

**ANALISIS KONSUMSI ENERGI LISTRIK PADA MESIN
FRAIS UNIVERSAL MILKO 12 DENGAN
VARIASI PARAMETER PEMESINAN**

(Skripsi)

**Oleh
DIMAS RIZKY HERMANTO**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2016**

ABSTRAK

ANALISIS KONSUMSI ENERGI LISTRIK PADA MESIN FRAIS UNIVERSAL MILKO 12 DENGAN VARIASI PARAMETER PEMESINAN

Oleh

Dimas Rizky Hermanto

Konsumsi energi listrik industri manufaktur akan terus meningkat seiring tingginya permintaan konsumen terhadap produk hasil pemesinan yang melibatkan operasi mesin-mesin perkakas. Besarnya energi listrik yang dikonsumsi mesin perkakas dapat dipengaruhi oleh parameter proses yang digunakan. Dalam prosesnya, energi listrik yang dikonsumsi tersebut sebagian besar ditransformasi menjadi panas akibat gesekan komponen mekanik mesin yang bergerak dan proses pemotongan material. Untuk mengetahui total energi yang dikonsumsi dan pengaruhnya terhadap suhu proses dan pemotongan tersebut, perlu adanya pemantauan konsumsi daya dan termografi secara *real-time*. Dengan melakukan kedua metode pemantauan tersebut secara bersamaan maka profil energi pada mesin frais Universal Milko 12 dapat dianalisa. Pengukuran konsumsi energi listrik dilakukan dengan menggunakan *Clamp-on Multimeter* dan sistem pemantau arus berbasis mikrokontroler arduino dengan data akusisi diharapkan dapat mempermudah proses pemantauan konsumsi daya selama proses. Selain itu data hasil pemantauan suhu proses dan pemotongan dengan kamera termal dapat mempermudah dalam melihat perilaku termal mesin dan suhu pemotongan baja karbon SS400. Sesuai dengan latar belakang dan tujuan dilakukannya penelitian maka didapatkan hasil, bahwa konsumsi daya dan temperatur mesin meningkat seiring waktu proses dan peningkatan kecepatan *spindle*. Pada kondisi pemotongan, peningkatan kedalaman potong menyebabkan peningkatan temperatur dan konsumsi daya pemotongan. Untuk pengaruh kecepatan spindle dan gerak meja pada penelitian ini, didapatkan bahwa pada kecepatan spindle yang rendah, dengan kenaikan kecepatan gerak meja akan menaikkan suhu pemotongan dan konsumsi daya.

Kata Kunci : Parameter pemesinan, termografi, konsumsi energi

ABSTRACT

ELECTRICAL ENERGY CONSUMPTION ANALYSIS OF UNIVERSAL MILKO 12 MILLING MACHINE WITH MACHINING PARAMETER VARIATION

By

Dimas Rizky Hermanto

The electrical energy consumption in manufacturing industry would continue to increase as the increasing of machine tool operation in machining of various product. The amount of electrical energy which is consumed by the machine tools were affected by the used process parameter. In a process, the consumed electrical energy were transformed to heat as caused by the friction of mechanical component movement and the material cutting process. To investigate the amount of consumed energy and the effect to the temperature and cutting process, power monitoring and thermography should be done in a real-time process. By doing these two monitoring methods at the same time, the energy profile of Universal Milko 12 milling machine can be analyzed. The measurement of electrical energy used the clamp-on multimeter and the current monitoring system based on arduino microcontroller. The system was equipped with data acquisition device therefore the monitoring process more easier to be run. Beside that, the using of thermal camera made the observation of machine tool behaviour and cutting temperature of low carbon steel SS400 easier. In line to the background and the aim of this research, the experiment result showed that the power consumption and the machine temperature increased proportionally to the time of process and the increase of spindle speed. In a machining condition, the increment of the depth of cut caused increasing the temperature and the cutting power consumption. While the increasing of spindle speed and the table speed in this research, at low spindle speed and higher table speed, showed the increasing of cutting temperature and power consumption.

Keywords : Machining Parameter, Thermography, Energy Consumption

**ANALISIS KONSUMSI ENERGI LISTRIK PADA MESIN
FRAIS UNIVERSAL MILKO 12 DENGAN
VARIASI PARAMETER PEMESINAN**

**Oleh
DIMAS RIZKY HERMANTO**

**Skripsi
Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK
Pada**

**Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2016**

Judul Skripsi

: **ANALISIS KONSUMSI ENERGI LISTRIK PADA
MESIN FRAIS UNIVERSAL MILKO 12 DENGAN
VARIASI PARAMETER PEMESINAN**

Nama Mahasiswa

: **Dimas Rizky Hermanto**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1115021022

Program Studi

: Teknik Mesin

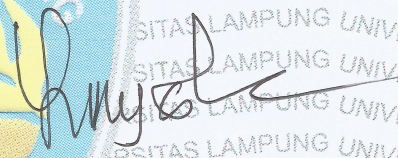
Fakultas

: Teknik

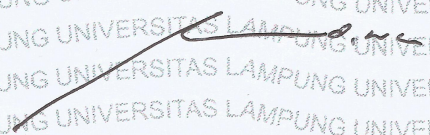
MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing


Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T.
NIP. 19640506 200003 1 001


Dr. Eng. Suryadiwansa Harun, S.T., M.T.
NIP. 19700501 200003 1 001

2. Ketua Jurusan Teknik Mesin


Ahmad Su'udi, S.T., M.T.
NIP. 19740816 200012 1 001

MENGESAHKAN

1. **Tim Penguji**

Ketua

: Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T.

Anggota

: Dr. Eng. Suryadiwansa Harun, S.T., M.T.

Penguji

Bukan Pembimbing

: Tarkono, S.T., M.T.

2. **Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung**

Prof. Suharno, M.S., M.Sc., Ph.D.

NIP 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 29 Agustus 2016



PERNYATAAN PENULIS

SKRIPSI INI DIBUAT BERDASARKAN HASIL PENELITIAN YANG DILAKUKAN OLEH PENULIS SENDIRI DAN BUKAN HASIL PLAGIAT SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 27 PERATURAN AKADEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN SURAT KEPUTUSAN REKTOR NO.3187/H26/DT/2010.



YANG MEMBUAT PERNYATAAN

Handwritten signature of Dimas Rizky Hermanto.

DIMAS RIZKY HERMANTO
NPM.1115021022

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Lampung Tengah pada tanggal 13 Mei 1993, sebagai anak ke-empat dari empat bersaudara, dari pasangan Bapak Ir. Hi. Herman Riyanto dan Hj. Herwinningrum.

Penulis menyelesaikan pendidikan taman Kanak-kanak (TK) Satya Dharma Sudjana II pada tahun 1999, pendidikan Sekolah Dasar Negeri 2 PT GMP pada tahun 2005, Sekolah lanjutan Tingkat Pertama Negeri 8 Bandarlampung diselesaikan pada tahun 2008, Sekolah Menengah Atas Negeri 9 Bandarlampung diselesaikan pada tahun 2011, dan pada tahun 2011 juga penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur Penelusuran Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai Kepala Divisi Kreativitas pada tahun 2013 sampai 2014. Penulis menjadi asisten praktikum Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika (TTLE), Instrumen Dasar Kendali, dan Mekatronika pada tahun 2012-2014.

Penulis melakukan Kerja praktek di PT. Bukit Asam (PERSERO) Tbk. Unit Pelabuhan Tarahan, Panjang, Bandar Lampung pada tahun 2014 dengan mengambil judul “*Analisis Getaran Untuk Mengetahui Kerusakan Motor-Land Unit Mesin Conveyor CLT-012*”. Pada tahun 2015-2016 Penulis menjadi asisten praktikum proses produksi (Proses Pemesinan). Penulis menjadi finalis dalam ajang Pekan Ilmiah Mahasiswa Nasional ke-28 (PIMNAS) yang diselenggarakan oleh Kementrian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi (RISTEKDIKTI) di Universitas Halu Oleo, Kendari, Sulawesi Tenggara pada tahun 2015 untuk bidang kegiatan Program Kreativitas Mahasiswa - Karsa Cipta (PKM-KC) dengan judul “*SCOOTRASH (Scoop Trash Portable System)*”. Pada tahun 2016 penulis mengambil konsentrasi tugas akhir pada bidang produksi dan melakukan penelitian dengan judul “*Analisis Konsumsi Energi Listrik Pada Mesin Frais Universal Milko 12 Dengan Variasi Parameter Pemesinan*” dengan pembimbing pertama Bapak Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T. , pembimbing kedua Bapak Dr. Eng. Suryadiwansa Harun, M.T. , dan penguji Bapak Tarkono, S.T.,M.T .

*Dengan Kerendahan Hati meraih Ridho Illahi Robbi Kupersembahkan Skripsi ini
untuk orang-orang yang aku sayangi*

Ibu dan ayahku

*Atas Segala pengorbanan yang tak terbalaskan, doa, kesabaran, keikhlasan, cinta
dan kasih sayangnya*

Kakak dan Keponakanku

Sumber inspirasi, semangat, keceriaan dan kebanggan dalam hidupku

Keluarga Besar Penulis

Terima kasih atas segala doa yang telah diberikan kepada saya

Sahabat Setia Penulis

*Yang selalu memberi semangat dan berdiri tegap disampingku saat suka maupun
duka, berbagi nasihat dan keceriaan*

Teman-teman Seperjuangan Penulis

Mesin '11

Selamanya saya ucapkan salam solidarity forever

Almamater Tercinta

MOTTO

“Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah nasib suatu kaum hingga mereka mengubah diri mereka sendiri”

(QS. Ar-Ra’d : 11)

“Dan jadilah dirimu manusia yang kebal terhadap cobaan dan ancaman , namun sifat perilakumu tetap pemaaf dan setia”

(Imam Syafi’i (w: 204H))

“Terima dan jalani pilihan yang telah menjadi keputusan dan tanggung jawab mu dengan ikhlas, tanpa keluhan, ketakutan dan rasa putus asa”

(Penulis)

“If you want to be a star, in any sky, you should be able to shine”

(Penulis)

SANWACANA

Bismillahirrahmanirrohim

Assalamu'alaikum Warahmatullaahi Wabarakatuh

Dengan mengucapkan “Alhamdulillah Robbil Alamin” penulis mengungkapkan rasa syukur yang sangat besar kepada Allah SWT yang selalu memberikan kasih sayang, pertolongan, kemudahan, serta rahmat yang tak terhingga, sehingga skripsi yang diberi judul “*Analisis Konsumsi Energi Listrik Pada Mesin Frais Universal Milko 12 Dengan Variasi Parameter Pemesinan*” dapat terselesaikan dengan baik. Shalawat dan salam semoga senantiasa tercurah kepada junjungan nabi besar Muhammad SAW beserta keluarga dan para sahabatnya.

Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung. Dalam Pelaksanaan dan Penyusunan skripsi ini, penulis banyak menerima bimbingan, bantuan, saran, semangat, serta doa dari berbagai pihak. Oleh sebab itu penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT beserta Nabi dan Rasulnya atas berkat dan rahmat kepada penulis selama hidupnya.
2. Kedua Orangtuaku tercinta dan tersayang: Ibu Herwinningrum dan Bapak Herman Riyanto yang tak henti-hentinya memberikan dukungan moril dan materilnya serta doa yang tiada henti serta kasih sayangnya yang tulus.

3. Kakakku tersayang mas Iratmo Ulin Hermawan, Mba ita, Adzra, Akhyar, Akhdan, mas Dian Putra Agrika, mba Endah, Fira dan Farel, mba Irvina Vartesia Linda, mas Dhimas, salsa, Tante Dina, Alin, Diaz dan Dani yang menjadi sumber inspirasi dan semangat untuk cepat menyelesaikan kuliah di Teknik Mesin ini, cepat mendapatkan pekerjaan, dan membanggakan semua.
4. Bapak Ahmad Su'udi, S.T, M.T. selaku ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung yang juga pernah menjadi pembahas saat penulis melakukan kerja praktek hingga pembuatan laporan.
5. Bapak Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T. selaku pembimbing Utama tugas akhir atas kesediaannya dan keikhlasannya untuk memberikan dukungan, bimbingan, nasehat, saran, dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini.
6. Bapak Dr. Eng. Suryadiwansa Harun selaku dosen Pembimbing kedua yang telah memberikan banyak waktu, ide, serta pengarahannya dalam penyusunan laporan ini.
7. Bapak Tarkono, S.T.,M.T selaku dosen Pembahas yang telah memberikan masukan guna penyempurnaan dalam penulisan laporan ini.
8. Bapak Martinus, ST., M.SC dan Bapak Dr Lukmanul Hakim ST., M.SC yang telah mengajarkan bidang ilmu mekatronika kepada penulis dan menjadi pembimbing saat mengikuti PKM hingga menjadi finalis PIMNAS ke-28.
9. Bapak Mohammad Badaruddin, Ph. D selaku dosen Pembimbing Akademik Penulis yang memberikan nasihat, bimbingan dan dukungan selama kuliah.

10. Seluruh Dosen pengajar Jurusan Teknik Mesin yang banyak memberikan ilmu selama penulis melaksanakan studi, baik berupa materi perkuliahan maupun tauladan dan motivasi sehingga dapat kami jadikan bekal untuk terjun ke tengah-tengah masyarakat.
11. Seluruh Asisten lab dan Jurusan : Pak Pono, Pak Joko, Pak Agus, Mas Wanto, Mas Agus Motor Bakar, Mas Giman, Mas Marta dan Mas Dadang terimakasih atas bantuan, saran dan canda tawanya.
12. Sahabat tercinta penulis lahir dan batin Widowati Pusparini, Mustika Adzania Lestari, Novindio Dwi Arnanda Putra, Reza Mahesa Paksi, Frian Daniel dan Genadi Aryawan yang selalu ada, memotivasi selalu saling membahagiakan satu sama lain.
13. Sahabat Setia Tim Produksi mas Salpa Ade Nugraha, mba Rabiah, mbah sai'in, mas ramadhani, yai Dwi Novriadi, Yai Feri, Pak Fajar, Mas Imron, Siswanto, Eko Wahyu, Muhdi, Wahyu, Rifai, dan Ipul atas ilmu, semangat, bantuan, hiburan, canda tawa dan kekuatan yang diberikan kepada penulis.
14. Kerabat dekat Mesin dan Elektro Panji Mario Leksono, M Faisal Yamin, Jessi Tiasuti, Budi Tri Utami, Harry Christianto, Ahmad Kurniawan Purga Choirudin Dwi Jaya, Habib, Gusmau, Ghata, yang telah membantu, memotivasi dan memberikan kenangan manis selama kuliah.
15. Komti Yudi Setiawan dan Rekan-rekan Teknik mesin angkatan 2011 lainnya yang tidak bisa disebutkan satu persatu, terimakasih atas persahabatannya dan juga bantuannya salam "SOLIDARITY FOREVER".

16. Semua pihak yang tidak mungkin penulis sebutkan namanya satu persatu, yang telah ikut serta membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis telah berusaha semaksimal mungkin dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini untuk mencapai suatu kelengkapan dan kesempurnaan. Penulis juga mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak. Akhirnya dengan segala kerendahan hati penulis berharap laporan ini memberi manfaat, baik kepada penulis khususnya maupun kepada pembaca pada umumnya.

Wassalamu'alaikum Warahmatullaahi Wabarakatuh

Bandar Lampung, Oktober 2016

Penulis

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Dh' followed by a stylized 'H' and a horizontal line.

Dimas Rizky Hermanto

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan	4
C. Batasan Masalah	5
E. Sistematika Penulisan	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Definisi Manufaktur	9
B. Pemesinan.....	10
C. Proses Pemesinan Frais.....	12
D. Mesin Perkakas.....	12
E. Mesin Frais	13
1. Klasifikasi mesin frais.....	13
2. Komponen Utama Mesin Frais <i>column and knee</i>	15
F. Daya Pemesinan (<i>Machining Power</i>)	18
G. Konsumsi Energi Mesin Perkakas.....	20
H. Rantai Transmisi Energi Proses Pemesinan.....	25
I. Pengukuran Daya Mesin Perkakas.....	26
1. Multimeter	28

2. <i>Clamp-on Multimeter</i>	28
J. Pemantauan Kondisi (<i>Condition Monitoring</i>)	29
1. Analisis Getaran	31
2. <i>Acoustic Emission Testing</i>	31
3. <i>Ultrasound Condition Monitoring</i>	32
4. <i>Infrared Thermography</i>	33
5. <i>Lubrication Oil Analysis</i>	33
K. Termografi Inframerah (<i>Infrared Thermography</i>)	34
L. <i>Thermal Imager</i>	36

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian.....	38
B. Diagram Alir Penelitian.....	39
C. Alat dan Bahan Penelitian	41
1. Alat dan Bahan Sistem Pemantau arus dan Tegangan.....	41
2. Alat dan Bahan Proses pengujian	45
D. Pembuatan Sistem Pemantau Arus dan Tegangan	50
1. Desain Logika Kontrol	50
2. Rangkaian Pengukur Tegangan	51
3. Rangkaian Pengukur Arus	51
4. Pembuatan Perangkat Keras	52
5. Pembuatan <i>listing program</i>	52
6. Pengujian Sistem	54
E. Penentuan Parameter Proses Pemesinan	55
F. Prosedur Penelitian	55
1. <i>Set-Up</i> Peralatan eksperimen/ penelitian	55
2. Pengambilan data	56
3. Analisa Data	59

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Pemantau Arus dan Tegangan	60
1. Data Arus	62
2. Data Tegangan	63
B. Data Hasil Percobaan	65
1. Kondisi Idle	65
a. 30 menit waktu idle	65
b. 5 menit waktu idle	79
c. 2,5 menit waktu idle	89
2. Kondisi Idle Meja Bergerak.....	99
a. 20 mm/menit	99
b. 145 mm/menit	114
c. 365 mm/menit	126
3. Kondisi Pemesinan	138
a. 20 mm/menit	138
b. 145 mm/menit	163
c. 365 mm/menit	181

V. PENUTUP

A. Simpulan	199
B. Saran	201

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Jadwal Penelitian.....	38
2. Spesifikasi Mesin frais Universal Milko 12.....	45
3. Spesifikasi kamera inframerah	47
4. Spesifikasi Clamp-On Multimeter.....	48
5. Parameter pemesinan.....	55
6. Variabel penelitian.....	56
7. Tabel data percobaan kondisi Idle.....	57
8. Tabel data percobaan kondisi idle meja bergerak.....	58
9. Tabel data percobaan kondisi melakukan pemotongan.....	58
10. Data Pemantauan Nilai Arus.....	62
11. Data Pemantauan Nilai Tegangan.....	64
12. Konsumsi Daya Total 30 Menit Idle Spindle.....	76
13. Temperatur spindle arbor waktu idle 30 menit.....	78
14. Konsumsi Daya Total 5 Menit Idle Spindle.....	86
15. Temperatur spindle arbor waktu idle 5 menit.....	87
16. Konsumsi Daya Total 2,5 Menit Idle Spindle.....	96
17. Temperatur spindle arbor waktu idle 2,5 menit.....	98
18. Konsumsi Daya Idle meja bergerak 20 mm/menit.....	111
19. Temperatur spindle idle meja bergerak 20 mm/menit.....	113
20. Konsumsi Daya Idle meja bergerak 145 mm/menit.....	123
21. Temperatur spindle idle meja bergerak 145 mm/menit.....	125
22. Konsumsi Daya Idle meja bergerak 365 mm/menit.....	134

23.	Temperatur spindle idle meja bergerak 365 mm/menit.....	136
24.	Konsumsi Daya Pemesinan 20 mm/menit.....	157
25.	Temperatur Pemotongan 20 mm/menit.....	159
26.	Konsumsi Daya Pemesinan 145 mm/menit.....	173
27.	Temperatur Pemotongan 145 mm/menit.....	176
28.	Konsumsi Daya Pemesinan 365 mm/menit.....	192
29.	Temperatur Pemotongan 365 mm/menit.....	194

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Klasifikasi Proses Manufaktur.....	9
2. Klasifikasi proses pemesinan.....	10
3. Jenis-jenis proses pemesinan	11
4. Bentuk komponen hasil pemesinan frais	12
5. <i>Plain Milling & Face Milling</i>	13
6. <i>Up Milling & Down Milling</i>	13
7. <i>Horizontal Milling Machine & Vertical Milling Machine</i>	14
8. Komponen utama mesin frais <i>column and knee</i>	18
9. Diagram energi dan input output material proses manufaktur	21
10. Diagram alir konsumsi daya mesin perkakas	21
11. Grafik daya pemesinan terhadap waktu	24
12. Grafik proses pemesinan terhadap waktu	24
13. Faktor-faktor konsumsi energi total mesin perkakas	26
14. Multimeter digital.....	28
15. <i>Digital Clamp-On Multimeter</i>	29
16. <i>Vibration Analysis</i>	31
17. <i>Acoustic Emission Testing</i>	32
18. <i>Ultrasound condition monitoring</i>	32
19. <i>Infrared thermography</i>	33
20. <i>Lubrication oil analysis</i>	33
21. <i>Thermal image</i> proses pemesinan.....	36

22.	Proses konversi energi inframerah.....	37
23.	<i>Thermal Imager</i>	37
24.	Diagram alir penelitian.....	40
25.	Arduino Mega 2560 <i>Board</i>	41
26.	Arduino Mega <i>Proto Shield rev 3</i>	42
27.	<i>Current Transformer Sensor</i> SCT013-030.....	42
28.	Transformator.....	43
29.	<i>Stereo jack socket</i> 3,5mm.....	43
30.	Lcd 20x4.....	44
31.	Rangkaian Komparator.....	44
32.	Mesin frais Universal Milko 12.....	46
33.	Pahat end-mill HSS.....	47
34.	Kamera Inframerah.....	48
35.	Mastech MS2115B <i>Clamp-on Multimeter</i>	48
36.	Digital Tachometer DT2234A.....	49
37.	Digital Thermometer Krisbow KW0600283.....	49
38.	Termometer Inframerah Lutron TM-2000.....	50
39.	Rancangan sistem pemantauan arus dan gangan.....	51
40.	Rangkaian pengukur nilai tegangan AC.....	51
41.	Rangkaian pengukur nilai Arus AC.....	52
42.	Arduino 1.6.9 Software.....	53
43.	PLX-DAQ Software.....	53
44.	Alat Pemantau Arus dan Tegangan Berbasis Arduino.....	60
45.	LCD Display Alat pemantau Arus.....	61
46.	Data Akusisi PLX-DAQ.....	61
47.	Grafik Daya Idle spindle 128 rpm ; 20 mm/menit.....	66
48.	Gambar termal idle spindle 128 rpm 30 menit.....	68
49.	Grafik Daya Idle spindle 910 rpm; 20 mm/menit.....	69
50.	Gambar termal idle spindle 910 rpm 30 menit.....	71
51.	Grafik Daya Idle spindle 1700 rpm; 20 mm/menit.....	73

52.	Gambar termal idle spindle 1700 rpm 30 menit:.....	75
53.	Grafik Konsumsi Daya Waktu Idle 30 Menit.....	76
54.	Grafik Temperatur Spindle Arbor 30 Menit.....	78
55.	Grafik Daya Idle spindle 128 rpm; 145 mm/menit.....	79
56.	Gambar termal idle spindle 128 rpm 5 menit:.....	80
57.	Grafik Daya Idle spindle 910 rpm; 145 mm/menit.....	81
58.	Gambar termal idle spindle 910 rpm 5 menit.....	82
59.	Grafik Daya Idle spindle 1700 rpm; 145 mm/menit.....	84
60.	Gambar termal idle spindle 1700 rpm 5 menit.....	85
61.	Grafik Konsumsi Daya Waktu Idle 5 Menit.....	87
62.	Grafik Temperatur Spindle Arbor 5 Menit Idle.....	87
63.	Grafik Daya Idle spindle 128 rpm; 365 mm/menit.....	89
64.	Gambar termal idle spindle 128 rpm 2,5 menit.....	90
65.	Grafik Daya Idle spindle 910 rpm; 365 mm/menit.....	91
66.	Gambar termal idle spindle 910 rpm 2,5 menit.....	92
67.	Grafik Daya Idle spindle 1700 rpm;365 mm/menit.....	94
68.	Gambar termal idle spindle 1700 rpm 2,5 menit.....	95
69.	Grafik Konsumsi Daya Waktu Idle 2,5 Menit.....	97
70.	Grafik Temperatur Spindle Arbor 2,5 Menit Idle.....	98
71.	Grafik Daya Idle Gerak Meja 128 rpm; 20 mm/menit.....	100
72.	Gambar termal idle meja bergerak 128 rpm 20 mm/menit.....	103
73.	Grafik Daya Idle Gerak Meja 910 rpm;20 mm/menit.....	104
74.	Gambar termal idle meja bergerak 910 rpm 20 mm/menit.....	106
75.	Grafik Daya Idle Gerak Meja 1700 rpm;20 mm/menit.....	108
76.	Gambar termal idle meja bergerak 1700 rpm 20 mm/menit.....	110
77.	Grafik Konsumsi Daya Idle Meja Bergerak 20 mm/menit.....	112
78.	Grafik Temperatur Spindle Idle Gerak Meja 20 mm/min.....	113
79.	Idle meja bergerak 128 rpm; 145 mm/menit.....	115
80.	Gambar termal idle meja bergerak 128 rpm ; 145 mm/menit.....	117
81.	Idle meja bergerak 910 rpm ; 145 mm/menit.....	118

82.	Gambar termal idle meja bergerak 910 rpm ; 145 mm/menit.....	120
83.	Idle meja bergerak 1700 rpm ; 145 mm/menit.....	121
84.	Gambar termal idle meja bergerak 1700 rpm ; 145 mm/menit.....	122
85.	Grafik Konsumsi Daya Idle Meja Bergerak 145 mm/menit.....	124
86.	Grafik Temperatur Spindle Idle Meja Bergerak 145 mm/menit.....	125
87.	Grafik Daya Rata-Rata Idle Meja Bergerak 128 rpm ; 365 mm/menit.....	126
88.	Gambar termal idle meja bergerak 128rpm ; 365 mm/menit.....	128
89.	Idle meja bergerak 910 rpm ; 365 mm/menit.....	129
90.	Gambar termal idle meja bergerak 910 rpm ; 365 mm/menit.....	130
91.	Idle meja bergerak 1700 rpm ; 365 mm/menit.....	132
92.	Gambar termal idle meja bergerak 1700 rpm ; 365 mm/menit.....	133
93.	Grafik Konsumsi Daya Idle Meja Bergerak 365 mm/menit.....	135
94.	Grafik Temperatur Spindle Idle Meja Bergerak 365 mm/menit.....	136
95.	Kondisi Pemesinan 128 rpm ; 20 mm/menit.....	139
96.	Temperatur pemotongan kedalaman 0,5 mm 128 rpm, 20 mm/menit.....	142
97.	Temperatur pemotongan kedalaman 1 mm 128 rpm, 20 mm/menit.....	143
98.	Temperatur pemotongan kedalaman 1,5 mm 128 rpm, 20 mm/menit.....	143
99.	Kondisi Pemesinan 910 rpm ; 20 mm/menit.....	145
100.	Temperatur pemotongan kedalaman 0,5 mm 910 rpm, 20 mm/menit.....	148
101.	Temperatur pemotongan kedalaman 1 mm 910 rpm, 20 mm/menit.....	148
102.	Temperatur pemotongan kedalaman 1,5 mm 910 rpm, 20 mm/menit.....	149
103.	Kondisi Pemesinan 1700 rpm ; 20 mm/menit.....	151
104.	Temperatur pemotongan kedalaman 0,5 mm 1700 rpm, 20 mm/menit.....	154
105.	Temperatur pemotongan kedalaman 1 mm 1700 rpm, 20 mm/menit.....	155
106.	Temperatur pemotongan kedalaman 1,5 mm 1700 rpm, 20 mm/menit.....	155
107.	Grafik Konsumsi Daya Pemesinan 20 mm/menit.....	157
108.	Grafik Temperatur Pemotongan Kecepatan 128 rpm ; 20 mm/menit.....	160
109.	Grafik Temperatur Pemotongan Kecepatan 910 rpm ; 20 mm/menit.....	161
110.	Grafik Temperatur Pemotongan Kecepatan 1700 rpm ; 20 mm/menit.....	162

111.	Kondisi Pemesinan 128 rpm ; 145 mm/menit.....	163
112.	Temperatur pemotongan kedalaman 0,5 mm 128 rpm, 145 mm/menit.....	164
113.	Temperatur pemotongan kedalaman 1 mm 128 rpm, 145 mm/menit.....	165
114.	Temperatur pemotongan kedalaman 1,5 mm 128 rpm, 145 mm/menit.....	166
115.	Kondisi Pemesinan 910 rpm ; 145 mm/menit.....	166
116.	Temperatur pemotongan kedalaman 0,5 mm 910 rpm, 145 mm/menit.....	168
117.	Temperatur pemotongan kedalaman 1 mm 910 rpm, 145 mm/menit.....	168
118.	Temperatur pemotongan kedalaman 1,5 mm 910 rpm, 145 mm/menit.....	169
119.	Kondisi Pemesinan 1700 rpm ; 145 mm/menit.....	170
120.	Temperatur pemotongan kedalaman 0,5 mm 1700 rpm, 145 mm/menit.....	171
121.	Temperatur pemotongan kedalaman 1 mm 1700 rpm, 145 mm/menit.....	172
122.	Temperatur pemotongan kedalaman 1,5 mm 1700 rpm, 145 mm/menit.....	172
123.	Grafik Konsumsi Daya Pemesinan 145 mm/menit.....	174
124.	Grafik Temperatur Pemotongan Kecepatan 128 rpm ; 145 mm/menit.....	177
125.	Grafik Temperatur Pemotongan Kecepatan 910 rpm ; 145 mm/menit.....	178
126.	Grafik Temperatur Pemotongan Kecepatan 1700 rpm ; 145 mm/menit.....	179
127.	Kondisi Pemesinan 128 rpm ; 365 mm/menit.....	181
128.	Temperatur pemotongan kedalaman 0,5 mm 128 rpm, 365 mm/menit.....	183
129.	Temperatur pemotongan kedalaman 1 mm 128 rpm, 365 mm/menit.....	184
130.	Temperatur pemotongan kedalaman 1,5 mm 128 rpm, 365 mm/menit.....	184
131.	Kondisi Pemesinan 910 rpm ; 365 mm/menit.....	185
132.	Temperatur pemotongan kedalaman 0,5 mm 910 rpm, 365 mm/menit.....	187
133.	Temperatur pemotongan kedalaman 1 mm 910 rpm, 365 mm/menit.....	188
134.	Temperatur pemotongan kedalaman 1,5 mm 910 rpm, 365 mm/menit.....	188
135.	Kondisi Pemesinan 1700 rpm ; 365 mm/menit.....	189
136.	Temperatur pemotongan kedalaman 0,5 mm 1700 rpm, 365 mm/menit..	190
137.	Temperatur pemotongan kedalaman 1 mm 1700 rpm, 365 mm/menit.....	191
138.	Temperatur pemotongan kedalaman 1,5 mm 1700 rpm, 365 mm/menit...	191
139.	Grafik Konsumsi Daya Pemesinan 365 mm/menit.....	193

140.	Grafik Temperatur Pemotongan Kecepatan 128 rpm ; 365 mm/menit.....	196
141.	Grafik Temperatur Pemotongan Kecepatan 910 rpm ; 365 mm/menit.....	197
142.	Grafik Temperatur Pemotongan Kecepatan 1700 rpm ; 365 mm/menit.....	198

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sektor industri hingga saat ini merupakan sektor yang mendominasi konsumsi energi di Indonesia, di mana persentasenya mencapai 49,4 persen dari total konsumsi Energi Nasional. Industri di Indonesia yang menggunakan energi sebagian besarnya merupakan industri yang berbasis manufaktur (Kementerian ESDM, 2012). Beberapa tahun terakhir konsumsi energi khususnya industri manufaktur menjadi hal yang ramai dibicarakan seiring meningkatnya total biaya produksi dan juga dampak lingkungan dari pembangkit energi yang menggunakan sumber energi tak terbarukan seperti bahan bakar fosil baik minyak bumi ataupun batu bara.

Besarnya nilai konsumsi energi dalam industri manufaktur dikarenakan proses pembuatan produk manufaktur untuk dapat beroperasi dilakukan dengan bantuan peralatan dan mesin yang memerlukan energi. Sedangkan hampir seluruh proses produksi pembuatan produk manufaktur melakukan proses pemesinan (Zulhendri, 2007). Proses pemesinan (*machining process*) merupakan proses pembentukan suatu produk melalui pemotongan dengan cara membuang bagian benda kerja yang tidak digunakan menjadi geram (*chips*), sehingga terbentuk benda kerja yang diinginkan.

Proses pemesinan dengan menggunakan prinsip pemotongan logam salah satunya menggunakan mesin perkakas (Widarto 2008). Lebih dari 50% energi global dikonsumsi oleh mesin perkakas untuk memproduksi berbagai jenis komponen dalam sebuah industri manufaktur (Holkup, 2013). Konsumsi energi tersebut dapat semakin meningkat seiring produksi yang terus menerus dilakukan mesin perkakas (Skoczynski, 2013).

Secara garis besar energi input dalam suatu proses pemesinan (energi listrik) ditransformasikan menjadi kerja berguna, dalam perwujudan bentuk komposisi produk, limbah serta panas buang (Gutowski, 2004). Salah satu cara umum dalam penelitian untuk mengidentifikasi konsumsi energi input tersebut serta memperoleh pengukuran yang optimal yaitu dengan menganalisa profil energi mesin mesin perkakas (Hermann.C, 2009). Untuk dapat mengetahui profil energi mesin perakas tersebut perlu adanya suatu pemantauan (*monitoring*).

Selain sebagai salah satu metode perawatan kondisi mesin yang bersifat preventif, *monitoring* juga bertujuan untuk mengetahui karakteristik operasi mesin. Suatu proses produksi perlu di *monitoring* secara *real time* untuk mendapatkan kualitas, kecepatan, efisiensi yang optimum. Observasi visual, pendengaran dan sentuhan merupakan salah satu teknik pemantauan kondisi yang mampu mengetahui keadaan kondisi mesin. Namun dalam banyak kasus, kemampuan manusia sangat terbatas dalam mendeteksi adanya perubahan minor. Untuk itulah dikembangkan berbagai metode seperti pemantauan vibrasi, analisis akustik, analisis motor, analisis termografi,

tribology, pemantauan parameter proses, dan teknik pengujian nondestruktif lainnya (Satmoko, 2007).

Salah satu yang sedang dikembangkan saat ini adalah pemantauan kondisi mesin dengan *infrared thermography* (IRT). Metode ini termasuk dalam *nondestructive testing* (NDT) atau pengujian/ pemeriksaan tanpa merusak. Pada kinerjanya, IRT menghasilkan citra termal (*thermal image*) yang mengindikasikan mesin normal atau tidak normal. *Thermal imaging* merupakan komponen penting untuk membantu menjaga operasi manufaktur yang layak dan aman (Montgomery, 2010). Diagnosa kerusakan mesin serta pengaruhnya terhadap konsumsi energi dapat dilakukan dengan mengevaluasi pola gambar yang dihasilkan akibat transformasi energi input menjadi panas buang. Metode ini didasarkan pada kenyataan sebagian besar komponen di dalam suatu sistem akan menunjukkan kenaikan atau penurunan suhu jika terjadi malfungsi (Widodo, 2008).

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Koritawa (2015) mengenai pengembangan sistem pemantauan kondisi mesin frais dengan termografi menggunakan aplikasi *thermovision real time* menunjukkan bahwa kondisi mesin saat melakukan pemotongan memiliki distribusi panas yang lebih banyak dibandingkan tidak melakukan pemotongan. Aplikasi *thermovision realtime* menunjukkan bahwa distribusi suhu paling besar terjadi pada daerah motor mesin frais. Hal tersebut mungkin saja mengindikasikan bahwa konsumsi energi input ditransformasikan menjadi panas buang pada tiap komponen energi paling banyak dikonsumsi oleh motor mesin frais.

Namun konsumsi energi tidak hanya dapat diukur dari transformasi energi input menjadi panas buang saja. Pemantauan konsumsi daya dalam proses juga diperlukan untuk mengetahui besarnya konsumsi energi listrik saat mesin beroperasi.

Oleh sebab itu penulis melakukan penelitian tugas akhir dengan tema **ANALISIS KONSUMSI ENERGI LISTRIK PADA MESIN FRAIS UNIVERSAL MILKO 12 DENGAN VARIASI PARAMETER PEMESINAN**. Sebagai penelitian lanjutan untuk mengetahui hubungan antara *Thermal image* yang ditangkap serta parameter-parameter proses pemotongan pada Mesin frais Universal Milko 12, terhadap konsumsi energi listrik yang dibutuhkan.

B. Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat sistem pemantau arus dan tegangan untuk mengukur konsumsi daya mesin frais Universal Milko 12 pada variasi parameter pemesinan.
2. Mengetahui pengaruh variasi parameter pemesinan terhadap konsumsi energi listrik mesin frais Universal Milko 12.
3. Mengetahui pengaruh variasi parameter pemesinan terhadap profil temperatur mesin dan proses pemotongan.
4. Mengetahui hubungan antara konsumsi energi listrik terhadap profil temperatur mesin dan proses pemotongan.

C. Batasan Masalah

Batasan masalah yang ditentukan penulis dalam laporan ini adalah :

1. Penelitian dilakukan pada Mesin frais Universal Milko 12
2. Proses pemesinan dilakukan dengan *dry machining*/ tanpa pendingin
3. Benda kerja yang digunakan adalah baja SS 400
4. Bahan pahat yang digunakan adalah *HSS (high speed steel)*
5. Variasi pemesinan meliputi *feedrate, depth of cut, dan spindle speed*
6. Pemantauan termografi hanya dilakukan pada mesin dan saat proses *pemotongan*
7. Pemantauan arus menggunakan sensor SCT-030A dan *clamp-on multimeter*

D. Sistematika penulisan

Penulisan tugas akhir ini disusun menjadi lima bab. Adapun sistematika penulisannya sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Latar belakang penelitian menjelaskan tentang perkembangan industri manufaktur yang semakin mendominasi konsumsi energi nasional dan berdampak terhadap lingkungan serta peningkatan total biaya produksi. Hampir seluruh proses produksi pembuatan produk manufaktur melakukan proses pemesinan. Seluruh proses pemesinan tersebut harus dituntut efisien mungkin untuk meminimalisir konsumsi energi.

Untuk menjaga nilai efisiensi mesin perlu dilakukan pemantauan (*monitoring*) sebagai langkah perawatan prediktif. Salah satu metode yang dapat memantau konsumsi energi suatu mesin adalah analisis termografi.

Distribusi panas yang dideteksi oleh kamera inframerah dapat menjadi evaluasi pengukuran konsumsi energi mesin perkakas. Untuk memperkuat akusisi data yang didapat dari metode termografi tersebut perlu diketahui hubungan antara parameter-parameter proses pemotongan pada Mesin frais tersebut terhadap konsumsi energi listrik yang dibutuhkan. Dengan demikian pengukuran energi listrik (*Power*) pada kabel listrik mesin dengan beberapa parameter pemesinan menjadi tujuan dalam tugas akhir ini. Pada penelitian ini ditekankan pada beberapa pokok subjek yang terdapat di batasan masalah.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Pada Bab II berisikan uraian yang dijadikan sebagai landasan teori untuk mendukung penelitian ini. Subbab pertama pada bab ini adalah penjelasan ringkas terkait definisi proses manufaktur dan beberapa teknologi dalam pembuatan produk manufaktur. Berikutnya pada sub bab pemesinan dijelaskan beberapa klasifikasi teknologi proses pemesinan. Pada subbab Proses pemesinan frais dijelaskan definisi serta jenis komponen hasil pemesinan frais. Pada sub bab berikutnya yaitu Pada subbab mesin perkakas dijelaskan definisi dan fungsi operasi mesin perkakas yang digunakan dalam industri manufaktur. Pada subbab mesin frais dijelaskan definisi fungsi, jenis mesin frais berdasarkan klasifikasinya, serta bagian bagian utama mesin frais. Pada subbab Daya Pemesinan (*Machining Power*) membahas

mengenaidaya yang dibutuhkan oleh mesin perkakas saat beroperasi serta bagaimana menghitung daya pemesinan dalam persamaan pengukuran daya.

Pada subbab konsumsi energi mesin perkakas berisi penjelasan konsumsi energi serta diagram alir konsumsi energi mesin perkakas. Pada subbab rantai transmisi energi proses pemesinan dijelaskan mengenai faktor faktor yang mengkonsumsi daya utama saat proses pemesinan. Pada sub bab pengukuran daya mesin perkakas dijelaskan bagaimana melakukan pengukuran energi listrik mesin perkakas dengan menggunakan alat ukur serta metode untuk menganalisa konsumsi energi mesin perkakas. Pada subbab pemantauan kondisi dijelaskan berbagai jenis metode pemantauan kondisi untuk mesin-mesin produksi. Pada sub bab termografi inframerah dijelaskan definisi serta aplikasi termografi pada mesin perkakas. Pada sub bab *thermal imager* dijelaskan mengenai definisi serta proses *thermal imager* menampilkan gambar *thermal*.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Tempat dan waktu penelitian serta alat dan bahan akan dikemukakan pada bab ini. Kemudian terdapat penjelasan rinci mengenai metode penelitian. Dalam subbab metode penelitian akan dijelaskan tahapan proses pengambilan data secara rinci dengan parameter yang sudah ditentukan dan dijelaskan juga pengolahan data yang diambil pada saat percobaan dilakukan.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang berisikan uraian hasil dan membahas data yang diperoleh dari penelitian dalam bentuk tabel dan grafik. Dilengkapi juga dengan analisa pada semua kecenderungan data yang diperoleh dari pengujian yang dilandasi kajian teori ilmiah.

BAB V : PENUTUP

Pada bab ini diuraikan intisari terhadap semua analisa dan percobaan, termasuk saran yang berisi uraian informasi, untuk dilakukan pada penelitian selanjutnya. Hal tersebut bertujuan agar penelitian selanjutnya dapat melakukan pengembangan penelitian yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

Daftar Pustaka yang berisikan kumpulan referensi yang dijadikan sumber bahan acuan dalam penulisan laporan tugas akhir ini.

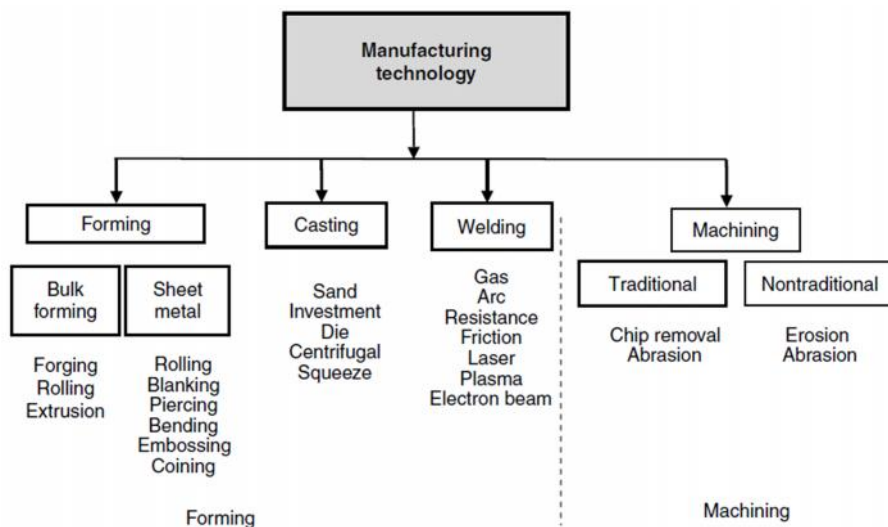
LAMPIRAN

Pada Lampiran data-data yang mendukung penelitian serta gambar sebagai bahan pelengkap dalam laporan tugas akhir ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Definisi Manufaktur

Manufaktur berasal dari bahasa latin *Manufactus*, yang berarti mengerjakan dengan tangan atau proses pembuatan produk dengan tangan /manual. Dalam definisi modern manufaktur dapat diartikan sebagai proses pembuatan produk dari bahan baku dengan berbagai proses dengan menggunakan perkakas tangan, bantuan mesin atau komputer yang dikerjakan secara otomatis penuh tetapi tetap melalui pengawasan secara manual (Singh, 2006). Proses Manufaktur adalah suatu aktivitas industri yang mengubah bentuk bahan mentah (*raw materials*) menjadi produk. Gambar 1 menunjukkan beberapa teknologi dalam pembuatan produk manufaktur diantaranya yaitu *plastic forming, casting, welding, dan machining technologies*. (Youssef, 2008).

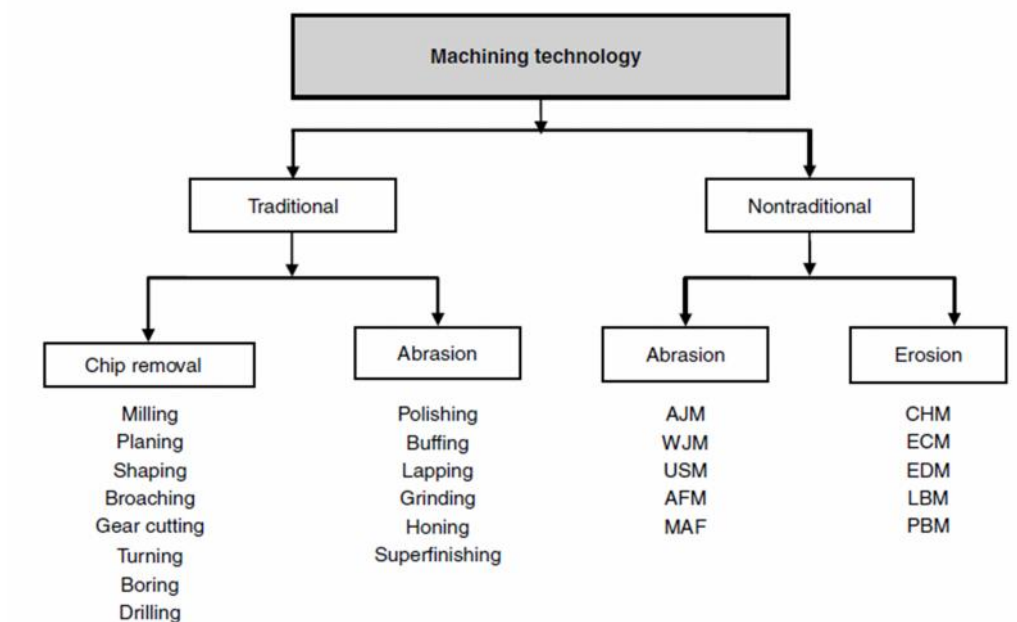


Gambar 1. Klasifikasi Proses Manufaktur (Youssef, 2008)

B. Pemesinan

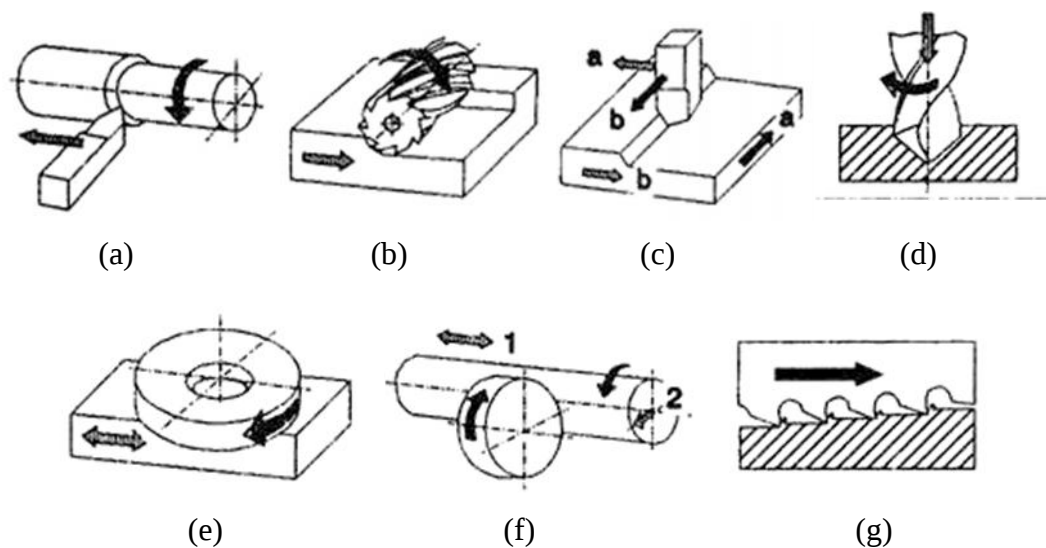
Pemesinan adalah suatu proses produksi dengan menggunakan mesin perkakas dengan memanfaatkan gerakan relatif antara pahat dengan benda kerja sehingga menghasilkan suatu produk sesuai dengan hasil geometri yang diinginkan. Pada proses ini terdapat sisa dari pengerjaan produk yang biasa disebut geram (Widarto,2008).

Proses pemesinan dilakukan dengan berbagai mesin perkakas untuk tujuan umum pengerjaan yang melibatkan banyak operasi, termasuk pembuangan geram dan teknik abrasi dengan teknik tradisional maupun nontradisional. Gambar 2 merupakan klasifikasi teknologi proses pemesinan dalam manufaktur (Youssef, 2008).



Gambar 2. Klasifikasi proses pemesinan (Youssef, 2008)

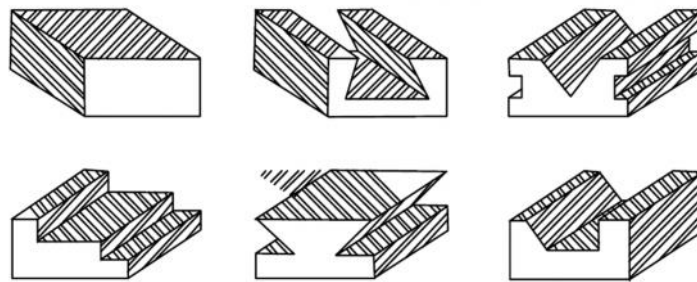
Proses pemesinan dapat diklasifikasikan dalam dua klasifikasi besar yaitu proses pemesinan untuk membentuk benda kerja silindris atau konis dengan benda kerja atau pahat berputar, dan proses pemesinan untuk membentuk benda kerja permukaan datar tanpa memutar benda kerja seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Klasifikasi yang pertama meliputi proses bubut dan variasi proses yang dilakukan dengan menggunakan mesin bubut, mesin gurdi (*drilling machine*), mesin frais (*milling machine*), mesin gerinda (*grinding machine*). Klasifikasi kedua meliputi proses sekrap (*shaping planing*), proses slot (*slotting*), proses menggergaji (*sawing*), dan proses pemotongan roda gigi (*gear cutting*) (Widarto, 2008).



Gambar 3. Jenis-jenis proses pemesinan : (a) Bubut (*Turning/Lathe*), (b) Frais (*Milling*), (c) Sekrap (*Planing, Shaping*), (d) Gurdi (*Drilling*), (e) Gerinda Permukaan (*Surface Grinding*), (f) Gerinda silindrik, (g) Gergaji (Widarto, 2008)

C. Proses Pemesinan Frais

Proses pemesinan frais (*milling*) adalah proses penyayatan benda kerja menggunakan alat potong dengan mata pisau jamak yang berputar. Mata pisau jamak tersebut berputar pada kecepatan tinggi melawan benda kerja dan membuang logam (*geram*) sangat cepat dengan banyak variasi sudut pemotongan. Proses penyayatan dengan gigi potong yang banyak tersebut dapat menghasilkan proses pemesinan yang lebih cepat, sehingga proses frais banyak di aplikasikan dalam proses produksi. Jenis komponen hasil pemesinan frais ditunjukkan pada gambar 4 (Singh, 2006).



Gambar 4. Bentuk komponen hasil pemesinan frais (Singh, 2006)

D. Mesin Perkakas

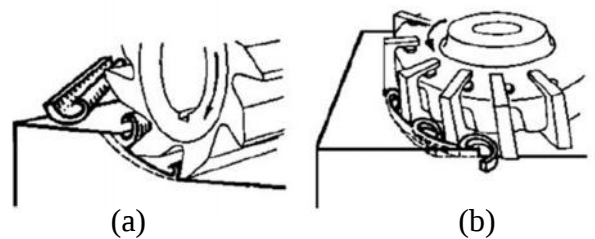
Mesin perkakas adalah peralatan industri yang digunakan untuk memproduksi mesin, instrumen, alat, dan segala macam suku cadang. Setiap mesin perkakas mampu melakukan beberapa operasi mesin untuk menghasilkan bagian yang diperlukan dengan akurasi dan integritas permukaan tertentu. Selain itu, mesin perkakas tujuan khusus digunakan untuk membuat roda gigi mesin, dan bentuk tidak teratur lainnya (Widarto, 2008).

E. Mesin Frais

Mesin frais merupakan salah satu mesin perkakas yang digunakan untuk pengerjaan proses pemesian. Secara umum mesin frais didefinisikan sebagai mesin perkakas yang berfungsi untuk pengerjaan datar atau perataan benda kerja. Terdapat beberapa klasifikasi operasi mesin frais yang digunakan dalam industri manufaktur diantaranya yaitu (Singh, 2006) :

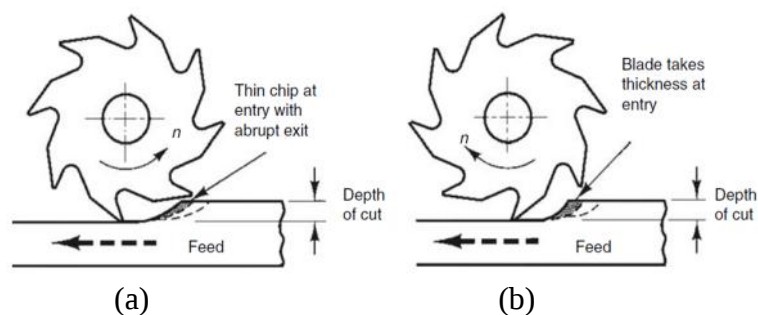
1. Klasifikasi Mesin Frais

- a. Berdasarkan posisi *cutter* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5, operasi Mesin frais dapat diklasifikasikan menjadi *peripheral (plain) milling* dan *face (end) milling*.



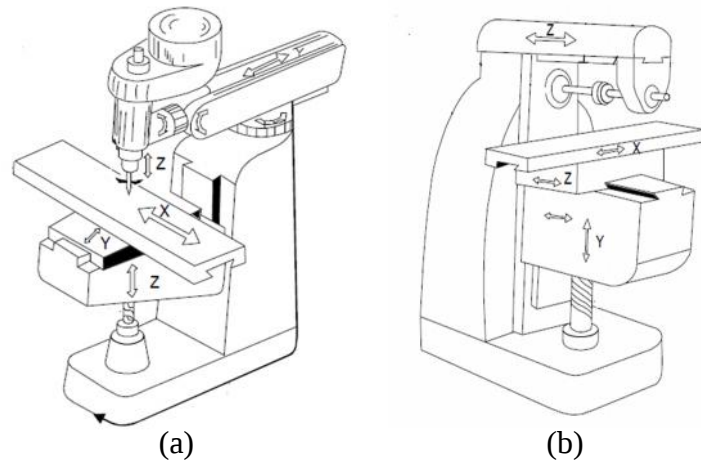
Gambar 5. (a) *Plain milling* ; (b) *face milling*. (Youssef, 2008)

- b. Berdasarkan rotasi *cutter* terhadap pergerakan benda kerja, *peripheral milling* diklasifikasikan menjadi *up-milling* dan *down-milling*.



Gambar 6. (a) *Up-Milling* ; (b) *Down-Milling* (Youssef, 2008)

- c. Berdasarkan jenis *column* and *knee* mesin frais dapat diklasifikasikan menjadi *Horizontal column and knee type milling machine* dan tipe *Vertical column and knee milling machine* :



Gambar 7. (a) *Horizontal milling machine*, (b) *Vertical milling machine*
(Singh, 2006)

- d. Mesin frais juga diklasifikasikan berdasarkan *bedtype*, *planer-type milling machines* dan *Rotary-table milling machine*.
- e. Berdasarkan kendali operasi nya Mesin Frais dapat dikendalikan secara mekanis (konvensional manual) dan ada yang dengan bantuan CNC. Mesin konvensional manual posisi spindelnya ada dua macam yaitu horisontal dan vertikal. Sedangkan Mesin Frais dengan kendali CNC hampir semuanya adalah mesin frais vertikal (Widarto, 2008).

Sebagian besar mesin frais terdiri dari beberapa komponen utama yang merupakan bagian dari operasi mesin frais itu sendiri. Komponen-komponen utama tersebut antara lain yaitu (Youssef, 2008) :

2. Komponen Utama Mesin Frais *column and knee*

a. *Base*

Base merupakan pondasi yang menopang badan/tiang serta seluruh komponen mesin frais. Pada beberapa mesin, base memiliki rongga sebagai tempat fluida pemotongan.

b. *Column* (Tiang)

Column merupakanudukan utama atau badan mesin dimana komponen mesin frais yang terpasang secara vertikal dari *base* sekaligus rumah dari mekanisme penggerak untuk *spindle* dan *table feed*. *Column* membentuk bagian utama dari mesin frais, memberikan dukungan untuk bagian lain seperti *knee*, *saddle* dan meja.

c. *Knee*

Merupakan bagian mesin untuk menopang / menahan meja yang memiliki mekanisme gerak pemakanan (*feed*) mesin. *Knee* terpasang di depan *Column* dan dirancang untuk dapat dipindahkan ke atas atau bawah dengan cara digeser melalui sebuah sekrup.

d. *Saddle*

Saddle terletak diatas *knee* dan dapat bergeser 90° dari *column* (tiang) yang berfungsi sebagai jalur gerak meja.

e. *Table* (Meja)

Meja melekat di bagian atas *saddle*. Meja dapat dipindahkan dari kiri ke kanan, maju dan mundur. Pada mesin frais universal, meja juga dapat berputar 450 ke kiri atau kanan. Meja digunakan untuk memegang benda kerja saat sedang dilakukan proses pemesinan. Benda kerja dapat dijepit langsung ke permukaan meja atau dengan menggunakan perangkat lain yang telah melekat pada meja. Pada permukaan meja ada *tee-slot* yang digunakan untuk menjepit perangkat penggenggam benda kerja, seperti *fixtures*, kepala pembagi dll. Meja terbuat dari besi cor.

f. *Spindle*

Spindle digunakan untuk menahan, dan mendorong pahat atau benda kerja serta memiliki kekakuan, akurasi rotasi, dan ketahanan aus tingkat tinggi. Baja karbon sedang mengandung 0,5% C digunakan untuk membuat spindle dengan kekerasan permukaan sekitar 40 Rockwell (HRC). *Spindle* biasanya dibuat berongga dan dilengkapi dengan internal lancip di ujung untuk mengakomodasi pusat dari pahat.

g. Motor Penggerak

Motor berfungsi menggerakkan sistem penggerak seperti spindle utama, meja (*feeding*) dan pompa pendingin (*cooling*). Pada mesin frais manual sedikitnya terdapat 3 buah motor :

1. Motor *spindle* utama (*main motor spindle*)
2. Motor gerakan pemakanan (*feeding*)
3. Motor pendingin (*cooling*)

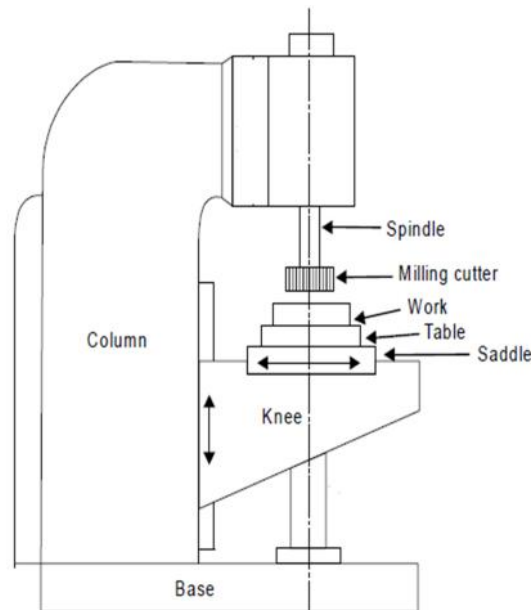
Sebagian besar motor mesin perkakas beroperasi pada tiga fase standar 50 Hz, 400/440 V suplai AC. Motor listrik yang digunakan pada mesin perkakas memiliki kriteria yang sesuai dengan fungsi serta kebutuhan sistem mesin perkakas. Kriteria tersebut meliputi *power supply* yang digunakan (AC/DC), karakteristik kelistrikan motor, fitur mekanis yang meliputi pemasangan, transmisi *drive*, tingkat kebisingan, jenis pendinginan, dan kapasitas *Overload*.

h. Transmisi

Merupakan bagian mesin yang menghubungkan motor penggerak dengan yang digerakkan. Berdasarkan bagian yang digerakkan dibedakan menjadi dua macam yaitu transmisi *spindle* utama dan Transmisi *feeding*. Berdasarkan sistem transmisinya dibedakan menjadi dua macam yaitu transmisi *gear box* dan Transmisi *v-belt*.

i. Sistem Kendali

Merupakan pengatur dari bagian – bagian mesin yang bergerak. Ada dua sistem Panel kendali yaitu mekanik dan elektrik.



Gambar 8. Komponen utama mesin trais *column and knee* (Singh, 2006).

F. Daya Pemesinan (*Machining Power*)

Gutowski et al menyatakan bahwa energi yang dibutuhkan dalam proses *Material removal* dapat sangat kecil dibandingkan dengan energi total untuk operasi mesin perkakas. Beberapa proses pemesinan hanya dibutuhkan untuk pemotongan yang tipis dimana sebenarnya mesin memiliki kebutuhan daya yang besar. Sehingga konsumsi energi selama *non production time* juga dapat menjadi besar dan harus diminimalisir (Rajemi, 2010).

Daya yang dibutuhkan oleh mesin perkakas terbatas berdasarkan kemampuan pemotongan yang dapat dilakukan. Ketika banyak logam yang harus dibuang dari benda kerja maka peningkatan konsumsi daya mesin akan mencapai maksimal sehingga perlu diperhitungkan. Oleh karena itu pengetahuan kebutuhan daya operasi pemesinan sangat berguna dalam perancangan,

pengoptimalan operasi pemesinan, serta pengembangan spesifikasi mesin perkakas (*Machinery's Handbook*, 2004).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Gutowski, Kebutuhan daya listrik, P untuk pemesinan dapat dihitung dengan persamaan 1 berikut :

$$P = P_0 + k \dot{V} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana, P adalah daya (W) yang dikonsumsi oleh proses pemesinan, P_0 adalah daya (W) yang dikonsumsi oleh seluruh komponen mesin saat operasi pada *Zero Load / idle* (tidak melakukan pemotongan), k adalah kebutuhan energi spesifik (Ws / mm^3) saat operasi pemotongan dan $\dot{V}$ adalah *Material Removal Rate* atau MRR (mm^3/s). Berdasarkan Persamaan 1, kebutuhan energi untuk proses pemesinan bergantung pada konsumsi daya dan energi spesifik dalam operasi pemotongan. Daya total untuk pemesinan dibagi menjadi dua yaitu *idle power* (P_0) dan *machining power* ($k \dot{V}$). *Idle Power* adalah daya yang diperlukan untuk fitur komponen mesin, sebagai contoh daya untuk menghidupkan komputer dan kipas, motor, coolant pump dll. Daya yang konsumsi mesin perkakas menggunakan motor listrik tiga Fasa dapat dihitung dengan persamaan 2.

$$P = V \cdot I \cdot \sqrt{3} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana V , adalah tegangan dan I adalah arus (A).

Energi yang dibutuhkan untuk proses pemesinan, (E) dapat disimpulkan dari konversi persamaan 1 (daya) kedalam persamaan 3 (energi) (Rajemi, 2010).

$$E = (P_0 + k \dot{V}) t \dots \dots \dots (3)$$

Dimana t adalah waktu pemesinan dalam satuan detik (s)

Mesin perkakas mentransmisikan daya dari motor penggerak ke benda kerja dimana digunakan untuk memotong bahan. Persamaan 5 dapat digunakan untuk menghitung Konsumsi Daya motor dalam inch atau SI (*Machinery's Handbook*, 2004)

$$P_c = K_p C Q W \dots\dots\dots(4)$$

$$P_m = \frac{P_c}{E} = \frac{K_p C Q W}{E} \dots\dots\dots(5)$$

Dimana P_c = Daya (*Power*) Pahat ; hp atau kW

P_m = Daya (*Power*) Motor ; hp atau kW

K_p = Daya konstan

Q = *Metal removal rate* (MRR); in³/min atau cm³/s

C = Faktor pemakanan untuk daya konstan

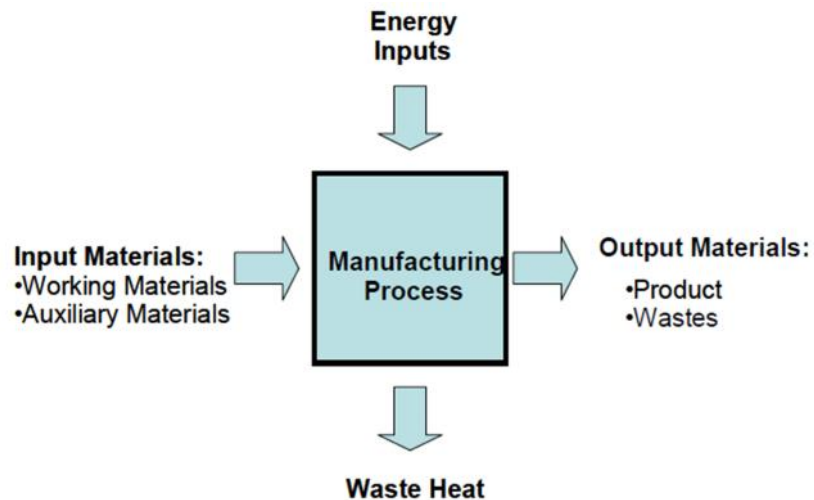
W = Faktor keausan pahat

E = Faktor efisiensi mesin perkakas

G. Konsumsi Energi Mesin Perkakas

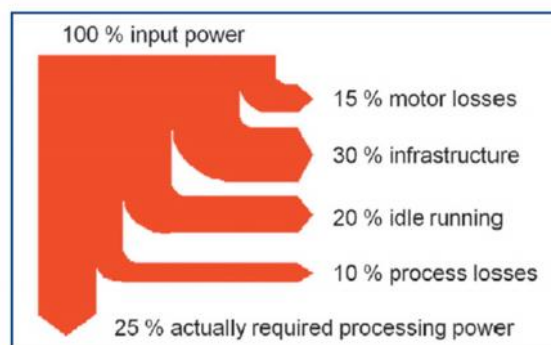
Proses manufaktur terdiri dari banyak jenis operasi salah satunya yaitu pemesinan (*machining*). Pemesinan dengan menggunakan mesin perkakas membutuhkan input energi dalam prosesnya (terutama energi listrik). Secara garis besar energi input tersebut ditransformasikan menjadi kerja berguna, beberapa dalam perwujudan bentuk komposisi produk, limbah serta panas buang (Gutwoski, 2004). Energi Input memerlukan bahan bakar dan menghasilkan emisi. Untuk Energi input listrik hal tersebut terjadi pada

pembangkit energi. Diagram Alir Energi dalam proses manufaktur untuk pengerjaan material ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Diagram energi dan input output material proses manufaktur (Gutowski, 2006)

Pada Gambar 10 ditunjukkan bahwa hanya sekitar 25% daya aktual dari 100% daya masukan (*input power*) yang diberikan dikonsumsi oleh mesin perkakas untuk melakukan pemotongan saat proses pemesinan berlangsung.



Gambar 10. Diagram alir konsumsi daya mesin perkakas (Ravel/bfk 2000).

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Dahmus dan Gutowski (2004), menyatakan bahwa mesin perkakas dengan peningkatan level otomasi menunjukkan konsumsi energi dasar yang lebih tinggi sebagai hasil dari

jumlah komponen tambahan terintegrasi pada mesin. Besarnya energi pemotongan spesifik yang dikonsumsi mesin perkakas moderen otomatis yaitu kurang dari 15% dari total energi yang dikonsumsi selama proses pemesinan. Hal tersebut menunjukkan bahwa konsumsi energi tidak hanya ditentukan oleh operasi pemotongan namun didominasi oleh komponen yang mengkonsumsi daya utama.

Sebagian besar energi dikonsumsi oleh Sistem penggerak (*drive system*). *Drive system* tersebut terdiri dari unit penggerak gerakan-grakan utama (*drive units main motions /spindles*), Unit penggerak pemakanan (*feed drive units*, Pahat (*tool*), *workpiece changing* dan *fixing units positioning drive units*. Oleh Karena itu , konsumsi energi selama waktu non-produksi juga dapat menjadi besar dan harus diminimalisir. Terdapat banyak variabel yang mempengaruhi konsumsi energi aktual seperti jenis proses manufaktur, parameter proses dan struktur/komponen dan kontrol dari mesin. Oleh sebab itu, peningkatan efisiensi energi mesin perkakas pada dasar yang luas memerlukan banyak pengukuran untuk bermacam-macam proses dan parameter dengan pemodelan yang benar untuk memprediksi konsumsi energi proses pemesinan yang spesifik (Hermann, 2007).

Daya listrik (*electric power*) tidak hanya digunakan untuk menyuplai proses pemesinan dan seluruh unit transmisi tenaga dari motor ke unit pemotongan benda kerja, akan tetapi juga digunakan untuk seluruh peralatan pendukung lainnya seperti unit kompuer (*computers and fans*), servo (*servos*), pompa cairan pendingin (*coolant pump*), pengunci spindel (*spindle key*), serta motor tanpa pembebanan (*unloaded motors*) (Skoczynski, 2013).

Selain peralatan pendukung tersebut terdapat juga parameter-parameter yang dapat mempengaruhi besarnya nilai konsumsi energi saat proses pemesinan berlangsung. Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk mengetahui parameter-parameter yang paling berpengaruh terhadap konsumsi energi mesin perkakas dengan berbagai teknik analisa. Menurut Kalla (2009), dalam thesisnya yang berjudul *Unit Process Life Cycle Inventory*, Kalla memberikan beberapa parameter yang paling mempengaruhi besarnya konsumsi energi dalam suatu proses pemesinan diantaranya yaitu :

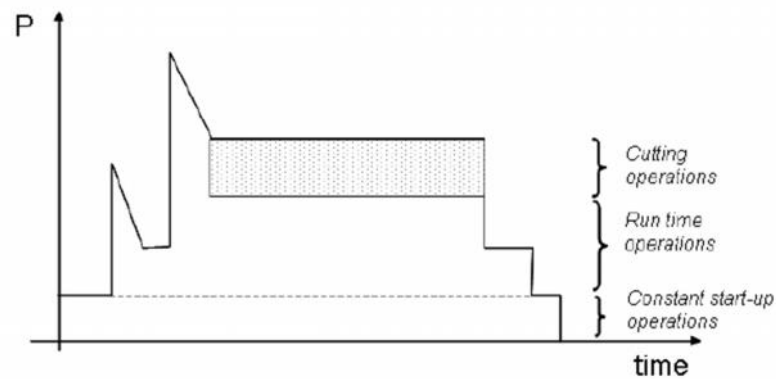
1. Komposisi material benda kerja (*workpiece material properties*)
2. Gerak makan (*feed rate*)
3. Kecepatan pemotongan (*cutting speed*)
4. Diameter pahat (*cutter diameter*)
5. Waktu pemecinan frais (*milling time*)
6. Kedalaman pemotongan (*depth of cut*)
7. Cairan pendingin (*coolant*)
8. Pencekam benda kerja (*Part holding fixture*)
9. Keausan pahat (*tool wear*)
10. Geometri dan proses *set-up* (*geometry and set-up*)

Seluruh parameter tersebut dipertimbangkan dalam suatu proses pemesinan tunggal untuk mendapatkan parameter terbaik dengan konsumsi energi minimum sehingga biaya konsumsi energi listrik dapat diminimalisir. Untuk mengetahui besarnya konsumsi energi Kalla (2009), menerapkan metode *life cycle inventory* atau biasa juga disebut *life cycle analysis*. Metode tersebut merupakan metode perhitungan konsumsi energi dalam suatu proses pemesinan tunggal (*single machining process*) dalam satuan waktu siklus pemesinan. Energi dalam suatu proses pemesinan frais dibagi menjadi tiga

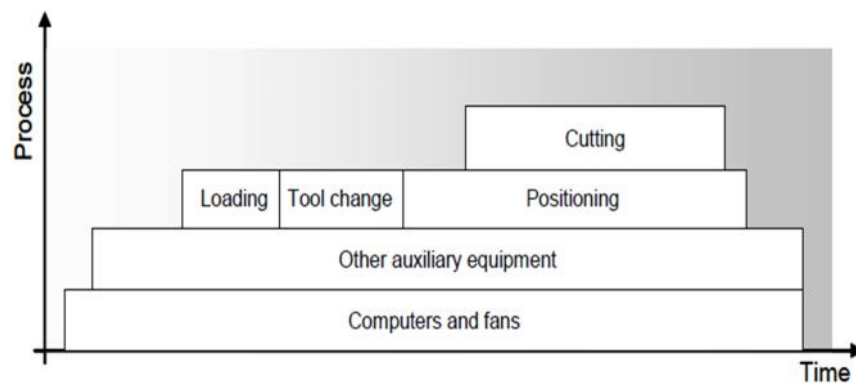
yaitu *idle energy/constant start-up operations*, *basic energy/run time operations* dan *milling energy/material removal operations*. Maka energi total dapat dihitung dengan persamaan berikut: (Kalla, 2009)

$$E_{\text{total}} = (P_{\text{basic}} \cdot t_{\text{basic}}) + (P_{\text{idle}} \cdot t_{\text{idle}}) + (P_{\text{milling}} \cdot t_{\text{milling}}) \dots \dots \dots (6)$$

Secara garis besar energi total yang merupakan penjumlahan dari ketiga jenis energi tersebut dapat digambarkan dalam sebuah grafik pengaruh daya pemesian (*power*) terhadap waktu (*time*) oleh Gonzalez (2007), sebagai berikut :



Gambar 11. Grafik daya pemesian terhadap waktu (Gonzalez, 2007)

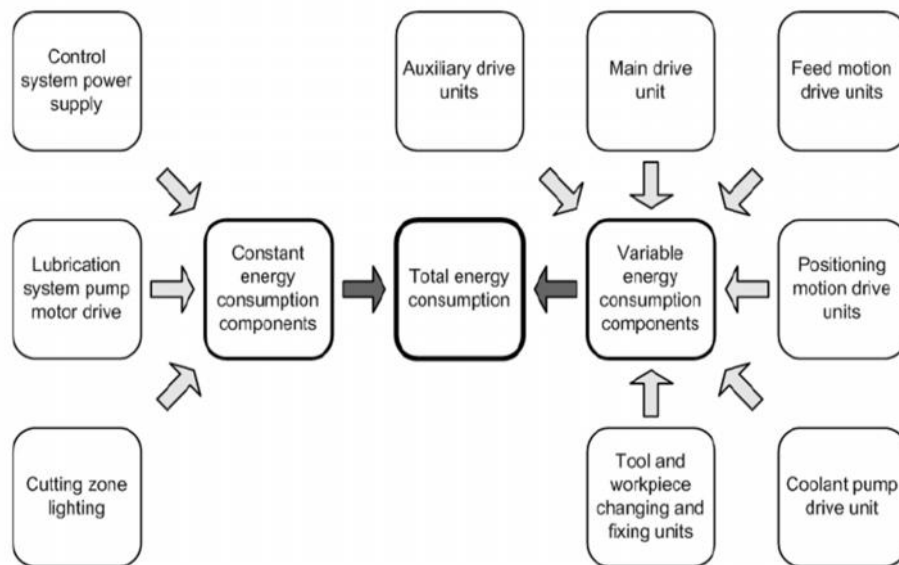


Gambar 12. Grafik proses pemesian terhadap waktu (Gonzalez, 2007)

H. Rantai Transmisi Energi Proses Pemesinan

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi hilangnya energi (daya) dalam proses pemotongan yang dikonsumsi oleh mesin perkakas diantaranya yaitu faktor konstan dimana berasal dari sistem mesin perkakas itu sendiri dan faktor variabel yang berdasar pada jenis serta parameter proses pemesinan seperti ditunjukkan pada Gambar 11. Sebagian besar energi mesin perkakas dikonsumsi oleh sistem penggerak (*drive system*). Mesin perkakas terdiri dari beberapa unit penggerak untuk melakukan gerakan dalam proses pembentukan produk. Sistem penggerak tersebut diantaranya *spindle*, unit gerak pemakanan, unit penggantian pahat dan benda kerja, *fixing units*, unit gerak posisi, serta unit gerak tambahan seperti koveyor geram dan pompa pendingin).

Selain itu terdapat beberapa sistem lain yang merupakan faktor konstan dimana juga membutuhkan energi (daya), diantaranya yaitu sistem kontrol, lampu, penggerak motor pompa untuk sistem pelumasan dll. Secara garis besar rantai transmisi energi yang dikonsumsi saat proses pemesinan berlangsung bermula dari energi input motor listrik yang ditransmisi untuk menggerakkan spindle, meja serta sistem penggerak lainnya (*drive unit*) baru kemudian dikonsumsi oleh proses pemotongan yang dilakukan pahat terhadap benda kerja (Skozynski, 2013).



Gambar 13. Faktor-faktor konsumsi energi total mesin perkakas (Skozynski, 2013).

I. Pengukuran Daya Mesin Perkakas

Dalam proses manufaktur, Energi diubah menjadi kerja berguna. Kerja berguna tersebut dibagi menjadi banyak tahap, dimana tiap tahapnya mengkonsumsi banyak energi. Energi tersebut dibagi berdasarkan dua faktor yaitu daya yang dikonsumsi mesin dan waktu yang dibutuhkan mesin dalam menyelesaikan tahapan proses. Mesin bergantung pada listrik untuk menerima daya tersebut. Daya dapat dikarakteristikan dengan perkalian dua variabel yaitu tegangan (*Voltage*) dan suplai arus (*Current*).

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Gonzalez (2007), metodologi yang diaplikasikan sebagian besar dilakukan untuk mengukur daya yang dikonsumsi tiap tahapan proses. Untuk hasil yang akurat percobaan percobaan pengukuran diperlukan. Kordonowy (2002), menyarankan untuk

pengukuran konsumsi daya dilakukan dalam kondisi pemotongan yang berbeda. Pengukuran pertama kali dilakukan saat mesin dihidupkan (*start-up*) dengan menghidupkan unit komputer dan kipas (*computer and fans*). Kemudian pengukuran berikutnya dilakukan ketika motor servo menggerakkan pengapit selanjutnya motor *spindle*. Setelah itu pengukuran dilakukan saat kondisi operasi (*runtime*) (menggerakkan poros x/y/z, mengganti pahat potong, serta pengapit pahat yang berputar/*carousel*). Terakhir, pengukuran daya dilakukan ketika proses pemesinan pada nilai MRR (*material removal rates*) yang berbeda.

Secara singkat untuk analisis energi yang akurat, informasi konsumsi daya dari masing masing proses yang melibatkan sistem penggerak serta komponen tambahan pada mesin perkakas perlu dikumpulkan. Ketika konsumsi energi tiap tahapan proses diketahui, analisis untuk mengestimasi konsumsi daya keseluruhan dapat ditentukan. Dengan menggunakan persamaan (7) perhitungan estimasi biaya dapat diketahui dengan cara mengalikan konsumsi energi keseluruhan (kWh) dengan biaya energi per jam (Kordonowy, 2002).

$$\text{Energy cost} = \text{Overall Power Consumption kWh} \cdot \text{cost} / \text{kWh} \dots \dots \dots (7)$$

Untuk mengukur konsumsi daya dari mesin perkakas pertama-tama perlu diketahui bagaimana daya mengalir melalui mesin. Setelah mengetahui aliran daya pada mesin perkakas maka selanjutnya adalah melakukan prosedur pengukuran. Secara fisik untuk mengukur Tegangan dan arus yang mengalir pada mesin perlu digunakan peralatan yang dapat mengukur konsumsi

keduanya. Peralatan yang digunakan untuk pengukuran tegangan dan arus antara lain yaitu (Kordonowy, 2002) :

1. Multimeter

Multimeter merupakan alat ukur kelistrikan dengan tiga mode operasi pengukuran yaitu pengukuran tegangan sebagai Voltmeter, Arus sebagai Ammeter, atau resistansi sebagai Ohmmeter. Pengukuran dilakukan dengan menghubungkan satu kabel ke multimeter. Hal tersebut dilakukan dengan membuat gap dalam satu kabel dengan melepas kabel dan menghubungkannya ke multimeter.



Gambar 14. Multimeter digital (wikimedia.org)

2. *Clamp-On Multimeter*

Clamp-On Multimeter digunakan untuk mengukur arus dan tegangan pada kabel dengan baik. Tidak seperti multimeter, *Clamp-On Multimeter* dapat mengukur kabel yang dialiri tegangan dan arus secara langsung tanpa menyentuh kabel, sehingga minim kemungkinan terjadi arus pendek atau tersengat listrik. *Clamp-On Multimeter* dapat menghitung besar tegangan

dan juga arus. *Clamp-On Multimeter* jauh lebih aman jika dibandingkan dengan Multimeter Standar.



Gambar 15. *Digital Clamp-On Multimeter* (wikimedia.org)

J. Pemantauan Kondisi (*Condition Monitoring*)

Pemantauan kondisi (*condition montoring*) adalah suatu metode perawatan preventif untuk mengetahui kondisi aktual dengan proses pemantauan karakteristik operasional mesin untuk memprediksi kebutuhan perawatan sebelum terjadi penurunan performa atau teradinya kerusakan. Dalam industri manufaktur, salah satu pengembangan yang paling signifikan yaitu peningkatan fungsi perkakas serta sistem dalam proses pemantauan kondisi (*Condition monitoring*) (Jemielniak, 1999).

Pemantauan kondisi mesin perkakas serta proses pemesinan merupakan faktor kunci dalam peningkatan ketersediaan (*availability*) mesin perkakas dan memperoleh proses pemesinan yang lebih tahan lama (*robust*). Kegagalan dalam proses pemesinan serta kerusakan komponen mesin perkakas memiliki dampak negatif terhadap produk akhir yang diproduksi. Ketidakstabilan dalam proses pemesinan juga dapat memperpendek sudut pemotongan (*cutting edges*) dan mesin perkakas.

Sistem pemantauan kondisi memungkinkan pemanfaatan informasi yang didapat dari beberapa pemantauan untuk memudahkan pendeteksian ketidakstabilan dalam proses pemesinan. Sistem pemantauan kondisi (*condition monitoring system*), dapat memungkinkan pemantauan kondisi aktual mesin perkakas serta proses pemesinan dalam kondisi beroperasi, tidak hanya dapat memberikan indikasi awal permasalahan sistem, namun juga memungkinkan aktivasi fungsi kontrol untuk melakukan tindakan perbaikan yang tepat saat terjadi kendala. Sebagai contoh pemberhentian proses pemesinan untuk sementara, memperbaharui parameter proses pemesinan, atau panggilan bantuan operator dan teknisi (Repo, 2010).

Berikut terdapat beberapa indikator buruknya performa mesin perkakas diantaranya adalah:

1. Meningkatnya suhu pada rumah spindle (*spindle housing*) karena keausan *spindle bearings*
2. Meningkatnya konsumsi daya (*power*)
3. Asimetri putaran (*run out*) disebabkan oleh ketidaksejajaran (*misalignment*) *spindle axis*.
4. Meningkatnya amplitudo getaran secara signifikan

Untuk mengetahui indikasi terjadinya performa yang buruk dari mesin perkakas serta ketidakstabilan proses pemesinan tersebut maka diperlukan metode analisa serta peralatan yang dapat memantau karakteristik operasional. Tiap sistem peralatan pemantauan kondisi terdiri dari sensor

untuk mendeteksi sinyal, pengkondisi sinyal (*amplifiers*) dan monitor yang berfungsi untuk menganalisa sinyal dari sensor dan menampilkan gambar atau deteksi kondisi komponen serta kegagalan proses yang terjadi (Jemielniak, 1999). Berikut beberapa metode analisa yang dapat dilakukan dalam pemantauan kondisi mesin yaitu diantaranya:

1. Analisis Getaran

Tiap mesin menghasilkan getaran saat beroperasi. Dalam kasus struktural, anomali fungsi atau kegagalan, karakteristik dinamik mesin berubah dengan ditandai oleh sinyal getaran. Karakteristik getaran yang terjadi dapat menjadi pertanda kegagalan berkembang yang kemudian dapat diukur untuk dibandingkan dengan ciri getaran yang terjadi pada kondisi operasi normal dengan Analisis vibrasi (*Vibration analysis*). (R.Yan, 2006).



Gambar 16. *Vibration Analysis* (vibrasindo.com)

2. *Acoustic emission testing*

Acoustic Emission Testing (AET) adalah teknik pemantauan kondisi yang digunakan untuk menganalisa gelombang suara yang dipancarkan karena *defects* atau *discontinuities*. Dalam mesin yang

menggunakan listrik sinyal emisi akustik dihasilkan oleh dampak kelelahan, gesekan, turbulensi, kavitasi, dll (D. Mba, 2006)



Gambar 17. *Acoustic Emission Testing* (epandt.com)

3. *Ultrasound condition monitoring*

Ultrasonic Condition Monitoring (UCM) adalah teknik pemantauan kondisi yang dilakukan secara kontak atau non kontak menggunakan peralatan ultrasound untuk menerima emisi ultrasonik frekuensi tinggi yang dihasilkan peralatan yang beroperasi, emisi elektrik, kebocoran dll (A. Bandes, 2014).



Gambar 18. *Ultrasound condition monitoring* (vibrasindo.com)

4. *Infrared thermography*

Infrared thermography (IRT) adalah proses menggunakan pencitra termal untuk menangkap emisi radiasi inframerah dari objek untuk melihat pola panas abnormal atau anomali termal yang mengindikasikan kemungkinan kerusakan, cacat, atau ketidak efisienan dalam sistem atau mesin (Y.-C. Chou , 2009).



Gambar 19. *Infrared thermography* (cfd-engineering.com)

5. *Lubrication oil analysis*

Lubrication oil analysis (LOA) adalah teknik pemantauan kondisi dengan cara menganalisa bahan cair (*fluid viscosity, additive level, oxidation properties and specific gravity*), analisis kontaminasi fluida (*moisture, metallic particles, coolant and air*) and analisis keausan untuk pendeteksian dini kerusakan mesin (Rosales, 2006).



Gambar 20. *Lubrication oil analysis* (machinerylubrication.com)

K. Termografi Inframerah (*Infrared thermography*)

Termografi adalah metode pemantauan kondisi atau inspeksi peralatan mekanis dan elektrik dengan melihat gambar distribusi panas. Metode inspeksi ini berdasar pada kenyataan bahwa sebagian besar komponen didalam sebuah sistem menunjukkan peningkatan suhu ketika terjadi malfungsi (Hitchcock, 2011).

Termografi dapat digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisa anomali *thermal* sebagai tujuan pemantauan kondisi mesin. Anomali *thermal* biasanya disebabkan oleh mekanisme operasi, pelumasan yang buruk, ketidaksejajaran (*missalignment*), keausan komponen atau terjadinya pembebanan mekanis. Energi panas memberikan gambaran seluruh operasi dari semua mesin. Energi panas tersebut dapat dalam bentuk kerugian gesekan pada mesin serta hilangnya energi pada mesin (Hitchcock, 2011).

Suhu merupakan salah satu indikator paling umum dari struktural dan kondisi fungsi peralatan serta komponen. Kerusakan mesin, masalah elektrik dan kegagalan komponen dapat menyebabkan distribusi temperatur menjadi abnormal (Bagavathiappan, 2012). Prinsip yang mendasari teknik termografi berdasar pada Teori Plank dan Stefan-Boltzmann yang menyatakan bahwa objek dengan temperatur dibawah 0 K (-273°C) mengemisikan radiasi elektromagnetik dalam daerah inframerah pada spektrum elektromagnetik (rentang panjang gelombang 0.75–1000 μm) (M. S. Jadin, 2012) Termografi secara umum dibagi kedalam dua kategori yaitu termografi pasif dan aktif (S.K. Acharya, 2009). Termografi pasif diaplikasikan untuk pemantauan

kondisi elektrik dan peralatan mesin. Termografi aktif diaplikasikan dalam ilmu kedokteran, survei efisiensi termal bangunan, pertanian dan biologi, deteksi kebocoran gas, dll (S. Taib, 2012)

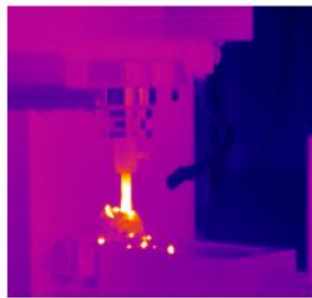
Penggunaan termografi dapat diaplikasikan dalam perawatan di pabrik manufaktur, khususnya pada industri-industri besar yang memerlukan beberapa kriteria untuk meloloskan produk jadinya. Karena suhu merupakan hal yang menjadi perhatian utama dan saran diagnostik. Dalam industri manufaktur aplikasi penggunaan termografi inframerah berguna untuk pemantauan kondisi instalasi pendinginan, fungsi mesin perkakas, serta pemantauan proses pemesinan (*milling, drilling, boring*, dll). Pada mesin perkakas, panas yang terjadi dapat disebabkan oleh peningkatan temperatur *spindle* dan *gear box bearings*, pembebanan awal yang besar pada *bearing* , kesalahan pada pemasangan instalasi spindle atau gearbox yang menyebabkan gesekan mekanis, penggunaan pelumas dengan kompensasi thermal yang tidak sesuai, dll (Rares, 2013).

Terdapat penelitian terbaru untuk menggambarkan konsumsi energi mesin perkakas yaitu dengan cara menggabungkan profil waktu dengan pengukuran daya. Dengan metode tersebut *capturing* dan *visualization* dari konsumsi energi listrik mesin perkakas dapat menjadi pusat perhatian sebagai contoh untuk membedakan proses dan konsumsi daya dan mengidentifikasi komponen dengan konsumsi energi tertinggi. Gutowski et al. and Dahmus (2006) telah menunjukkan keterkaitan peningkatan konsumsi daya utama terhadap proses produksi diantara banyak jenis konsep pemesinan dan

menyatakan potensi perbaikan untuk mendukung pemesinan yang efisien. Selain itu parameter proses pemesinan berdampak langsung terhadap konsumsi energi listrik termasuk pengontrolan mode operasi komponen-komponen. Karena itu, penting untuk mengerti bahwa kondisi proses dan konsumsi energi biasanya tidak statis namun berdasarkan pada kondisi tertentu dari proses dan pengaturan mesin/peralatan (Hermann, 2007).

L. Kamera Inframerah (*Thermal Imager*)

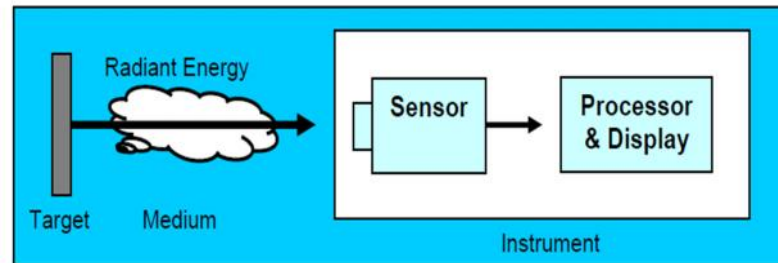
Termografi inframerah menggunakan peralatan khusus untuk mengukur suhu permukaan. Objek bersuhu tinggi memancarkan jumlah energi pada daerah spektrum elektromagnetik inframerah yang lebih besar dari pada suhu rendah objek tersebut. Suatu kamera inframerah mendeteksi besar radiasi inframerah yang dipancarkan dari sebuah objek, dan mengkonversikan suhu tersebut ke dalam citra panas video yang disebut dengan termogram (Burhanudin. dkk, 2012).



Gambar 21. *Thermal image* proses pemesinan (Muralidhar, 2013).

Sistem utama termografi inframerah terdiri dari detektor energi inframerah (*Infrared energy detector*) dan monitor. Sinyal radiasi energi inframerah diterima dari permukaan objek oleh sensor untuk kemudian dikonversi menjadi sinyal elektrik. Sinyal tersebut diteruskan ke monitor untuk kemudian di proses dan ditampilkan dalam beberapa bentuk seperti tampilan

digital untuk indikasi tingkat temperatur dan tampilan video untuk profil thermal. Proses tersebut ditunjukkan pada gambar 19 (Garnaik, 2005).



Gambar 22. Proses konversi energi inframerah (Garnaik, 2005)

Peralatan inspeksi yang digunakan untuk menangkap pola distribusi panas dengan termografi yaitu *Thermal imager*. *Thermal imager* merupakan alat canggih yang dapat mengukur emisi natural dari radiasi inframerah dari objek panas dan menghasilkan gambar *thermal*. Dengan mengamati pola panas pada komponen didalam sistem operasional, kesalahan atau kegagalan dapat diketahui sehingga dapat di evaluasi.



Gambar 23. *Thermal Imager* (aikencolon.com)

Thermal imager moderen mudah dibawa dan memiliki kontrol operasi yang mudah. Kontak fisik dengan sistem tidak diperlukan, sehingga ispeksi dapat dilakukan dibawah kondisi operasional penuh sehingga tidak terjadi kerugian waktu serta berhentinya proses produksi (Land Instruments International., 2004).

III. METODOLOGI PENELITIAN

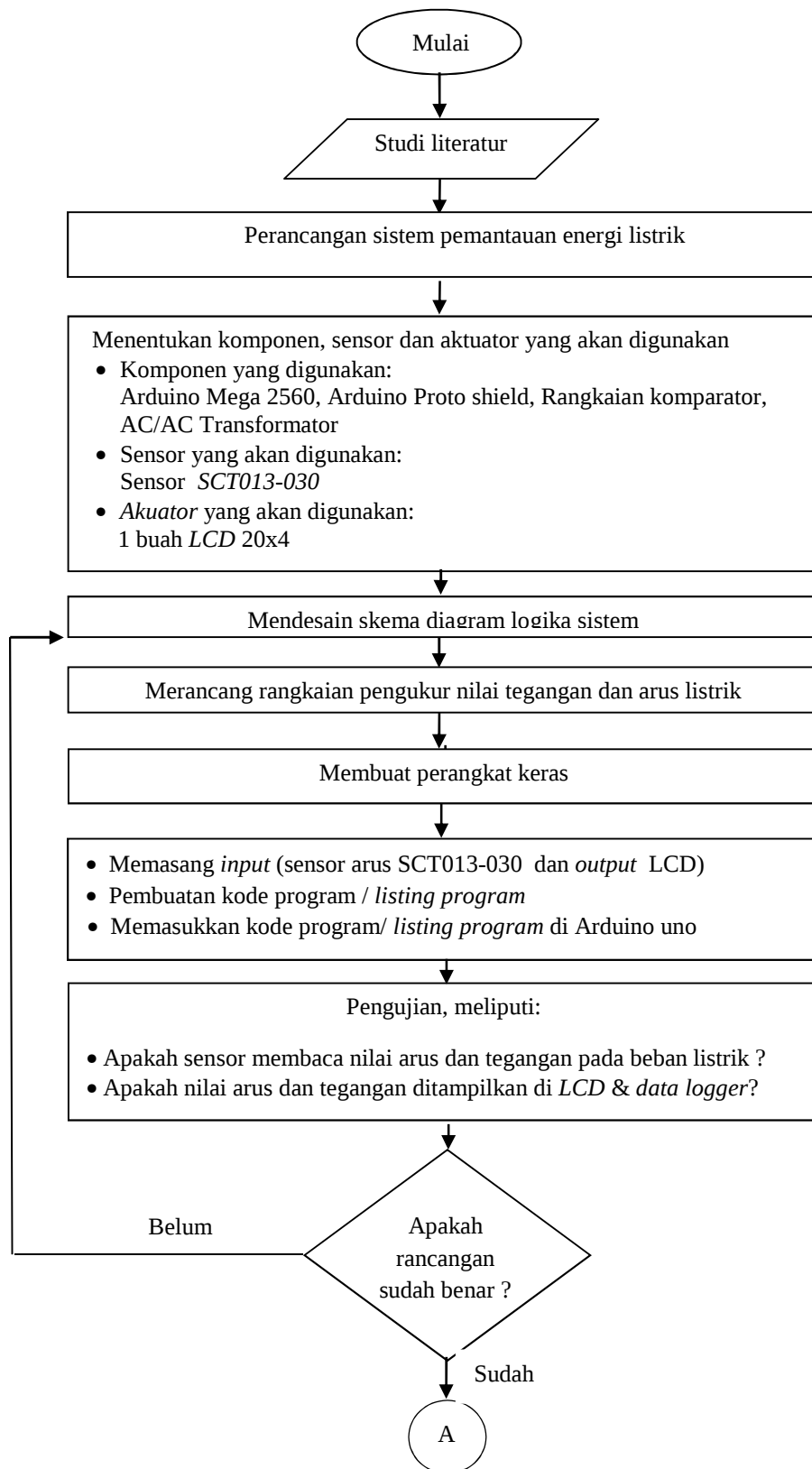
A. Tempat dan Waktu Penelitian

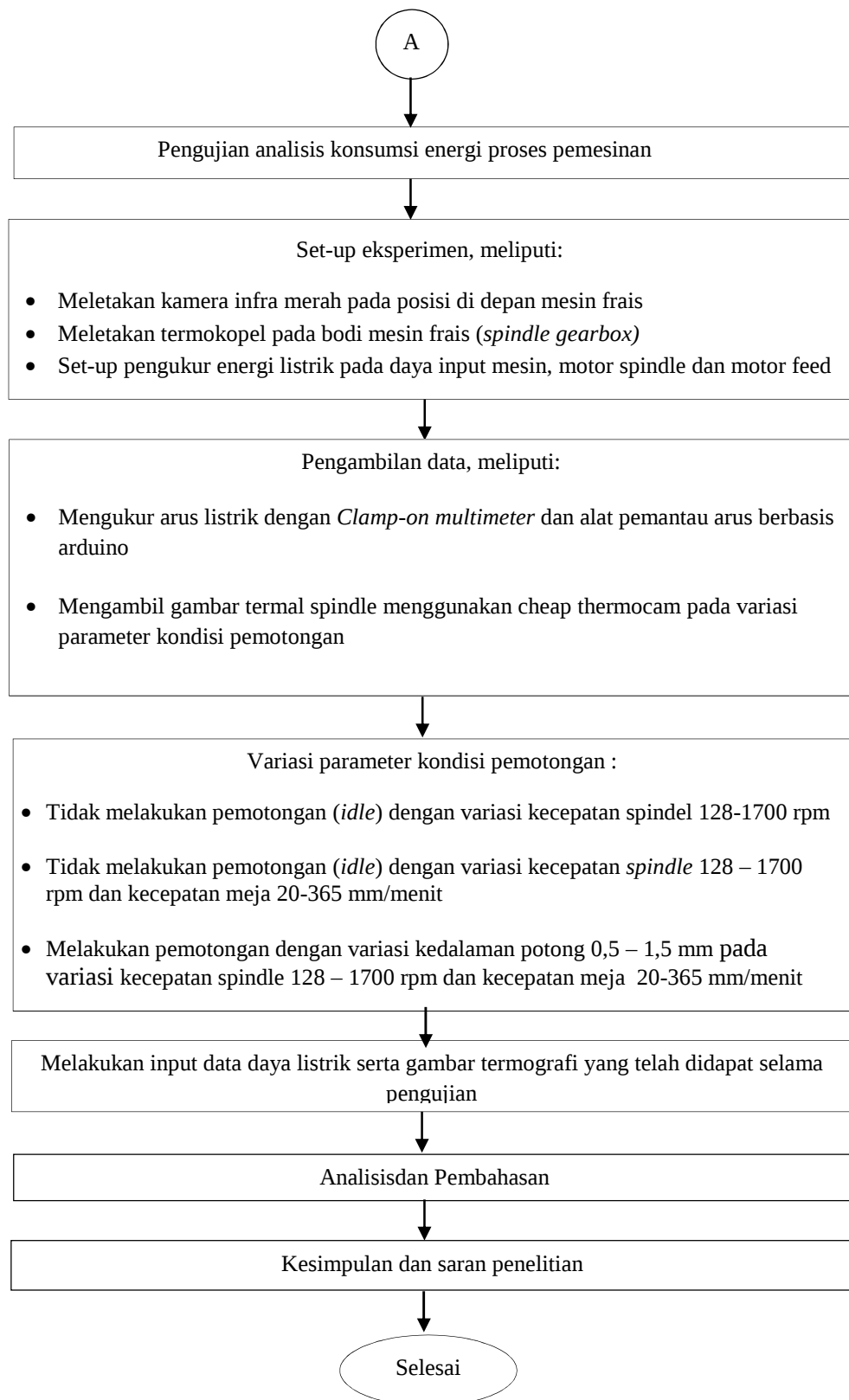
Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Produksi Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung untuk melakukan proses pemesinan Frais, pengambilan data suhu mesin frais menggunakan kamera inframerah, dan pengambilan data pengukuran arus listrik pada kabel listrik masuk mesin. Sedangkan jadwal kegiatan penelitian tersusun pada tabel 1 berikut.

Tabel 1.Jadwal Penelitian

Kegiatan		Januari				Februari-April				Mei-Juni				Juli				Agustus			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	5
1	Seminar Proposal Tugas Akhir																				
2	Pembuatan alat pemantau arus																				
3	Pengambilan data Penelitian																				
4	Pengolahan data																				
5	Seminar Hasil																				

B. Diagram Alir Penelitian





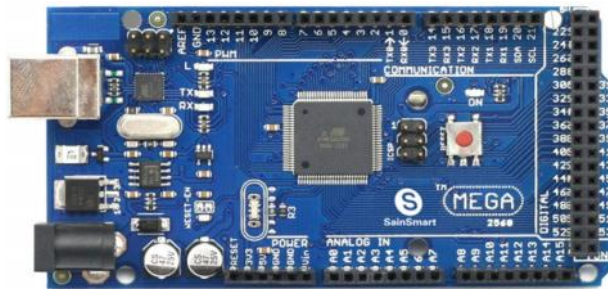
Gambar 24. Diagram alir penelitian

C. Alat dan Bahan Penelitian

1. Alat dan bahan yang digunakan dalam perancangan sistem pemantauan arus dan tegangan, adalah:

- a. Arduino Mega 2560

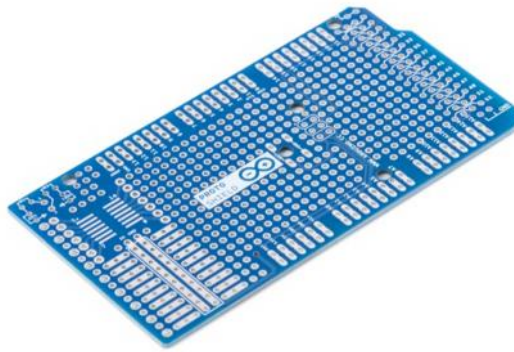
Mikrokontroler yang digunakan dalam perancangan sistem ini adalah Arduino Mega 2560. Arduino Mega adalah papan mikrokontroler berbasis chip ATmega2560 yang berperan sebagai penerima serta pengolah data nilai arus dan tegangan yang dibaca oleh sensor. Data Sheet Arduino Mega 2560 dapat dilihat pada lampiran.



Gambar 25. Arduino Mega 2560 Board (arduino.cc)

- b. Arduino Mega Proto Shield rev3

Proto Shield merupakan *board prototype* yang dapat dipasang secara bertumpuk di board Arduino uno dan mega sebagai penghubung ke banyak komponen pendukung. Pada perancangan sistem ini proto shield digunakan sebagai board sirkuit rangkaian komparator, pin sensor, lcd dan audio jack 3,5mm.



Gambar 26. Arduino Mega *Proto Shield* rev 3(arduino.cc)

c. Sensor arus SCT013-030

SCT013-030 merupakan jenis *non-invasive current transformer sensor* dengan input arus maksimal 30A yang dapat digunakan untuk pengukuran nilai arus AC pada beban listrik dalam pemantauan energi listrik. Pembacaan nilai arus dilakukan dengan kalibrasi nilai pada *listing program* arduino. Pada perancangan sistem ini menggunakan 3 buah sensor SCT013-030. Datasheet sensor dapat dilihat pada lampiran.



Gambar 27. *Current Transformer Sensor* SCT013-030 (yhdc.com)

d. Transformator

Transformator atau Trafo adalah suatu alat listrik yang dapat mengubah taraf suatu tegangan AC ke taraf yang lain. Pada perancangan sistem trafo di gunakan untuk menurunkan Tegangan AC dari 220 – 240 VAC ke 12 VAC sebagai detektor tegangann yang dibaca oleh arduino dengan kalibrasi *listing program*.



Gambar 28.Transformator (teknikelektronika.com)

e. Stereo jack socket 3,5mm

Audio jack digunakan sebagai *input plug* untuk sensor SCT013-030 yang dipasang pada *protoshield* arduino sebanyak 3 buah.



Gambar 29. Stereo jack socket 3,5mm (tinkersphere.com)

f. Lcd 20x4

Lcd digunakan untuk menampilkan data nilai arus dan tegangan yang telah diolah oleh arduino pada serial monitor program.



Gambar 30.Lcd 20x4

g. Komponen rangkaian komparator

Resistor yang digunakan pada rangkaian komparator yaitu 8x 10Kohm , 1x100Kohm dan 4x kapasitor 10 μ F



Gambar 31. Rangkaian Komparator (a) resistor 10Kohm, (b) resistor 100Kohm, (c) Kapasitor 10 μ F

2. Alat dan Bahan yang dibutuhkan dalam proses pemesinan, antara lain yaitu :

a. Mesin Frais

Mesin frais yang digunakan dalam penelitian ini yaitu mesin frais Universal Milko 12 dengan spesifikasi pada tabel 2 sebagai berikut :

Tabel 2. Spesifikasi Mesin frais Universal Milko 12

Fitur	Spesifikasi
Tipe	Milko 12
Buatan	<i>Spain</i>
Table	
<i>Working Surface</i>	800 x 225
<i>T Slot (3)</i>	14 mm
<i>Both Sides Swivel</i>	45°
Transverses	
<i>Longitudinal</i>	525mm
<i>Cross</i>	230mm
<i>Vertical</i>	400mm
Spindle	
<i>Standard Taper</i>	ISO-40
<i>Number of Speeds</i>	12
<i>Range</i>	50 – 1700 Rpm
Work Feed	
<i>Number of Feeds</i>	8
<i>Longitudinal</i>	18 – 550 mm/min
Rapid Feeds	
<i>Longitudinal</i>	800 mm/min
Motors	
<i>Main Motor</i>	1,5 kW
<i>Feeds Motor</i>	0,55 kW
<i>Coolant Motor</i>	0,07 kW



Gambar 32. Mesin frais Universal Milko 12

b. Baja SS400

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah Baja SS400 dengan dimensi 160 mm x 50 mm x 50 mm. SS400 adalah salah satu spesifikasi baja konstruksi (*structural steel*) yang dibuat berdasarkan industri jepang (*Japan Industria Standard*) yaitu JIS G3101. Baja SS400 tergolong baja karbon rendah (*low carbon steel*) dengan kandungan karbon 0,17% – 0,20% dengan nilai hardness brinell (HB) sebesar 160 HB.

c. Pahat *endmill* HSS (16 mm)

HSS (*High Speed Steel*) adalah baja paduan tinggi yang tahan terhadap keausan sampai suhu 6000C. Beberapa jenis HSS memiliki sifat material yang diaplikasikan sebagai pahat potong dengan ketahanan kekerasan pada temperatur 1000 sampai 1100 F. Unsur

paduan utama HSS adalah *tungsten* (W), *molybdenum* (Mo), *chromium* (Cr), *vanadium* (V), dan *carbon* (C) (*Machinery's Handbook*, 2004)



Gambar 33. Pahat *end-mill* HSS

d. Kamera Inframerah

Kamera Inframerah digunakan untuk melihat temperatur pemotongan. Kamera inframerah diletakan pada sisi depan mesin frais. Berikut adalah spesifikasi kamera inframerah yang dipakai dalam penelitian :

Tabel 3. Spesifikasi kamera inframerah

Fitur	Spesifikasi
Tipe	Cheap-Thermocam V4
Resolusi Termal	80 x 60
Sensitivitas Termal	< 0.05°C(50mK)
Display	3.2"320x240 Touch
Spot sensor temp. range	-70°C to 380°C
Spot sensor temp. Accuracy	0.5 °Cover wide range
Temp. measurement mode	Every position after calibration
Image modes	IR image, visual image, combined



Gambar 34. Kamera inframerah

e. *Clamp-On Multimeter*

Clamp-On Multimeter digunakan untuk mengukur arus. Pengukuran arus dan tegangan dilakukan dengan cara menjepit salah satu dari tiga kabel yang mensuplai arus motor listrik tiga fasa.

Tabel 4. Spesifikasi *Clamp-On Multimeter*

Fitur	Spesifikasi
<i>Merk</i>	MASTECH MS2115B
<i>AC/DC Current Measurement</i>	60A/600A/1000A
<i>AC/DC Voltage Measurement</i>	600mV/6V/60V/600V
<i>Data Storing</i>	USB Interface and Analysis Software

Gambar 35. Mastech MS2115B *Clamp-on Multimeter*

f. Digital Tachometer DT2234A

Tachometer digunakan untuk memastikan nilai putaran spindle sesuai dengan setting rpm pada mesin frais Universal Milko 12.



Gambar 36. Digital Tachometer DT2234A

g. Digital Thermometer

Digital Thermometer digunakan sebagai alat pengukuran temperatur untuk kalibrasi nilai temperatur serta acuan akurasi nilai pada kamera inframerah.



Gambar 37. Digital Thermometer Krisbow KW0600283

h. Termometer Inframerah

Termometer Inframerah digunakan untuk pengukuran temperatur pemotongan sebagai acuan akurasi nilai pembacaan temperatur pada kamera inframerah.



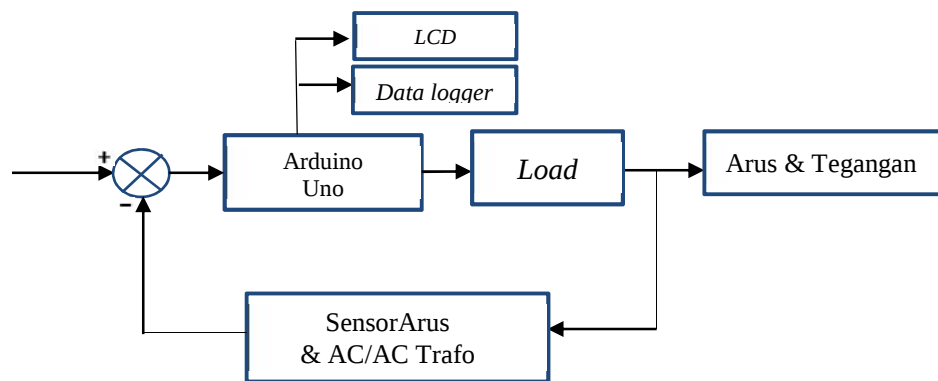
Gambar 38. Termometer Inframerah Lutron TM-2000

D. Pembuatan Sistem Pemantauan Arus dan Tegangan Berbasis Arduino

Setelah proses perancangan sistem pemantauan arus dan tegangan listrik selesai dikerjakan, maka tahapan selanjutnya yaitu pembuatan sistem yang akan digunakan. Berikut tahapan pembuatan yang akan dilakukan:

1. Desain logika kontrol

Adapun desain logika kontrol yang akan dibuat dalam penelitian yaitu rancangan *loop* sistem detektor arus dan tegangan serta *output* Lcd. Rancangan tersebut meliputi *loop* sistem otomasi sensor arus SCT013-030, detektor tegangan (transformator). Diagram logika kontrol rancangan sistem dapat dilihat pada gambar 34 berikut :

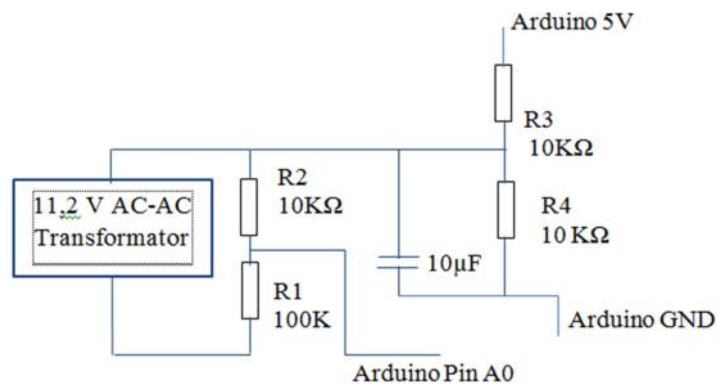


Gambar 39. Rancangan sistem pemantauan arus dan tegangan

2. Rangkaian pengukur tegangan

Rangkaian pengukur tegangan terdiri dari beberapa komponen yaitu:

- 1x 11,2V AC-AC Transformator
- 1x 100kOhm resistor.
- 3x 10kOhm resistor
- 1x 10uF Kapasitor

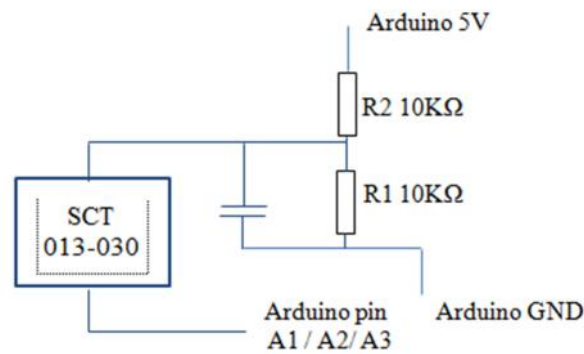


Gambar 40. Rangkaian pengukur nilai tegangan AC

3. Rangkaian Pengukur arus

Rangkaian pengukur tegangan terdiri dari beberapa komponen yaitu:

- 1x 100kOhm resistor.
- 2x 10kOhm resistor
- 1x 10uF Kapasitor



Gambar 41. Rangkaian pengukur nilai Arus AC

4. Pembuatan perangkat keras

Pada tahapan ini dilakukan proses pembuatan perangkat keras yang terdiri dari pembuatan seluruh rangkaian sistem elektronika yaitu pemasangan rangkaian komparator, sensor arus dan tegangan, LCD pada *proto shield* arduino.

5. Pembuatan *Listing Program*

Tahap ini mencakup hal yang berkaitan dengan perangkat lunak dari sistem yaitu pembuatan kode program atau *listing program* sistem pemantauan arus dan tegangan yang dibuat menggunakan *software Arduino dan software data akusisi PLX-DAQ* :

a. Arduino 1.6.9

Arduino 1.6.9 merupakan salah satu versi perangkat lunak Arduino yang bersifat *open source* dimana bahasa program yang digunakan yaitu C++.



Gambar 42. Arduino 1.6.9 Software

b. PLX-DAQ

Untuk mempermudah penulis mendapatkan secara *realtime* digunakan *Parallax Data Acquisition* (plx-DAQ) software. Nilai output serial monitor arduino ditampilkan dalam bentuk data excel.



Gambar 43. PLX-DAQ Software

Adapun tahapan pembuatan *listing program* yaitu :

- Membuat *loop* sistem kontrol (*flowchart*) dari program yang akan dibuat.
- Membuat program menggunakan pemrograman C dengan referensi diagram blok dari sistem kontrol yang akan dibuat.
- Mengkompilasi program yang dibuat sampai tidak terjadi kesalahan.
- Pengisian program atau *upload* ke *Arduino Uno*.

6. Pengujian sistem

Setelah seluruh tahapan perancangan selesai dilakukan maka, proses selanjutnya yaitu pengamatan apakah *loop* berjalan dengan baik atau tidak. Apabila tidak sesuai, maka dilakukan peninjauan kembali atau dilakukan proses *troubleshooting*. Kemudian setelah selesai, selanjutnya melakukan pengujian, meliputi:

- a. Mengukur nilai arus dan tegangan dengan alat pemantauan yang dibuat bersamaan dengan clamp-on Multimeter Mastech MS2115B sebagai acuan pengukuran yang tepat.
- b. Memastikan data nilai arus ditampilkan pada LCD dan juga terekam secara *real time* pada *Software* data akusisi PLX-DAQ dalam bentuk data excel sudah sesuai dengan perintah bahasa program yang dibuat.

E. Penentuan Parameter Proses Pemesinan

Setelah sistem pemantauan arus dan tegangan dipastikan dapat digunakan dalam pengambilan data maka selanjutnya yaitu mempersiapkan proses pemesinan. Sebelum melakukan pemotongan ditentukan terlebih dahulu parameter-parameter pemesinan dalam proses pemotongan.

Adapun parameter-parameter kondisi pemesinan ditunjukkan pada tabel 7 sebagai berikut:

Tabel 5. Parameter pemesinan

Variabel Pemotongan	<i>Range Level</i>
Kecepatan Spindle (rpm)	128 - 1700
Kecepatan meja, V_f (mm/min)	128 - 20
Kedalaman Potong, a_p (mm)	0,5 – 1,5
Lebar Pemotongan, a_e (mm)	16
Diameter Pahat, D (mm)	16
Pahat (<i>endmill</i>)	HSS (<i>high speed steel</i>)
Benda Kerja	SS 400
Metode Pemotongan	<i>Dry cutting</i>

F. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dalam penelitian ini terbagi menjadi beberapa tahapan antara lain sebagai berikut :

1. *Set-Up* Peralatan eksperimen/ penelitian
 - a. Melakukan kalibrasi serta menempatkan kamera inframerah *cheap-thermocam* tepat di depan spindle untuk dapat mengambil gambar termal dalam proses pemotongan benda kerja.

- b. Melakukan Set-up *Clamp-On Multimeter* dan sensor arus SCT013-030 dengan mengapit salah satu kabel suplai arus listrik tiga fasa input mesin frais, motor *spindle*, dan motor *feed*.
- c. Melakukan *set-up* mesin frais yang terdiri dari penentuan waktu pemesinan, gerak pahat, serta perencanaan variabel parameter pemotongan seperti pada tabel berikut :

Tabel 6. Variabel penelitian

Universal milko 12			
Depth of cut (mm)	Spindle speed (Rpm)		
	128	910	1700
	Feed ($\frac{\text{speed (Rpm)}}{910} \times \frac{1700}{\text{mm/ment}}$)		
0,5	20	145	365
1	20	145	365
1,5	20	145	365

2. Pengambilan data

Setelah melakukan *Set-Up* peralatan eksperimen maka proses pengambilan data dapat dilakukan. Adapun tahapan pelaksanaan pengambilan data sebagai berikut :

- a. Menghidupkan mesin frais (*start-up*) dengan kondisi awal *stand-by* atau *idle* dimana tidak terjadi operasi pemotongan. Pada tahap ini energi dikonsumsi oleh motor utama spindle (*main motor spindle*) tanpa pembebanan (*unloaded*).

- b. Melakukan *Monitoring* pada tiap variabel penelitian kondisi pemotongan meliputi variasi *feed rate* (kecepatan pemakanan), *depth of cut* (kedalaman pemotongan), dan *spindle speed* (kecepatan putar spindel) seperti pada tabel 8.
- c. Melakukan pengambilan data konsumsi arus, serta kalkulasi daya nyata yang dikonsumsi pada tiap variabel kondisi pengujian, serta konsumsidaya dalam satu kali proses pemesinan kemudian mengambil gambar termal pada spindle dan proses pemotongan
- d. Mencatat data yang telah didapat ke dalam table data hasil percobaan serta menganalisa nya untuk melihat nilai konsumsi daya.

Tabel 7. Tabel data percobaan kondisi Idle

Rpm	Operasi	Daya Rata-Rata (w)	Konsumsi Daya (Kwh)
128	<i>Idle spindle</i>		
910	<i>Idle Spindle</i>		
1700	<i>Idle Spindle</i>		

Tabel 8. Tabel data percobaan kondisi idle meja bergerak

Rpm	Operasi	Daya Rata-Rata (w)	Konsumsi Daya (Kwh)
128	Idle spindle		
	Idle Run-Time		
Total Konsumsi Daya			
910	Idle Spindle		
	Idle Run-Time		
Total Konsumsi Daya			
1700	Idle Spindle		
	Idle Run-Time		
Total Konsumsi Daya			

Tabel 9. Tabel data percobaan kondisi melakukan pemotongan

Rpm	Operasi	Daya Rata-Rata (w)	Konsumsi Daya (Kwh)
128	<i>Idle Run-Time</i>		
	<i>Machining</i>	0,5	
		1	
		1,5	
	Total Konsumsi Daya		
910	<i>Idle Run-Time</i>		
	<i>Machining</i>	0,5	
		1	
		1,5	
	Total Konsumsi Daya		
1700	<i>Idle Run-Time</i>		
	<i>Machining</i>	0,5	
		1	
		1,5	
	Total Konsumsi Daya		

3. Analisa Data

Proses *monitoring* memerlukan suatu pengolahan data. Hasil pengolahan data ditampilkan dalam bentuk grafik dari konsumsi daya serta nilai temperatur proses pemotongan. Hasil analisa nantinya akan menunjukkan pengaruh konsumsi daya terhadap temperatur proses pemotongan proses pemesinan frais. Berikut tahapan analisa data yang dilakukan:

- a. Melakukan kalkulasi besar nilai error pada alat pemantau arus yang dibuat dengan acuan pengukuran nilai arus pada *clamp-on multimeter* Mastech MS2115B.
- b. Melakukan analisa data konsumsi daya tiap variasi parameter proses pengujian. Data yang didapatkan dianalisa secara kualitatif dan ditampilkan dalam grafik.
- c. Melakukan analisa gambar termal secara kualitatif untuk mengetahui pengaruh waktu pemesinan, variasi parameter pemotongan dan pengaruh konsumsi daya terhadap perubahan temperatur proses pemotongan.

V. PENUTUP

A. Simpulan

Berdasarkan hasil analisa data yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain :

1. Telah dibuat alat pemantau arus dan tegangan berbasis arduino menggunakan sensor SCT-030A. Data ditampilkan pada LCD dan dapat diakusisi dengan komputer menggunakan PLX-DAQ secara *realtime* dengan *delay* 0,5 detik . Nilai error pengukuran arus sebesar $\pm 1\%$ dan nilai error pengukuran tegangan sebesar 0,24 % dari *clamp-on multimeter* MASTECH MS2115B.
2. Pada kondisi mesin idle spindle Dalam waktu 30 menit kecepatan spindle 128 rpm – 1700 rpm konsumsi daya meningkat dari 0,92 kWh – 0,96 kWh. Dalam waktu 5 menit meningkat dari 0,153 kWh – 0,156 kWh. Dalam Waktu 2,5 menit meningkat dari 0,079 kWh – 0,084 kWh. Hasil pemantauan termografi menunjukkan suhu mesin juga meingkat seiring lamanya waktu mesin idle dan tingginya kecepatan spindle. Semakin tinggi putaran *spindle* dan lamanya waktu proses menyebabkan peningkatan nilai arus dan daya dan juga suhu mesin.

3. Pada kondisi mesin idle meja bergerak daya rata-rata sebesar 2,5 kW – 2,8 kW. Pada gerak meja 20 mm/menit untuk kecepatan 128 rpm - 910 rpm konsumsi sebesar 1,5 kWh - 1,6 kWh dan menurun pada 1700 rpm 1,47 kWh. Untuk Gerak meja 145 mm/menit konsumsi daya meningkat dari 0,23 kWh – 0,243 kWh. Untuk gerak meja 365 mm/menit peningkatan sebesar 0,113 kWh – 0,121 kWh. Hubungan pemantauan termografi dari hasil pemantauan daya tersebut membuktikan bahwa pengaruh peningkatan suhu dari variasi kecepatan spindle dan waktu proses tidak selamanya menjadi indikasi kenaikan nilai konsumsi daya, karena terdapat faktor lain yaitu ketidakstabilan suplai tenaga listrik pembangkit yang juga berdampak terhadap daya yang dikonsumsi mesin.

4. Pada kondisi pemesinan daya rata-rata naik dan turun dalam rentang nilai 2,6 - 3,1 kW. Pada kecepatan gerak meja 20 mm/menit untuk kecepatan 128 rpm – 1700 rpm , peningkatan konsumsi daya sebesar 1,48 kWh – 1,49 kWh. Pada kecepatan gerak meja 145 mm/menit konsumsi daya sebesar 0,25 kWh – 0,248 kWh. Pada kecepatan gerak meja 365 mm/menit konsumsi daya sebesar 0,11 kWh – 0,12 kWh. Kecepatan gerak meja dan kedalaman potong berdampak besar terhadap naik dan turunnya daya pemotongan sebagai indikasi keausan dan berkurangnya umur pahat. Hasil pemantauan termografi, pahat yang mengalami keausan meningkatkan daya dan juga suhu pemotongan. Pada kecepatan *spindle* yang rendah, suhu pemotongan meningkat seiring tingginya kecepatan gerak meja, sedangkan pada kecepatan *spindle* yang tinggi suhu pemotongan dan

konsumsi daya semakin menurun seiring meningkatnya kecepatan gerak meja karena waktu kontak material dan pahat juga semakin singkat.

B. Saran

Saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian ini adalah :

1. Untuk mendapatkan nilai pengukuran yang lebih akurat, alat pemantau arus yang dibuat perlu dimodifikasi untuk pengukuran sistem 3 fasa, dengan pengukuran pada tiga kabel fasa R S dan T dengan masing masing sensor tegangan sehingga ketidakseimbangan beban antar fasa dapat terlihat dan didapat konsumsi daya total sebenarnya.
2. Untuk melihat pengaruh antara nilai konsumsi daya dengan temperatur proses secara kuantitatif, analisa statistik dapat dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Bandes. 2014. *Ultrasonic Condition Monitoring*. Retrieved from <http://www.uesystems.com/new/wpcontent/uploads/2012/07/ultrasound-condition-monitoring-uev7.pdf>
- Alaitz Gonzalez. 2007. *Machine Tool Utilisation Phase: Costs and Environmental Impacts with a Life Cycle View* Master of Science Thesis Stockholm 2007 PRESENTED AT INDUSTRIAL ECOLOGY ROYAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
- Ari Satmoko, Abdul Hafid. 2007. *Pemeliharaan Prediktif Pada Jaringan Listrik Dengan Thermography Infra Merah*. Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir – BATAN Kawasan Puspitek, Serpong Tangerang. SEMINAR NASIONAL III SDM TEKNOLOGI NUKLIR YOGYAKARTA, 21-22 NOVEMBER. ISSN 1978-0176.
- Arduino. 2016. *Download the Arduino Software 1.6.10*. <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>
- Burhanudin, Yanuar. Wardono, Hery. Su'udi, Ahmad. 2012. *Karakterisasi Penyalaan Geram Pada Pemesinan Kecepatan Tinggi Magnesium AZ31 dan Magnesium AZ91 Menggunakan Analisis Termografi dan Jaringan Syaraf Tiruan*. UNILA. Lampung

C. Muralidhar and M. Venkata Reddy. 2013. *Infrared Thermography: A versatile tool. Non Destructive Evaluation Division, Defence Research & Development Laboratory Kanchanbagh, Hyderabad - 500 058, India Email:dr_c_muralidhar@rediffmail.com,mallu.venkatareddy@gmail.com. www.ndt.net.apcndt2013.papers*

Chen Tsung-Chia, et al. 2016. *Real-Time Compensation for Thermal Errors of the Milling Machine. licensee MDPI, Basel, Switzerland.*

Dahmus, J. B, Gutowski, T. G. 2004. *An Environmental Analysis of Machining in Proceedings of IMECE. 2004. Anaheim, USA. ASME International Mechanical Engineering Congress and RD&D Expo, November 13-19.*

D. Mba and R. B. K. N. Rao. 2006. *Development of Acoustic Emission Technology for Condition Monitoring and Diagnosis of Rotating Machines ; Bearings, Pumps, Gearboxes, Engines and Rotating Structures. The shock and vibration digest vol. 38, no. 1, pp. 3–16,*

Dr. Kalla. Devi, Dr.Twomey.Janet, and Dr. Overcash. Michael. 2009. *Milling Processs Unit Process Life Cycle Inventory. August 19,*

Dr. Oğuzhan YILMAZ (Assoc.Prof.) . Cutting-tool Materials & Cutting Fluids
oyilmaz@gantep.edu.tr

Gutowski, T. G., Dahmus, J. B., Thiriez, A. 2006. *Electrical Energy Requirements for Manufacturing Processes. Leuven, Belgium, pp. 623-627. Proceedings of the 13th CIRP Conference on Life Cycle Engineering, ed. By Duflou, J. et al.*

Helmi A. Youssef, Hassan El-Hofy. 2008. *Machining technology : machine tools and operations. Broken Sound Parkway NW, Suite 300 Boca Raton, FL 33487-2742 .CRC Press Taylor & Francis Group 6000.*

Herrmann, C., Bergmann, L., Thiede, S., Zein, A. 2007. *Framework for Integrated Analysis of Production Systems*; in *Proceedings of the 14th CIRP Conference on Life Cycle Engineering*, ed. by Takata, S., Umeda, Y., Tokyo, Japan, Springer, London, pp. 195-200.

Herrmann, C; Thiede, S., Zein, A, Ihlenfeldt, S., Blau, P., 2009. *Energy Efficiency of Machine Tools: Extending the Perspective*. Grenoble, France. Publiziert in / published in: *Tagungsbericht: Proceedings of the 42nd CIRP International Conference on Manufacturing Systems, June 3 - 5*

Jari Repo. 2010. *Condition Monitoring of Machine Tools and Machining Processes using Internal Sensor Signals* Licentiate thesis. School of Industrial Engineering and Management SE-100 44. Stockholm, Sweden.

Juan Rosales. 2006. *Condition Monitoring- A Closer Look at Lubricating Oil Analysis*. Retrieved from <http://www.frost.com/prod/servlet/marketinsightprint.pag?docid=87444743>

Kementerian ESDM. 2012. *Buku perencanaan kebutuhan energi sector industri dalam rangka akselerasi industrialisasi*. Biro Perencanaan Kementrian Perindustrian Republik Indonesia.

K. Jemielniak. 1999. *Commercial Tool Condition Monitoring System*. Warsaw University of Technology, Institute of Manufacturing Engineering, Warsaw, Poland.

K.S.Badrinathan et.al . 2014. *Study of the Effect of Progressive Feed Rate on the Cutting Force in CNC End Milling of AISI 1045 Steel*. *International Journal of Engineering and Technology (IJET)*. ISSN : 0975-4024 Vol 5 No 6 Dec 2013-Jan 2014

Kardonowy and David N, A. 2002. *Power Assessment of Machining Tools. Bachelor of Science Thesis in Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology.*

Koritawa, Galih. 2015. *Pengembangan Sistem Pemantauan Kondisi Mesin Frais Menggunakan Aplikasi Thermovision Real Time.* UNILA. Lampung

Land Instruments International. 2004. *A Basic Guide To Thermography Using Thermal Imagers. Training ThermographyV1/1104.* England

Leith Hitchcock, Pall Corporation. 2011. *Using Thermography to Uncover Hidden Problems.* <http://www.reliableplant.com/Articles/Print/28638>

Montgomery, Michael. 2010. *Using IR Thermography as a predictive maintenance tool in an electronics manufacturing facility.* 2033 East Boulevard, Kokomo, IN 46904Ph: 765-451-1202

M. S. Jadin and S. Taib. 2012. *Recent progress in diagnosing the reliability of electrical equipment by using infrared thermography.* *Infrared Physics and Technology*, vol. 55, no. 4, pp. 236–245, July 2012.

Maglo18. 2015. *Custom Power Meter.* <https://forum.mysensors.org/topic/1464/sct-013-030-current-monitor-sensor/>

Oberg, Erik; Jones, Franklin D.; Horton, Holbrook L.; Ryffel, Henry H. 2004. *Machinery's Handbook (27th Edition) & Guide to Machinery's Handbook.* Industrial Press 978-0-8311-2711-4; 978-0-8311-2799-2 (Guide)

Open Energy Monitor. *Resources- Electricity Monitoring.* <https://openenergymonitor.org/emon/buildingblocks/ct-and-ac-power-adaptor-installation-and-calibration-theory>

Parallax Inc. 2016. *PLX-DAQ macro for Excel.* Diunduh pada 22 Maret 2016 di <https://www.parallax.com/downloads/plx-daq>

- RAJEMI. Mohamad Farizal. 2010. *Energy Analysis in Turning and Milling*.
A thesis submitted to The University of Mancheste for the degree of
Doctor of Philosophy in the Faculty of Engineering and Physical
Sciences. School of Mechanical, Aerospace and Civil
- Rajender Singh. 2006. *Introduction to Basic Manufacturing Processes and
Workshop Technology*. Ansari Road, Daryaganj, New Delhi – 110002.
PUBLISHING FOR ONE WORLD NEW AGE INTERNATIONAL (P)
LIMITED, PUBLISHERS 4835/24 www.newagepublishers.com.
- Ravel/Bfk. 2000 N.N. *Typischer Energiefluss einer guten Produktions maschine*.
RAVEL/BFK, 724.397.12.54 D. Available from
<http://www.energie.ch/themen/industrie/infel/maschinen.htm>
- Robottini. *Arduino and real time charts in Excel*. Diakses pada 23 Maret 2016
<http://robottini.altervista.org/>
- Roysoala. *Energy Monitoring using Pachube, Arduino 1.0 and SCT-013-030*.
<https://roysoala.wordpress.com/tag/sct-013-030/>
- Jari Repo. 2010. *Condition Monitoring of Machine Tools and Machining
Processes using Internal Sensor Signals*. Licentiate thesis. School of
Industrial Engineering and Management SE-100 44 Stockholm
Sweden.
- R. Yan and R. Gao. 2006. *Transform-Based Vibration Signal Analysis for
Machine Health Monitoring*. *IEEE Transactions on Instrumentation
and Measurement* vol. 55, no. 6, pp. 2320–2329, December.
- Pancu Rareș, Bungău Constantin, Ganea Macedon . 2013. *THERMOGRAPHIC
DIAGNOSIS AT MACHINE TOOLS*. *Nonconventional Technologies
Review 2013* Romanian Association of Nonconventional Technologies
Romania, June, 2013 University of Oradea, rpancu@uoradea.ro
University of Oradea, bungau@uoradea.ro University of Oradea

- Saputra, Christian Ferry. 2011. *Rekondisi Mesin Frais Universal Seri 4260*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- S. Bagavathiappan, B. B. Lahiri, T. Saravanan, J. Philip, and T. Jayakumar. 2013. *Infrared thermography for condition monitoring – A review*. *Infrared Physics and Technology*, vol. 60, pp. 35–55, 2013.
- S. K. Acharya, A. Das, V. K. Gupta, K. R. Anil Kumar, and S. Bhattacharjee. 2009. *Vibration signature analysis as a diagnostic tool for Condition Assessment of rotating equipment Experience at TAPS*. *Proceedings of the National Seminar & Exhibition on Non-Destructive Evaluation*, pp. 56–63, NDE 2009, December 10-12, 2009.
- S.P.Garnaik. 2005. *Infrared Thermography : A versatile Technology for Condition Monitoring and Energy Conservation*. Asst. Director(Technology Management) National Productivity Council, Kanpur, India 2005. Diunduh dari <http://www.reliabilityweb.com>
- S. Taib and M. Jadin. 2012. *Thermal Imaging for Enhancing Inspection Reliability: Detection and Characterization*. InTech, Rijeka, Croat.
- Soemarno. 2008. Sharing Pengalaman Maintenance. Diakses dari <http://soemarno.org/2008>
- Shaw, Milton.C. 1984. *Metal Cutting Principle*. Oxford. Newyork
- T. Holkup, J. Vyroubal, J. Smolik. 2013. *Improving energy efficiency of machine tools*. *Research Center for Manufacturing Technology (RCMT)*. Czech Technical University in Prague, Czech Republic, September 23-25 Berlin- Germany. 11th Global Conference On Sustainable Manufacturing.
- Tobbyrobb. *Power Meter – LCD and Arduino based*. <http://tobyrobb.com/wordpress/?p=802>

Waclaw Skoczynski, Janusz Maczka, Zbigniew Wasiak, Andrzej Roszkowski, Pawel Pres. 2013. *Poland. Assesment of Energy Consumption by Machine Tools. WROCLAW UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING, INSTITUTE OF PRODUCTION ENGINEERING AND AUTOMATION, WYBRZEZE WYSPIANSKIEGO 27, WROCLAW.*

Widarto, B Sentot Wijanarka, Sutopo, Paryanto. 2008. *Teknik Permesinan untuk SMK.* Jakarta. Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Departemen Pendidikan Nasional, 2008. xii. 508 hlm Daftar Pustaka : 478-480

Widodo, Achmad. 2008. *Pencarian Informasi Citra Digital Termografi Dengan Metode Pengenalan Pola Untuk Pemantauan Kondisi Mesin,* Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

Y.-C. Chou and L. Yao. 2009. *Automatic Diagnostic System of Electrical Equipment Using Infrared Thermography. International Conference of Soft Computing & Pattern Recognition, pp. 155–160, 2009.*

Zulhendri , Kiswanto,G., Yazamendra, R. 2007. *Pengaruh Tipe Pahat dan Arah Pemakanan Berkontur pada Pemesinan Milling Awal dan Akhir Terhadap Kekasaran Permukaan . Jurnal Teknik Mesin. 4(1):15-22.*