1974. Memulai karir sebagai dosen di Hokkaido Institute of Technology pada tahun 1980 – 1985. Menjabat sebagai Guru Besar di Fakultas Teknik, Universitas Hokkaido (Division of Human Mechanical Systems and Design) semenjak tahun 1991.

Bidang penelitian mencakup *Composite Structures, Optimum Design, Systems Engineering, Computational Mechanics, Engineering Education*. Beliau pernah menjabat sebagai Ketua Cabang Hokkaido

Japan Society of Mechanical Engineers (JSME) tahun 2008-2009 dan mendapat *Division award for international contribution*. Selain itu, beliau merupakan anggota asosiasi *Japan Society of Mechanical Engineers, International Symposium of Vibration on continuous Systems, International Advisory Committee, Japan Reinforced Plastics Society, International Steering Committee, Society of Automotive Engineers of Japan, Japan Society of Kansei Engineering, The Japan Society for Science Policy and Research Management, Japanese Education Research Association*.



Prof. Olivier Polit

Guru Besar di Université Paris Ouest Nanterre dan peneliti di *Laboratoire Energétique Mécanique Electromagnétisme (LEME)*. Prof. Olivier Polit memiliki keahlian di bidang *Finite Element Analysis, Structural Analysis, Finite Element Modeling, Numerical Modeling, Mechanical Testing, Numerical Analysis, Mechanics of Materials, Mechanical Engineering, Solid Mechanics, Materials Engineering, Composites, Dynamics, Finite Element Method, Computational Mechanics Elasticity, Computational Structural*

Mechanics, Structural Engineering, Piezoelectricity, Composite Structures

Laminated Composites, Shell. Beliau telah menghasilkan lebih dari 100 karya ilmiah sampai saat ini.



Dr. Eng. Nobumasa Sekishita

Peneliti dan pengajar di Departemen Teknik Mesin, Toyohashi University of Technology, dengan jabatan sebagai *Associate Professor*. Beliau juga merupakan lulusan Doktor dari universitas tersebut.

Bidang penelitiannya mencakup *Fluid Dynamics* yaitu, *Wind Tunnel Experiment of Turbulent Shear Flow, Development of Flow Measurements and Analysis*. Dimana menginvestigasi fenomena pada *Buoyancy jet, Pesawat jet dan Sphere wake* menggunakan

Terowongan Angin.

Beliau juga merupakan anggota Perhimpunan Akademik *Japan Society of Mechanical Engineers, Japan Society of Fluid Mechanics, The Physical Society of Japan, dan The Visualization Society of Japan*.



Refi Kunaefi, MSc.

Refi Kunaefi adalah Kepala Proyek Pengembangan Area Bali di Akuo Energy Indonesia. Memulai karir profesionalnya sebagai insinyur lapangan, kemudian manajer operasi lapangan untuk perusahaan layanan minyak & gas terbesar di dunia, Schlumberger.

Di Akuo Indonesia, ia mengelola portofolio pengembangan Energi Terbarukan lebih dari 300 MW di berbagai bidang teknologi. Bidang tersebut dari PV surya, hidro, angin, biomassa, dan

Konversi Energi Panas Laut (OTEC).

Refi memegang gelar Master dalam manajemen energi & lingkungan di bawah program beasiswa bergengsi dari *Total EP Indonesia* di Ecole des Mines de Nantes (Prancis), dan gelar Teknik Mesin dari Universitas Indonesia di bawah Program Kepemimpinan GE Beasiswa. Dia juga mengikuti Kursus Manajemen Kontrak di Ecole Européenne de Contract Management (Prancis). Saat ini beliau juga menjabat sebagai Dosen di Universitas Teknologi Sumbawa sejak Juni 2016.

Topik dan Sebaran Makalah

- | | |
|-------------------------------------|--------------|
| 1. Perancangan dan Mekanika Terapan | : 32 Makalah |
| 2. Proses Manufaktur | : 20 Makalah |
| 3. Konversi Energi | : 51 Makalah |
| 4. Rekayasa Material | : 34 Makalah |
| 5. Pendidikan Teknik Mesin | : 6 Makalah |

Tentang BKS-TM

Badan Kerja Sama Teknik Mesin Indonesia (BKS-TM) adalah suatu organisasi yang dibentuk pada pertemuan ketua jurusan/program studi/departemen Teknik Mesin perguruan tinggi se-Indonesia pada tanggal 29 Mei 2002 di Jurusan Teknik Mesin ITS. Anggota dari BKS-TM adalah lembaga pendidikan tinggi yang menyelenggarakan pendidikan teknik mesin atau yang sejenis.

Tujuan pendirian BKS-TM adalah sebagai:

- 1) Menciptakan kondisi yang kondusif untuk meningkatkan kerja sama antar perguruan tinggi teknik mesin dalam melaksanakan Tri Dharma Perguruan Tinggi.
- 2) Meningkatkan interaksi perguruan tinggi anggota dengan lembaga lain.
- 3) Meningkatkan sumber daya anggota dalam menjawab tantangan dan persaingan.

Saat ini keanggotaan BKS-TM sudah mencapai lebih dari 30 program studi Teknik Mesin yang tersebar di berbagai wilayah Indonesia seperti ditunjukkan pada gambar berikut:



Tentang SNTTM

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) merupakan kegiatan tahunan yang diselenggarakan oleh BKS-TM sebagai sarana untuk berbagi riset dan teknologi terbaru serta berbagi pengalaman terhadap pemecahan permasalahan di bidang keilmuan teknik mesin dalam lingkup nasional. Konferensi ini juga memberi kesempatan kepada para akademisi, pihak industri, komunitas, maupun para penentu kebijakan untuk membahas aktivitas dan kolaborasi di masa depan.

SNTTM XVII bertujuan untuk mempertemukan para peneliti, profesional industri, dan mahasiswa pascasarjana dari disiplin ilmu Teknik Mesin. SNTTM XVII, yang bertemakan “Peran Ilmu Teknik Mesin yang Berorientasi Global dalam Mendukung Pembangunan Nasional Berkelanjutan“, menawarkan lingkungan yang menarik dan merangsang peserta untuk berdiskusi dan bertukar pikiran mengenai hasil penelitian ilmiah terbaru. Pada tahun 2018, seminar kali ini diselenggarakan oleh Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana (Undana), pada tanggal 4-5 Oktober 2018 di Hotel Swiss Belinn, Kupang.

BKS-TM telah menyelenggarakan 16 kali SNTTM dengan host yang bergantian, yakni sebagai berikut:

1. SNTTM I (2002) dilaksanakan di ITS, Surabaya.
2. SNTTM II (2003) dilaksanakan di Unand, Padang.
3. SNTTM III (2004) dilaksanakan di Unhas, Makasar.
4. SNTTM IV (2005) dilaksanakan di Unud, Denpasar.
5. SNTTM V (2006) dilaksanakan di UI, Jakarta.
6. SNTTM VI (2007) dilaksanakan di Unsyiah, Banda Aceh.
7. SNTTM VII (2008) dilaksanakan di Unsrat, Manado.
8. SNTTM VIII (2009) dilaksanakan di Undip, Semarang.
9. SNTTM IX (2010) dilaksanakan di Unsri, Palembang.
10. SNTTM X (2011) dilaksanakan di Unibraw, Malang.
11. SNTTM XI (2012) dilaksanakan di UGM, Yogyakarta.
12. SNTTM XII (2013) dilaksanakan di Unila, Bandar Lampung.
13. SNTTM XIII (2014) dilaksanakan di UI, Jakarta.
14. SNTTM XIV (2015) dilaksanakan di Unlam, Banjarmasin.
15. SNTTM XV (2016) dilaksanakan di ITB, Bandung.
16. SNTTM XVI (2017) dilaksanakan di ITS, Surabaya

Tentang Kupang

Kota Kupang adalah kota madya dan sekaligus sebagai ibu kota provinsi Nusa Tenggara Timur, Indonesia. Kota Kupang adalah kota yang terbesar di Pulau Timor. Dengan jumlah penduduk lebih dari 450 ribu jiwa (perhitungan pada tahun 2014) yang terdiri dari berbagai macam suku dan bangsa yaitu Timor, Rote, Sabu, Tionghoa, Flores, Alor, Lembata serta sebagian kecil pendatang dari Ambon, Bali, Sulawesi dan Jawa. Kota Kupang merupakan pusat bisnis, perdagangan, industri dan pendidikan di Nusa Tenggara Timur.

Kota Kupang sering dijuluki sebagai Kota Karang. Julukan ini disebabkan oleh kondisi geografis kota Kupang dipenuhi oleh batu karang. Nama Kupang berasal dari nama seorang raja yang memerintah Kota Kupang sebelum bangsa Portugis dan Belanda datang ke Nusa Tenggara Timur yaitu Lai Kopan. Nama Lai Kopan kemudian disebut oleh Belanda sebagai Koepan dan dalam bahasa sehari-hari menjadi Kupang.

Sebagai ibu kota provinsi Nusa Tenggara Timur, Kota Kupang memiliki sarana pendidikan milik pemerintah dan yang dikelola oleh swasta untuk pendidikan formal dan informal dari tingkat PAUD, Play Group, TK, SD, SLTP dan SLTA serta Perguruan Tinggi. Perguruan Tinggi yang ada di Kota Kupang sebanyak 19 Perguruan Tinggi yang terdiri dari 4 Perguruan Tinggi Negeri dan 15 Perguruan Tinggi Swasta.

Kupang juga memiliki beberapa objek wisata yang dapat memanjakan setiap orang yang berkunjung dengan hamparan pasir putih yang indah dan laut biru yang cantik. Sejak beberapa tahun terakhir ini menjadi langganan persinggahan peserta lomba perahu layar internasional, pemandangan yang indah serta keramahan para pedagang yang berjualan di sekitar area wisata yang tidak ternoda oleh pikiran mencari untung sebanyak-banyaknya, yang masih kental akan budaya persaudaraan antar sesama serta kekhasan budaya dan adat. Wisatawan yang berkunjung ke kota ini biasanya terkesan dengan ikan bakar yang ukurannya besar-besar dengan harga yang relatif murah. Pasar malam yang populer di Kota Kupang yang menyajikan makanan sari laut terletak di daerah Kampung Solor di sekitar bekas bioskop Raja. Dinikmati dengan sambal khas Kupang, tentu wisatawan akan langsung berjanji pada diri sendiri: "suatu saat nanti, beta akan kembali lagi".

Buku Prosiding SNTTM XVII – 2018

SEMINAR NASIONAL TAHUNAN TEKNIK MESIN XVII

Tema Seminar

Peran Ilmu Teknik Mesin yang Berorientasi Global
Dalam Mendukung Pembangunan Nasional Berkelanjutan

Pelaksanaan

Hotel Swiss-Belinn Kristal Kupang, 4-5 Oktober 2018

Penerbit

Program Studi Teknik Mesin
Kampus UNDANA Penfui Kupang 85148

SNTTM XVII – 2018

SEMINAR NASIONAL TAHUNAN TEKNIK MESIN XVII

Perancangan dan Mekanika Terapan, Proses Manufaktur, Konversi Energi,
Material Material, Pendidikan Teknik Mesin

Penanggung Jawab

Prof. Fredik L. Benu, Rektor Undana Kupang
Drs. Hery L. Sianturi, Dekan Fakultas Sains & Teknik, UNDANA Kupang
Dr. Jefri S. Bale, Ketua Program Studi Teknik Mesin, UNDANA Kupang

Penasehat

Dr. Arifin Sanusi, Program Studi Teknik Mesin, UNDANA Kupang
Dr. Matheus M. Dwinanto, Program Studi Teknik Mesin, UNDANA Kupang
Wenseslaus Bunganaen, M. T., Program Studi Teknik Mesin, UNDANA Kupang

Panitia Pelaksana

Ketua Umum: Dominggus G. H. Adoe, M. Eng
Bendahara: Gusnawati, M. Eng
Publikasi: Muhamad Jafri, M. Eng
Perlengkapan: Ben V. Tarigan, M. M.

Editor

Dr. Jefri S. Bale
Dr. Arifin Sanusi
Yeremias M. Pell, M. Eng
Kristomus Boimau, M. T.
Muhamad Jafri, M. Eng
Boy Bistolen, M. Eng

Reviewer

Perancangan dan Mekanika Terapan

Daud Pulo Mangesa, M. T.
Rima N. Selan, M. T.
Jack C. A. Pah, M. T.

Proses Manufaktur

Wenseslaus Bunganaen, M. T.
Adi Y. Tobe, M. T.
Defmit B. N. Riwu, M. T.

Konversi Energi

Dr. Arifin Sanusi
Muhamad Jafri, M. Eng
Gusnawati, M. Eng
Ben V. Tarigan, M. M.
Yuftriani Littik, M. Eng

Rekayasa Material

Dr. Jefri S. Bale
Yeremias M. Pell, M. Eng
Kristomus Boimau, M. T.
Dominggus G. H. Adoe, M. Eng
Boy Bistolen, M. Eng

Pendidikan Teknik Mesin

Wenseslaus Bunganaen, M. T.
Daud Pulo Mangesa, M. T.
Rima N. Selan, M. T.
Jack C. A. Pah, M. T.
Adi Y. Tobe, M. T.

Daftar Isi

KONVERSI ENERGI [KE]

KODE MAKALAH	JUDUL MAKALAH	HALAMAN
KE - 01	Computational Analysis of Fluid Flows Crossing Square Cylinder Dimpled Half Ball Nasaruddin Salam, Rustan Tarakka, Jalaluddin dan Andi Machfud	001-007
KE - 02	Analyse Coefficient Of Performance System To Result Of Condensation At Appliance Of Converter Portable Fathir Muhammad, Dominggus G.H.Adoe, Gusnawati	008-013
KE - 03	Analysis of heat loss of hot mix asphalt during the waiting time the overlay Muhammad Muhammad, Ahmad Syuhada, Syifaul Huzni, Zahrul Fuadi	014-021
KE - 04	Analysis of Seal Gas Supply Conditioning and Numerical Simulation of The Influence of Seal Gas Supply Pressure on the Compressor Balance Line Pressure of Labyrinth Dry Gas Seal MSK Tony Suryo Utomo, Syaiful dan Riszcky Fermansah	022-031
KE - 05	Analysis of The Effect of Temperature and Time of Distillation toward Bioethanol Alcohol content of Lontar (Borassus Flabellifer) Fruit Mesocarp Dominggus Adoe, Defmit Riwu, Musa Magang	032-036
KE - 06	Analysis Of The Utilization Of Corn Cobs Waste As An Alternative Fuel Based On Grain Variations Sallolo Suluh, Petrus Sampelawang, Frans Robert Bethony, Yafet Bontong, Gabriel Padda Pabisa	037-042
KE - 07	Analysis of Water Hyacinth Dryers Using Fluent 6.2.16 Noviyanti Nugraha, M. Alexin Putra, Aep Syaeful Rohman, Danang Pinanditio	043-048
KE - 08	Analysis On Solar Heating System Error On Public Road Lighting Power Plant In Banda Aceh And Sabang Ahmad Syuhada, M. Ilham Maulana	049-054
KE - 09	Analysis Performance of Savonius Wind Turbines with combined blade without loaded Arifin Sanusi, Nurhayati dan Hikmah	055-059
KE - 10	Analysis Type of Fluid With Thermosyphon Cooling System Against With Output Power Thermoelectric Generator Ben Vasco Tarigan, Arifin Sanusi dan Marsel Marthinus Liu	060-063
KE - 11	Application of 3-inch Hydraulic Ram Pump in Dryland Irrigation at The Baumata Village, Taebenu District, Kupang Regency Muhamad Jafri, Wenseslaus Bunganaen, Nurhayati dan Gusnawati	064-068
KE - 12	Characteristic Testing of Solar Still X Desalination Technology in Indonesia using Seawater Raldi Artono Koestoer, Ibnu Roihan, dan Valerie Deva Simangunsong, Adi Surjosatyo	069-077
KE - 13	Characteristics Of Pet Plastic Pyrolysis Products With Temperature Variations	078-082

KE - 14	Hesti Istiqlaliyah, Am Mufarrih dan M. Muslimin Ilham Computational Study on the Analysis of Blowing Application Towards Flow Fields on Vehicle Models with Variations on Front Geometry	083-087
KE - 15	Rustan Tarakka, Nasaruddin Salam, Jalaluddin, Muhammad Ihsan Design and Evaluation of Energy Characteristics of a Horizontal Venturi Bulb Turbine Based on Sea Current Data of The Haya Strait	088-092
KE - 16	W. M. Rumaherang, R. Ufie, J. Louhenapessy, J. Latuny Design of Hydraulic Ram Pump To Help The Community Agricultural Irrigation System In Sumberrejo, Kemiling Distric, Bandar Lampung	093-097
KE - 17	Jorfri Boike Sinaga, Harnowo Supriadi, Ahmad Suudi, Raja Aman Simarmata, dan Sugiman Drag Reduction Impact of Slurry by Spiral Pipe Geometry	098-102
KE - 18	Yanuar dan Sealtial Mau Droplet Combustion Characteristics of Methanol-Kemiri Sunan Biodiesel Blends	103-106
KE - 19	Nurkholis Hamidi, Purnami, Rizal Maulana Fahmi Effect of Diesel Engine Speed on Performance of Reciprocating Compressor	107-112
KE - 20	Khairul Muhajir, I Gusti Gde Badrawada dan Agus Fajar W Energy Engineering for Agricultural Drying System based on Diesel Engine Exhaust Gases Integrated with Rice Milling Unit	113-119
KE - 21	Nasruddin Aziz Experimental Study of Burning Deposition Characteristics Balinese Arak Fuel in the Engine Combustion Chamber	120-125
KE - 22	I Gusti Ketut Sukadana, I Wayan Bandem Adnyana Experimental Study of Comparation of Drift Bike Tire Traction in Asphalt, Concrete, and Grass Media on Fuel Efficiency	126-129
KE - 23	Ismail Thamrin dan M.Alfarabi Experimental Study on the Influence of Angle of Attack and Number of Blade on Break Power of Darrieus Wind Turbine Type H-Rotor Integrated with Cooling Tower	130-133
KE - 24	Budi Santoso, Dominicus Danardono dan Miko Hadi Wijaya Improvement Of Droplet Combustion Speed Of Kapuk Randu Oil With Addition Of Cengkeh Oil As Catalyst	134-138
KE - 25	Purnami, ING Wardana, Widya Wijayanti Investigation of Lifting Force of Delivery Valve and Increased Pressure in Air Chamber of Hydram Pump	139-145
KE - 26	Made Suarda, I Gusti Bagus Wijaya Kusuma, Made Sucipta dan Ainul Ghurri Kajian Eksperimental Komparasi Efisiensi Kolektor Surya dengan Variasi Sudut Kemiringan	146-152
KE - 27	Firmansyah Burlian, Ismail Thamrin, Hendy Chairman Konsumsi bahan bakar LCGC (<i>Low Cost Green Car</i>) pada kecepatan normal dan tinggi	153-156
	Harwin Saptoadi	

KE - 28	Modeling of Buble Flow in Horizontal Pipe Sukamta, Thoharuddin, Roy Mukhlis Irawan	157-161
KE - 29	Numerical Simulation of Cross Flow Around Four Circular Cylinders In An In-Line Square Configuration Near A Plane Wall At Laminar Boundary Layer A.Grummy Wailanduw, Priyo Heru Adiwibowo dan Budihardjo Achmadi Hasyim	162-167
KE - 30	Numerical Study on Undershot Waterwheel Performance Budiarso, Sanjaya BS. Nasution, Dendy Adanta, Warjito, Satrio AA	168-173
KE - 31	On the Effect off Tube Bank Configuration to Heat Transfer Effectiveness in Heat Pipe Heat Exchanger for Air Conditioning System Ragil Sukarno, Nandy Putra, Ridho Irwansyah	174-180
KE - 32	Optimization of a Dual-Evaporator Vapor Compression Refrigerator Matheus M. Dwinanto, Suhanan dan Prajitno	181-187
KE - 33	Pengaruh Penambahan Fix Drag Reducing Pada Bilah Terhadap Kinerja Turbin Angin Savonius Indra Herlamba Siregar, Moch Effendy dan Akhmad Hafizh Ainur Rasyid	189-192
KE - 34	Effect of Microwave longtime of Esterification Process to Physics Properties Of Biodiesel Rubber Seed Oil (<i>Hevea Brasiliensis</i>) Slamet Wahyudi, Nurkholis Hamidi, Yuniar A Arsandi	193-197
KE - 35	Performance analysis of hybrid PV/T solar collector under the tropical climate conditions of Indonesia Amrizal, Amrul, Miftahul Aziz, Adi Suprianto	198-202
KE - 36	Physical Properties of Biodiesel from Microalgae <i>Chlorella Vulgaris</i> Adjar Pratoto, Rury Dwi Nurhadi dan Abdi Dharma	203-207
KE - 37	Planning A Condenser Type Concentric Tube Exchanger As An Instrument For Testing And The Learning Sobar Ihsan	208-211
KE - 38	Simplification Design of Nozzle and Blade of Pico Hydro Turbine type Cross-flow Dendy Adanta, Aji Putro Prakoso, A.I. Siswantara, Warjito, Budiarso	212-217
KE - 39	The Addition of Phase Change Materials in the Wall to Reduce the Overall Thermal Transfer Value (OTTV) Muhammad Irsyad, Amrizal dan M Dyan Susila	218-223
KE - 40	The Effect of Addtion Bioethanol From Palm Fruit to Calorific Value Gasoline and Exhaust Emissions of Vehicle 4 Stroke 125 cc Dominggus G. H. Adoe, Ben V. Tarigan, Rima Nindia Selan, Boy Bistolen	224-229
KE - 41	The Effect of Air Flow Rate on the Performance of Thermoelectric Cooling System Mega Nur Sasongko dan Franz Jipri Fernando	230-234

KE - 42	The Effects Of Mango Biodiesel Seed Oil To Diesel Engine Performance Willyanto Anggono, R. Santoso, Sutrisno, Fandi D. Suprianto dan Gabriel J. Gotama	235-241
KE - 43	Thermal Characteristic Study of Biomass for Heating Rate and Liquid Yield on Pyrolysis Process to Produce Bio-Oil Nasruddin A. Abdullah , Rachmat Rahardian , Imansyah Ibnu Hakim , Nandy Putra, Raldi A. Koestoer	242-248
KE - 44	Thermal Heating Study Of Microwave Reactor For Pyrolysis Of Vegetable Wastes Defani Alrasyidi Nugraha, Wirawan Sumbodo dan Samsudin Anis	249-252
KE - 45	Vortex Shedding Passing Through Four Cylinders Benny Dwika Leonanda	253-263
KE - 46	PRELIMINARY RESEARCH ON QUADCOPTER WITH PHOTOVOLTAIC TO INCREASE FLIGHT TIME Evi Sofia, Hery Sonawan dan Dian Kurniawan, Ahmad Iqbal	264-270
KE - 47	PROCESS OF COFFEE PROCESSING OF ARABIC POWDER AND PHYSICAL CHANGES DUE TO ADJUSTMENT TEMPERATURE Musa Bondaris Palungan , Charnia Iradat Rapa, Salma Salu	271-274
KE - 48	Sistem Pendingin Central Processing Unit (CPU) Berbasis Cascade Straight Heat Pipe Wayan Nata Septiadi, I Nyoman Budiarsa, Imanuel Adam Tnunay, IGAA Desy Wulandari dan Wayan Ainun Wildan Ula	275-281
KE - 49	Analysis of the Influence of Engineering Waste Measures on 3 inch Single Compression Hydraulic Pump Efficiency Gusnawati, Rima N Selan, Daud P Mangesa, dan Adi Tobe	282-289
KE - 50	<i>Experimental Study of Heat Transfer on Household Scale Mini Incinerators</i> Wahyu H. Piarah, Zuryati Djafar, Thomas Tjandinegara, Zulkifli Djafar, Putri Githa	290-294
KE - 51	Analysis of Heat and Mass Transfer on Fungi Growth Inside of Building Walls and Increasing of Energy Consumption, Case Study: Jakarta and Medan Weather Data Nasruddin, M. Rifqi Audi, Hafidho Ilham, Juno Dwi Putra, Yovan Okta Ananda	295-299

REKAYASA MATERIAL [RM]

KODE MAKALAH	JUDUL MAKALAH	HALAMAN
RM - 01	Application Of Graphene Material As A Co₂ Gas Sensor Maula Nafi, Edi Santoso dan Ichlas Wahid	001-004
RM - 02	Behavior Analysis of Widuri Fiber Effluence of NaOH Treatment to Wettability and Adhesiveness with Polyester Resin Yeremias M. Pell, Wenseslaus Bunganaen , Vinsensius Wowa	005-010
RM - 03	Characterization of Babbitt in Steam Turbine Sliding Bearings Mohammad Reza Hermawan, Bukti Tatigan dan Dedi Lazuardi	011-017

RM - 04	Effect of Bamboo Fiber Volume Fraction on The Density, Bending and Compressive Strength of Sandwich Composite with Opened Cell Bamboo-Polyurethane Foam Core Paryanto Dwi Setyawan, Sugiman dan Agus Setiawan	018-022
RM -05	Effect Of Temperature And Casting Composition Of Al-Bottom Ash Composite To The Grain Deformation In The Footstep Casting Ichlas Wahid, Maula Nafi	023-026
RM - 06	Effect of Zeolite Addition on The Tensile Strength of Polypropylene as Injection Molding Product Teguh Dwi Widodo, Rudianto Raharjo, Redi Bintarto, Fikrul Akbar Alamsyah dan Danar Sulistyio Adi	027-031
RM - 07	Enhancement of Osteoconductivity of TNTZ by Hydrothermal Treatment Zuldesmi, Masazumi Okido	032-036
RM - 08	Finite Element Modeling of Pit Growth on Stainless Steel Materials Syifaul Huzni, Haris dan S. Fonna, A.K. Ariffin	037-041
RM - 09	Improving The Physical And Mechanical Properties Of Al-Si Hypoeutectic Alloys With Carbide Particle Addition (SiC/p) Juriah Mulyanti,	042-048
RM - 10	Increased Surface Hardness Of Aluminum Matrix Composite Through The Ceramic Coating Process Hendri Sukma, Dwi Rahmalina, Bambang Sulaksono, Erlanda A.Pane, Ibnu Asyifa R.	049-055
RM - 11	Low Cycle Fatigue Analysis of an Annealed AISI 4140 Steel Mohammad Badaruddin, Purnadi Sri Kuncoro, Ahmad Suudi dan Sugiyanto	056-061
RM - 12	Modification of Coconut Shell Polypropylene Composite as Pipe Material Rudianto Raharjo, Teguh Dwi Widodo, Redi Bintarto,Haslinda Kusumaningsih,Mirza Pramudia dan Nama M. Irkham Mamungkas	062-067
RM - 13	Peat Firing Foaming Agent Selection from Fatty Acid Palm Oil Saponification Results with Simple Additive Weighting Method Purwo Subekti, Erliza Hambali, Ani Suryani, Prayoga Suryadarma, Bambang Hero Saharjo, Mira Rivai	068-071
RM - 14	Potential Used Finite Element Indentation Modeling approach for Characterization strength and behavior Material in Non Standard Conditions I Nyoman Budiarsa, I Nyoman Gde Antara, I Made Gatot Karohika, I Wayan Widhiada	072-077
RM - 15	Synthesis and Characterization of Mechanical Properties of Sand Mold Metal Casting Based on Recycle Sand with Addition of Resin Viktor Naubnome Aa Santosa, Eri Widiyanto dan Marno	078-081
RM - 16	TENSILE STRENGTH TEST OF MATERIAL COMPOSITE OF COCONUT COIR FIBER BY USING POLYESTER RESIN BQTN 157 (ASTM D 1037-99) Syurkarni Ali, Murhaban, Herdi Susanto dan Seulamat Handalansah	082-088

Low Cycle Fatigue Analysis of an Annealed AISI 4140 Steel

Mohammad Badaruddin^{1*}, Purnadi Sri Kuncoro², Ahmad Suudi³ dan Sugiyanto⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung – Bandar Lampung

*Corresponding author: mbruddin@eng.unila.ac.id

Abstract. An AISI 4140 steel is widely applied for machine element components on vehicles. A Chemical compositions of alloy elements are 0.443C, 1.15Cr, 0.805Mn, 0.320Cu, 0.253Ni, 0.308Si, dan 0.198Mo (wt.%). The steel was subjected to annealing-heat treatment for increase of the ductility, and thus the plastic region is a larger size than the elastic region. The mechanical strength and the low cycle fatigue properties of the annealed steel were tested in according to ASTM E8 standard with a displacement control of 0.2 mm/min and in according to ASTM E606 standard with the strain amplitude total in ranging of 0.003-0.007 mm/mm under a constant strain rate of 0.005/s, respectively. The tensile test results show that the annealing treatment on AISI 4140 significantly decreased the mechanical properties of the steel. However, the plastic strain energy in the steel with annealing treatment is larger than that of the steel without annealing treatment. A large plastic energy in the steel gives a contribution in improvement of the steel's fatigue life, for example; the fatigue life of annealed steel increases by 2.43 fold which is fatigued under a strain amplitude of 0.003 mm/mm. The empirical equation obtained from the present research can be used to predict the fatigue life of annealed AISI 4140 steel in terms of elastic condition, $\sigma_a = 1018.72(2N_f)^{-0.1770}$ and plastic condition, $\epsilon_p = 0.1154(2N_f)^{-0.4290}$.

Abstrak. Baja AISI 4140 banyak diaplikasikan pada komponen elemen mesin poros dan roda gigi pada kendaraan. Komposisi kimia elemen-elemen pepadu yang dominan adalah 0.443C, 1.15Cr, 0.805Mn, 0.320Cu, 0.253Ni, 0.308Si, dan 0.198Mo (wt.%). Perlakuan anil diberikan pada baja AISI 4140 untuk meningkatkan daktilitas baja agar daerah plastis lebih besar dari daerah elastisnya. Pengujian tarik dilakukan dengan kontrol displasemen 0.2 mm/min (Standar ASTM E8) dan pengujian fatik siklus rendah (ASTM E606) dengan variasi amplitudo regangan dari 0.003-0.007 mm/mm dengan laju regangan konstan 0.005/s. Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa proses anil pada baja AISI 4140 menurunkan sifat mekaniknya secara signifikan. Namun, energi plastis baja anil lebih besar dibandingkan dengan baja tanpa perlakuan anil. Peningkatan energi plastis yang dialami baja anil memberikan pengaruh yang signifikan terhadap umur fatik baja dimana pada amplitudo regangan 0.003 mm/mm, umur fatik baja anil AISI 4140 meningkat sebesar 2.43 kali. Persamaan empirik yang diperoleh dari hasil penelitian ini dapat digunakan untuk memprediksi umur fatik baja anil AISI 4140 dalam kondisi elastis, $\sigma_a = 1018.72(2N_f)^{-0.1770}$ dan kondisi plastis, $\epsilon_p = 0.1154(2N_f)^{-0.4290}$.

Keywords: baja AISI 4140, fatik siklus rendah, perlakuan anil, energi plastis,

© 2018. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Baja AISI 4140 merupakan baja karbon sedang (0.443 wt.% C) dengan elemen-elemen pepadu lainnya: 1.15% Cr, 0.805% Mn, 0.320% Cu, 0.253% Ni, 0.308% Si, dan 0.198% Mo [1]. Baja ini mempunyai beberapa keunggulan diantaranya kekuatan tinggi, ketangguhan tinggi, dan cukup ulet. Baja AISI 4140 banyak digunakan sebagai komponen elemen utama pada mesin seperti poros, gear, dan piston pada kendaraan, yang berfungsi meneruskan daya baik berupa puntiran ataupun bending. Poros yang mengalami pembebanan yang berulang, akhirnya dapat menimbulkan retak yang terus berlanjut mengalami kegagalan pada saat operasinya. Kegagalan ini terjadi umumnya akibat

ketidakmampuan bahan terhadap beban siklik dimana bahan mengalami deformasi plastis besar, dan akhirnya bahan mengalami kelelahan dan patah.

Fatigue atau kelelahan adalah bentuk dari kegagalan yang terjadi pada struktur bahan karena beban fluktuasi. Kegagalan lelah pada bahan dapat terjadi pada kondisi beban lebih rendah atau lebih tinggi daripada kekuatan luluhnya. Ada dua jenis kegagalan lelah: (1) kegagalan fatik siklus rendah (*low cycle fatigue*) dan (2) Kegagalan lelah siklus tinggi (*high cycle fatigue*). Kegagalan fatik siklus rendah umumnya terjadi pada logam dalam siklus pendek dengan jumlah siklus dibawah 100000 yang disebabkan oleh regangan plastis. Sedangkan

Kegagalan lelah siklus tinggi merupakan kegagalan pada bahan pada jumlah siklus antara 10^3 sampai 10^7 dimana bahan gagal dibawah tegangan luluhnya.

Beberapa penelitian sebelumnya tentang fatik siklus rendah baja 10%Cr–2%W–0,7%Mo–3%Co–Nb–V dengan 0,008%B dan 0,003%N (wt) oleh Mishnev dkk. [2], dimana baja diuji dalam kondisi amplitudo regangan konstan kisaran dari $\pm 0,2\%$ sampai $\pm 1,0\%$ pada temperatur pengujian 20 °C dan 650 °C. Hasil penelitian mereka menunjukkan efek pelunakan siklik disebabkan oleh perubahan struktur martensit pada baja dengan meningkatnya derajat deformasi plastis. Li dkk. [3] melakukan penelitian perilaku fatik siklus rendah baja paduan rendah Cr–Mo–V untuk aplikasi cakram rem kereta api. Dari hasil penelitian tersebut dilaporkan baja menunjukkan perilaku pelunakan siklik pada level regangan yang lebih besar dan perilaku tipe *Masing* baja diamati pada temperatur ruang. Selain itu, Verma dkk. [4] melakukan penelitian sifat fatik siklus rendah baja 9Cr–1Mo yang dimodifikasi melalui perlakuan *normalizing* dan *tempering* pada kondisi laju regangan dari 0.002/s sampai 0.004/s dengan amplitudo regangan antara 0.25 % dan 0.5% pada temperatur ruang. Pada regangan amplitudo tinggi 0.375% dan 0.50% setelah bahan mengalami siklus 20–30 dan setelah siklus 200–300 dengan regangan amplitudo terendah 0.25% baja mengalami efek pelunakan. Sedangkan Hu dkk. [5] melaporkan bahwa baja 9CrWVTa mengalami pengerasan regangan pada siklus 2–100, kemudian bahan mengalami pelunakan siklik sampai patah.

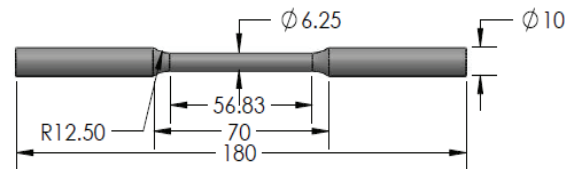
Berdasarkan uraian di atas, kami melakukan penelitian mengenai pengaruh perlakuan panas anil pada baja AISI 4140 terhadap sifat fatik siklus rendah. Analisis parameter fatik siklus rendah ditentukan menggunakan pendekatan Coffin-Manson-Basquin [2].

Metode Penelitian

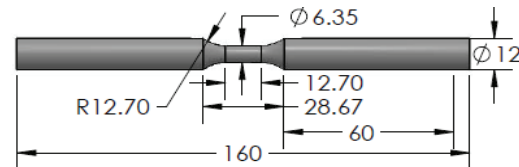
Bahan dan spesimen. Baja paduan AISI 4140 berbentuk silinder diameter 16 mm dan panjang 180 mm diberi perlakuan anil. Spesimen baja tidak diberi perlakuan disimbolkan sebagai “TA”, dan baja diberi perlakuan anil disimbolkan sebagai “A”. Proses anil dilakukan dengan memanaskan baja pada temperatur 815 °C selama 1 jam, kemudian didinginkan pada temperatur 665°C di dalam tungku dengan kecepatan penurunan temperatur 11 °C/menit [1]. Setelah temperatur baja mencapai 665 °C, kemudian baja didinginkan di udara. Spesimen uji tarik disiapkan sesuai standar ASTM E8 [6] (Gambar 1) dan spesimen uji fatik

siklus rendah dibuat sesuai standar ASTM E606 [7] (Gambar 2).

Pengujian tarik dan fatik siklus rendah. Pengujian tarik statis dan fatik siklus rendah dilakukan menggunakan Mesin MTS Landmark 100 kN. Pada pengujian tarik, baja ditarik dengan kecepatan konstan 0.2 mm/menit sampai spesimen patah. Pengujian fatik siklus rendah dilakukan pada baja dengan variasi amplitudo regangan total ($\Delta\epsilon_a$) 0.003-0.007 mm/mm dengan kondisi laju regangan 0.005/s. Data hasil pengujian tarik diplot dalam bentuk kurva tegangan-regangan. Kurva histerisis tegangan-regangan pada setengah umur siklus patah (0.5Nf) diplot. Analisis fatik siklus rendah dilakukan berdasarkan data regangan plastis dan regangan elastis menggunakan pendekatan Coffin-Manson-Basquin untuk menentukan parameter fatik siklus rendah baja AISI 4140 yang diberi perlakuan anil.



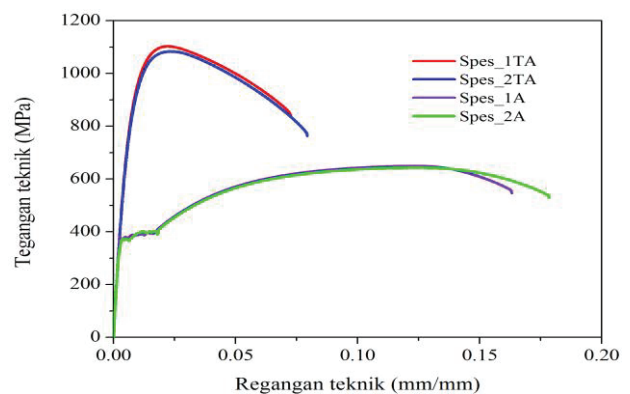
Gambar 1. Bentuk dan ukuran spesimen uji tarik



Gambar 2. Bentuk dan ukuran spesimen uji fatik siklus rendah

Hasil dan Pembahasan

Analisis sifat mekanik baja anil AISI 4140. Berikut ini merupakan data hasil pengujian tarik dalam bentuk kurva stress vs regangan (Gambar 3).



Gambar 3. Kurva tegangan versus regangan baja AISI 4140 yang mengalami perlakuan anil dan tanpa perlakuan.

Modulus elastisitas baja AISI 4140 ditentukan menggunakan metode kuadrat terkecil dengan jangkauan panjang garis linier kurva tegangan vs regangan sebesar 20% [6]. Berdasarkan Gambar 3, modulus elastisitas specimen_1, $E_{TA1} = 206.866$ GPa dan specimen_2, $E_{TA2} = 211.710$ GPa. Sedangkan modulus elastisitas untuk baja yang dianil, specimen_1 $E_{A1} = 204.130$ GPa dan specimen_2, $E_{A2} = 206.946$ GPa. Hasil uji tarik baja AISI 4140 dari keempat spesimen yang berbeda ditampilkan pada Tabel 1. Nilai tegangan luluh rata-rata dari specimen_A1 dan _A2, $\sigma_{yA} = 384.965$ MPa. Nilai elongasi diperoleh dari hasil pengukuran panjang awal spesimen dalam daerah *gage length* dan setelah spesimen putus ditampilkan

pada Tabel 1. Dari hasil pengujian diperoleh nilai elongasi untuk specimen_1A adalah 24.19 %. Nilai elongasi sepesimen_2A adalah 17.80 %. Berdasarkan data-data dari Tabel 1, hasil perlakuan anil pada baja AISI 4140 menurunkan sifat mekaniknya; tegangan ultimate dan luluh, namun daktilitas baja meningkat dan energi plastis juga meningkat signifikan. Luasan daerah plastis dalam kurva beban vs displasemen menunjukkan besaran energy plastis bahan (kJ). Besarnya energy plastis berkontribusi terhadap peningkatan umur fatik bahan yang diuji pada kondisi fatik siklus rendah, menunjukkan kemampuan bahan mengalami deformasi siklik selama mengalami pembebanan [8].

Tabel 1. Hasil uji tarik baja AISI 4140

Nama Spesimen	Tegangan (MPa)		Energi plastis (kJ)	Energi elastis (kJ)	Reduksi luas penampang (%)	Elongasi total (%)
	Luluh (0.2%)	Ultimate				
TA1	949.725	1103.540	0.001	0.027	42.80	14.12
TA2	929.306	1083.842	0.001	0.029	52.83	15.05
A1	376.33	649.20	0.085	0.002	46.919	24.19
A2	393.6	684.52	0.088	0.002	46.227	17.80

Analisis fatik siklus rendah. Berdasarkan teori kegagalan fatik siklus rendah, retak awal terbentuk pada daerah dimana penurunan tegangan terjadi, dan kemudian retak terus merambat diiringi dengan turunnya kemampuan bahan menahan beban siklik yang berlanjut hingga bahan patah [3]. Data hasil pengujian fatik siklus rendah dengan variasi amplitudo regangan berbeda ditampilkan secara lengkap pada tabel 2 dan tabel 3 pada kondisi $0.5N_f$.

Tabel 2 menunjukkan variasi amplitudo regangan yang digunakan yaitu; 0.003 mm/mm,

0.005 mm/mm, dan 0.007 mm/mm, dimana siklus tertinggi dalam pengujian fatik siklus rendah dialami baja pada amplitudo regangan 0.003 mm/mm dengan jumlah total 26858 siklus. Sebaliknya pada amplitudo regangan 0.007 mm/mm, umur fatik baja menurun namun regangan plastis yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan pada amplitudo regangan 0.003 dan 0.005 mm/mm.

Tabel 2. Hasil uji fatik siklus rendah baja 4140 dengan perlakuan anil

Spesimen	Amplitudo regangan (mm/mm)	Frekuensi (Hz)	Regangan plastis (mm/mm)	Regangan elastis strain (mm/mm)	Modulus elastis (GPa)	Siklus patah (Nf)
A1	0.003	0.4167	0.0014	0.0016	207.0989	26858
A2	0.005	0.2500	0.0031	0.0019	202.0705	3606
A3	0.007	0.178	0.0049	0.0021	202.062	1912

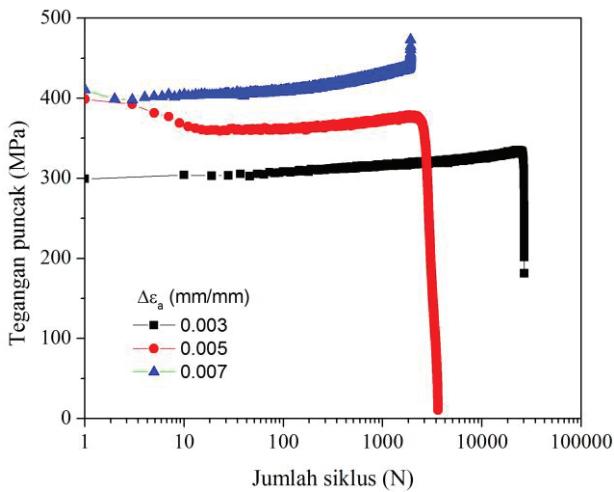
Tabel 3. Hasil uji fatik siklus rendah baja 4140 tanpa perlakuan

Spesimen	Amplitudo regangan (mm/mm)	Frekuensi (Hz)	Regangan plastis (mm/mm)	Regangan elastis (mm/mm)	Siklus patah (Nf)
TA1	0.003	0.4167	0.00015	0.0029	11045
TA2	0.005	0.2500	0.0015	0.0035	3161
TA3	0.007	0.1780	0.0035	0.0035	1000

Pengujian fatik siklus rendah menunjukkan semakin tinggi amplitudo regangan maka semakin turun jumlah siklus patah yang dihasilkan (Tabel 2 dan Tabel 3). Nilai modulus elastis siklik pada kondisi setengah siklus patah ($0.5N_f$) ditampilkan pada Tabel 2, dan nilai rata-rata modulus elastis for baja anil AISI 4140 = 203.7438 GPa. Nilai ini digunakan untuk menghitung koefisien kekuatan

fatik, σ'_f (MPa) [2]. Berdasarkan Tabel 2 dan Tabel 3 regangan plastis yang diperoleh untuk baja AISI 4140 dengan perlakuan anil menunjukkan nilai regangan yang lebih besar dibandingkan baja AISI 4140 tanpa perlakuan. Besarnya nilai regangan plastis dibandingkan dengan regangan elastis yang dihasilkan dari proses anil menunjukkan umur fatik baja dapat ditingkatkan secara signifikan.

Pengaruh amplitudo regangan terhadap tegangan puncak (*peak stress*) dan jumlah siklus untuk specimen_A1, _A2 dan _A3 diplot secara bersama pada Gambar 4.



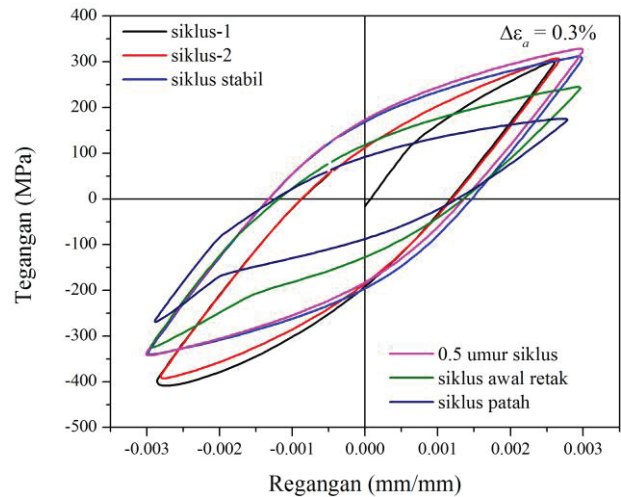
Gambar 4. Hubungan tegangan puncak terhadap jumlah siklus baja AISI 4140 yang dianil dengan amplitudo regangan berbeda.

Gambar 4 menunjukkan bahwa pada amplitudo regangan 0.003 mm/mm pada siklus kedua baja mengalami pengerasan (*hardening*) dan selanjutnya siklus ketiga mengalami pelunakan (*softening*). Setelah siklus ketiga baja mengalami pengerasan kembali, kemudian berlanjut hingga specimen mengalami patah. Pada amplitudo regangan 0.005 mm/mm menunjukkan bahwa pada siklus pertama sampai siklus sepuluh mengalami pelunakan sampai mencapai siklus sebelas, dan selanjutnya baja mengalami pengerasan hingga mengalami kegagalan. Pada amplitudo regangan 0.007 mm/mm baja menunjukkan pada siklus pertama hingga siklus ketiga mengalami pelunakan. Selanjutnya siklus keempat dan seterusnya mengalami peningkatan pengerasan hingga specimen patah pada kondisi plastis yang besar. Pada pengujian ini menunjukkan semakin kecil amplitudo regangan semakin tinggi siklus yang kegagalan dihasilkan.

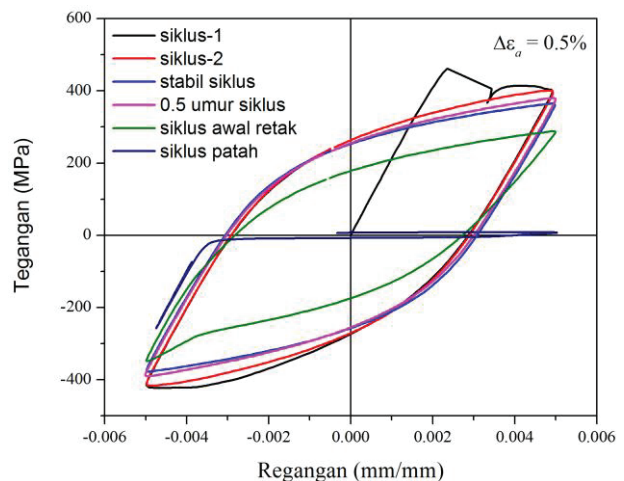
Gambar 5 menunjukkan kurva histeresis specimen_A1 pada amplitudo regangan 0.003 mm/mm dan pada siklus ke-1 baja mengalami tegangan tarik sebesar 300.7606 MPa dan tegangan tekan sebesar -408.824 MPa. Pada siklus ke-2 baja mengalami peningkatan tegangan tarik sebesar 307.9811 MPa dan tegangan tekan sebesar -392.581 MPa. Selanjutnya pada kondisi siklus stabil ($N = 111$ siklus) baja mengalami peningkatan tegangan tarik sebesar 311.7883 MPa dan tegangan tekan -340.501.

Pada setengah umur siklus ($0.5N_f = 10.000$ siklus), baja kembali mengalami pengerasan

regangan yang ditandai dengan meningkatnya tegangan tarik dan tekan, masing-masing sebesar 327.9822 MPa dan -342.237 MPa. Setelah itu pada 26780 siklus, retak awal (*crack initiation*) pada baja sudah terbentuk yang ditandai dengan penurunan tegangan tarik sebesar 245.1137 MPa dan tegangan tekan sebesar -325.121 MPa. Selanjutnya baja mengalami kegagalan pada total siklus 26858 dengan tegangan tarik dan tekan turun sebesar masing-masing sebesar 175.6086 MPa dan sebesar -268.87 MPa.



Gambar 5. Evolusi perubahan kurva histeresis tegangan-regangan pada amplitudo regangan 0.003 mm/mm.

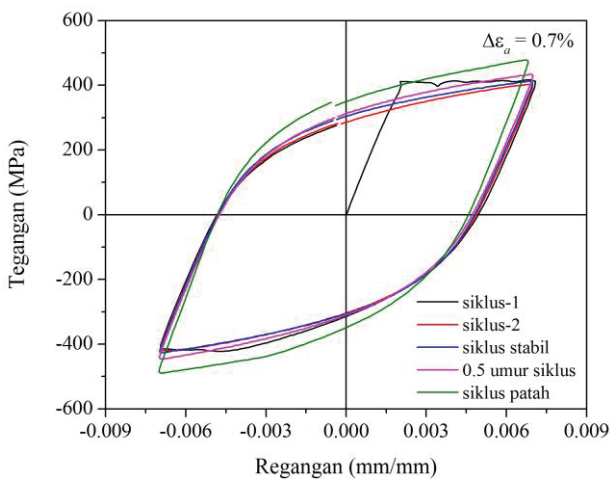


Gambar 6. Evolusi perubahan kurva histeresis tegangan-regangan pada amplitudo regangan 0.005 mm/mm.

Pada Gambar 6, kurva histeresis specimen_A2 dengan amplitudo regangan 0.005 mm/mm menunjukkan pada siklus pertama baja mengalami tegangan tarik puncak sebesar 414.6113 MPa dan tegangan tekan sebesar -422.488 MPa. Selanjutnya baja mulai mengalami pelunakan sama seperti ditunjukkan pada Gambar 4, tegangan pada siklus kedua turun sebesar 401.0262 MPa (tarik) dan sebesar -416.571 MPa (tekan). Pada 106 siklus

(*stable cycle*) baja mengalami secara perlahan penurunan tegangan tarik sekitar 350.496 MPa, dan tegangan tekan hanya turun sekitar 380.995 MPa. Selanjutnya pada 2000 siklus (*half life cycles*) baja mengalami pengerasan regangan kembali, yang dapat diindikasikan melalui kenaikan tegangan tarik sebesar 380.9406 MPa dan tegangan tekan sebesar -390.154 MPa. Pada amplitudo regangan 0.005 mm/mm, *crack initiation* mulai terbentuk pada baja terjadi pada siklus 2857 (Gambar 6), dimana tegangan tarik mulai turun drastis yaitu sebesar 288.438 MPa dibandingkan dengan terhadap tegangan pada kondisi siklus stabil. dan tegangan tekan menurun sebesar -348.798 MPa. Kemudian kegagalan baja terjadi pada siklus 3606 dimana tegangan turun sangat drastis ke nilai 8.470 MPa, namun baja masih mengalami kondisi tekan dengan nilai tegangan tekan -257.394 MPa. Berdasarkan kurva histerisis dari Gambar 6 dan 7, menunjukkan bahwa pada amplitudo regangan yang berbeda, tegangan puncak menurun seiring dengan meningkatnya jumlah siklus.

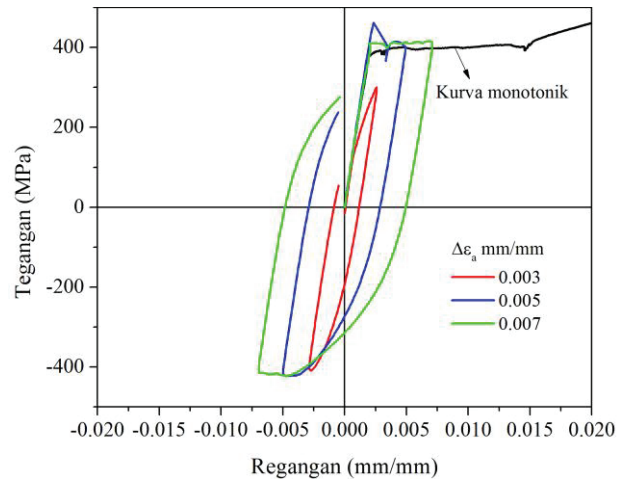
Selanjutnya pengujian fatik siklus rendah pada amplitudo regangan 0.007 mm/mm, dimana mulai siklus kedua sampai siklus ketiga baja mengalami pelunakan yang ditandai dengan menurunnya tegangan tarik, seperti tinjauan pada Gambar 4. Selanjutnya pada siklus keempat baja mengalami peningkatan tegangan tarik sampai pada kondisi siklus stabil dengan tegangan tarik sebesar 412.5948 MPa dan tegangan tekan sebesar -426.311 MPa (Gambar 7).



Gambar 7. Evolusi perubahan kurva histerisis tegangan-regangan dengan amplitudo regangan 0.007 mm/mm.

Jumlah setengah siklus (*half life cycles*) yang dialami baja yaitu: 1000 siklus menunjukkan baja mengalami kondisi pengerasan regangan dengan tegangan tarik maupun tegangan tekan terus meningkat, yaitu: 434.1233 MPa (tarik) dan sebesar -446.563 MPa (tekan). Kondisi ini terus

berlanjut sampai siklus kegagalan baja mencapai 1912 siklus. Peningkatan pengerasan regangan yang dialami baja pada kondisi pengujian fatik siklus rendah 0.007 mm/mm menunjukkan bahwa baja mengalami deformasi plastis yang besar, yang dapat diobservasi melalui meningkatnya luasan kurva histerisis yang dihasilkan oleh spesimen_A3 (Gambar 7).



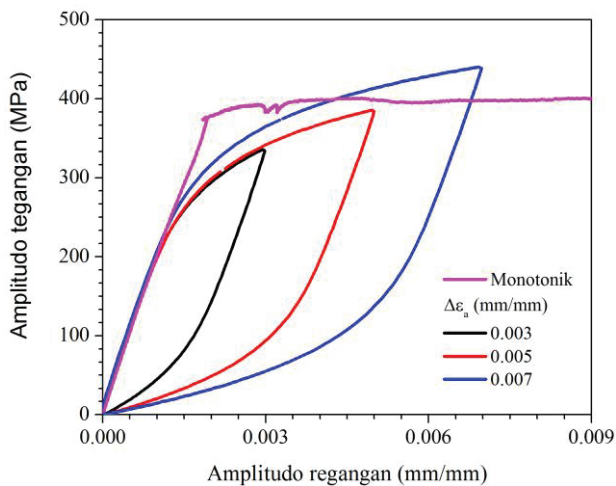
Gambar 8. Kurva tegangan versus regangan pada siklus pertama untuk kondisi siklik dan kondisi monotonik.

Hasil pengujian fatik siklus rendah kurva histerisis pada siklus pertama dengan amplitudo regangan yang berbeda di plot secara bersama dengan kurva tegangan vs regangan pada kondisi monotonik (hasil uji tarik hanya untuk batas regangan 0.02 mm/mm) ditampilkan pada Gambar 8. Gambar 8 menunjukkan siklus pertama pada amplitudo regangan 0.003 mm/mm mengalami pelunakan yang dapat dilihat dari tegangan puncak berada di bawah tegangan monotoniknya. Selanjutnya pada amplitudo regangan ditingkatkan sampai 0.005 mm/mm dan 0.007 mm/mm baja mengalami pengerasan siklik dimana tegangan puncak melebihi tegangan pada kondisi monotonik. Hasil yang sama dialami baja 9Cr-1Mo dengan kondisi *normalizing* dan *tempering*, pengerasan regangan yang dialami baja pada pengujian fatik siklus rendah secara langsung dipengaruhi oleh amplitudo regangan yang digunakan dalam pengujian [4].

Baja anil AISI 4140 menunjukkan perilaku non-Masing yang dapat diamati dari plot kurva histerisis tegangan-regangan pada kondisi setengah siklus (0.5Nf) pada amplitudo regangan berbeda (Gambar 9). Gambar 9 menunjukkan bahwa baja anil AISI 4140 mengalami perilaku sifat non-Masing [8] karena setiap lintasan ujung tegangan tidak berimpit (*co-incident*) pada lintasan pembebanan siklik dalam setiap amplitudo regangan berbeda. Umumnya fenomena ini terjadi karena instabilitas

mikrostruktur dan rendahnya mobilitas dislokasi dalam substrukturnya yang dialami bahan selama pembebanan siklik [8].

Pendekatan prediksi umur fatik berbasis regangan selalu digunakan untuk memprediksi umur fatik bahan melalui persamaan Coffin–Manson–Basquin dengan memplot data-data jumlah kebalikan total siklus patah (reversals to failure, $2N_f$) terhadap amplitudo regangan plastis dan regangan elastis dalam bentuk kurva logaritma pada sumbu- x dan - y [2]. Hasil perhitungan diperoleh parameter fatik siklus rendah baja anil AISI 4140, yang ditampilkan pada Tabel 4.



Gambar 9. Kurva histerisis tegangan-regangan pada tiga amplitudo regangan yang berbeda.

Tabel 4. Nilai parameter fatik siklus rendah dan sifat monotonik (hasil uji tarik)

Parameter fatik siklus rendah	Nilai parameter
Koefisien pengerasan regangan statis, K (MPa)	701.88
Eksponensial pengerasan regangan statis, n	0.0549
Koefisien kekuatan siklik, K'	1413.10
Koefisien kekuatan fatik, σ_f' , MPa	1018.72
Eksponen pengerasan regangan siklik, n'	0.2231
Eksponen kekuatan fatik, b	-0.1770
Koefisien daktilitas kelelahan, ϵ_f' , mm/mm	0.1154
Eksponen daktilitas fatik, c	-0.4290

Kesimpulan

Proses anil pada baja AISI 4140 menurunkan tegangan ultimate sebesar 60.97% dan tegangan luluh sebesar 40.97%. Sebaliknya energi regangan plastis meningkat 98.85% dan elongasi total meningkat 43.84%. Perlakuan panas anil juga meningkatkan umur fatik baja yang disebabkan oleh peningkatan energi regangan plastis. Koefisien kekuatan siklik (K') dan nilai eksponensial pengerasan regangan siklik (n') meningkat sangat signifikan. Persamaan empiris untuk memprediksi

umur fatik baja anil AISI 4140 berbasis regangan adalah:

$$\epsilon_a = 1018.72(2N_f)^{-0.1770} + 0.1154(2N_f)^{-0.4290}$$

Penghargaan

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Kemenristekdikti yang telah memberikan dana melalui Direktorat Riset dan Pengabdian kepada Masyarakat (DRPM) dalam hibah penelitian kerjasama dan publikasi internasional (PKLN) dengan kontrak No. 062/SP2H/LT/DRPM/2018.

Referensi

- [1] Matweb, <http://www.matweb.com/search/QuickText.aspx?SearchText=AISI%204140>. (diakses tanggal 2 november 2017)
- [2] Mishnev, R. Dudova, N and Kaibyshev, R., 2016, Low cycle fatigue behavior of a 10Cr–2W–Mo–3Co–NbV steel, *International Journal of Fatigue*, 83, 344–355.
- [3] Li, Z. Han, J. Li, W and Pan, L., 2014, Low cycle fatigue behavior of Cr–Mo–V low alloy steel used for railway brake disc, *Materials and Design*, 56, 146–157.
- [4] Verma, P. Srinivas, N.C.S. Singh, S.R and Singh, V., 2016, Low cycle fatigue behavior of modified 9Cr–1Mo steel at room temperature, *Material Science & Engineering A*, 652, 30–41
- [5] Hu, X. Huang, L. Yang, Z. Wang, W. Sha, W. Shan, Y and Yang, W., 2013. Low cycle fatigue properties of CLAM steel at room temperature, *Fusion Engineering and Design*, 88, 3050–3059.
- [6] ASTM E8/E8M Standard test methods for tension testing of metallic materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016.
- [7] ASTM E 606-04 Standard practice for strain-controlled fatigue testing, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012.
- [8] Sarkar, A. Kumawat, B.K and Chakravartty, J.K., 2015, Low cycle fatigue behavior of a ferritic reactor pressure vessel steel, *Journal of Nuclear Materials*, 462, 273–279.