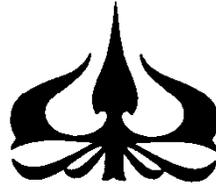


**Bidang Unggulan PT: Manajemen Energi Terbarukan  
(Konservasi Energi)**

**LAPORAN AKHIR  
PENELITIAN UNGGULAN PERGURUAN TINGGI**



**JUDUL PENELITIAN**

**MODEL AUDIT ENERGI MANDIRI UNTUK PENGHEMATAN KONSUMSI  
ENERGI MESIN-MESIN**

**TIM PENELITI**

**Dr. Ir. Sally Cahyati, MT (0307126502)**

**Ir. Ido Gandamana, M.Sc (0320085105)**

**Ir. Doddy Wahyutomo (0312025501)**

Dibiayai oleh Kopertis Wilayah III Jakarta, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan,  
sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Penelitian  
No. 043/K3.KU/2012 tanggal 1 Maret 2012

**UNIVERSITAS TRISAKTI  
Nopember 2012**

## HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN AKHIR

**1. Judul Penelitian** : **Model Audit Energi Mandiri untuk Penghematan Konsumsi Energi Mesin – Mesin**

Judul Penelitian Tahun ke 1:

Analisis Pola Konsumsi Energi Pada Proses Pemotongan Mesin Perkakas Untuk Menunjang Konservasi Energi

**2. Ketua Peneliti**

- a. Nama Lengkap : Dr. Ir. Sally Cahyati MT.
- b. Jenis Kelamin : P
- c. NIP : 1991/Usakti
- d. Jabatan Fungsional : Lektor Kepala /IV A
- e. Jabatan Struktural : Ka.Studio CAD/CAM
- f. Bidang Keahlian : Teknik Mesin-Teknik Manufaktur
- g. Fakultas/Jurusan : Fakultas Teknologi Industri/Jurusan Teknik Mesin
- h. Perguruan Tinggi : Universitas Trisakti
- i. Tim Peneliti

No	Nama	Bidang Keahlian	Fakultas /Jurusan	Perguruan Tinggi
1	Ir. Ido Gandamana, M.Sc	Teknik Mesin	FTI / Jurusan Teknik Mesin	Universitas Trisakti
2	Ir. Doddy Wahyutomo	Teknik Mesin	FTI / Jurusan Teknik Mesin	Universitas Trisakti

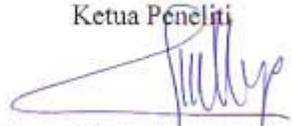
**3. Pendanaan dan jangka waktu penelitian :**

Jangka waktu penelitian yang diusulkan : 3 tahun

Biaya total yang diusulkan : Rp. 215.000.000,-

Biaya yang disetujui tahun ke 1 : Rp 49.900.000,-

Mengetahui,  
Direktur Lembaga Penelitian  
  
(Prof. Dr. Ir. Dadan Umar Daihani, DEA)  
1331 Usakri / 0314125405

Jakarta, 26 Nopember 2012  
Ketua Peneliti  
  
(Dr. Ir. Sally Cahyati, MT)  
1991 Usakti / 0307126502

Menyetujui,  
Wakil Rektor Universitas Trisakti  
  
Prof. Dr. Yuswar Zainul Basri, Ak. MBA.

## RINGKASAN

Mesin Perkakas mempunyai tiga karakteristik yaitu karakteristik mekanis, metrologi dan kelistrikan. Karakteristik kelistrikan dapat diketahui dengan mengetahui pola konsumsi energi yaitu daya dan energi spesifik pemotongan dari mesin tersebut. Pola konsumsi energi adalah pola yang menunjukkan bagaimana suatu mesin mengkonsumsi energi listrik saat beroperasi. Pola konsumsi energi dapat digunakan sebagai alat untuk mendeteksi kondisi karakteristik mesin lainnya yaitu karakteristik mekanis dan metrologi. Pola konsumsi energi mesin ini diperlukan untuk masukan model audit energi mandiri mesin perkakas yang akan selesai dibuat pada tahun ketiga penelitian ini.

Analisis pola konsumsi energi mesin perkakas ini akan dilakukan dalam tiga tahap sub penelitian yaitu kalibrasi mesin perkakas, kalibrasi dinamometer, dan analisis pola konsumsi energi mesin perkakas. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental. Mesin yang diambil sebagai sampel adalah tiga buah mesin bubut yang diberi inisial BU 13, BU 14, dan BU 15. Mesin BU 13 mewakili mesin yang tidak mendapatkan perawatan, mesin BU 14 mewakili mesin yang mendapatkan perawatan tepat sesuai dengan petunjuk pabrik pembuat, dan BU 15 mewakili mesin yang mendapat perawatan namun belum perawatan yang tepat. Percobaan menggunakan benda uji yang berbentuk silindris yang terbuat dari material VCN, S 45 C dan Al. Parameter pemotongan yang digunakan adalah gerak makan 0.28, 0.262, 0.233, 0.19, 0.175, 0.095, 0.087 dan 0.075 mm/putaran, putaran yang digunakan adalah 710, 1000 dan 1400 rpm, sedangkan kedalaman pemotongannya adalah 1,0.75 dan 0.5 mm.

Hasil kalibrasi mesin, diperoleh kesimpulan bahwa mesin BU 14 dan BU 15 dalam kondisi baik namun masih perlu di set up. Hasil kalibrasi dinamometer dapat disimpulkan bahwa dinamometer valid untuk digunakan. Konstanta pengali untuk mengkonversi nilai sinyal ADC terhadap  $F_v$  adalah 1.534 N dan  $F_f$  adalah 1.412 N. Pola konsumsi energi BU 13 lebih tinggi dari BU 14 dan BU 15, terlihat dengan kenaikan  $E_{sp}$  BU 13 yang jauh lebih besar dari BU 14 dan BU 15, pada pemotongan dengan gerak makan  $\leq 0.095$  mm/put dan putaran  $\geq 1000$  rpm. Mesin bubut BU 13 yang tidak mendapatkan perawatan tingkat konsumsi energi 11-36% lebih besar dibandingkan BU 14 dan BU 15. Secara tidak langsung juga menunjukkan bahwa mesin yang mendapat perawatan mesin yang tepat akan mempunyai kinerja mesin dan tingkat konsumsi energi yang lebih baik.

## **PRAKATA**

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala karunia-Nya sehingga penelitian ini ini berhasil diselesaikan. Judul yang dipilih untuk penelitian tahun pertama ini adalah Analisa Pola Konsumsi Energi Pada Proses Pemotongan Mesin Perkakas Untuk Menunjang Konservasi Energi. Penelitian ini dimulai dari bulan Januari 2012 dan telah selesai dilaksanakan pada bulan Nopember 2012. Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian 3 tahun dengan judul penelitian induk; Model Audit Energi Mandiri Untuk Penghematan Konsumsi Energi Mesin-Mesin Perkakas.

Peneliti mengucapkan terimakasih kepada DIKTI dan Universitas Trisakti yang telah memberikan Dana Desentralisasi-DIPA Kopertis Wilayah III No. 0546/023-04.2.01/11/2012 dan Universitas Trisakti Tahun Akademik 2011/2012 untuk membiayai penelitian ini. Semoga penelitian ini dan semua luarannya bermanfaat bagi perkembangan IPTEK di Indonesia.

Jakarta, Nopember 2012

*Sally Cahyati*

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
<b>A. LAPORAN HASIL PENELITIAN</b>	
RINGKASAN	iii
PRAKATA	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
Latar Belakang	1
Permasalahan	2
Hipotesis	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
Pengertian Umum	3
Energi	3
Konservasi Energi	3
Analisa Kebutuhan Energi	5
Energi Pada Proses Manufaktur	6
Daya-Daya Pada Proses Bubut	7
Kebutuhan Listrik Pada Proses Manufaktur	7
Energi Pemotongan Spesifik	8
Pola Konsumsi Energi	8
Dinamometer Mesin Bubut	9
Gaya-Gaya Pada Proses Bubut	10
BAB III TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	12
Tujuan Penelitian	12
Manfaat Penelitian	13

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	14
Pemilihan Mesin Uji	15
Kalibrasi Mesin Perkakas	16
Kalibrasi Dinamometer	16
Analisis Pola Konsumsi Mesin Perkakas	18
Penentuan Benda Uji	18
Parameter Pemotongan Pengujian Mesin	19
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	21
Kalibrasi Mesin Perkakas	21
Kalibrasi Dinamometer Untuk Pengujian Parameter Pemotongan dan Konsumsi Energi Pada Mesin Bubut	24
Analisis Pola Konsumsi Energi Pada Mesin Perkakas; studi Kasus Mesin Bubut	28
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	34
Kesimpulan	34
Saran	35

#### DAFTAR PUSTAKA

#### LAMPIRAN

#### **B. ARTIKEL ILMIAH**

1. Cahyati S, Gandamana I, Wahyutomo D. 2012. Kalibrasi Dinamometer Untuk Pengujian Parameter Pemotongan dan Konsumsi Energi Pada Mesin Perkakas. SNTI III. Universitas Trisakti. Jakarta. 28 Juni 2012.
2. Cahyati S, Gandamana I, Wahyutomo D. 2012. Analisa Pola Konsumsi Mesin Perkakas; Studi Kasus Mesin Bubut. SNTTM XI. BKSTM- Universitas Gadjah Mada. Jakarta. 16-17 Oktober 2012.
3. Sally Cahyati. 2012. *Green Machining* dan Audit Energi Mandiri Mesin Perkakas. Penerbit Universitas Trisakti . Jakarta. (Draft).

#### **C. SINOPSIS PENELITIAN LANJUTAN**

Rekayasa Model Penilaian Kinerja Mesin–Mesin Perkakas Berwawasan *Eco Maintenance*

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
1. Variasi gerak makan dan putaran pada pengujian	20
2. Hasil uji ketelitian geometrik mesin bubut SNI 05-1618-1989	22
3. Konversi kenaikan Fv dari rata-rata nilai ADC	26
4. Konversi kenaikan Ff dari rata-rata nilai ADC	28
5. Rentang prosentase perbedaan Esp pada BU13,BU14, dan BU15	33

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
1. Energi dan material input dan out put pada proses manufaktur	7
2. Rangkaian jembatan wheatstone pada dinamometer	9
3. Lingkaran Merchant	11
4. Langkah-langkah dalam penelitian analisis pola konsumsi energi pada proses pemotongan mesin perkakas untuk menunjang konservasi energi	15
5. Alat ukur kalibrasi mesin	16
6. Peralatan ukur kalibrasi dinamometer	17
7. Prosedur kalibrasi dinamometer	18
8. Benda uji	18
9. Langkah-langkah analisis pola konsumsi pada mesin perkakas	19
10. Kegiatan kalibrasi mesin bubut BU14 dan BU 15	21
11. Rata –rata nilai sinyal ADC vs beban tangensial	26
12. Rata-rata sinyal ADC vs beban aksial	26
13. Grafik kenaikan gaya potong	27
14. Grafik kenaikan gaya makan	27
15. Karakteristik gaya pemotongan dan gaya makan pada BU13, BU14, BU15	29
16. Daya yang terjadi pada pengujian	30
17. Pengaruh gerak makan terhadap energi pemotongan spesifik pengujian	31
18. Pengaruh putaran terhadap energi pemotongan spesifik pengujian	32

## **DAFTAR LAMPIRAN**

1. SNI 05-168-189 (Cara Uji Ketelitian Geometrik Mesin Bubut Universal)
2. Gambar Benda Uji
3. Gambar Dudukan Dinamometer

# BAB I PENDAHULUAN

## **Latar Belakang**

Dalam kurun 13 tahun terakhir konsumsi energi di Indonesia meningkat dengan laju kenaikan sebesar 6.5 % pertahun. Konsumsi energi nasional adalah 4,727,051 TJ dimana 12.4 % adalah merupakan kebutuhan energi listrik (CDIEMR, 2011). Kebutuhan energi tersebut baru 75% yang terpenuhi oleh PLN. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut PLN berupaya untuk meningkatkan produksinya, dengan membuat beberapa pembangkit listrik yang baru. Namun perlu disadari semakin banyak pembangkit listrik memproduksi energi listrik, maka semakin besar kebutuhan akan bahan bakarnya dan semakin banyak emisi CO<sub>2</sub> terbentuk yang dapat mengakibatkan efek rumah kaca. Apabila bahan bakar yang diperlukan terus meningkat, maka eksplorasi dari sumber daya energi khususnya sumber daya energi yang tidak terbarukan semakin meningkat pula sehingga dapat mengganggu program konservasi energi. Mengingat 47.3 % dari konsumsi energi nasional adalah konsumsi energi pada sektor industri, maka wajar kiranya apabila sektor industri mulai peduli pada penghematan energi. Oleh karena selain berdampak ekonomis penghematan energi juga berdampak pada kelestarian lingkungan. Semakin optimal pemakaian energi maka akan semakin optimal juga upaya pelaksanaan program konservasi energi dan “*Green World*”.

Dalam industri manufaktur, perawatan mesin sangat mempengaruhi pola konsumsi energi suatu mesin. Ketidaktepatan dalam pemberian perawatan pada suatu mesin adalah salah satu penyebab kehilangan dan ketidakefisienan energi pada suatu mesin (Jeremic, 2005). Tanpa adanya perawatan mesin yang tepat, kinerja mesin akan menurun dengan lebih cepat dari waktu yang seharusnya. Penurunan kinerja pada mesin perkakas konvensional umumnya disebabkan karena kondisi komponen mesin yang sudah bergeser dari *setting* mesin dengan indikatornya adalah adanya ketidak senteran dari kepala lepas dan kepala tetap, ketidak paralelan antara meja dengan pergerakan eretan, spindel horisontal dan vertikal, serta konsumsi daya yang

meningkat tidak sewajarnya. Hal ini bertentangan dengan isu ”*Green Manufacturing*”, karena dengan adanya pemborosan energi ini selain menciptakan iklim industri manufaktur yang tidak kompetitif juga memboroskan daya dari PLN yang berujung pada pemborosan BBM dan semakin banyaknya tingkat polusi di Indonesia.

### **Permasalahan**

Perawatan terhadap suatu mesin seringkali membutuhkan biaya yang tidak sedikit, sehingga biaya tersebut seringkali dianggap suatu beban bagi perusahaan yang menyebabkan pemborosan keuangan. Oleh karena itu ada kecenderungan bagi beberapa perusahaan mengabaikan kebutuhan perawatan mesin-mesinnya. Perlu dilakukan penelitian untuk mengubah paradigma tersebut dengan membuktikan bahwa dengan adanya perawatan yang baik selain mendukung kelancaran proses produksi, meningkatkan mutu produk, juga menghemat konsumsi energi sehingga dapat menekan biaya produksi dan mendukung program pelaksanaan konservasi energi dan konsep “ *Green World*”.

Dalam industri manufaktur mesin perkakas umumnya menjadi ujung tombak bagi keberhasilan suatu produksi. Efek diabaikan perawatan pada mesin mengakibatkan terjadinya penurunan kinerja mesin dan konsumsi mesin menjadi boros sehingga mengakibatkan kerugian lebih besar dibandingkan biaya perawatan yang harus dikeluarkan. Belum lagi terjadinya kerugian negara secara tidak langsung akibat pemborosan energi ini. Sumber utama energi penggerak dari motor mesin perkakas listrik adalah dari PLN yang sebagian besar pembangkit energi listriknya masih menggunakan BBM bersubsidi dalam menghasilkan energi listrik. Sehingga setiap pemborosan energi akan menambah beban negara dalam pengadaan APBN untuk mensubsidi biaya proses pembangkitan energi listrik. Oleh karena itu program penghematan energi ini menjadi hal yang penting untuk dilakukan disegala bidang. Audit energi merupakan salah satu cara untuk mewujudkan tujuan penghematan energi ini. Berdasarkan audit energi dapat dilihat peluang apa saja yang dapat dilakukan dalam upaya penghematan energi ini.

## **Hipotesis**

Mesin-mesin yang tidak dirawat mempunyai tingkat kenaikan konsumsi energi yang lebih tinggi dari mesin-mesin yang dirawat. Pertanyaannya adalah apakah ada perbedaan pola konsumsi energi dari mesin perkakas yang dirawat dan tidak dirawat ? Berapa besarnya kenaikan konsumsi energi pada mesin yang tidak dirawat?

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **Pengertian Umum**

Ada beberapa pengertian umum yang harus disepakati agar terjadi kesamaan pada pemahaman terhadap konsep dasar dan landasan pustaka untuk pencarian pemecahan permasalahan penelitian.

#### **Energi**

Energi adalah suatu besaran yang secara konseptual dihubungkan dengan transformasi, proses atau perubahan yang terjadi. Besaran ini seringkali dikaitkan dengan perpindahan sebuah gaya atau perubahan temperatur, sehingga memungkinkan penentuan satuan joule (perpindahan gaya 1 Newton sejauh 1 meter), maupun kalor jenis (energi yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur sebesar 1 derajat per satuan massa material), dalam keperluan praktis, energi sering kali dikaitkan dengan jumlah bahan bakar atau konsumsi jumlah listrik.

#### **Konservasi Energi**

Konservasi energi adalah upaya mengefisienkan pemakaian energi untuk suatu kebutuhan agar pemborosan energi dapat dihindarkan. Kebijakan energi ini dimaksudkan untuk memanfaatkan sebaik-baiknya sumber energi yang ada, juga dalam rangka mengurangi ketergantungan terhadap minyak bumi, dengan pengertian bahwa konservasi energi tidak boleh menjadi penghambat kerja operasional maupun pembangunan yang telah direncanakan. (Badan Koordinasi Energi Nasional, 1983).

Ketergantungan terhadap sumber energi yang tidak dapat diperbaharui seperti minyak bumi yang semakin lama semakin sedikit cadangannya, membawa keprihatinan masyarakat dunia. Berbagai upaya dilakukan untuk mengatasinya baik dengan mencari energi alternatif maupun dengan melakukan konservasi atau penghematan energi. Apabila konservasi energi dapat dilakukan secara terpadu di semua bidang, ada dampak positif yang diperoleh antara lain dampak terhadap

kondisi ekonomi dan kondisi lingkungan. Banyak dana yang bisa dihemat dengan penghematan energi tersebut dan polusi yang terjadi akibat penggunaan bahan bakar minyak bumi tersebut dapat dikurangi atau bahkan dihilangkan. Menurut WEC (*World Energy Council*) dan ADEME (*Agency for Environmental and Energy Management-Perancis*), ada tiga tipe indikator yang dipertimbangkan menggambarkan dan mengkarakteristikan trend penghematan energi sebagai berikut:

1. Rasio ekonomi yaitu hubungan antara konsumsi energi dengan variabel moneter dari kegiatan ekonomi yang sering disebut intensitas energi.
2. Rasio tekno-ekonomi yaitu hubungan antara konsumsi energi terhadap suatu indikator dari aktivitas pengukuran dalam bentuk-bentuk fisik yang disebut konsumsi spesifik.
3. Penghematan energi yang memperkirakan jumlah energi yang dihemat atau yang dapat dihemat dalam nilai-nilai absolut atau bentuk-bentuk relatif.

Salah satu hal yang sering dilewatkan dalam usaha konservasi energi tersebut adalah sistem perawatan. Sistem perawatan yang baik ternyata selain mempersiapkan mesin-mesin selalu dalam kondisi optimal, juga memberikan andil yang cukup berarti dalam menghemat energi. Perawatan adalah suatu perawatan mesin yang berorientasi kepada keseimbangan antara kinerja, resiko, dan biaya untuk mencapai solusi optimal (Campbell dan Jardine 2001), tetapi pada lingkungan industri yang mempunyai karakteristik ketidakpastian yang tinggi hal tersebut tidak mudah dicapai. Ada tiga tipe tujuan yang harus dicapai pada perawatan tersebut yaitu tujuan strategis, taktis dan perbaikan kontinyu. Pada tujuan strategis dibuat penilaian tingkat kinerja operasional saat tersebut, sumber daya yang dibutuhkan dan waktu yang dipertimbangkan dalam merencanakan strategi pengembangan yang dilakukan. Pada tujuan taktis dipersiapkan manajemen kerja dan sistem manajemen suku cadang untuk mengontrol proses perawatan. Tujuan pemilihan taktik tersebut adalah untuk mengoptimalkan resiko kegagalan aset dengan mengoptimasi sistem perawatan berdasarkan hasil pemetaan kinerja operasional. Setelah proses optimasi maka dapat diperoleh suatu indek kinerja perawatan. Perbaikan secara kontinyu memerlukan konsistensi dan ketekunan dalam menerapkan usaha-usaha untuk mencapai tujuan strategis dan taktis yang telah

disepakati. Perawatan tersebut diintegrasikan pada isu lingkungan yaitu isu bumi hijau (*green world*) dan penghematan energi. Saat ini kedua hal tersebut menjadi isu penting dalam segala bidang di masyarakat. Masalah polusi menjadi isu penting bagi masyarakat, bahkan di negara berkembang sekalipun. Setiap limbah yang dibuang terlebih dulu harus diolah agar tidak menyebabkan polusi lingkungan. Penghentian produksi karena terjadi kerusakan (*break down*) juga dapat berpotensi untuk menghasilkan polusi. Penyalaan mesin kembali setelah stop mesin akibat kerusakan juga memerlukan daya awal yang cukup besar, sebagai contoh pada motor listrik, daya untuk penyalaan awal kurang lebih tiga kali daya yang dibutuhkan saat motor tersebut berjalan pada kondisi normal, hal tersebut sangat merugikan apalagi bila terjadi berulang kali. Mesin yang mendapat perawatan yang tepat dan optimal umumnya juga mengkonsumsi energi lebih hemat dibandingkan yang tidak terawat. Oleh karena itu suatu perawatan yang berorientasi pada penghematan energi dan eliminasi polusi diperlukan untuk menjaga kondisi permesinan dan fasilitas, terutama pada daerah kritis agar tetap dapat beroperasi secara prima dan optimal. Perawatan yang berwawasan lingkungan “*Eco Maintenance*”, dengan pola pikir penghematan energi dan eliminasi polusi yang terintegrasi pada sebuah sistem perawatan pada akhirnya dapat menaikkan kualitas produk dan meningkatkan profit perusahaan (Cahyati, 2012).

### **Analisa Kebutuhan Energi**

Menurut Fluck (1992), analisa energi adalah analisa obyektif dari sifat-sifat fisik energi yang terlibat dalam suatu proses, sistem, dan lainnya. Analisa energi tersebut mencakup identifikasi dan pengukuran aliran energi yang terkandung pada berbagai barang/produk dan jasa/proses. Analisa energi tersebut sangat berguna untuk menentukan dan mengevaluasi penerapan metode konservasi energi berdasarkan kebutuhan energi terkecil. Pada proses perhitungannya analisa energi tersebut menerapkan beberapa batasan sistem, antara lain perhitungan kebutuhan energi kotor, kebutuhan energi proses, energi langsung, energi tidak langsung dan kebutuhan energi (Slessor 1988). Metode umum dalam analisa energi adalah memilih batasan, mengidentifikasi dan memperhitungkan seluruh input dan output (interval waktu/unit)

yang melewati batasan, menentukan kebutuhan energi di setiap input, menghitung seluruh output, menghubungkan total energi yang terlibat dengan output, menerapkan hasil dari analisa energi (Fluck 1992).

Menurut Waterland (1982), ada beberapa jenis studi energi yang dapat dilakukan di pabrik antara lain studi lingkup pendahuluan, studi inventarisasi penggunaan energi dan peralatan sistem, studi sumber energi, studi energi secara menyeluruh, studi energi khusus, dan studi energi berkelanjutan. Pada pelaksanaannya studi energi meliputi beberapa analisa yaitu :

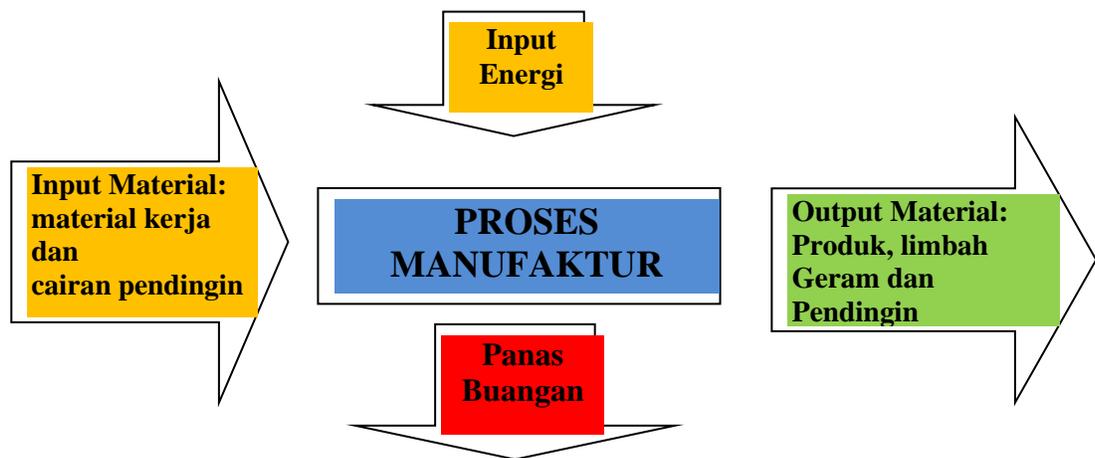
1. Konsep kenaikan biaya, untuk melihat sejauh mana penerapan suatu teknik konservasi energi dapat memberikan keuntungan secara ekonomis
2. Teknik neraca massa dan energi, untuk menggambarkan fungsi perbandingan antara output dan input energi atau massa dalam suatu sistem sehingga dapat diperoleh langkah-langkah perbaikan dan penyempurnaan dalam pemanfaatannya dalam kaitannya mencari peluang konservasi energi.
3. Inventarisasi input energi dan rejeksinya, untuk melihat peluang konservasi energi dalam cakupan yang lebih luas.
4. Perhitungan pindah panas untuk mencegah adanya energi yang tidak termanfaatkan dalam bentuk panas.
5. Evaluasi karakteristik beban listrik untuk melihat kemungkinan penurunan beban listrik.

Simulasi dan modeling pada sistem proses dan energi untuk membantu cakupan analisa, penghematan waktu dan sumber daya yang digunakan

### **Energi Pada Proses Manufaktur**

Proses manufaktur terutama proses pemesinan umumnya didukung oleh mesin perkakas seperti mesin bubut dan milling. Umumnya energi yang dibutuhkan pada proses ini diperoleh dari energi listrik yang berasal PLN atau generator yang kemudian akan menghidupkan motor penggerak spindel utamanya untuk melakukan pemotongan. Input material pada proses ini adalah material benda kerja dan cairan pendingin untuk menghilangkan panas yang terjadi karena gesekan antara benda kerja

dan pahat serta untuk mengoptimasi pemotongan. Limbah akan terbentuk dari geram dan cairan pendingin, sehingga perlu dicari cara agar tidak mencemari lingkungan. Geram yang dihasilkan dapat dijual untuk dijadikan campuran dalam pembuatan logam pada material yang sama. Panas buangan yang terjadi sebaiknya dicarikan cara untuk dikurang atau dieliminasi sehingga tidak terjadi pemborosan energi listrik yang hilang dan mengakibatkan tidak tercapainya tujuan konservasi energi. Skema dari hubungan antara energi, material input dan output serta limbah yang terbentuk dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Energi dan material input dan output pada proses manufaktur(Gutowski et.al, 2006)

### Daya-Daya Pada Proses Bubut

Energi yang dibutuhkan pada proses permesinan diaktualisasikan dalam bentuk daya yang dibutuhkan pada proses tersebut. Beberapa daya yang berpengaruh pada proses pemotongan yaitu :

$N_{st}$  : Daya pada saat mesin bubut mulai dinyalakan (W)

$N_{mo}$  : Daya *idle* yaitu daya pada saat putaran dan feeding sudah dinyalakan tetapi mesin belum memotong. (W)

$N_{mr}$  : Daya yang tersedia untuk proses pemotongan yang merupakan daya dari motor dikurangi daya *idle* (W)

$N_{mc}$  : Daya pemesinan yang diukur dengan wattmeter (W)

$N_c$  : Daya potong yang diukur dengan dinamometer (W)

## Kebutuhan Listrik pada Proses Manufaktur

Menurut Gutowski et. al. 2006, pada umumnya ada kebutuhan energi yang signifikan untuk menghidupkan dan menjaga mesin agar berada pada posisi siap digunakan. Setelah mesin berada pada posisi siap beroperasi, maka selanjutnya kebutuhan energi tambahan adalah proporsional dengan kuantitas material yang sedang diproses. Situasi ini dimodelkan seperti pada persamaan 1.

$$N_t = N_{mo} + kz \quad (1)$$

Dimana :

- $N_t$  = Daya Total, KW
- $N_{mo}$  = Daya idle, kW
- $z$  = kecepatan penghasiian geram, cm<sup>3</sup>/det,
- $k$  = suatu konstanta dengan unit kJ/cm<sup>3</sup>

## Energy Pemotongan Spesifik ( $E_{sp}$ )

Energi pemotongan spesifik ( $E_{sp}$ ) adalah konsumsi energi dari sebuah mesin perkakas untuk menghilangkan 1 cm<sup>3</sup> material (Li dan Kara, 2011). Energi pemotongan spesifik ini, selain dipengaruhi oleh jenis proses pemesinan dan kondisi pemotongan yang digunakan,  $E_{sp}$  juga merupakan karakteristik dari sebuah material benda kerja, sehingga dapat digunakan untuk membandingkan sifat ketermesinan (*machinability*) dari suatu material (Rochim, 1999). Energi listrik spesifik per unit material yang diproses,  $E_{sp}$ , dalam unit kJ/cm<sup>3</sup>, adalah:

$$E_{sp} = \frac{N_c}{z} \cdot 60.000 \quad (2)$$

Dimana :

- $N_c$  = Daya pemotongan, (W)
- $z$  = Kecepatan penghasiian geram, cm<sup>3</sup>/det,
- $E_{sp}$  =Energi Spesifik per unit material KJ/cm<sup>3</sup>

## Pola Konsumsi Energi

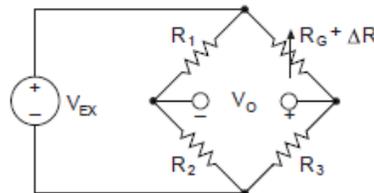
Pola konsumsi energi adalah suatu pola yang menunjukkan bagaimana suatu sistem atau alat mengkonsumsi energi listrik saat alat tersebut beroperasi. Berdasarkan hasil penelitian Kordonowy pada tahun 2001, mengatakan bahwa ada pada saat pemotongan dengan menggunakan mesin perkakas terjadi tiga jenis kebutuhan energi yaitu *start up* dimana mesin dihidupkan, umumnya kebutuhan energi pada saat menghidupkan mesin bersifat konstan sebesar  $\pm 13.2\%$ . Kemudian setelah mesin disetel pada putaran dan gerak makan yang dikehendaki namun belum melakukan pemotongan atau pada kondisi idle adalah sebesar  $\pm 20.2\%$  dan pada saat pemotongan bervariasi sebesar  $\pm 65.8\%$ .

## Dinamometer Mesin Bubut

Dinamometer yang akan dikalibrasi menggunakan *strain gauge* yang berfungsi sebagai sensor dalam mengukur perubahan sinyal. *Strain gauge* mempunyai parameter dasar yaitu sensitivitas untuk meregang, yang dijabarkan secara kuantitas sebagai Faktor Gauge (GF). Faktor Gauge dirumuskan sebagai rasio dari pecahan perubahan dalam tahanan listrik terhadap pecahan perubahan panjang (regangan).

$$GF = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} = \frac{\Delta R/R}{\epsilon} \quad (3)$$

GF untuk strain gauge logam adalah sekitar 2. *Strain gauge* yang digunakan pada dinamometer yang dikalibrasi tersebut dirangkai dengan menggunakan prinsip jembatan Wheatstone seperti yang terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian Jembatan Wheatstone pada dinamometer

Jika terjadi perubahan pada  $R_G$  sebesar  $\Delta R$  maka akan terjadi perubahan pada tegangan output sehingga nilainya tidak nol lagi. □ Asumsikan bahwa  $R_1 = R_2$  dan  $R_3 = R_G$ , persamaan jembatan diatas dapat diekspresikan  $V_O/V_{EX}$  sebagai sebuah fungsi regangan. Jika □  $R_{G□□}$  adalah nilai nominal tahanan *strain gauge* □ maka perubahan tahanan akibat induksi regangan adalah  $\Delta R = R_G \bullet GF \bullet \epsilon$ . Sehingga rangkaian diatas dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{V_o}{V_{EX}} = -\frac{GF \cdot \epsilon}{4} \left[ \frac{1}{1 + GF \cdot \frac{\epsilon}{2}} \right] \quad (4)$$

Dimana  $1/(1+GF \bullet \epsilon/2)$  adalah persamaan yang mengindikasikan ke nonlinieran yang terjadi akibat regangan. Penggunaan dua buah *strain gauge* dimana satu *gauge* aktif ( $R_G + \Delta R$ ), dan *gauge* kedua dipasang melintang terhadap regangan yang diterapkan akan menimbulkan efek yang kecil pada *gauge* kedua atau *dummy gauge*, rangkaian tersebut akan menghindari efek temperatur. Temperatur akan berakibat yang sama pada kedua *gauge* karena perubahan temperatur akan identik pada kedua *gauge* tersebut.

Alat yang digunakan sebagai *data logger*, pendukung kinerja dinamometer adalah ADC. ADC mempunyai konstanta konversi terhadap tegangan, dimana 1 V diwakili oleh  $17.1 \cdot 10^{-3}$  skala ADC (Soeharsono, 2011). Oleh karena itu untuk menghasilkan Gaya dari konversi skala ADC digunakan rumusan pada rumus 5.

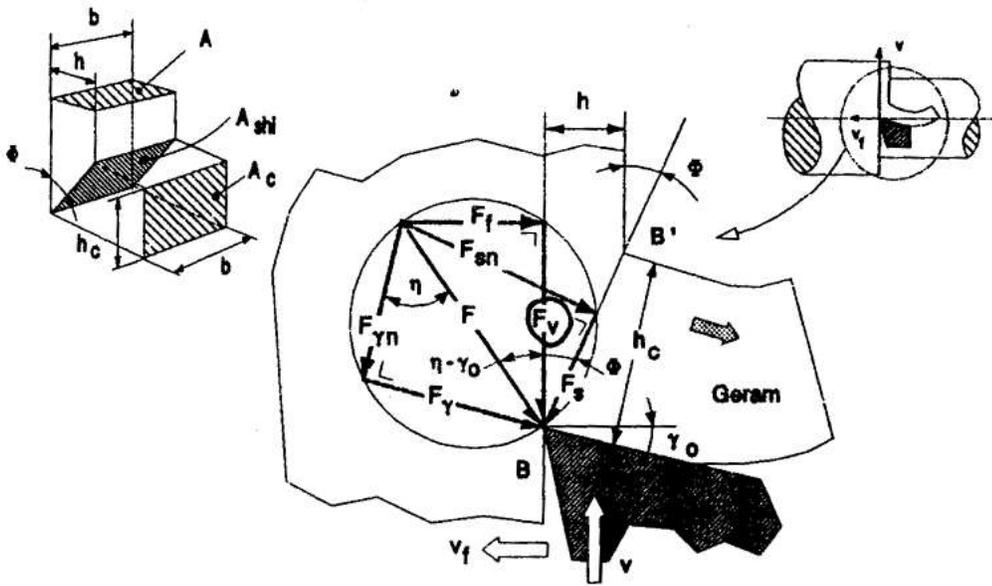
$$F = (\text{Skala ADC} / K_{ADC}) \cdot g \quad (5)$$

Dimana F adalah gaya yang terjadi (N), dan  $K_{ADC} = 17.1 \times 10^{-3}$ , sedangkan gravitasi  $g = 9.81 \text{ m/det}^2$ .

### Gaya- Gaya Pada Proses Bubut

Gaya total yang terjadi saat proses pemotongan dapat secara umum dapat dilihat pada lingkaran Merchant pada Gambar 3 (Rochim 1999). Gaya Total ( $F_{total}$ ) menurut lingkaran Merchant tersebut dapat diekpresikan menjadi tiga yaitu:

1. Total gaya  $F$  adalah resultan gaya dari gaya potong  $F_v$  dan gaya makan  $F_f$ .
2. Total gaya  $F$  adalah resultan gaya dari gaya geser  $F_s$  dan gaya geser pada bidang normal  $F_{sn}$ .
3. Total gaya  $F$  adalah resultan gaya dari gaya gesek  $F_\gamma$  pada bidang geram dan gaya normal pada bidang geram  $F_{\gamma n}$ .



Gambar 3 Lingkaran Merchant (Rochim 1999)

## **BAB III**

### **TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN**

#### **Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian “Analisis Pola Konsumsi Pada Pproses Pemotongan Mesin Perkakas Untuk Menunjang Konservasi Energi “adalah untuk :

1. Mengetahui pola konsumsi energi pada mesin perkakas.
2. Mengetahui pengaruh perawatan mesin terhadap konsumsi energi dari mesin perkakas.

Pelaksanaan penelitian tersebut diatas dilakukan dalam tiga tahap sub penelitian yaitu:

#### **I. Kalibrasi Mesin Perkakas**

Tujuan sub penelitian tahap I adalah untuk :

1. Mengetahui ketelitian geometrik dari mesin perkakas yang menjadi sampel penelitian.
2. Mengetahui karakteristik mekanis mesin perkakas yang menjadi sampel penelitian.

#### **II. Kalibrasi Dinamometer Untuk Pengujian Parameter Pemotongan dan Konsumsi Energi Pada Mesin Bubut**

Tujuan sub penelitian tahap II adalah untuk:

1. Memvalidasi dinamometer yang akan digunakan sebagai alat ukur pada pengujian gaya potong dan gaya makan di mesin bubut.
2. Mengetahui konstanta pengali dari nilai yang dihasilkan oleh dinamometer agar nilai hasil tersebut dapat diartikan sebagai gaya dengan satuan N.

#### **III. Analisis Gaya, Daya dan Pola Konsumsi Energi Pada Mesin Bubut**

Tujuan sub penelitian tahap III ini adalah untuk mengetahui :

1. Bagaimana pola konsumsi dari mesin bubut pada material VCN, S45C, dan Al.

2. Apakah ada perbedaan konsumsi energi pemotongan spesifik pada proses pemotongan dengan mesin bubut yang terawat dan dengan menggunakan mesin bubut yang tidak terawat?

### **Manfaat Penelitian**

Hasil pengujian ketelitian geometrik dan pola konsumsi energi mesin perkakas yang merupakan luaran dari penelitian ini kemudian digunakan untuk mengetahui tiga karakteristik dari mesin-mesin perkakas yaitu karakteristik mekanis, karakteristik kelistrikan dan karakteristik metrologi dari perkakas. Ketiga karakteristik ini akan menjadi masukan bagi penilaian kinerja operasional mesin perkakas yang merupakan bagian dari “Model Audit Energi Mandiri Mesin Perkakas” yang akan dibuat.

Model tersebut akan digunakan untuk mengaudit energi pada perkakas secara mandiri. Audit energi mandiri pada mesin perkakas tersebut dilakukan untuk mengetahui apakah kinerja mesin sudah baik atau tidak? Mengacu pada indikator boros atau tidaknya konsumsi energi dari mesin tersebut saat beroperasi maka dapat diketahui kinerja dari suatu mesin. Dengan demikian audit energi juga dapat digunakan untuk mendeteksi apakah perawatan mesin yang diterapkan tepat atau tidak? Apakah diperlukan penggantian komponen, perbaikan atau cukup mengkalibrasi ulang mesin saja?

Kesadaran terhadap kondisi mesin dan lingkungan akan mendorong praktisi mesin untuk lebih menghemat energi, meminimalkan limbah yang terbentuk saat proses manufaktur dan lebih peduli untuk menjaga kinerja mesin yang dimilikinya. Perawatan mesin akan lebih diperhatikan dan tidak lagi dianggap sebagai beban, melainkan sebagai upaya untuk menjaga kinerja mesin, meningkatkan keuntungan melalui peningkatan kualitas dan produktivitas, penghematan energi serta berpartisipasi dalam menjaga lingkungan hidup. Diharapkan sektor industri di Indonesia dapat berkembang pesat, kualitas produk menjadi lebih baik dan mempunyai daya saing yang tinggi, namun lingkungan serta sumber daya alam tetap terjaga kelestariannya.

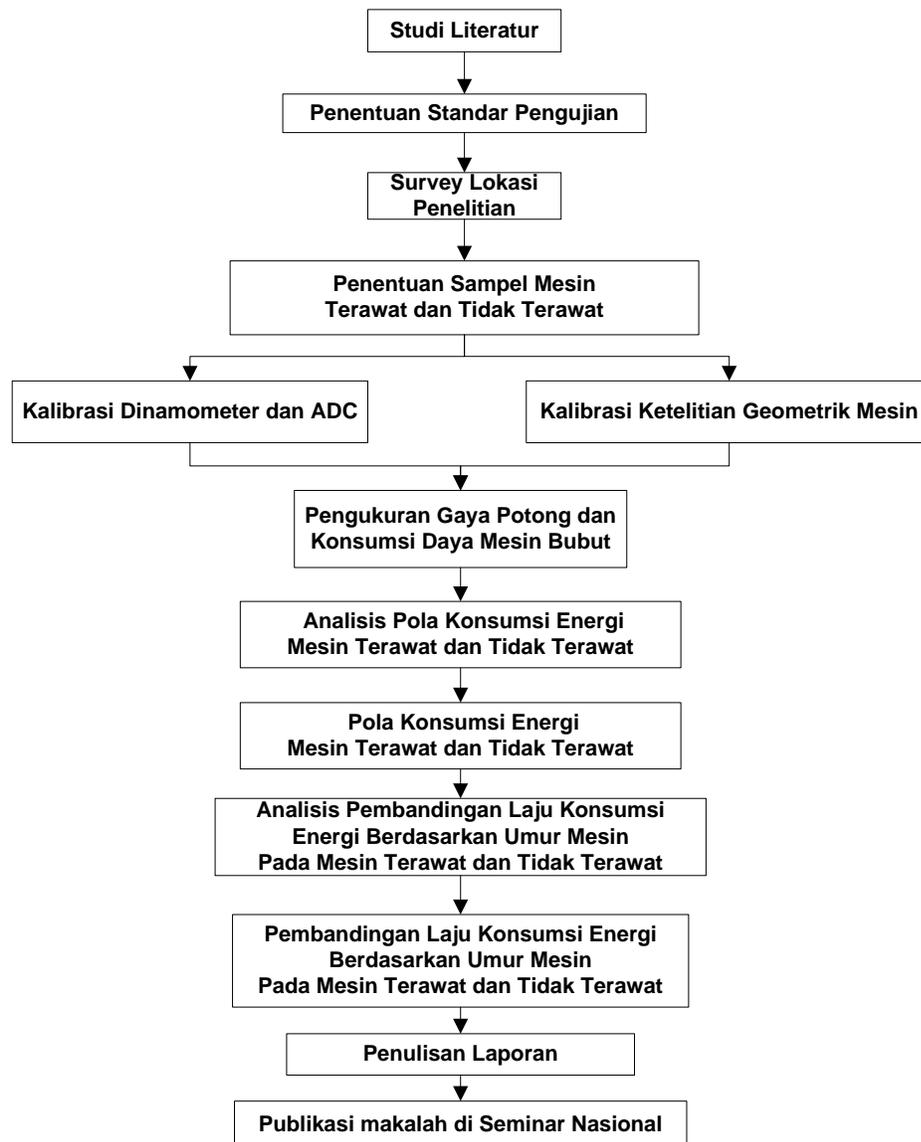
## **BAB IV**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, sedangkan pengujian mesin menggunakan mesin bubut sebagai sampel mesin perkakas yang memegang peranan penting pada proses manufaktur. Mesin bubut yang diambil dengan pertimbangan dua buah mesin bubut mendapat perawatan yang baik dan sebuah mesin bubut yang lainnya tidak mendapatkan perawatan yang baik. Semua mesin terlebih dahulu akan dicek spesifikasinya terlebih dahulu. Setelah itu dilakukan kalibrasi untuk mengetahui ketelitian dan karakteristik mekanik dari setiap mesin sampel. Uji konsumsi energi dilakukan pada mesin-mesin yang terawat dan tidak terawat tersebut. Mesin-mesin tersebut dibagi menjadi tiga tingkat kriteria kondisi mesin berdasarkan tingkat perawatannya yaitu :

1. Kriteria tingkat 1 merupakan mesin yang tidak diberikan perawatan (mesin BU 13).
2. Kriteria tingkat 3 merupakan sampel mesin yang diberikan perawatan yang baik sesuai dengan petunjuk dari pabrik pembuatnya (Mesin BU 14).
3. Kriteria tingkat 2 merupakan mesin yang diberikan perawatan namun belum sesuai dengan petunjuk yang diberikan oleh pabrik pembuat (Mesin BU 15)

Peninjauan dari ketiga kriteria ini dilakukan berdasarkan data historis dari hasil wawancara dengan operator. Pola yang diperoleh menunjukkan bahwa adanya hubungan yang signifikan dari perlakuan perawatan mesin dengan konsumsi energi atau daya yang dikonsumsi oleh mesin saat proses pemesinan berlangsung. Selanjutnya data dari hasil uji konsumsi energi dari mesin-mesin perkakas tersebut akan dibandingkan dan dihitung energi pemotongan spesifik. Kemudian dengan bantuan program komputer akan dicari pola konsumsi energi mesin. Adapun diagram alir dari penelitian dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Langkah-langkah dalam penelitian “ Analisis Pola Konsumsi Energi Pada Proses Pemotongan Mesin Perkakas Untuk Menunjang Konservasi Energi”

### **Pemilihan Mesin Uji**

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metoda eksperimental. Pengujian pemotongan akan dilakukan menggunakan 3 buah mesin bubut dengan tipe yang sama yaitu type C 404 T merk Unitech –Trojan dari Bulgaria tahun pembuatan 1996,. Ketiga mesin tersebut dinamakan :BU 13, BU 14, dan BU 15 diambil sampel mesin yang diuji ketelitian geometrik dan konsumsi energinya. Mesin Bubut BU 14

mewakili kriteria tingkat 1 yaitu mesin terawat dengan baik sesuai dengan petunjuk dari pabrik pembuat, BU 15 mewakili kriteria tingkat 2 yaitu mesin terawat namun tidak sesuai dengan petunjuk. pabrik dan BU 13 mewakili kriteria tingkat 3 yaitu mesin tidak terawat.

Spesifikasi mesin bubut BU 13, BU 14 dan BU 15 adalah:

1. Daya motor : 5.5 KW
2. Maksimum diameter benda kerja : 270mm
3. Panjang diameter maksimum : 750 mm

### **Kalibrasi Mesin Perkakas**

Peralatan alat ukur yang digunakan pada kalibrasi mesin perkakas bubut dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Alat Ukur Kalibrasi Mesin

Keterangan Gambar:

- |                  |                              |
|------------------|------------------------------|
| 1. Jangka sorong | 4. Dial indicator            |
| 2. Micrometer    | 5. Dudukan dial indikator    |
| 3. Mandrel       | 6. Spirit level (water pass) |

## B. Kalibrasi Dinamometer

Peralatan ukur yang digunakan pada kalibrasi dinamometer dengan *data logger* ADC dapat dilihat pada Gambar 6.

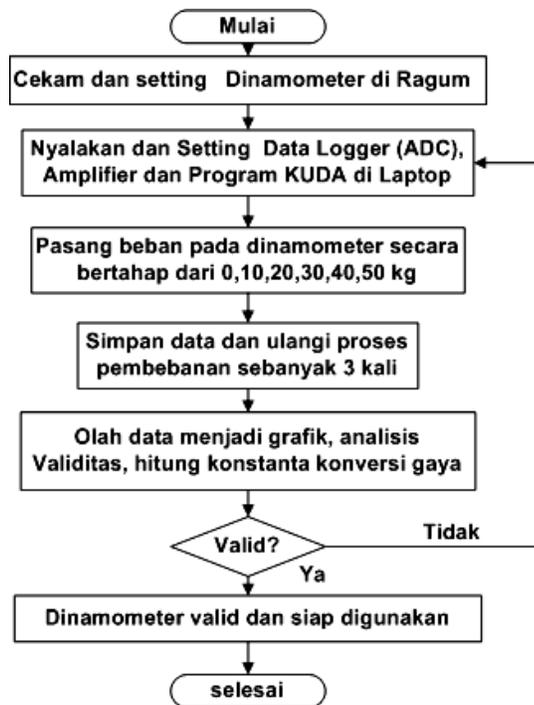


Gambar 6 Peralatan Ukur Kalibrasi Dinamometer

Keterangan gambar:

- |                                     |                                 |
|-------------------------------------|---------------------------------|
| 1. AVO meter                        | 5. Beban 5, 10,20,30, 40, 50 kg |
| 2. Dinamometer <i>strain gauge</i>  | 6. <i>Amplifier</i>             |
| 3. Rangkaian Sumber arus listrik DC | 7. ADC                          |
| 4. Laptop                           | 8. <i>Stopwatch</i>             |

Langkah-langkah proses kalibrasi dinamometer dilakukan pada dua arah pembebanan yaitu arah tangensial untuk mengetahui sensitivitas dinamometer terhadap gaya potong  $F_v$  dan kearah aksial untuk mengetahui sensitivitas dinamometer terhadap gaya makan  $F_f$ . Kondisi pembebanan dilakukan secara kontinyu mulai dari tanpa beban sampai dengan 50 kg, dengan setiap kenaikan 10 kg dan jeda waktu 10 detik. Pencatatan data dilakukan *data logger* untuk mendapatkan data waktu riil. Selengkapny prosedur pelaksanaan kalibrasi dapat dilihat pada Gambar 7.

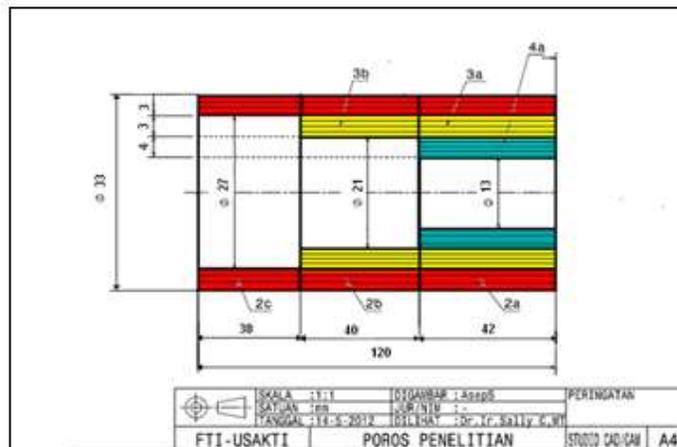


Gambar 7. Prosedur Kalibrasi Dinamometer dengan menggunakan ADC

## Analisis Pola Konsumsi Mesin Perkakas

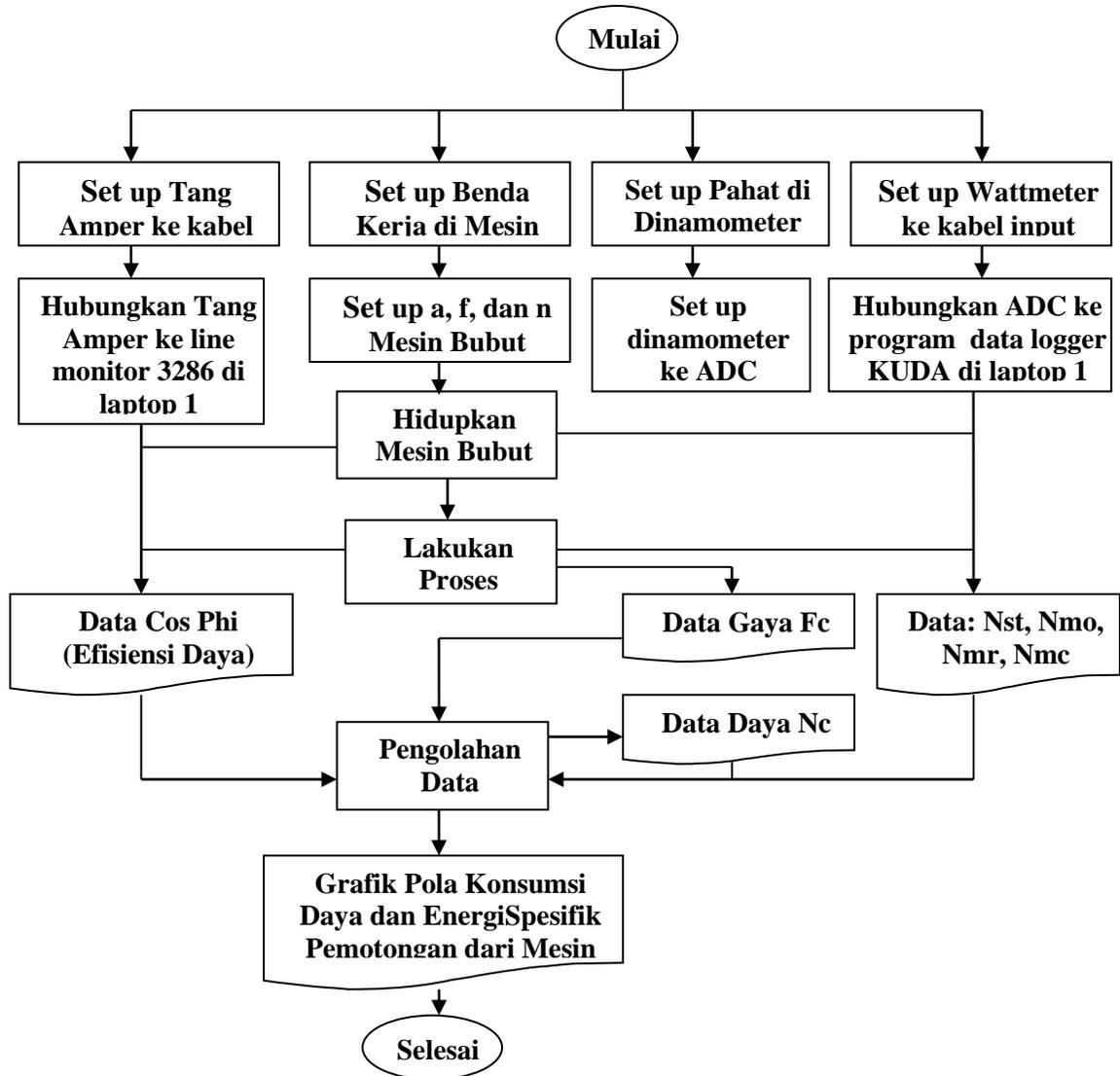
### Penentuan Benda Uji

Untuk melakukan uji konsumsi energi di mesin bubut akan digunakan material Baja Carbon (S45C), Aluminium (Al), dan baja karbon tinggi (VCN), ukuran benda uji silindris adalah  $\phi 33 \times 120$  mm, gambar benda uji silindris dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Benda Uji

Langkah-langkah pengujian mesin untuk mengetahui pola konsumsi energi dari ketiga mesin sampel BU 13, BU 14 dan BU 15 dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Langkah-Langkah Analisis Pola Konsumsi Pada Mesin Perkakas

### Parameter Pemotongan Pengujian Mesin

Pada pemotongan ini digunakan parameter pemotongan gerak makan  $f$  (mm/put) bervariasi sesuai dengan putaran dan diameternya seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Variasi gerak makan dan putaran pada pengujian.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>f</b> <b>(mm/put)</b>	0.28	0.28	0.28	0.262	0.262	0.262	0.233	0.233	0.233	0.19	0.19	0.19	0.19
<b>n(rpm)</b>	710	710	710	710	710	710	710	710	710	1000	1000	1000	1000
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
<b>f</b> <b>(mm/put)</b>	0.175	0.175	0.175	0.175	0.095	0.095	0.087	0.087	0.08	0.08	0.075	0.075	
<b>n (rpm)</b>	1000	1000	1000	1000	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	

## BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan, hasil dari penelitian ini diuraikan dalam tiga sub penelitian yaitu:

1. Kalibrasi Mesin Perkakas
2. Kalibrasi Dinamometer
3. Analisis Gaya, Daya dan Pola Konsumsi Energi Pada Mesin Bubut

### **KALIBRASI MESIN PERKAKAS**

Kalibrasi mesin bubut akan difokuskan pada ketelitian geometrik mesin bubut universal dengan mengikuti Standar Nasional Indonesia 05-1618-1989 (Lampiran 2). Sampel mesin bubut BU 13 mewakili mesin yang tidak mendapat perawatan yang baik dan mesin bubut BU 14 dan BU 15 mewakili mesin bubut dengan perawatan yang baik. Kalibrasi mesin dilakukan pada mesin BU 14 dan BU 15 yang mewakili kondisi mesin yang mengalami perawatan yang baik. Kegiatan kalibrasi dari kedua mesin dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Kegiatan Kalibrasi Mesin Bubut BU 14 dan Mesin Bubut BU 15

Hasil dari uji ketelitian geometrik sampel mesin bubut BU 14 dan mesin bubut BU 15 tersebut di atas adalah seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Ketelitian Geometrik Mesin Bubut SNI 05-1618-1989

No	Obyek yang diuji	Penyimpangan yang diijinkan	Penyimpangan pada mesin bubut BU 15	Penyimpangan pada mesin bubut BU 14	Alat Uji
1	Memeriksa kelurusan meja terhadap bidang lurus a. Arah vertikal b. Arah horisontal	0.02 mm (cembung) Untuk setiap panjang 250 mm	a. Arah vertikal 0.02 mm b. Arah horisontal 0.02mm	c. Arah vertikal 0.02 mm d. Arah horisontal 0.02mm	2 buah Pendatar presisi
2	Memeriksa kelurusan gerak eretan pada bidang horisontal, atau pada bidang yang ditentukan oleh sumbu senter dan ujung mata potong	Untuk $500 < DC < 1000$  0.02mm	0.01 mm	0.02 mm	Jam ukur dan mandrel uji antara senter
3	Memeriksa kesejajaran kepala lepas dengan gerak eretan: a. Pada bidang horisontal b. Pada bidang vertikal	Untuk $DC \leq 1500$  a.0.03mm b.0.03mm	a. Pada bidang horisontal 0.05 mm b. Pada bidang vertikal 0.08 mm	a. Pada bidang horisontal 0.03 mm b. Pada bidang vertikal 0 mm	Jam ukur
4	Spindel kepala tetap a.Penyimpangan aksial periodik b. Gejala oleng pada permukaan	a. 0.01 mm b.0.02 mm	a.Penyimpangan aksial periodik 0.01 mm b.0.02 mm	a.Penyimpangan aksial periodik 0.01 mm b.0.02 mm	Jam Ukur
5	Mengukur penyimpangan putar pada ujung senter sleeve	0.07 mm	0.08 mm	0.05mm	Jam ukur
6	Mengukur penyimpangan putar pada sumbu putar: a. Pada rumah ujung spindel b. Pada jarak dari ujung spindel $Da/2$ tidak boleh lebih dari 300.	Untuk setiap panjang pengukuran 300mm a. 0.01 b. 0.02	a. Pada rumah ujung spindel 0.01 mm b. Pada jarak dari ujung spindel $Da/2$ penyimpangan putar 0.01mm	b. Pada rumah ujung spindel 0.02mm b. Pada jarak dari ujung spindel $Da/2$ penyimpangan putar 0.02mm	Jam ukur dan mandrel uji
7	Memeriksa Kesejajaran sumbu spindel dengan gerak eretan kearah memanjang pada panjang $Da/2$ atau maksimum 300 mm a. Pada bidang horisontal b. Pada bidang vertikal	a. 0.015 per 300 dari depan b. 0.02 per300 dari atas	a. Pada bidang horisontal 0.01mm b. Pada bidang vertikal 0.02 mm	a. Pada bidang horisontal 0.01mm b. Pada bidang vertikal 0.02 mm	Jam ukur dan mandrel

8	Mengukur Penyimpangan putar senter	0.015 mm	0.00 mm	0.01mm	Jam Ukur
9	Memeriksa kesejajaran sumbu bagian luar dengan sleeve kepala lepas ke gerak eretan a.Pada bidang horisontal b.Pada bidang vertikal	a. 0.03 per 300 dari depan b.0.03 per 300 dari atas	a.Pada bidang horisontal 0.02 mm b.Pada bidang vertikal 0.02 mm	a.Pada bidang horisontal 0.02 mm b.Pada bidang vertikal 0.02 mm	Jam ukur
10	Memeriksa kesejajaran lubang tirus sleeve dengan dengan gerak eretan pada panjang $D_a/4$ atau maksimum 300mm a.Pada bidang horisontal b.Pada bidang vertikal	a. 0.03 per 300 dari depan b.0.03 per 300 dari atas	a. 0.00mm b. 0.01 mm	a.0.00mm b. 0.01 mm	Jam ukur dan mandrel uji
11	Memeriksa perbedaan tinggi senter antara kepala lepas dan kepala tetap	0.04mm Senter kepala lepas lebih tinggi dari pada senter kepala tetap	0.06 mm	0.05 mm	Jam ukur dan mandrel uji
12	Memeriksa Kesejajaran gerak memanjang lintasan lurus atas dengan sumbu spindel	0.04 per 300mm	0.00mm	0.00mm	Jam ukur dan mandrel uji
13	Memeriksa kesikuan gerak melintang dari eretan melintang dengan sumbu spindel	0.01 per 300mm	0.00mm	0.00mm	Jam ukur dan pembawa atau spirit level

Berdasarkan hasil kalibrasi, dapat di mesin bubut BU 15 pada pengujian no 3 kesejajaran kepala lepas terhadap gerak eretan terjadi penyimpangan pada bidang horisontal adalah 0.05 mm sedangkan bidang vertikal 0.08, jauh lebih besar dari yang diijinkan yaitu 0.03mm. Pada pengujian no 11 perbedaan tinggi senter antara kepala lepas dan kepala tetap, mesin bubut BU 15 menyimpang 0.06 mm dan mesin bubut BU 14 menyimpang 0.05 mm, lebih besar dari penyimpangan yang diijinkan yaitu 0.04 mm. Selain pengujian 3 dan pengujian 11 secara keseluruhan penyimpangan yang terjadi pada setiap pengujian yang dilakukan pada mesin bubut BU 14 dan mesin bubut BU 15 mempunyai nilai lebih kecil dari nilai penyimpangan yang diijinkan oleh SNI 05-1618-1989. Walaupun pada pengujian 11 kedua mesin menyimpang dari nilai

penyimpangan yang diijinkan, namun karena perbedaannya tidak terlalu besar yaitu 0.01 mm maka dapat dilakukan perbaikan ringan, sehingga dapat disimpulkan bahwa mesin bubut BU 14 mempunyai kondisi yang lebih baik dari kondisi mesin BU 15 dalam pengujian ini, Walaupun keduanya mendapatkan perawatan yang baik sesuai dengan yang disarankan oleh pabrik pembuatannya.

## **KALIBRASI DINAMOMETER UNTUK PENGUJIAN PARAMETER PEMOTONGAN DAN KONSUMSI ENERGI PADA MESIN BUBUT**

Pemodelan audit energi mandiri membutuhkan input pola konsumsi energi dari mesin perkakas yang akan diaudit. Pola konsumsi tersebut diperoleh dari hasil pengujian daya dan gaya pemotongan yang terjadi pada mesin perkakas. Pada pengujian akan diambil mesin bubut sebagai sampel dari mesin perkakas yang akan diuji. Sebelum dilakukan pengujian sudah menjadi suatu ketentuan bahwa alat yang digunakan maupun prosedur pengujian sudah terlebih dahulu di kalibrasi. Proses kalibrasi yang dilakukan, selain untuk mengetahui kondisi dari alat ukur sebelum digunakan, juga untuk mencari konstanta dari alat ukur dalam mengkonversi suatu satuan ke satuan lainnya. Validitas hasil suatu pengukuran atau pengujian sangat tergantung kepada validitas alat ukur dan pelaksanaan prosedur pengukuran atau pengujian yang benar.

Alat ukur yang akan dikalibrasi adalah dinamometer strain gauge untuk pengujian di mesin bubut. Adapun proses kalibrasi tersebut merupakan proses penelitian awal dari setiap penelitian atau pengujian yang menggunakan alat ukur. Setelah dinamometer diketahui kondisinya dan konstanta yang mengkonversikan tegangan menjadi gaya diketahui, maka dinamometer valid untuk digunakan pada pengujian selanjutnya. Dinamometer merupakan suatu alat ukur yang dapat dipergunakan untuk berbagai kebutuhan. Adapun parameter yang bisa diukur dengan menggunakan dinamometer diantaranya gaya, daya, torsi dan banyak lagi. Umumnya dinamometer tersebut didisain dan dibuat untuk pengukuran tertentu saja, sesuai dengan kebutuhan penelitian. Dinamometer yang dikalibrasi didisain untuk digunakan mengukur parameter pemotongan di mesin bubut yaitu gaya pemotongan

dan gaya pemakanan. Pengkalibrasian dilakukan dengan pemberian beban pada dinamometer yang dinaikkan secara berkala. Beban massa tersebut akan menyebabkan terjadinya regangan pada *strain gauge* sehingga tahanannya akan berubah yang menyebabkan terjadinya perubahan tegangan. Data yang diperoleh dari hasil kalibrasi dan pengujian diinput oleh *data logger* ke dalam program komputer. Data tersebut merupakan data waktu riil sehingga umumnya masih mempunyai mengandung sinyal gangguan akibat *noise*, untuk itu data tersebut perlu diolah terlebih dahulu untuk mendapatkan data yang sebenarnya. Setelah diolah maka akan diketahui nilai konstanta untuk mengubah nilai hasil *data logger* tersebut menjadi data dalam unit dan satuan yang kita inginkan. Selanjutnya konstanta tersebut akan digunakan pada pengujian yang sebenarnya.

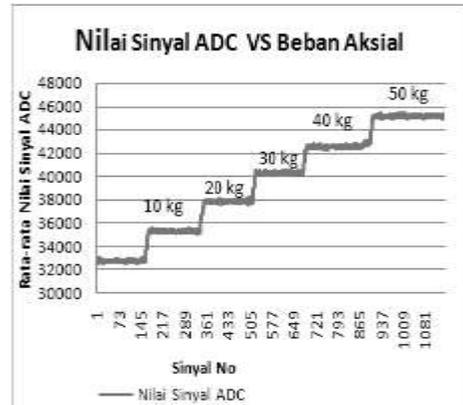
Kalibrasi dinamometer dengan menggunakan ADC mempunyai kelebihan yaitu data *output* dapat di catat secara langsung ke dalam program akuisisi data di *laptop* melalui koneksi *wifi*. Data yang diakuisisi kemudian dapat dibuka oleh Excel dan dapat dibuat grafiknya. Kecepatan pengambilan data *output* rata-rata dari ADC adalah 17 data/detik, namun dapat dipercepat lagi dengan meningkatkan spesifikasi komputer penerimanya. Kemampuan akuisisi data dari alat yang baik diharapkan akan membantu pada saat proses pengujian mesin. Dinamometer dan ADC merupakan alat ukur yang cukup sensitif, sehingga gangguan yang menimbulkan *noise* pada data *output*-nya sebaiknya di eliminasi untuk menjaga keakuratan hasil pengukuran.

Pemberian beban yang digunakan pada kalibrasi adalah 0, 10, 20, 30, 40 dan 50 kg. Data *output* yang diperoleh dari ADC kemudian akan dibaca oleh program Akuisisi Data (KUDA) sehingga diperoleh serangkaian data yang dapat dibaca oleh program Note Pad dan Excel untuk kemudian diolah menjadi suatu grafik yang lebih mudah dianalisis. Pengkalibrasian dilakukan dengan melakukan pengulangan sebanyak 3 kali, sehingga diperoleh nilai kalibrasi 1, 2, dan 3. Kemudian nilai dari ketiga hasil pengkalibrasian tersebut dirata-ratakan dan diolah menjadi sebuah grafik. Gambar 5 dan 6 memperlihatkan grafik hasil dari pengkalibrasian dinamometer pada pembebanan 0 sampai dengan 50 kg kearah aksial dan tangensial. Pada setiap

pembebanan, data yang diambil oleh *data logger* sebanyak kurang lebih 150 data jadi secara grafik tersebut secara keseluruhan diperoleh dari kurang lebih 900 data.



Gambar 11. Rata-rata Nilai Sinyal ADC VS Beban Tangensial



Gambar 12. Rata-rata Nilai Sinyal ADC VS Beban Aksial

Berdasarkan grafik pada Gambar 11 dan 12 dapat dilihat bahwa setiap kenaikan beban 10 kg nilai sinyal ADC naik secara konsisten, dan pada setiap pencatatan data dari setiap kondisi pembebanan terlihat bahwa rentang data yang diambil sudah cukup baik tidak terjadi *noise* yang berlebihan. Selanjutnya data dari grafik diatas dipilah-pilah sesuai dengan masing-masing kondisi bebannya, dan dirata-ratakan. Kemudian akan digunakan rumus 3 untuk mencari konstanta pengalinya agar diperoleh nilai dalam satuan gaya (Newton).

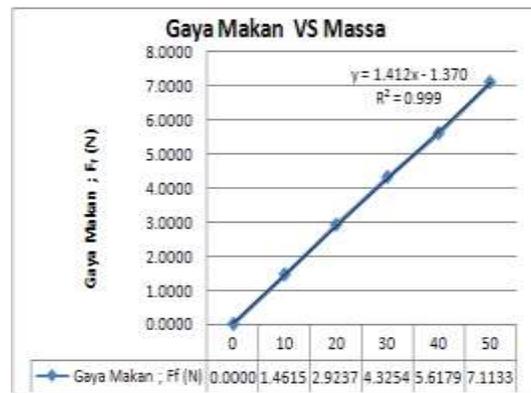
Tabel 3 Konversi Kenaikan Fv dari Rata-rata Nilai ADC

Massa (Kg)	Rata rata Nilai ADC	Kenaikan Nilai ADC	Kenaikan Fv (N)
0	32021.7287	0.0000	0.000000
10	34762.4671	2740.7384	1.572318
20	37429.0500	5407.3213	3.102095
30	40113.7363	8092.0076	4.642257
40	42724.7970	10703.0684	6.140181
50	45430.1042	13408.3755	7.692173

Tabel 3 memperlihatkan hasil rata-rata nilai ADC pada setiap kondisi pembebanan massa kearah tangensial yang diambil dari data grafik Gambar 11. Berdasarkan hasil pengolahan data diperoleh besar nilai kenaikan gaya potong pada setiap pemberian beban massa per 1 kg pada dinamometer. Selanjutnya data dari Tabel 1 tersebut diolah menjadi grafik pada Gambar 13. Grafik tersebut mempunyai tingkat kepercayaan,  $R^2= 1$  yang menggambarkan kelinieran dari *trend slope* yang diperoleh mendekati sempurna. *Slope* yang dihasilkan mempunyai persamaan  $y = 1.534 X - 1.512$ , berarti setiap perubahan 1 kg menghasilkan penambahan gaya potong  $F_v$  sebesar 1.534 N. Sehingga diperoleh konstanta pengalinya adalah 1.534 yang dapat digunakan untuk mengkonversi nilai ADC untuk hasil percobaan gaya pemotongan yang akan dilakukan.



Gambar 13. Grafik Kenaikan Gaya Potong



Gambar 14. Grafik Kenaikan Gaya Makan

Sedangkan pada Tabel 3 dapat dilihat hasil rata-rata nilai ADC pada setiap kondisi pembebanan massa kearah aksial yang diambil dari data grafik Gambar 12. Setelah yang dilakukan pengolahan data diperoleh besar nilai kenaikan gaya makan pada setiap pemberian beban massa per 1 kg pada dinamometer. Selanjutnya data dari Tabel 2 tersebut diolah menjadi grafik pada Gambar 14. Grafik tersebut mempunyai nilai kelinieran  $R^2= 0.999$  yang menggambarkan kelinieran dari *trend slope* yang diperoleh mendekati sempurna. *Slope* yang dihasilkan mempunyai persamaan  $y = 1.412X - 1.370$ , berarti setiap perubahan 1 kg menghasilkan penambahan gaya potong  $F_f$  sebesar 1.412 N. Sehingga diperoleh konstanta pengali adalah 1.412 yang

dapat digunakan untuk mengkonversi nilai ADC pada hasil percobaan gaya makan yang akan dilakukan.

Tabel 4 Konversi Kenaikan  $F_f$  dari Rata-Rata Nilai ADC

Massa (kg)	Rata-rata Nilai ADC	Kenaikan Nilai ADC thd 0 kg	Gaya Makan $F_f$ (N)
0	32764.6421	0.0000	0.0000
10	35312.2503	2547.6082	1.4615
20	37861.0370	5096.3949	2.9237
30	40304.3177	7539.6756	4.3254
40	42557.3437	9792.7016	5.6179
50	45163.9627	12399.3206	7.1133

### **ANALISIS GAYA, DAYA DAN POLA KONSUMSI ENERGI PADA MESIN PERKAKAS; STUDI KASUS MESIN BUBUT**

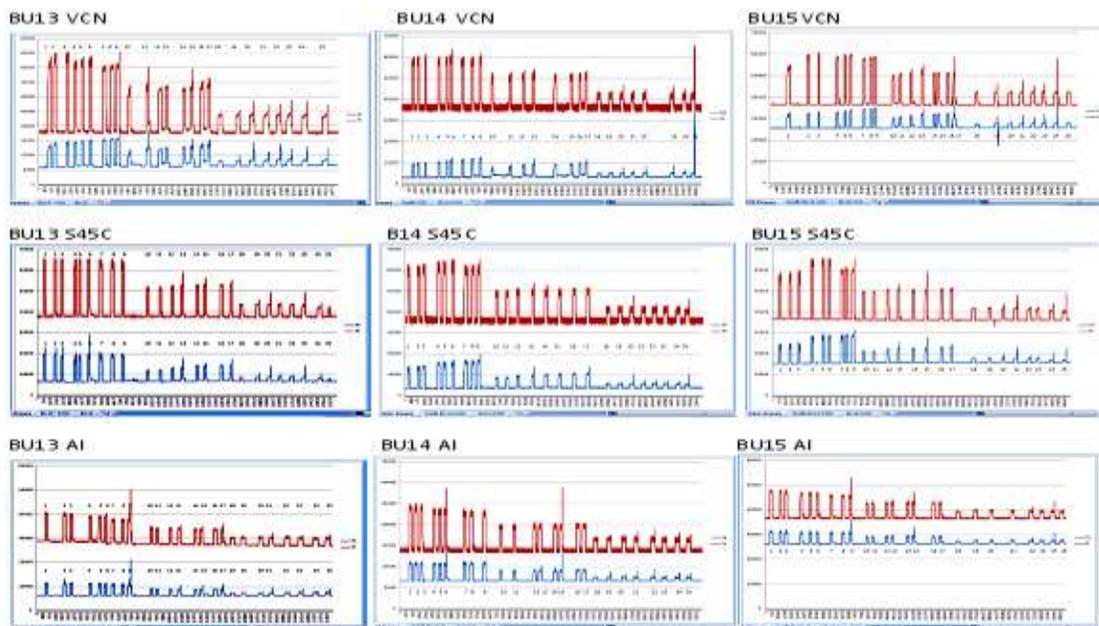
Isu "*Green World*" saat ini juga menyentuh bidang industri manufaktur. Kondisi alam dan lingkungan saat ini memaksa seluruh komponen bahu membahu mewujudkan "*Green World*". Konservasi energi adalah salah satu upaya yang dilakukan untuk itu. Penghematan energi listrik yang digunakan pada industri manufaktur akan berdampak pada penghematan bahan bakar yang umumnya digunakan untuk membangkitkan listrik di pembangkit tenaga listrik PLN sehingga emisi gas dapat dieliminir dan efek rumah kaca juga dapat dikurangi.

Analisa pola konsumsi energi pada proses pemotongan dengan menggunakan mesin perkakas adalah merupakan langkah awal untuk menentukan langkah strategis dalam upaya untuk mensukseskan isu "*Green World*". Konsumsi energi dianalisis untuk mengetahui karakteristik dari mesin perkakas yang mendapatkan perawatan yang baik dan dari mesin perkakas yang tidak mendapat perawatan yang baik. Berdasarkan hasil penelitian ini diharapkan dapat diperoleh informasi yang lebih akurat mengenai kaitan antara pola konsumsi energi dari mesin perkakas dengan perawatan mesin yang diperolehnya. Hal ini penting agar model audit energi yang akan dibuat menjadi lebih valid karena data input yang diperoleh berdasarkan hasil

pengujian yang riil. Pembuktian ini juga diharapkan dapat mengubah paradigma bahwa perawatan mesin merupakan pemborosan biaya, perawatan mesin tidak berdampak langsung pada produksi, dan hanya akan menambah beban biaya produksi. Nilai penghematan energi yang akan dilakukan pada industri manufaktur tersebut diatas diharapkan selain berdampak terhadap ekonomi, dan meningkatkan produktivitas juga mempunyai dampak yang cukup signifikan terhadap lingkungan hidup.

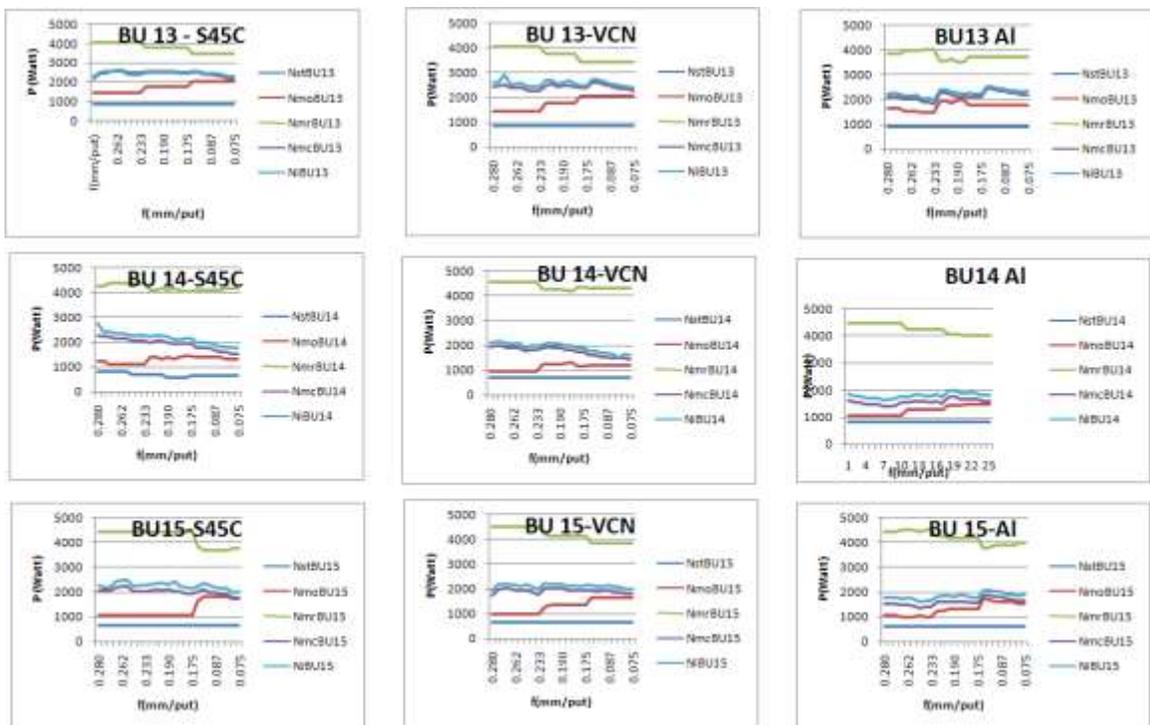
Mesin bubut sebagai mesin inti pada industri manufaktur pada umumnya diharapkan dapat mewakili mesin perkakas lainnya dalam menunjukkan pola konsumsinya. Pengambilan data akan diambil dari mesin dengan tipe yang sama, yang dipasang pada tempat yang mempunyai karakteristik input daya dari PLN yang sama dengan perlakuan yang berbeda, dimana sebagian mesin mendapat perawatan baik dan sebagian lagi tidak mendapat perawatan mesin.

Berdasarkan hasil pengukuran pada proses pemotongan dari ketiga material dengan menggunakan mesin bubut BU 13, BU 14, BU 15 dapat dilihat hasilnya dalam bentuk grafik pada Gambar 15.



Gambar 15. Karakteristik Gaya Pemotongan dan Gaya Makan Pada BU 13, BU 14, dan BU 15

Gaya potong dan gaya makan yang terjadi pada mesin bubut BU 13 yang digunakan untuk memotong produk dengan material VCN, S45C dan Al, terlihat lebih besar bila dibandingkan gaya potong dan gaya makan yang terjadi pada pemotongan dengan menggunakan pada BU 14 dan BU 15. Pemotongan yang dilakukan pada mesin bubut BU 13 terlihat lebih sering terjadi kenaikan gaya sesaat yang cukup besar pada gaya potong dan gaya makannya. Hal ini kemungkinan besar karena terjadinya slip pada saat pemotongan akibat kondisi geometrik dari mesin yang kurang terawat sehingga ada beberapa komponennya yang longgar dan menimbulkan kenaikan gaya sesaat secara tiba-tiba. Sedangkan di mesin bubut BU 14 maupun BU 15 kejadian tersebut sangat jarang. Hal ini dikarenakan kedua mesin tersebut cukup terawat, sehingga komponen mesinnya dijaga dengan lebih baik.



Gambar 16. Daya yang Terjadi Pada Pengujian

**Keterangan Gambar:**

Nst (W) : Daya pada saat mesin bubut mulai dinyalakan

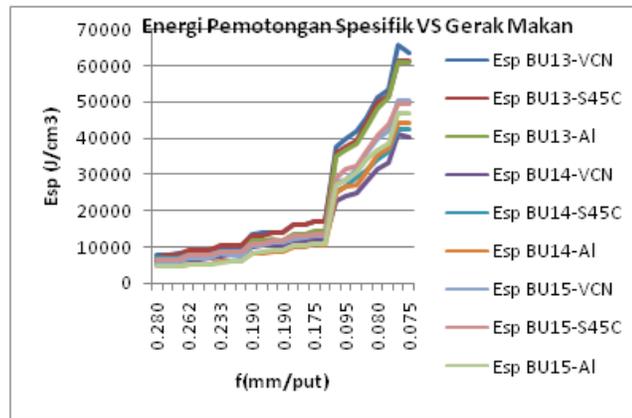
Nmo (W) : Daya *idle* yaitu daya pada saat putaran dan feeding sudah dinyalakan tetapi mesin belum memotong.

Nmr (W) : Daya yang tersedia untuk proses pemotongan yang merupakan daya dari motor dikurangi daya *idle*

Nmc (W) : Daya pemesinan yang dapat diukur dengan wattmeter

Gambar 16 memperlihatkan daya yang terjadi pada mesin bubut BU 13, BU 14 dan BU 15 yang sedang dioperasikan pada proses pemotongan. Daya pemesinan pada BU 13 cenderung lebih besar dari daya pemesinan pada mesin bubut BU 14 dan BU 15. Daya pemesinan pada BU 13 berkisar diantara 2300 W sampai dengan 3000 W terutama untuk material S45C dan VCN, sedangkan untuk Al berkisar antara 2100 W sampai dengan 2500 W. Perubahan dari putaran rendah, sedang dan tinggi relatif tidak terlalu mempengaruhi besarnya daya pemesinan pada BU 13. Pada BU 14, daya pemesinan berkisar antara 2500 W sampai dengan 1500 W. Pada pemesinan benda uji dengan material VCN dan S45C, daya pemesinan yang dibutuhkan relatif menurun karena pengaruh menurunnya gerak makan dan semakin tingginya putaran. Sedangkan pada benda uji dengan material Al cenderung datar pada kisaran kurang lebih 2000 W. Pada BU 15 karakteristik dari daya pemesinan cenderung sama dengan daya pada BU 14. Daya *idle* pada umumnya naik seiring dengan turunnya gerak makan dan naiknya putaran. Sedangkan daya tersedia yang merupakan hasil pengurangan dari kapasitas motor mesin bubut dikurangi daya *idle*, sehingga merupakan komplemen dari daya *idle*.

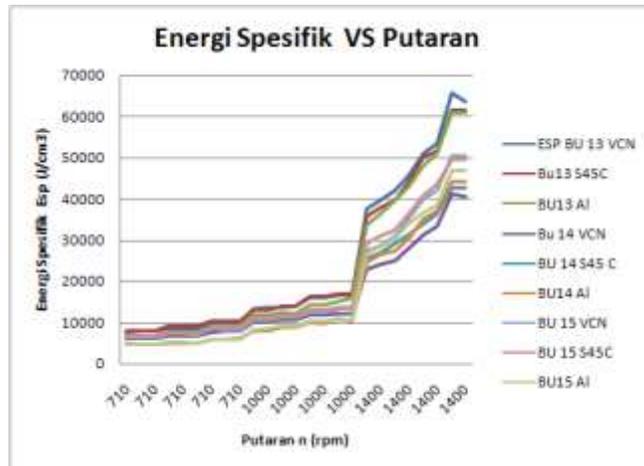
Gambar 17 menunjukkan pengaruh gerak makan terhadap kenaikan energi pemotongan spesifik ( $E_{sp}$ ) dari setiap pengujian ketiga mesin dengan tiga jenis material benda uji yang berbeda.



Gambar 17. Pengaruh Gerak Makan Terhadap Energi Pemotongan Spesifik Pengujian

Grafik pada Gambar 17 memperlihatkan energi pemotongan spesifik mengalami kenaikan walaupun gerak makannya secara bertahap menurun. Hal ini dikarenakan putaran saat pemotongan dilakukan meningkat mulai dari 710 rpm, ke 1000 rpm dan ke 1400 rpm karena diameter benda kerja semakin kecil. Pada putaran 1400 rpm mulai dari gerak makan 0.175 terlihat kenaikan energi pemotongan spesifik sangat tajam yang ditunjukkan dengan curamnya kenaikan Esp pada grafik. Hal tersebut dikarenakan geram yang terjadi sedikit akibat gerak makan yang kecil dan kedalaman makan yang kecil, namun putaran harus tinggi sehingga daya yang dibutuhkan tinggi. Energi pemotongan spesifik yang terjadi pada pemotongan menggunakan mesin bubut BU 13 juga menunjukkan kenaikan yang jauh melewati energi pemotongan spesifik yang terjadi pada pemotongan yang menggunakan mesin bubut BU 14 dan BU 15. Kondisi ini terjadi diduga karena kondisi dari komponen – komponen motor dan sistem transmisi pada mesin sudah dalam kondisi yang lebih menurun sebagai akibat kurang diperhatikannya perawatan mesin pada mesin BU 13 ini.

Gambar 18 menunjukkan bagaimana pengaruh putaran pada kenaikan energi spesifik saat pemotongan dilakukan.



Gambar 18. Pengaruh Putaran Terhadap Energi Pemotongan Spesifik Pengujian

Pola konsumsi energi pada Gambar 18 menunjukkan adanya pemborosan konsumsi energi yang ditunjukkan dengan peningkatan energi pemotongan spesifik. Kenaikan energi spesifik yang cukup tinggi akibat perubahan putaran terutama pada proses pemotongan dengan putaran tinggi 1400 rpm perbedaan kenaikan energi spesifik dari putaran 710 rpm ke 1400 rpm sampai mencapai 84%. Kenaikan energi spesifik pada putaran tinggi menunjukkan suatu pemborosan energi. Bila dibandingkan dengan mesin BU 14 yang mendapatkan perawatan sesuai dengan petunjuk dari pabrik pembuat mesin dan BU 15 yang mendapatkan perawatan namun tidak sesuai dengan petunjuk pabrik pembuatnya, pemborosan pada mesin BU 13 mencapai rentang prosentase 19% sampai dengan 36%. Pola ini menjawab hipotesis dari penelitian ini yaitu adanya peningkatan konsumsi energi (pemborosan energi) yang diakibatkan mesin tidak mendapatkan perawatan yang seharusnya, terutama pada putaran tinggi karena motor penggerak dan sistem transmisi bekerja lebih keras, sementara kondisi komponen-komponen pendukungnya sudah jauh menurun. Untuk lebih detilnya prosentasi kenaikan energi dari mesin-mesin yang diuji dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Rentang Prosentase Perbedaan Esp Pada BU 13, BU 14, dan BU 15

Mesin Bubut	Kenaikan Esp Pada Mesin Bubut		
	Material BK		
	VCN	S45C	Al
BU 13-BU 14	19%-36%	19%-32%	27%-35%
BU 13-BU 15	11%-28%	14%-19%	20%-36%
BU 14-BU 15	2%-20%	0%-14%	0-6 %

Dari pembahasan diatas jelas dapat terlihat bahwa perawatan mesin merupakan hal yang penting dalam menjaga agar mesin dapat mempunyai kinerja yang baik dan tidak boros energi. Terbukti pada setiap proses pengujian, mesin BU 13 yang tidak mendapatkan perawatan yang baik selalu membutuhkan gaya, daya dan energi yang besar bila dibandingkan kedua mesin yang lainnya yaitu BU 14 dan BU 15 yang mendapatkan perawatan yang baik sehingga kinerjanya juga baik dan relatif tidak boros.

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **Kesimpulan**

1. Berdasarkan hasil kalibrasi geometri mesin perkakas bubut, diperoleh kesimpulan bahwa pada mesin BU 15 Uji no 3, 5 dan 11 melewati penyimpangan yang diijinkan. Ketiga penyimpangan ini berhubungan dengan kepala lepas, oleh karena ini perlu dilihat kondisi kepala lepas, dibersihkan, atau diganti bearingnya agar dapat bekerja secara normal kembali.
2. Hasil kalibrasi dinamometer dapat disimpulkan bahwa dinamometer strain gauge yang akan digunakan pada pengujian gaya dan daya pada pemotongan di mesin bubut dalam kondisi baik karena mempunyai respon yang konsisten terhadap penambahan beban dengan nilai kelinieran grafik gaya potong adalah  $R^2=1$  dan grafik gaya aksial adalah  $R^2=0.999$ , sehingga valid untuk digunakan. Konstanta pengali untuk mengkonversi nilai sinyal ADC menjadi gaya potong adalah 1.534 N dan terhadap gaya aksial 1.412 N.
3. Pola konsumsi energi BU 13 lebih tinggi dari pola BU 14 dan BU 15, terlihat dengan kenaikan energi spesifik pemotongan BU 13 yang jauh lebih besar dari mesin BU 14 dan BU 15 pada pemotongan dengan gerak makan  $\leq 0.095$  mm/put dan putaran  $\geq 1000$  rpm. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada proses pemakanan akhir (*finishing*) konsumsi energi dari BU 13 jauh lebih boros dari pada mesin BU 14 dan BU 15.
4. Konsumsi energi pada ketiga mesin bubut BU 13, BU 14, BU 15 terbukti bahwa mesin bubut BU 13 yang tidak mendapatkan perawatan yang tepat mempunyai tingkat konsumsi energi 11-36% lebih besar dibandingkan BU 14 dan BU 15. Secara tidak langsung juga menunjukkan bahwa mesin yang mendapat perawatan mesin yang tepat akan mempunyai kinerja mesin dan tingkat konsumsi energi yang lebih baik.

**Saran:**

1. Ketiga penyimpangan pada mesin BU 15 berhubungan dengan kepala lepas, oleh karena ini perlu dilihat kondisi kepala lepas, dibersihkan, atau diganti bearingnya agar dapat bekerja secara normal kembali.
2. Mesin BU 13 perlu diperbaiki kebocoran oli dari box roda giginya, dan kemudian dikalibrasi agar kembali

## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Koordinasi Energi Nasional.1983. Buku Pedoman Tentang Cara-Cara Melaksanakan Konservasi Energy dan Pengawasannya. Jakarta.
- Cahyati S. 2012. Rekayasa Model Penilaian Kinerja Operasional Pabrik Gula Berbasis Eco Maintenance. Disertasi. Sekolah Pasca Sarjana-IPB.
- Cahyati S, Gandamana I, Wahyutomo D. 2012. Kalibrasi Dinamometer Untuk Pengujian Parameter Pemotongan dan Konsumsi Energi Pada Mesin Perkakas. SNTI (Seminar Nasional Teknologi Industri) III. Universitas Trisakti. Jakarta. 28 Juni 2011.
- Cahyati S, Gandamana I, Wahyutomo D. 2012. Analisa Pola Konsumsi Mesin Perkakas ; Studi Kasus Mesin Bubut. SNTTM (Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin) XI. BKSTM-Universitas Gadjah Mada. Jakarta. 16-17 Oktober 2011.
- Campbell J, Jardine A. 2001. Maintenance Excellence; Optimizing Equipment Life Cycle Decision. New York USA. Marcell Decker Inc.
- [CDIEMR] Centre for Data on Informations Energy and Mineral Resources. 2011. Handbook of Energy and Economic statistic in Indonesia. Ministry of Energy and Mineral Resources. Indonesia.
- Fluck RC. 1992. Energy Analysis in agricultural system. Elsevier.New York.
- Gutowski T, Dhmus J, Thiriez A.2006. Electrical Energy Requirement For Manufacturing Processes. Proceeding of 13<sup>th</sup> CIRP on Life Cycle Engineering.31<sup>st</sup> May- 2<sup>nd</sup> June 2012. Belgium.
- Herzog T. 2005.World Greenhouse Gas Emissions in 2005. World Resources Institute. Available:<http://www.wri.org/chart/world-greenhouse-gasemissions-2005>.
- Jeremic B.2005. Energy Efficiency Through Improved Maintenance. Tribology in Industry 27 (3&4): 36-40.
- Li W, Kara S. 2003. An Empirical Model for Predicting Energy Consumption of Manufacturing Processes: A Case of Turning Process, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, in press.
- Kordonowy DN. 2001. A Power Assessment of Machining Tools.Massachusetts Institute of Technology, B.S. Thesis. Department of Mechanical Engineering. Cambridge, MA, USA.
- National Instruments, 1998, Strain Gauge –A Tutorial, Aplpication Note 098.

- Rochim Taufiq 1999. Teori dan Teknologi Proses Pemesinan. Higher Education Development Support Project. Bandung.
- Saini N, Dhar S, Garg V, 2006, Design and Development of Strain Gauge based Dynamometer for Measurement of Cutting Force on a Lathe, Proceedings: International Conference on Advances in Mechanical Engineering-December2006 (AME 2006), Baba Banda Singh Bahadur Engineering College, Fatehgarh Sahib, Punjab, India.
- Slessor M. 1988. Dictionary of Energy. 2nd edition. Palgrave Macmillan.
- Soeharsono, Radite PAS, Tineke M, Wawan H, Sapei A, 2011, The influence of elastic springs and spring orientation on the draft force during tillage operation. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, vol 6 no 5, 56-60.
- Shadbegian RJ, Gray WB. 2006. Assessing Multi-Dimensional Performance Environmental and Economic Outcomes. Journal of Production Analysis. 26: 213– 234.
- Shimoda M. 2002. LCA Case of Machine Tool. Proceedings. Symposium of the Japan . Society for Precision Engineering Spring Annual Meeting, 37-41.
- Szargut J, Morris D R, Steward FR. 1988. Exergy Analysis of Thermal Chemical and Metallurgical Processes. Hemisphere Publishing Corporation and Springer-Verlag. New York, NY,USA.
- U.S. Energy Information Administration. 2008. Annual Energy Review. Rep. DOE/EIA- 0384(2008). Available: <http://www.eia.doe.gov/emeu/aer/consump.html>.
- Waterland AF. 1982. Energy Auditing: A Systematic Search For Energy Saving Opportunity. John. Wiley and Sons Inter Science Pb. New York.

**LAMPIRAN - LAMPIRAN**

## B. ARTIKEL ILMIAH

1. Cahyati S, Gandamana I, Wahyutomo D. 2012. Kalibrasi Dinamometer Untuk Pengujian Parameter Pemotongan dan Konsumsi Energi Pada Mesin Perkakas. SNTI III. Universitas Trisakti. Jakarta. 28 Juni 2012.
2. Cahyati S, Gandamana I, Wahyutomo D. 2012. Analisa Pola Konsumsi Mesin Perkakas; Studi Kasus Mesin Bubut. SNTTM XI. BKSTM-Universitas Gadjah Mada. Jakarta. 16-17 Oktober 2012.
3. Sally Cahyati. 2012. *Green Machining* dan Audit Energi Mandiri Mesin Mesin Perkakas. Penerbit Universitas Trisakti . Jakarta. (Draft).

### **C. SINOPSIS PENELITIAN LANJUTAN**