

**LAPORAN
PENELITIAN DASAR
UNIVERSITAS LAMPUNG**



**MODEL PREDIKTIF KONSUMSI ENERGI MESIN PERKAKAS *ELECTRICAL
DISCHARGE MACHINING* (EDM)**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG**

2022

**HALAMAN PENGESAHAN
PENELITIAN DASAR UNIVERSITAS LAMPUNG**

Judul : Model Prediktif Konsumsi Energi Mesin Perkakas Electrical
Discharge Machining

Manfaat saintifik/sosial: Penguasaan Dasar Teknologi

Ketua Peneliti

- a. Nama lengkap : Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T.
b. SINTA ID : 257140
c. Jabatan fungsional : Lektor
d. Program studi : S1 Teknik Mesin
e. Nomor HP : 085658980260
f. Alamat surel (e-mail): yanuar.burhanuddin@eng.unila.ac.id

Anggota Peneliti (1)

- a. Nama lengkap : Hadi Prayitno, S.T., M.T.
b. SINTA ID : 6718628
c. Program studi : S1 Teknik Mesin
d. Alamat surel (e-mail):

Mahasiswa yang terlibat (1)

- a. Nama lengkap : Ivan Fajri
b. NPM : 181502017
c. Program studi : S1 Teknik Mesin
d. Alamat surel (e-mail):

Jumlah alumni yang terlibat :

Jumlah staf yang terlibat :

- Mitra penelitian :
Lokasi penelitian :
Lama penelitian :
Biaya penelitian : Rp. 25.000.000,-
Sumber dana : DIPA BLU


Bandar Lampung, 29 Oktober 2022


Mengetahui,

a.n Dekan Fakultas Teknik

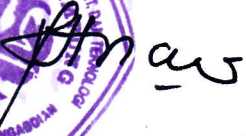
Wakil Dekan Akademik dan Kerjasama

Ketua Peneliti,


Dr. M. Irsyad, S.T., M.T.
NIP 197112142000121001


Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T.
NIP 196405062000031001

Menyetujui,
Ketua LPPM Universitas Lampung


Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A.
NIP 1965051019932008

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
DAFTAR ISI	ii
RINGKASAN	1
BAB 1 PENDAHULUAN	2
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	3
BAB 3 METODE PENELITIAN	9
BAB 4 RENCANA ANGGARAN BIAYA DAN JADWAL PENELITIAN	11
DAFTAR PUSTAKA	

RINGKASAN

Energi digunakan untuk kehidupan setiap hari, penggerak peralatan transportasi, penggerak peralatan industri dan sebagainya. Energi yang digunakan oleh peralatan industri tersebut dihasilkan dari energi tak terbarukan yaitu minyak bumi dan batu bara. Peralatan industri mengkonsumsi banyak energi. Oleh karena itu konsumsi energi dalam industri harus diminimalkan. Untuk mencapai hal ini, pemantauan pola konsumsi energi dalam sistem manufaktur diperlukan. Hanya 20% dari energi masuk akan digunakan untuk proses pemesinan. Electrical Discharge Machining (EDM) adalah proses non-tradisional yang tidak menggunakan kekuatan mekanik untuk mesin logam. EDM menggunakan pelepasan listrik untuk menghilangkan bahan. Hal ini sangat berguna dalam pemesinan bahan keras. Dengan kelebihan yang ditawarkan, EDM dapat digunakan bersama dengan proses pemesinan lain yang tersedia untuk dunia industri, namun ada penekanan tambahan pada energi. Ruang lingkup penelitian ini meliputi menganalisis berbagai input ke EDM dan output yang dihasilkan ke lingkungan. Model disederhanakan digunakan untuk menganalisis proses. Kategori utama aliran diteliti dalam model adalah aliran energi. Berdasarkan hasil analisis konsumsi energi dalam proses EDM maka model konsumsi energi mesin perkakas EDM disusun. Dengan model tersebut konsumsi energi manufaktur mesin perkakas dapat diperkirakan dan diminimalkan. Mengurangi konsumsi energi peralatan mesin secara signifikan dapat meningkatkan lingkungan kinerja sistem manufaktur dan kelestarian alam.

Kata kunci: mesin perkakas EDM, arus listrik, energi proses, model prediktif, energi manufaktur

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Mesin perkakas adalah alat mekanis yang biasanya digunakan untuk memfabrikasi komponen sebuah mesin. Sekitar 60 – 80% proses fabrikasi komponen atau produk rakitan menggunakan. Mesin perkakas adalah mesin untuk membentuk logam atau bahan lainnya dengan memotong, menekan atau menarik. Mesin perkakas mampu membuat barang dengan presisi sehingga komponen atau barang dapat saling dipertukarkan (interchangeable). Dengan demikian mesin perkakas sangat penting bagi perkembangan industri umumnya dan ekonomi khususnya.

Untuk menggerakkan mesin diperlukan energi, biasanya energi listrik, yang umumnya dihasilkan dari bahan bakar fosil seperti minyak dan batubara. Dari keseluruhan energi yang masuk ke mesin perkakas hanya 15% yang digunakan untuk memotong, sedangkan selebihnya digunakan menggerakkan komponen-komponen mesin perkakas lain yaitu cairan pendingin, penggantian pahat dan benda kerja (pada mesin CNC) dan pendingin pompa hidrolik (Dahmus and Gutowski, 2004). Ini merupakan pemborosan energi yang sangat besar. Pemborosan ini harus dikurangi karena ketersediaan bahan bakar fosil semakin lamasemakin berkurang. Oleh karena pengurangan konsumsi energi merupakan sebuah keharusan untuk menghindari kelangkaan energi dan kerusakan karena eksploitasi alam. Manufaktur berkelanjutan (sustainability manufacturing) merupakan tujuan dari pengurangan (reduksi) konsumsi energi mesin perkakas.

Wen Li dkk (2011) mengatakan reduksi konsumsi energi pada umumnya terdiri dari dua pendekatan. Pertama dengan mengurangi permintaan daya sesaat yang memerlukan desain mesin perkakas pada basis komponen berorientasi energi; yang lainnya adalah dengan memperpendek waktu integrasi daya tetap (fixed power), yang bisa dicapai dengan meningkatkan utilisasi mesin atau mematikan mesin untuk mengurangi waktu bersiap-siap (standby). Riset yang lain (Diaz dkk) memasukkan pengembangan kontrol termal dalam rangka mesin di tempat lingkungan termal terkendali untuk mengurangi penggunaan listrik secara keseluruhan. Strategi lain masih menurut Diaz dkk (2010) adalah mengkaji ulang desain mesin perkakas dan strategi operasi mesin. Pada penelitian ini diimplementasikan Sistem Pemulihan Energi Kinetik (Kinetic Energy Recovery System, KERS), strategipemilihan parameter proses dan alat estimasi energi berbasis jaringan.

Pada penelitian ini akan dikombinasikan penerapan kontrol termal pada komponen-komponen mesin perkakas dan desain ulang komponen mesin perkakas yang lebih hemat energi.

1.2. TUJUAN KHUSUS

Penelitian ini bertujuan membuat model prediksi konsumsi energi mesin perkakas. Adapun secara khusus tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah:

- a. Membuat sistem monitor suhu mesin perkakas berbasis termografi dan sistem monitor daya mesin perkakas.
- b. Mengambil data termogram dan daya mesin perkakas.
- c. Melakukan pemetaan dan analisis kualitatif suhu mesin perkakas.
- d. Melakukan analisis kuantitatif konsumsi energi mesin perkakas

Output penelitian:

- **Makalah ilmiah pada jurnal SINTA2 atau,**
- **Makalah ilmiah pada seminar internasional**

1.3. URGENSI (KEUTAMAAN) PENELITIAN

Penelitian mengenai konsumsi energi mesin perkakas di Indonesia masih sangat kurang sedangkan pemakaian energi di sektor industri semakin meningkat. Ketersediaan energi semakin berkurang meminta kita untuk lebih kreatif mencari inovasi yang dapat mengurangi konsumsi energi manufaktur. **Hasil penelitian berupa model prediktif yang dihasilkan dapat menambah literasi konsumsi energi manufaktur**

BAB II. STUDI PUSTAKA

2.1 Mesin Perkakas EDM

Electrical discharge machining (EDM) adalah salah satu proses penghilangan material non-konvensional yang paling banyak digunakan. Fitur uniknya dalam menggunakan energi panas untuk memoles komponen-komponen konduktif listrik tanpa memperhitungkan kekerasan, telah menjadi keunggulan khususnya dalam pembuatan komponen cetakan, die, otomotif, dirgantara dan bedah (Ho & Newmann 2003).

Mekanisme erosi material terutama memanfaatkan energi listrik dan mengubahnya menjadi energi panas melalui serangkaian pelepasan listrik diskrit yang terjadi antara elektroda dan benda kerja yang direndam dalam cairan dielektrik. Energi panas menghasilkan saluran plasma antara katoda dan anoda pada suhu dalam kisaran 8000 hingga 12.000 °C atau setinggi 20.000 °C yang menginisialisasi sejumlah besar pemanasan dan pelelehan material pada permukaan setiap kutub. Ketika suplai arus searah yang dimatikan, saluran plasma rusak. Hal ini menyebabkan penurunan suhu secara tiba-tiba yang memungkinkan cairan dielektrik yang bersirkulasi masuk ke saluran plasma dan menyiram material cair dari permukaan kutub dalam bentuk puing-puing mikroskopis (Ho & Newmann 2003).

Kajian exergy awal oleh Gutowski et al. (2006) telah menyampaikan bahwa proses EDM lebih intensif energi dibanding proses pembuangan material konvensional lainnya. Karena sifat stokastik dari proses EDM, model teoritis gagal untuk memprediksi secara praktis konsumsi energi. Selain itu, komponen tambahan seperti unit pendingin mengkonsumsi energi yang signifikan. Oleh karena itu, upaya baru diperlukan untuk mengkarakterisasi efisiensi energi dari proses EDM (Li & Kara, 2015).

2.2 Pengukuran Daya Peralatan Industri

Sebagian besar mesin berjalan dengan daya tiga fase. Ketika jenis daya ini disediakan, perusahaan listrik mengenakan biaya tidak hanya untuk daya nyata yang digunakan, tetapi untuk daya total yang tampak. Konsumsi energi dari satu mesin pada gilirannya terdiri dari asupan energi individu dari semua komponennya. Konsumsi komponen individual bergantung pada status operasional komponen, yang sekali lagi bergantung pada status operasional mesin. Sementara komponen (atau konsumen) terpenting dalam peralatan mesin sering kali adalah spindel utama, konsumen penting lainnya termasuk elektronik kontrol, perangkat pendingin, pompa hidrolis, dan penggerak umpan. Konsumsi energi dengan

penjumlahan komponen-komponen ini akan mempengaruhi keseluruhan energi yang dikonsumsi oleh mesin serta efisiensinya (Humprey et. al, 2014)

Saat ini, model sedang dikembangkan untuk mengoptimalkan penggunaan energi pada peralatan mesin. Meskipun beberapa model ini menggunakan informasi yang tersedia dari lembar data, banyak model memerlukan pengukuran eksperimental komponen [16]. Pengukuran ini terbagi menjadi tiga jenis utama: (1) pengukuran daya langsung, (2) pengukuran variabel periferal secara terus menerus, seperti kecepatan, yang dapat dimasukkan ke dalam model untuk menentukan konsumsi energi, dan (3) data status, seperti keadaan daya, pada komponen yang memiliki asupan daya yang stabil. Untuk membuat model yang efektif, serta untuk memvalidasi model baru, diperlukan pengukuran daya langsung yang berhasil dan akurat. Karena relatif mudah dan biaya terkait yang rendah, pengukuran daya dalam praktiknya juga dapat digunakan sebagai sensor dalam konteks kontrol proses (Humprey et. al, 2014)..

2.3 Pengukuran Suhu Menggunakan Termografi

Pengukuran suhu dapat dibagi menjadi dua kategori, yaitu kontak dan nonkontak. Pada umumnya pengukuran suhu dengan metode kontak menggunakan termokopel, *RTD*, dan termometer yang harus dikenakan langsung ke target (objek) yang diukur, dan tanggapan alat-alat tersebut relatif lambat, tetapi tidak mahal. Sensor-sensor suhu nonkontak mengukur radiasi pancaran energi inframerah dari target, mempunyai tanggapan cepat, dan dapat juga digunakan untuk mengukur suhu target yang bergerak, dan terputus-putus, target pada daerah hampa, dan target yang tidak dapat diakses langsung karena terletak di daerah yang membahayakan, ruang terbatas, atau yang beresiko

Termografi inframerah menggunakan peralatan khusus untuk mengukur suhu permukaan. Objek bersuhu tinggi memancarkan jumlah energi pada daerah spektrum elektromagnetik inframerah yang lebih besar daripada suhu rendah objek tersebut. Suatu kamera inframerah mendeteksi besar radiasi inframerah yang dipancarkan dari sebuah objek, dan mengkonversikan suhu tersebut ke dalam citra panas video yang disebut dengan termograf (Anonim, 2000). Kamera termografi digunakan dalam perawatan di pabrik manufaktur, khususnya pada industri-industri besar, karena suhu merupakan hal yang menjadi perhatian utama dan sarana diagnostik. Target khusus untuk pemeriksaan inframerah termasuk peralatan elektrik, pengaruh friksi pada peralatan transmisi daya, dan langkah-langkah

proses bahang dalam jalur produksi.

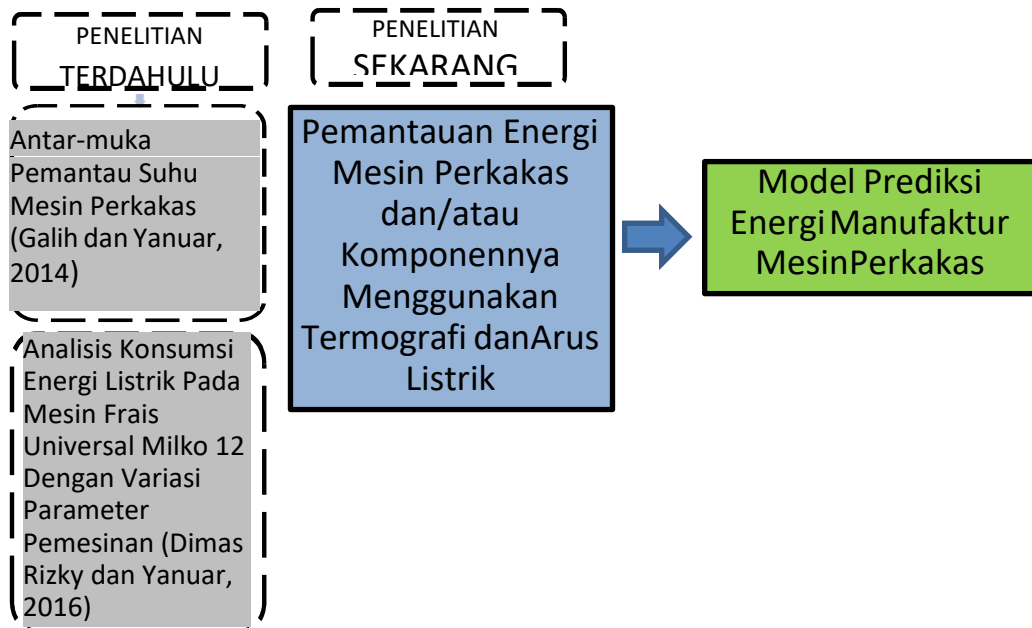
Namun dari beberapa literatur menyebutkan bahwa perilaku termal mesin perkakas paling banyak mendapat perhatian (Franke dkk. 2012, Clough dkk. 2012). Penelitian ini akan merencanakan sistem pemantauan kondisi mesin perkakas menggunakan teknik termografi yang menggunakan kamera infra merah. Hasil yang diperoleh adalah pencitraan termal (thermal imaging) komponen/mesin citra termal tersebut mengandung data suhu dan distribusi suhu komponen mesin atau mesin perkakas.

2.4 Studi Pendahuluan yang Sudah Dilaksanakan

Proposal ini telah didahului oleh beberapa penelitian yang berkaitan yaitu:

- a. Penelitian Tugas Akhir Mahasiswa tahun 2014 yang berjudul “**Pengembangan Sistem Pemantauan Kondisi Mesin Frais Menggunakan Aplikasi Thermovision Real-Time**“ dimana Yanuar Burhanuddin sebagai pembimbing.
- b. Penelitian Tugas Akhir Mahasiswa tahun 2015 yang berjudul “**Analisis Konsumsi Energi Listrik Pada Mesin Frais Universal Milko 12 Dengan Variasi Parameter Pemesinan** “ dimana Yanuar Burhanuddin sebagai pembimbing (Hermanto dkk, 2018)

Peta jalan (roadmap) penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Peta Jalan Penelitian Penelitian Pemantauan Konsumsi Energi Mesin Perkakas

BAB III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

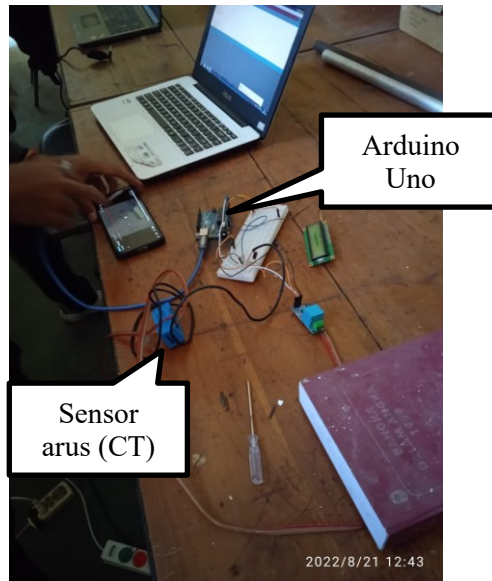
Penelitian ini akan dilakukan dalam 6 bulan yaitu dari bulan Mei 2022 sampai dengan Oktober 2022. Penelitian akan dilakukan di CV. Master Engineering, Karawang dan Politeknik Sugar Group, Lampung Tengah.

3.2 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan empiris untuk mengkarakterisasi energi konsumsi proses dan mesin EDM. Ada empat tahapan yang akan dijalankan pada penelitian ini yaitu:

Tahap 1 membuat desain eksperimen. Semua variabel konsumsi energi didaftar dan dikelompokkan menjadi variabel kontrol dan variabel diukur (respon). Selanjutnya ditentukan berapa taraf (level) masing-masing variabel kontrol. Selanjutnya dibuat berapa banyak percobaan yang akan dilakukan. Dalam penelitian ini akan dilakukan percobaan sebanyak $3 \times 3 \times 2 \times 2 = 36$ percobaan

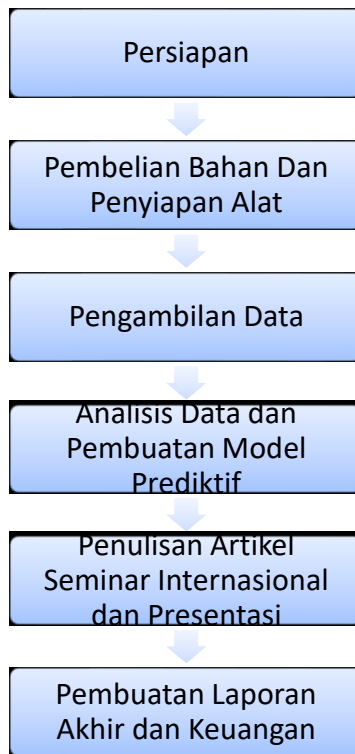
Tahap 2 Melakukan eksperimen. Dalam rangka menilai konsumsi energi oleh peralatan mesin perlu untuk mengukur listrik dipakai oleh mesin perkakas selama proses pemesinan tahapan berbeda. Amperemeter/Wattmeter terhubung ke data logger, kemudian membuat setup pengukuran yang digunakan untuk mengukur arus dan daya pada setiap motor listrik yang ada. Setup pengukuran dilengkapi dengan tampilan digital dari daya yang dikonsumsi dan yang bisa dicatat sebagai fungsi waktu oleh PC (lihat Gambar 2). Kemudian setup pengukuran suhu mesin dipasang. Setup pengukuran menggunakan kamera termografi yang terhubung ke komputer. Informasi suhu dan citra suhu mesin perkakas kemudian disimpan dalam komputer. Pengambilan data dilaksanakan pada mesin perkakas EDM yaitu dengan tiga keadaan: mesin hidup (idle), mesin hidup dengan meja digerakkan tanpa memotong, *mesin hidup dengan memotong*



Gambar 2 Perangkat pencuplik data arus

Tahap 3 Pemodelan dan Analisis Regresi. Analisis dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif. Analisis kualitatif melalui pendekatan pemrosesan citra suhu. Analisis kuantitatif dikerjakan dengan menggunakan statistik (rata-rata dan analisis ragam). Fungsi estimasi digunakan untuk mendapatkan model paling-baik (best-fit) untuk setiap variabel.

Tahap 4 Validasi Model. Kombinasi variabel proses baru digunakan untuk menguji validitas model prediksi konsumsi energi. Kemudian galat prediksi dihitung.



Gambar 2 Diagram alir seluruh tahapan penelitian

Kegiatan	Bulan ke-					
	1	2	3	4	5	6
Studi Literatur						
Persiapan bahan dan alat						
Pembuatan sistem termograf dan setup mesin						
Pengambilan data arus/daya						
Analisis dan pembuatan model prediktif konsumsi energi mesin perkakas						
Seminar internasional						
Publikasi ke jurnal ilmiah						
Penyusunan laporan						

Gambar 3 Jadwal penelitian

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Penelitian

Hasil pencuplikan data arus pada elektroda dan pada terminal masuk dapat dilihat pada tabel 1 dan 2. Kemudian plot data tersebut dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6.

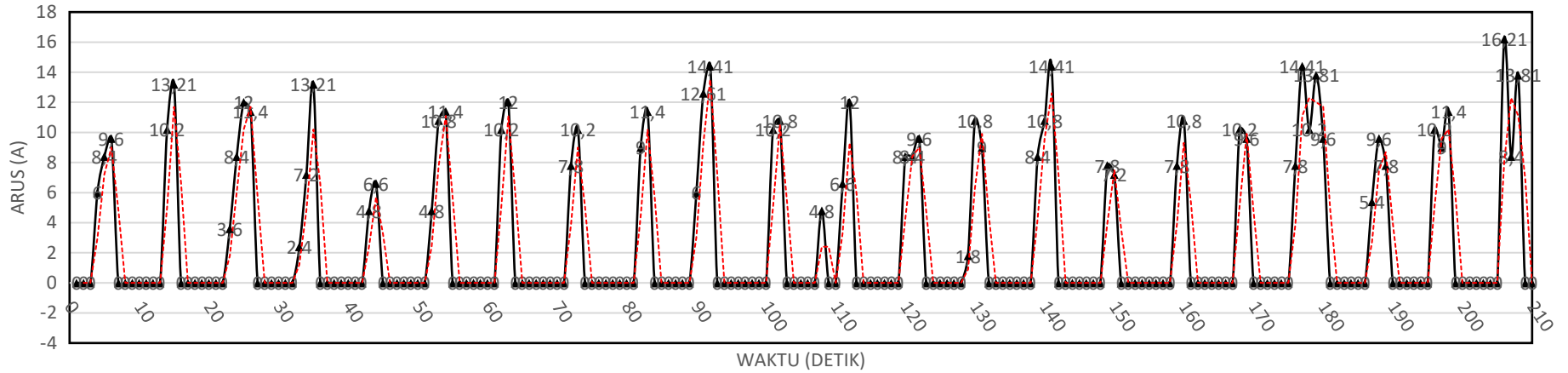
Tabel 1 Data Arus pada Elektroda (in process)

Waktu (ms)	Arus (A)	Waktu (ms)	Arus (A)	Waktu (ms)	Arus (A)	Waktu (ms)	Arus (A)	Waktu (ms)	Arus (A)
1	0	41	0	81	0	121	8,4	161	0
2	0	42	0	82	9	122	9,6	162	0
3	0	43	4,8	83	11,4	123	0	163	0
4	6	44	6,6	84	0	124	0	164	0
5	8,4	45	0	85	0	125	0	165	0
6	9,6	46	0	86	0	126	0	166	0
7	0	47	0	87	0	127	0	167	0
8	0	48	0	88	0	128	0	168	10,2
9	0	49	0	89	0	129	1,8	169	9,6
10	0	50	0	90	6	130	10,8	170	0
11	0	51	0	91	12,61	131	9	171	0
12	0	52	4,8	92	14,41	132	0	172	0
13	0	53	10,8	93	0	133	0	173	0
14	10,2	54	11,4	94	0	134	0	174	0
15	13,21	55	0	95	0	135	0	175	0
16	0	56	0	96	0	136	0	176	7,8
17	0	57	0	97	0	137	0	177	14,41
18	0	58	0	98	0	138	0	178	10,2
19	0	59	0	99	0	139	8,4	179	13,81
20	0	60	0	100	0	140	10,8	180	9,6
21	0	61	0	101	10,2	141	14,41	181	0
22	0	62	10,2	102	10,8	142	0	182	0
23	3,6	63	12	103	0	143	0	183	0
24	8,4	64	0	104	0	144	0	184	0
25	12	65	0	105	0	145	0	185	0
26	11,4	66	0	106	0	146	0	186	0
27	0	67	0	107	0	147	0	187	5,4
28	0	68	0	108	4,8	148	0	188	9,6
29	0	69	0	109	0	149	7,8	189	7,8
30	0	70	0	110	0	150	7,2	190	0
31	0	71	0	111	6,6	151	0	191	0
32	0	72	7,8	112	12	152	0	192	0
33	2,4	73	10,2	113	0	153	0	193	0
34	7,2	74	0	114	0	154	0	194	0
35	13,21	75	0	115	0	155	0	195	0
36	0	76	0	116	0	156	0	196	10,2
37	0	77	0	117	0	157	0	197	9
38	0	78	0	118	0	158	0	198	11,4
39	0	79	0	119	0	159	7,8	199	0
40	0	80	0	120	8,4	160	10,8	200	0

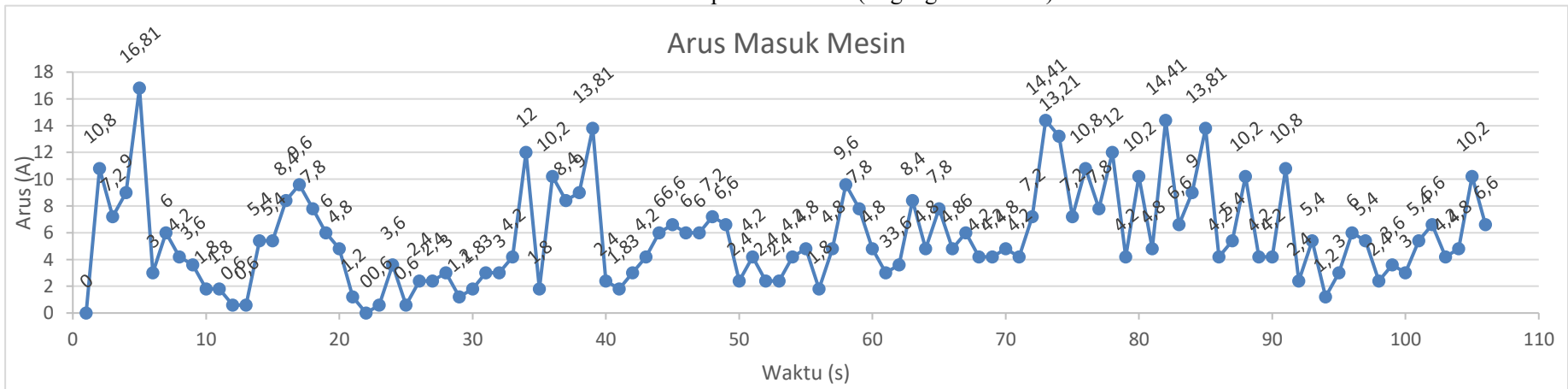
Tabel 2 Data Arus Pada Terminal Masuk

Waktu (ms)	Arus (A)	Waktu (ms)	Arus (A)	Waktu (ms)	Arus (A)	Waktu (ms)	Arus (A)
1	0	26	2,4	51	4,2	76	10,8
2	10,8	27	2,4	52	2,4	77	7,8
3	7,2	28	3	53	2,4	78	12
4	9	29	1,2	54	4,2	79	4,2
5	16,81	30	1,8	55	4,8	80	10,2
6	3	31	3	56	1,8	81	4,8
7	6	32	3	57	4,8	82	14,41
8	4,2	33	4,2	58	9,6	83	6,6
9	3,6	34	12	59	7,8	84	9
10	1,8	35	1,8	60	4,8	85	13,81
11	1,8	36	10,2	61	3	86	4,2
12	0,6	37	8,4	62	3,6	87	5,4
13	0,6	38	9	63	8,4	88	10,2
14	5,4	39	13,81	64	4,8	89	4,2
15	5,4	40	2,4	65	7,8	90	4,2
16	8,4	41	1,8	66	4,8	91	10,8
17	9,6	42	3	67	6	92	2,4
18	7,8	43	4,2	68	4,2	93	5,4
19	6	44	6	69	4,2	94	1,2
20	4,8	45	6,6	70	4,8	95	3
21	1,2	46	6	71	4,2	96	6
22	0	47	6	72	7,2	97	5,4
23	0,6	48	7,2	73	14,41	98	2,4
24	3,6	49	6,6	74	13,21	99	3,6
25	0,6	50	2,4	75	7,2	100	3

Arus Elektroda On-process



Gambar 5 Plot arus pada elektroda (Tegangan DC 24V)



Gambar 5 Plot arus pada terminal masuk (Tegangan AC 380 V)

Untuk mendapatkan persamaan prediksi, data arus dianalisis menggunakan Metode Runtun Waktu (*Time Series*). Dari beberapa teknik runtun waktu yang digunakan adalah *Autoregressive Moving Average* (ARMA). Pendugaan parameter model ARMA menggunakan persamaan Yule-Walker. Untuk Persamaan model ARMA(1,2) berdasarkan estimasi Yule-Walker yang dapat ditulis sebagai berikut:

$$Y_t = (2+\phi_1) Y_{t-1} - (1+2\phi_1)Y_{t-2} + \phi_1 Y_{t-3} + \varepsilon_t$$

Nilai ϕ_1 didapatkan dari nilai *autocorrelation function* (ACF)

$$\phi_1 = 0,754$$

Maka persamaan prediksi yang didapatkan

$$Y_t = (2+0,754) Y_{t-1} - (1+2 \times 0,754)Y_{t-2} + 0,754 Y_{t-3} + \varepsilon_t$$

$$\boxed{Y_t = 2,754 Y_{t-1} - 2,58 Y_{t-2} + 0,754 Y_{t-3} + \varepsilon_t}$$

Perhitungan konsumsi daya:

$$Y_{201} = 2,754 \cdot 0 - 2,58 \cdot 0 + 0,754 \cdot 11,4 = 8,596 \text{ A} \times 12 \text{ V} = 103,15 \text{ W}$$

$$Y_{202} = 2,754 \cdot 8,596 - 2,58 \cdot 0 + 0,754 \cdot 0 = 23,67 \text{ A} \times 12 \text{ V} = 284,15 \text{ W}$$

$$Y_{203} = 2,754 \cdot 23,67 - 2,58 \cdot 8,596 + 0,754 \cdot 0 = 43,095 \text{ A} \times 12 \text{ V} = 517,18 \text{ W}$$

DAFTAR PUSTAKA

- Jeffrey B. Dahmus & Timothy G. Gutowski. 2004. An Environmental Analysis of Machining. Proceedings of IMECE2004 pp 1 – 10.
- Wen Li, André Zein, Sami Kara & Christoph Herrmann. 2011. An Investigation into Fixed Energy Consumption of Machine Tools. Proceedings of the 18th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering
- Nancy Diaz, Moneer Helu, Stephen Jayanathan, Yifen Chen, Arpad Horvath, David Dornfeld. 2010. Environmental Analysis of Milling Machine Tool Use in Various Manufacturing Environments. Laboratory for Manufacturing and Sustainability, UC Berkeley Research Report.
- Nancy DIAZ, Seungchoun CHOI, Moneer HELU, Yifen CHEN, Stephen JAYANATHAN, Yusuke YASUI, Daeyoung KONG, Sushrut PAVANASKAR & David DORNFELD. 2010. Machine Tool Design and Operation Strategies for Green Manufacturing. Proceedings of 4th CIRP International Conference on High Performance Cutting,
- K.H. Ho, S.T. Newman. 2003. State of the art electrical discharge machining (EDM). International Journal of Machine Tools & Manufacture 43 (2003) 1287–1300.
- Gutowski T, Dahmus J, Thiriez A. Electrical energy requirements for manufacturing processes. Proceedings of 13th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, Leuven, Belgium 2006; 560-564.
- Wen Li, Sami Kara. 2015. Characterising Energy Efficiency of Electrical Discharge Machining (EDM) Processes. Procedia CIRP 29 (2015) 263 – 268
- S. Humphrey, H. Papadopoulos, B. Linke, Sindhu Maiyyac, Athulan Vijayaraghavanc, R. Schmitt. 2014. Power measurement for sustainable high-performance manufacturing processes. Procedia CIRP 14 (2014) 466 – 471
- Jorg E. Franke, Tobias Maier, Franziska Schafer & Michael F. Zaeh. 2012. Experimental Evaluation of the Thermal Machine Tool Behavior for Model Updating. Int. J. of Automation Technology Vol.6 No.2
- Clough, David A, Fletcher, Simon, Longstaff, Andrew P. and Willoughby, Peter (2012) Thermal Analysis for Condition Monitoring of Machine Tool Spindles. Journal of Physics: Conference Series, 364 (364). ISSN 1742-6596
- D.R Hermanto, Y Burhanuddin, S Harun, G.A Ibrahim. 2018. Analisis Konsumsi Energi Listrik Universal Milling Machine Pada Berbagai Keadaan Operasi dan Parameter Pemesinan. MECHANICAL 9 (1), 28-32.

Tabel. 1. Pembagian tugas tim penelitian

No	Nama/NIDN	Instansi Asal	Bidang Ilmu	Alokasi Waktu (jam/minggu)	Uraian Tugas
1	Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T/0006056402	Jurusan Teknik Mesin Unila	Teknik Produksi/Manufaktur	10	Koordinasi penelitian merancang percobaan membuat laporan akhir membuat laporan keuangan membuat makalah jurnal
2	Hadi Prayitno, S.T, M.T./0014058809	Jurusan Teknik Mesin Unila	Konversi Energi	10	merancang perangkat akusisi data mensupervisi mahasiswa menganalisis data
3	Mahasiswa (2 orang)	Jurusan Teknik Mesin Unila	Teknik Produksi/Manufaktur	10	mengambil data membantu menganalisis data membantu membuat laporan akhir dan keuangan

Rincian Anggaran dan Biaya (RAB) Riset

1. Pengadaan alat dan bahan penelitian

Nama Alat	Kegunaan	Jumlah satuan	Harga satuan (Rp.)	Biaya (Rp.)
Sensor inframerah	Deteksi radiasi inframerah dan perekam citra	1 unit	4500000	4500000
Data Logger(4 port)	Akusisi data	1 unit	550000	550000
NVidia VGA Card	Pemroses citra	1 unit	800000	800000
Data recorder 2TB	Penyimpanan data citra	1 unit	1500000	1500000
Digital Clampmeter with USB port	Pengukur arus listrik	1 unit	1500000	1500000
Batang bulat baja SS 316L		1 batang	500000	500000
Elektroda Cu		1batang	500000	500000
Elektroda Grafit		1batang	500000	500000
JUMLAH (1)				10350000

2. Biaya perjalanan penelitian

Tujuan	Keperluan	Frekuensi	Rincian	Biaya (Rp.)
Lampung-Poltek Sugar pp	Pengambilan Data	5	500000	2500000
Lampung-Jakarta pp	Presentasi Proposal dan Hasil	1	1000000	1000000
JUMLAH (2)				3500000

3. Analisis Data

Sewa software MATLAB	Analisis	3 bulan	500000	1500000
Jasa Analisis		3 bulan	1000000	3000000
JUMLAH (3)				4500000

4. Sewa Peralatan

Nama Alat	Kegunaan	Jumlah satuan	Harga satuan (Rp.)	Biaya (Rp.)
Sewa mesin EDM	Objek penelitian	1 unit 4 bulan	250000	1000000
JUMLAH (4)				1000000

5. Alat tulis kantor/bahan habis pakai

Nama bahan	Jumlah satuan	Harga satuan(Rp.)	Biaya (Rp.)
Bahan habis komputer (tinta printer)	ls	450000	450000
Alat Tulis Kantor (kertas, CD,	ls	200000	200000
Pemeliharaan, perbaikan kerusakan peralatan	ls	500000	500000
JUMLAH (3)			1150000

6. Laporan/diseminasi hasil penelitian/publikasi

Jenis pengeluaran	Biaya (Rp.)
Publikasi jurnal nasional	1000000
Makalah seminar internasional	3500000
JUMLAH (5)	4500000

Jumlah anggaran penelitian total = Rp 25.000.000,-

