

**ANALISIS PEMANFAATAN ENERGI LISTRIK PADA
MESIN-MESIN PRODUKSI DIVISI PABRIKASI
DI PT INKA MADIUN**

**SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :
KOSA SHANTIA
0910630071-63

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
MALANG
2014**

LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISIS PEMANFAATAN ENERGI LISTRIK PADA MESIN-
MESIN PRODUKSI DIVISI PABRIKASI DI PT INKA MADIUN**

SKRIPSI

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:
KOSA SHANTIA
NIM. 0910630071 - 63

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Unggul Wibawa, M.Sc
NIP. 19630106 198802 1 001

Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D
NIP.19730520 200801 1 013

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS PEMANFAATAN ENERGI LISTRIK PADA MESIN-
MESIN PRODUKSI DIVISI PABRIKASI DI PT INKA MADIUN**

SKRIPSI

JURUSAN TEKNIK ELEKRO

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

KOSA SHANTIA
NIM. 0910630071 - 63

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 07 Februari 2014

Majelis Penguji :

Ir. Soemarwanto, MT.
NIP. 19500715 198003 1 002

Ir. Hery Purnomo, MT.
NIP. 19550708 198212 1 001

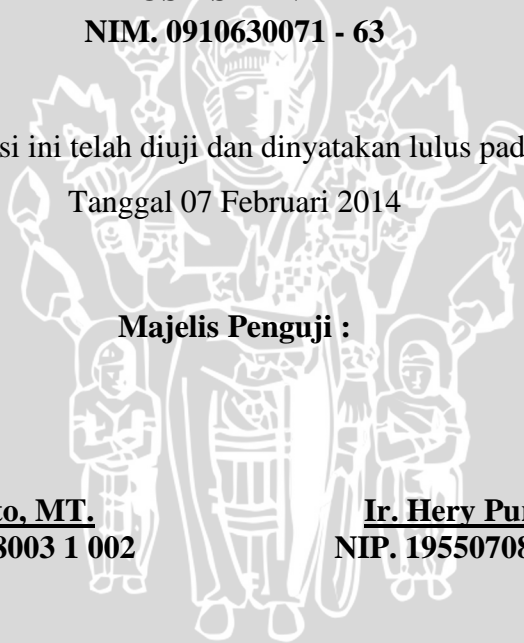
Ir. Hari Santoso, MS.
NIP. 19531205 198503 1 001

Mengetahui :

Ketua Jurusan Teknik Elektro

M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D
NIP. 19741203 200012 1 001

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan berkat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul "Analisis Pemanfaatan Energi Listrik pada Mesin-mesin Produksi Divisi Pabrikasi Di PT INKA (Industri Nasional Kereta Api) Madiun". Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik dari Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Skripsi ini membahas tentang konsumsi energi listrik dan penghematan energi listrik pada mesin-mesin produksi divisi pabrikasi PT INKA Madiun. Dari proses pengambilan data dan analisis akan diketahui konsumsi energi listrik kemudian konsumsi energi listrik dibandingkan dengan standar yang telah ditentukan, serta menentukan upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik pada motor.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan, bimbingan serta dorongan dari semua pihak, penyelesaian skripsi ini tidak mungkin bisa terwujud. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
2. Bapak Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya dan selaku dosen pembimbing skripsi kedua yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan dalam penyelesaian skripsi ini serta atas segala bentuk bantuan dan saran yang membangun.
3. Bapak Mochammad Rif'an, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro.
4. Ibu Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc selaku KKDK Konsentrasi Teknik Energi Elektrik.
5. Bapak Unggul Wibawa, Ir., M.Sc. selaku dosen pembimbing skripsi pertama yang telah banyak memberikan pengarahan dan bimbingan dalam penyelesaian skripsi ini serta atas segala bentuk bantuan dan saran yang membangun.
6. PT INKA Madiun yang telah bersedia menjadi obyek penelitian dari skripsi dan seluruh staf dari Departemen HAR & FASILITAS yang telah bersedia membantu dalam mengumpulkan data-data yang diperlukan.
7. Keluarga penulis, Bapak Slamet Sudiarmo, Ibu Kusprihatin, Galant Mahasna, dan Ronggan Panksuma Espana atas dukungan doa, finansial, dan dorongan semangat yang senantiasa selalu diberikan hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

8. Budi Agung Raharjo yang senantiasa menjadi teman seperjuangan dalam mengerjakan skripsi.
9. Galuh Prawestri Citra Handani atas dukungan doa, semangat dan senantiasa selalu menemani dalam keadaan susah maupun senang selama menjalani perkuliahan.
10. Teman-teman Teknik Elektro angkatan 2009 dan konsentrasi Teknik Energi Elektrik, serta rekan-rekan Laboratorium Mesin Elektrik yang telah menemani dan berbagi semangat selama menjalani perkuliahan.
11. Semua pihak yang telah memberikan bantuan serta dukungan baik yang tidak dapat disebutkan satu persatu secara langsung maupun tidak langsung atas penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini belum sempurna, karena keterbatasan ilmu dan kendala-kendala lain yang terjadi selama pengerjaan skripsi ini. Oleh karena itu, saran dan kritik mengenai penelitian ini diharapkan oleh penulis agar penelitian ini dapat menjadi karya tulis yang lebih baik dan lebih berguna. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat dan dapat digunakan untuk pengembangan lebih lanjut.

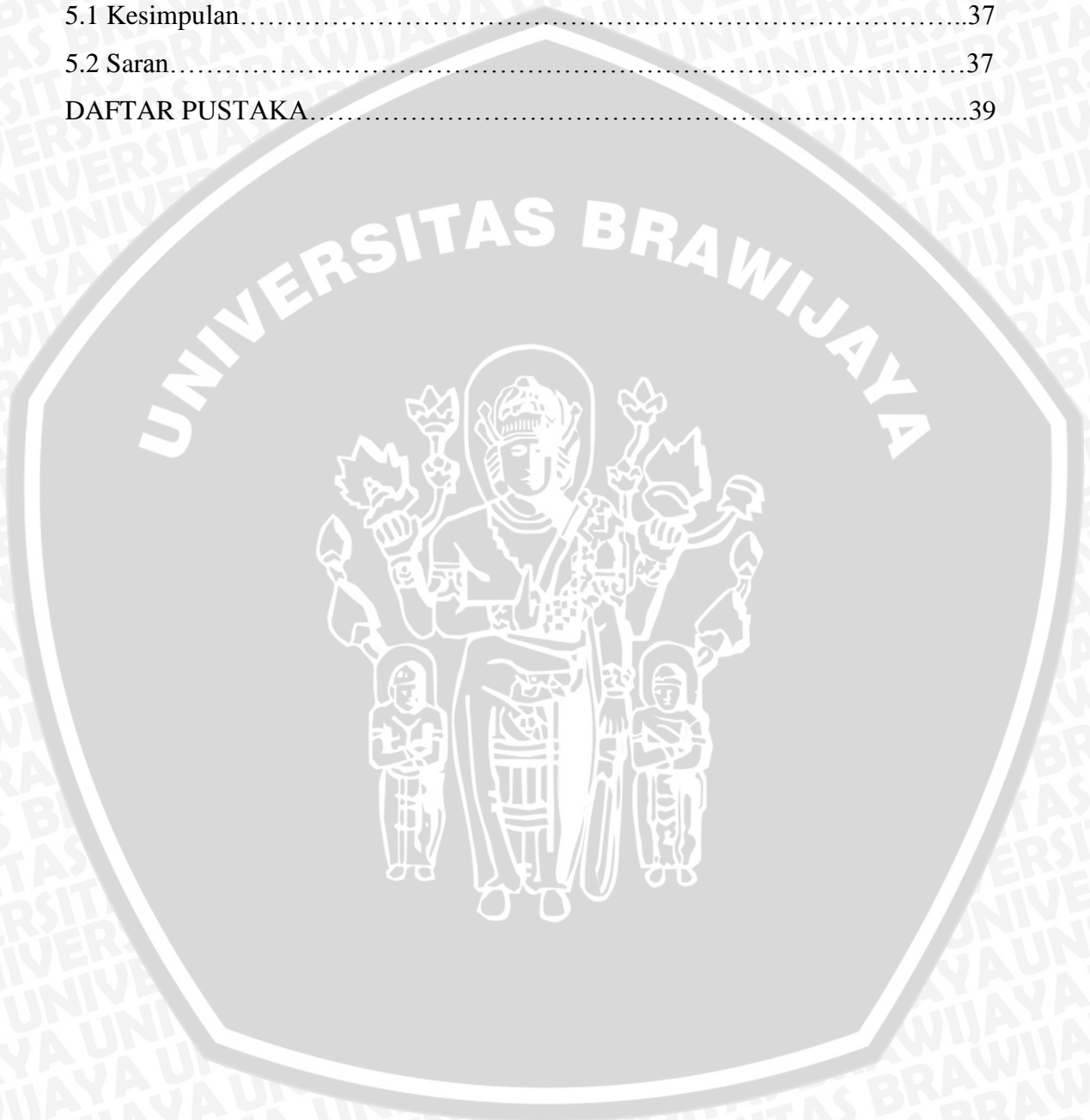
Malang, Januari 2014

Kosa Shantia

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR LAMPIRAN.....	vii
RINGKASAN.....	viii
SUMMARY.....	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Sistematika Pembahasan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Konservasi Energi.....	4
2.2 Audit Energi.....	4
2.3 Beban Listrik.....	6
2.3.1 Motor Listrik.....	7
2.3.1.1 Motor DC.....	7
2.3.1.2 Motor AC.....	8
2.3.1.3 Koreksi Faktor Daya.....	10
2.3.1.4 Pengaruh Temperatur Motor.....	12
2.4 Transformator.....	14
BAB III METODE PENELITIAN.....	17
3.1 Studi Literatur.....	17
3.2 Pengambilan Data.....	17
3.3 Analisis Data dan Pembahasan.....	18
3.4 Penutup.....	19
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	20
4.1 Gambaran Umum PT INKA Madiun.....	20
4.2 Pembebanan Transformator.....	21

4.3 Analisis Temperatur Motor Listrik.....	23
4.4 Perhitungan Beban Motor.....	27
4.5 Perhitungan Estimasi Konsumsi Energi Listrik.....	30
4.6 Perhitungan Penghematan Energi dengan Perbaikan Efisiensi Motor.....	33
BAB V PENUTUP.....	37
5.1 Kesimpulan.....	37
5.2 Saran.....	37
DAFTAR PUSTAKA.....	39



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Daya motor yang diperkenankan berdasarkan temperatur motor 14

Tabel 4.1 Hasil pengukuran arus transformator..... 21

Tabel 4.2 Hasil perhitungan persentase pembebanan setiap fasa pada masing-masing transformator..... 22

Tabel 4.3 Hasil perhitungan rata-rata ketidakseimbangan beban pada transformator 22

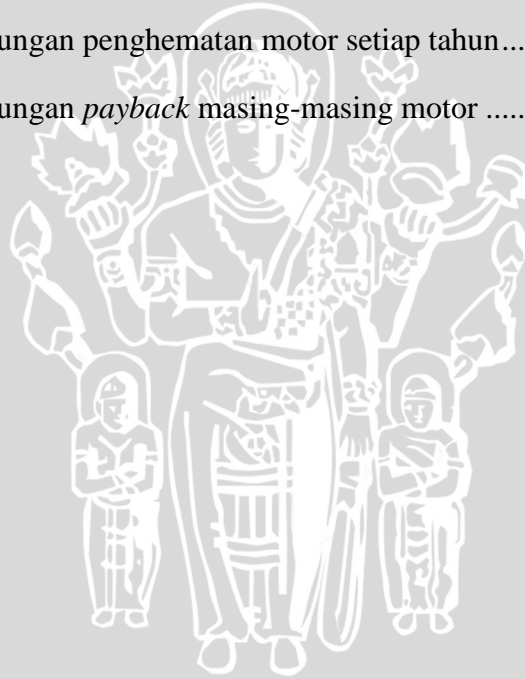
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan daya keluaran motor berdasarkan temperature terukur 24

Tabel 4.5 Hasil perhitungan Pembebanan Motor Listrik..... 28

Tabel 4.6 Hasil perhitungan estimasi energi listrik harian 31

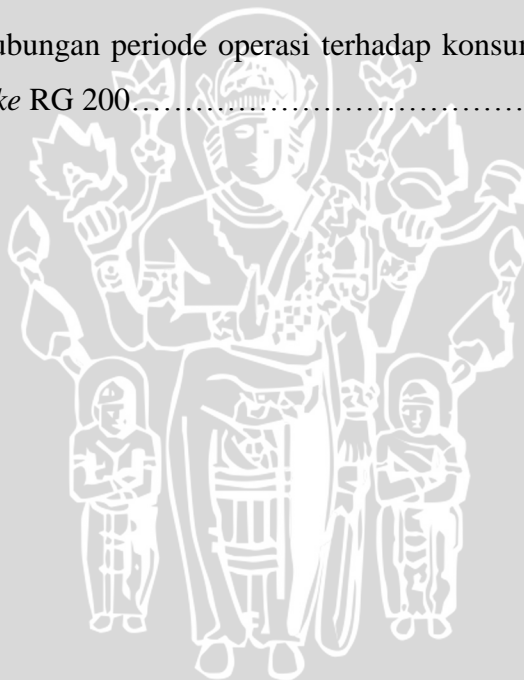
Tabel 4.7 Hasil perhitungan penghematan motor setiap tahun..... 33

Tabel 4.8 Hasil perhitungan *payback* masing-masing motor 35



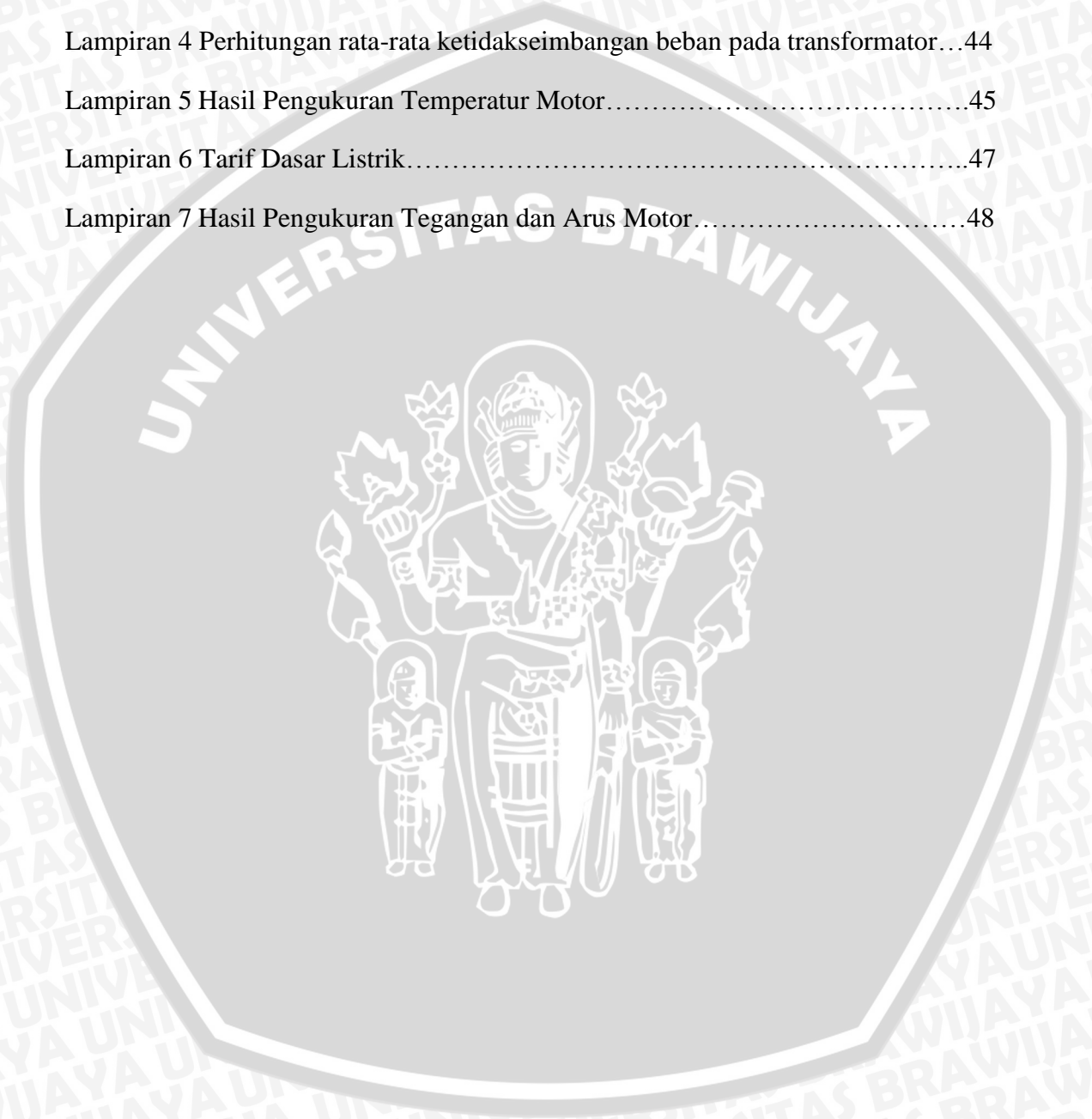
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Efisiensi pembebanan motor sebagai fungsi dari % efisiensi beban penuh.....	9
Gambar 2.2 Kelas isolasi motor menurut IEC 85.....	13
Gambar 3 Diagram alir proses penelitian.....	19
Gambar 4.1 Denah PT INKA Madiun.....	20
Gambar 4.2 Titik pengukuran temperatur pada <i>body</i> motor.....	23
Gambar 4.3 Grafik hubungan antara temperatur dan persentase kemampuan (<i>rating</i>) motor.....	25
Gambar 4.4 Grafik hasil pengukuran temperatur motor.....	26
Gambar 4.5 Grafik hubungan periode operasi terhadap konsumsi energi motor <i>gap shear 1</i> dan <i>press brake RG 200</i>	32



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 <i>Single Line</i> Transformator PT INKA Madiun.....	40
Lampiran 2 <i>Single Line</i> Diagram PT INKA Madiun.....	41
Lampiran 3 Perhitungan % Pembebanan pada MDP Transformator.....	42
Lampiran 4 Perhitungan rata-rata ketidakseimbangan beban pada transformator...44	
Lampiran 5 Hasil Pengukuran Temperatur Motor.....	45
Lampiran 6 Tarif Dasar Listrik.....	47
Lampiran 7 Hasil Pengukuran Tegangan dan Arus Motor.....	48



RINGKASAN

KOSA SHANTIA, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2014, Analisis Pemanfaatan Energi Listrik pada Mesin-mesin Produksi Divisi Pabrikasi Di PT INKA Madiun, Dosen Pembimbing : Unggul Wibawa, Ir.,M.Sc. dan Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D.

PT INKA (Industri Nasional Kereta Api) bergerak dalam pembuatan gerbong kereta dan kereta penumpang. Beban listrik yang paling banyak membutuhkan energi pada sektor industri adalah untuk menyuplai motor listrik. Penghematan energi merupakan salah satu upaya konservasi energi yang dapat dilakukan. Salah satu dampak positif dari penghematan energi adalah pengurangan biaya dari penggunaan energi. Tujuan dari penulisan skripsi ini yaitu menentukan besar penggunaan energi listrik, mengetahui besarnya potensi yang dapat dilakukan untuk penghematan energi listrik dan menentukan langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi listrik.

Penelitian ini dilakukan pada PT INKA Madiun divisi pabrikasi dengan cara mengamati karakteristik dan periode operasi motor listrik. Pengambilan data di PT INKA Madiun dilakukan pada bulan September hingga Oktober 2013 antara pukul 08.00-15.00 pada saat jam kerja. Data yang diperlukan adalah data primer dan sekunder. Data primer yang diperlukan meliputi data beban terpasang yang terdiri dari data tegangan dan arus pada MDP (*Main Distribution Panel*) transformator dan panel motor listrik serta data temperatur pada tiga titik body motor. Data sekunder yang diperlukan meliputi data penggunaan energi listrik, data operasional harian, single line diagram, dan data spesifikasi peralatan. Setelah data primer dan data sekunder terkumpul maka dapat dilakukan analisis sesuai dengan teori dan persamaan yang terdapat pada literatur yang relevan. Kemudian data dianalisis mengacu pada rumusan masalah yang telah ditentukan, yaitu menganalisis penggunaan energi pada mesin produksi divisi pabrikasi dengan menghitung penggunaan motor hariannya untuk mendapatkan penggunaan motor listrik tahunnya dan menganalisis keseimbangan pembebanan setiap fasa pada transformator A₂, B₁, B₂, C₁, C₂, dan PCFC. Selanjutnya menganalisis pola penggunaan motor listrik dengan membandingkan kondisi yang ada di lapangan dengan kondisi standar yang telah ditentukan. Apabila kondisi tidak memenuhi standar maka dapat dianalisis tindakan yang perlu dilakukan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi pada motor. Tindakan konservasi energi dapat diperoleh berdasarkan rumus-rumus teknis yang terdapat pada pustaka.

Dari hasil perhitungan dan analisis transformator dibebani cukup merata (rata-rata ketidakseimbangan beban <20%) dan dari hasil analisis temperatur motor menyatakan bahwa motor rentan mengalami kelebihan temperatur yang dapat mengakibatkan rugi daya, terutama pada motor kompresor. Pembebanan pada motor listrik cenderung normal, yaitu sebesar 50%-100%. Penggunaan energi listrik untuk mesin-mesin produksi divisi pabrikasi PT INKA adalah sebesar 1.738.767,60 kWh/tahun. Dengan melakukan perbaikan efisiensi motor diperoleh total penghematan sebesar 34.987,55 kWh/tahun namun pengembalian investasinya sangat lama.

Kata Kunci- Konservasi energi, penghematan energi, motor listrik.

SUMMARY

KOSA SHANTIA, Electrical Engineering Department, Engineering Faculty Brawijaya University, Januari 2014, Analysis of Electric Energy Utilization in The Production of Machines for Division of Fabrication at PT INKA Madiun, Supervisor: Unggul Wibawa, Ir.,M.Sc. dan Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D.

PT INKA (Industry of National Railway) produce carriages and passenger trains. Electrical load requires the most energy consumption in the industrial sector is to supply the electric motor. Energy saving is one of energy conservation. One positive impact of energy savings is the reduction in the cost of energy usage. The purpose of the writing of the thesis is to determine the major electrical energy usage, knowing the size of the potential that can be done for energy saving of electricity and determine the steps that need to be done to improve the efficiency of the utilization of electrical energy.

This research was conducted at PT INKA Madiun division of fabrication by way of observing the characteristics and period of operation of an electric motor. Data retrieval in PT INKA Madiun was conducted in September until October 2013 between at 08.00-15.00 at the time of working hours. The data required are the primary and secondary data. Primary data required include load consisting of voltage and current on the MDP (Main Distribution Panel) of transformer and the panel of electric motor as well as temperature data on the three points of the body of the motor. Secondary data required include data of electric energy usage, operational daily, single line diagrams, and equipment specifications. Analysis of data can be done according to the theory and similarities found in literature relevant. Then the analysed of data refer to the formulation of the problem has been determined, i.e analyzing energy use in production of machines for division of fabrication by calculating the daily use of the electric motor to get use of electric motors annually and analyze the balance of load per phase on transformer A₂, B₁, B₂, C₁, C₂, and PCFC. And then analyze using patterns of an electric motor by comparing of existing conditions on a court with a condition of standards has been set. If the condition does not meet the standards then can be analyzed actions that need to be done to improve the efficiency of energy use on the electric motor. The act of energy conservation can be obtained based on formula which is found in the library.

From the results of calculation and analysis of transformer loaded fairly evenly (the average load imbalance <20%). From the analysis of the motor stated that the motor temperature is prone to excess temperature can lead to loss of power, especially on the compressor motor. Loading on the electric motors tend to be normal, ie by 50%-100%. The use of electrical energy for production machinery fabrication division of PT INKA is equal to 1.738.767,60 kWh/year. By improving the efficiency of the motor obtained a total savings 34.987,55 kWh/year but the return on investment is very long.

Keyword- Energy conservation, energy savings, electric motor.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan bertambahnya populasi penduduk yang berbanding lurus dengan bertambahnya kebutuhan energi, maka konservasi energi sangat diperlukan. Penghematan energi merupakan salah satu upaya konservasi energi yang dapat dilakukan. Salah satu dampak positif dari penghematan energi adalah pengurangan biaya dari penggunaan energi.

Pemerintah menginstruksikan penghematan energi di lingkungan Badan Usaha Milik Negara (BUMN) dan Badan Usaha Milik Daerah (BUMD) (Instruksi Presiden Republik Indonesia Nomor 13 Tahun 2011 Tentang Penghematan Energi dan Air). Oleh karena itu konservasi energi sangat dibutuhkan dan sudah mulai banyak dilakukan. Kendala dalam melakukan konservasi energi adalah biaya investasi yang tinggi, kesadaran akan budaya hemat energi yang masih kurang, dan kemampuan sumber daya manusia yang masih rendah sehingga pengetahuan mengenai penggunaan energi yang efisien masih kurang.

Konservasi energi dapat dilakukan secara menyeluruh atau hanya pada beban listrik tertentu. Beban listrik yang paling banyak digunakan dan paling banyak membutuhkan konsumsi energi pada sektor industri adalah mesin listrik karena sebagian besar konsumsi energi pada sektor industri digunakan untuk menyuplai motor listrik.

PT INKA (Industri Nasional Kereta Api) merupakan Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang bergerak dalam pembuatan gerbong dan kereta penumpang. PT INKA dalam proses pembuatan gerbong dan kereta penumpang banyak menggunakan mesin listrik dalam proses produksinya sehingga penggunaan energi yang efisien pada mesin-mesin produksi dapat menguntungkan bagi perusahaan. Penggunaan energi yang efisien sangat diperlukan baik dari sisi perencanaannya maupun operasionalnya. Kegiatan audit dalam rangka konservasi energi dilakukan untuk mengetahui pola penggunaan energi yang digunakan sehingga dapat dianalisis upaya yang dapat dilakukan untuk penghematan energi dengan menggunakan energi seefisien mungkin.

Dalam skripsi ini akan dilakukan konservasi dan audit energi untuk mesin-mesin yang digunakan dalam proses produksi divisi pabrikasi di PT INKA. Pada penelitian ini

akan diidentifikasi pola pengoperasian dan pembebanan mesin-mesin yang digunakan dan dianalisis penyelesaian yang sesuai dengan keadaan yang diperoleh selama proses audit energi.

1.2 Rumusan Masalah

Sesuai dengan latar belakang di atas maka rumusan masalah yang disusun adalah sebagai berikut :

1. Seberapa besar penggunaan energi listrik untuk mesin-mesin produksi divisi pabrikasi di PT. INKA.
2. Bagaimana pola penggunaan mesin-mesin produksi divisi pabrikasi PT INKA.
3. Tindakan apa yang perlu dilakukan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik untuk mesin-mesin produksi divisi pabrikasi di PT INKA.

1.3 Batasan Masalah

Penyusunan penelitian ini menggunakan batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilaksanakan di PT INKA Madiun Jawa Timur.
2. Objek penelitian adalah mesin-mesin produksi divisi pabrikasi yang digunakan di PT INKA.
3. Data yang digunakan berupa data primer yang diperoleh dari hasil pengukuran serta perhitungan dan data sekunder yang tersedia di catatan administrasi, data teknis mesin, serta dari pustaka yang relevan.
4. Audit energi dilakukan untuk mengidentifikasi pola pemakaian energi listrik yang kurang efisien agar selanjutnya dapat direkomendasikan upaya-upaya perbaikan efisiensi penggunaannya.
5. Standar yang digunakan adalah IEC (International Electrotechnical Commission) 34-1 untuk temperatur.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan besar penggunaan energi listrik untuk mesin produksi divisi pabrikasi di PT.INKA.

2. Mengetahui besarnya potensi yang dapat dilakukan untuk penghematan energi listrik untuk mesin produksi divisi pabrikasi PT INKA.
3. Menentukan langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi listrik.

1.5 Sistematika Pembahasan

Sistematika pembahasan tersusun dengan urutan sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Berisi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, dan sistematika pembahasan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tinjauan pustaka atau dasar teori yang digunakan untuk dasar penelitian yang dilakukan dan untuk mendukung permasalahan yang akan dibahas.

BAB III : METODE PENELITIAN

Berisi tahapan penyelesaian skripsi ini yang meliputi metode pengambilan data, pengolahan data dan analisis data.

BAB IV : PEMBAHASAN

Berisi pembahasan, analisis dari hasil pengukuran dan analisis mengenai penggunaan energi listrik dengan memperhatikan hasil perhitungan yang telah diselesaikan.

BAB V : PENUTUP

Berisi kesimpulan dari penelitian yang akan dilaksanakan beserta saran dari penulis.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konservasi Energi

Menurut SNI (Standar Nasional Indonesia), konservasi energi adalah upaya untuk mengefisienkan pemakaian energi untuk suatu kebutuhan agar pemborosan energi dapat dihindarkan. Penghematan energi bisa dilakukan dengan menggunakan energi secara efisien atau mengurangi penggunaan energi yang kurang diperlukan. Penghematan energi dapat mengurangi biaya dalam penggunaan energi sehingga meningkatkan keuntungan.

Penghematan energi merupakan unsur yang penting dari sebuah kebijakan energi. Dengan mengurangi konsumsi energi, permintaan energi seiring dengan bertambahnya populasi penduduk dapat diturunkan.

2.2 Audit Energi

Audit energi memiliki beberapa definisi. Menurut SNI (Standar Nasional Indonesia) audit energi adalah teknik yang dipakai untuk menghitung besarnya konsumsi energi pada bangunan gedung dan mengenali cara-cara untuk penghematannya. Audit energi secara sederhana dapat diartikan sebagai proses evaluasi sebuah gedung atau *plant* yang menggunakan energi dan mengidentifikasi peluang untuk mengurangi konsumsi energi. Ada hubungan antara biaya audit, seberapa banyak data yang dikumpulkan dan dianalisis serta peluang-peluang konservasi energi diidentifikasi, maka hal pertama yang dapat diketahui yaitu biaya audit menentukan tipe audit yang akan dilakukan. Ruang lingkup audit energi, kompleksitas perhitungan, dan tingkat evaluasi ekonomi adalah semua masalah yang dapat ditangani secara berbeda oleh setiap auditor individu dan harus ditentukan sebelum memulai kegiatan audit apapun (Thuman, 2003: 1).

Proses audit dimulai dengan mengumpulkan informasi tentang fasilitas pengoperasian dan catatan penggunaan. Data tersebut dianalisis untuk menggambarkan pola penggunaan energi yang dapat membantu auditor untuk memeriksa area-area yang membutuhkan penurunan biaya energi. Perubahan spesifik, yang biasa disebut dengan *Energy Conservation Opportunities* (ECOs), diidentifikasi dan dievaluasi untuk menentukan keuntungan dan efektifitas biayanya. Akhirnya, rencana dibuat dimana

ECO tertentu dipilih untuk diimplementasikan dalam rangka penghematan energi dan biaya produksi.

Level audit energi ini secara sederhana dapat dibagi menjadi 3 kelompok, yaitu (Beggs, 2009: 124):

a. *Preliminary Audit*

Preliminary audit relatif cepat dan dirancang untuk menentukan potensi proyek. Audit energi dan survei yang lebih rinci selalu dapat dilakukan jika memang diperlukan. *Preliminary audit* mendapatkan data dari pembacaan alat ukur atau media perekam data lain untuk jangka waktu tertentu. Karena audit ini berkaitan dengan pengumpulan data dari rekening bulanan, maka dapat disebut juga dengan audit energi secara finansial.

b. *Targeted Audit*

Targeted audit biasanya merupakan kelanjutan hasil dari *Preliminary Audit*. Pada *targeted audit* disediakan data dan analisis yang lebih rinci terhadap proyek-proyek yang ditargetkan khusus. Misalnya suatu industri menargetkan meningkatkan kualitas instalasi penerangan atau boiler, maka perlu dilakukan survei terhadap sasaran dan analisis aliran energi serta biaya yang terkait dengan target yang lebih rinci, selanjutnya memberikan rekomendasi mengenai tindakan yang harus diambil.

c. *Comprehensive Audit*

Comprehensive Audit memberikan data yang rinci pada energi masukan, dan aliran energi dalam suatu industri serta rencana implementasi objek energi. Tipe audit ini harus menghasilkan rencana pelaksanaan proyek energi yang mendetail. Audit tipe ini memerlukan survei energi yang mendetail dan mungkin memerlukan penggunaan simulasi energi perangkat lunak komputer yang rumit.

Pada saat akan memutuskan tipe audit yang perlu digunakan, dapat juga dimulai dengan mengumpulkan data komponen struktur dan mekanik pada industri tersebut. Kebanyakan informasi tersebut dapat dikumpulkan dengan melakukan kunjungan langsung agar lebih memudahkan dalam mengidentifikasi area yang potensial. Pendekatan terorganisasi untuk mengaudit akan dapat membantu untuk mengumpulkan informasi yang berguna dan mengurangi jumlah waktu terbuang saat mengevaluasi suatu industri. Proses audit dapat dibagi menjadi tiga tahapan, yaitu tahap pengerjaan saat sebelum kunjungan ke industri, saat kunjungan, dan pengerjaan saat setelah kunjungan (Thumann, 2003: 4).

Audit pada industri adalah jenis audit yang kompleks dan menarik karena banyaknya variasi peralatan. Peralatan dengan jenis spesifikasi tinggi yang digunakan di proses industri membedakan jenis ini dengan bentuk komersial lainnya. Tantangan untuk auditor dan spesialis manajemen energi adalah mempelajari operasi peralatan industri yang rumit dan beragam, serta memberikan rekomendasi perbaikan untuk proses dan peralatannya yang dapat menghemat energi dan uang (Turner, 2005: 45).

2.3 Beban Listrik

Dalam melakukan konservasi energi perlu mengetahui beban listriknya agar dapat diidentifikasi pola pemakaian energi listrik yang kurang efisien sehingga dapat dilakukan upaya-upaya penghematan energi listrik.

Daya listrik dalam bentuk kompleks dapat dinyatakan oleh persamaan (Sudirham, 2002: 181):

$$S = P + jQ \quad (2-1)$$

Dimana:

S = daya semu (VA)

P = daya nyata (watt)

Q = daya reaktif (VAR)

Besar kecilnya daya reaktif yang diserap oleh beban mengakibatkan faktor daya sistem berbeda. Faktor daya minimal yang harus dipenuhi oleh beban tersambung ke jaringan PLN (Perusahaan Listrik Negara) di Indonesia adalah minimal 0,85 *lagging* (Peraturan Menteri Energi Sumber Daya Mineral (ESDM) Republik Indonesia Nomor 9 Tahun 2011 Tentang Ketentuan Pelaksanaan Tarif Tenaga Listrik yang Disediakan oleh Perusahaan Perseroan (Persero) PT PLN (Perusahaan Listrik Negara)). Bagi beban yang memiliki faktor daya kurang dari 0,85 *lagging* akan dikenakan denda penalti. Denda penalti dapat diturunkan dengan memasang kompensasi daya reaktif di sisi beban. Keuntungan lain dari pemasangan kompensasi daya reaktif adalah menurunkan jatuh tegangan (menaikkan tegangan), mengurangi rugi-rugi saluran, dan menambah penyediaan kapasitas daya (VA). Untuk mencari nilai energi (W), digunakan persamaan (Sudirham, 2002: 3):

$$dw = p \times dt \quad (2-2)$$

dimana: dw = perubahan energi listrik (kWh)

p = daya yang digunakan (kW)

dt = selang waktu (jam)

2.3.1 Motor Listrik

Motor listrik merupakan beban utama pada divisi pabrikasi di PT INKA. Motor listrik kadangkala disebut “kuda kerja” nya industri sebab diperkirakan bahwa motor-motor menggunakan sekitar 70% beban listrik total di industri (*United Nation Environment Programme*, 2006: 1).

Motor listrik digunakan untuk mengkonversi energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik diperoleh dari produk energi listrik dikalikan efisiensi (*Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Recommended Practice for Energy Management in Industrial and Commercial Facilities*, 1996: 107).

2.3.1.1 Motor DC

Motor DC (Direct Current) digunakan pada beberapa aplikasi industri karena kecepatannya mudah diubah-ubah. Motor DC membutuhkan sumber DC untuk mengeksitasi belitan medan dan untuk mensuplai daya ke belitan jangkar melalui sikat dan komutator. Ada 5 jenis motor DC berdasarkan jenis penguatannya atau eksitasinya yaitu (*Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Recommended Practice for Energy Management in Industrial and Commercial Facilities*, 1996: 109):

- a) *Shunt-wound*
- b) *Compound-wound*
- c) *Series-wound*
- d) *Permanent-magnet* (available sampai 5 hp)
- e) *Brushless dc motors* (0,5–10 hp)

Mengaplikasikan motor DC untuk efisiensi energi di antaranya dilakukan dengan memilih ukuran motor yang sesuai dengan beban dan menyesuaikan suplai daya yang efisien, misalnya NEMA (*National Electrical Manufacturers Association*) kelas C.

Motor DC tersedia dalam banyak ukuran, namun penggunaannya pada umumnya dibatasi untuk beberapa penggunaan berkecepatan rendah, penggunaan daya rendah hingga sedang, sebab sering terjadi masalah dengan perubahan arah arus listrik mekanis pada ukuran yang lebih besar. Motor tersebut dibatasi hanya untuk penggunaan di area yang bersih dan tidak berbahaya sebab resiko percikan api pada sikatnya. Motor DC juga relatif mahal dibanding motor AC (Alternating Current).

2.3.1.2 Motor AC

Motor arus bolak-balik menggunakan arus listrik yang membalikkan arahnya secara teratur pada rentang waktu tertentu. Motor AC lebih banyak digunakan dalam beragam aplikasi dari pada motor DC. Keuntungan utama motor DC dibanding motor AC adalah bahwa kecepatan motor AC lebih sulit diatur. Untuk mengatasi kerugian ini, motor AC dapat dilengkapi dengan sistem penggerak yang menggunakan frekuensi variabel untuk memperbaiki kinerja pengaturan kecepatan sekaligus menurunkan dayanya. Motor induksi merupakan motor yang paling populer di industri karena keandalannya dan lebih mudah perawatannya.

Motor perlu dievaluasi melalui kegiatan audit energi. Untuk menentukan penghematan tahunan ditentukan berdasarkan persamaan (*Energy Efficiency & Renewable Energy*, 2012: 2):

$$ES = 0,746 \times Hp \times L \times N \times \left[\frac{100}{E_A} - \frac{100}{E_B} \right] \quad (2-3)$$

dimana:

ES = penghematan tahunan (kWh/tahun)

Hp = daya dalam *horsepower*

L = persentase beban yang dibagi dengan 100

N = waktu operasi dalam setahun (jam)

E_A = persen efisiensi untuk motor standar

E_B = motor efisiensi untuk motor efisien

Selanjutnya menentukan biaya penghematan motor tiap tahun dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Cost Saving (Rp/tahun) = kWh/tahun \times Rp/kWh \quad (2-4)$$

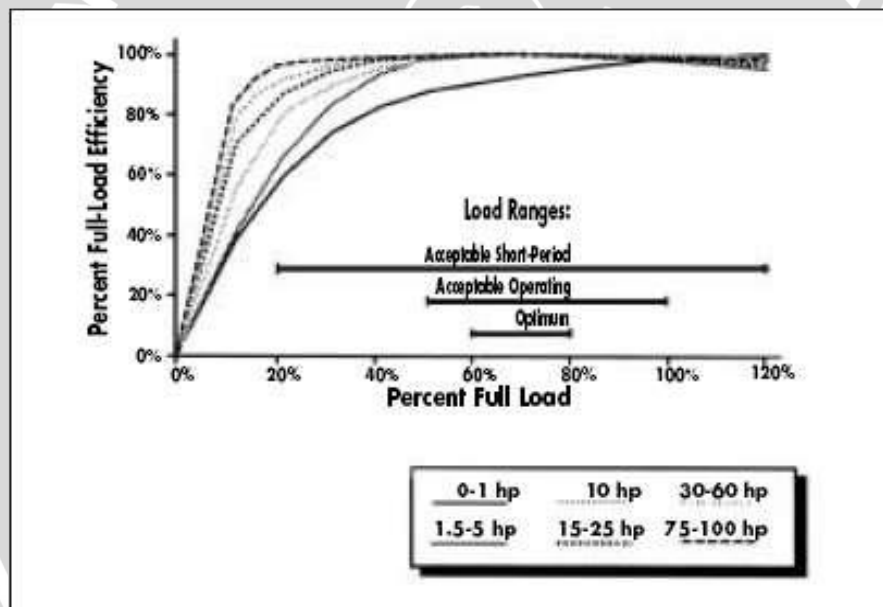
Manajemen energi untuk motor listrik meliputi penjadwalan beban, pemeliharaan motor berkala, penanganan faktor daya, kesetimbangan tegangan *supply*, dan efisiensi pemakaian motor. Penjadwalan pembebanan motor mengakibatkan motor digunakan secara efisien dan sesuai dengan kapasitas sehingga tidak terjadi pemborosan.

Faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi adalah (*United Nation Environment Programme*, 2006: 10):

1. Usia; Motor baru lebih efisien.
2. Kapasitas; Sebagaimana pada hampir kebanyakan peralatan, efisiensi motor meningkat dengan laju kapasitasnya.

3. Kecepatan; Motor dengan kecepatan yang lebih tinggi biasanya lebih efisien.
4. Jenis. Sebagai contoh, motor dengan rotor berbentuk sangkar tupai biasanya lebih efisien daripada motor cincin geser.
5. Suhu. Motor yang didinginkan oleh *fan* dan tertutup total lebih efisien daripada motor *screen protected drip - proof* (SPDP)

Untuk mengukur efisiensi motor, maka motor harus dilepaskan sambungannya dari beban dan dibiarkan untuk melalui serangkaian uji. Hasil dari uji tersebut kemudian dibandingkan dengan grafik kinerja standar yang diberikan oleh pembuatnya. Karena sulit untuk mengkaji efisiensi motor pada kondisi operasi yang normal, beban motor dapat diukur sebagai indikator efisiensi motor. Dengan meningkatnya beban, faktor daya dan efisiensi motor bertambah sampai nilai optimumnya pada sekitar beban penuh. Survei beban motor dilakukan untuk mengukur beban operasi berbagai motor di seluruh pabrik.



Gambar 2.1. Efisiensi pembebanan motor sebagai fungsi dari % efisiensi beban penuh

Sumber: *United Nation Environment Programme*, 2006: 11

Terdapat hubungan yang jelas antara efisiensi motor dan beban. Gambar 2.1 merupakan grafik perbandingan hubungan antara efisiensi motor terhadap beban motor yang berbeda-beda. Pabrik motor membuat rancangan motor untuk beroperasi pada beban 50-100% dan akan paling efisien pada beban sekitar 75%. Tetapi, jika beban turun dibawah 50% efisiensi turun dengan cepat seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1. Mengoperasikan motor dibawah beban nominal 50% memiliki dampak pada faktor dayanya. Efisiensi motor yang tinggi dan faktor daya yang mendekati 1 sangat

diinginkan untuk operasi yang efisien dan untuk menjaga biaya rendah untuk seluruh pabrik, tidak hanya untuk motor. Untuk alasan ini maka dalam mengkaji kinerja motor akan bermanfaat bila beban dan efisiensinya ditentukan.

Metode yang digunakan untuk menentukan beban motor bagi motor yang beroperasi secara individu adalah dengan pengukuran daya masuk. Metode ini menghitung beban sebagai perbandingan antara daya masuk (diukur dengan alat analisis daya) dan nilai daya pada pembebanan 100%. Untuk motor tiga fasa, langkahnya adalah menentukan daya masuk dengan persamaan sebagai berikut (*United Nation Environment Programme*, 2006: 13):

$$P_i = \frac{V \times I \times PF \times \sqrt{3}}{1000} \quad (2-5)$$

dimana:

P_i = daya tiga fasa (kW)

V = tegangan (V)

I = arus (A)

PF= faktor daya

Selanjutnya menentukan nilai daya masuk pada beban penuh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_r = P \times \frac{0.746}{\eta_r} \quad (2-6)$$

dimana:

P_r = daya masuk pada beban penuh (kW)

P = daya pada nameplate (HP)

η_r = efisiensi pada beban penuh

Berdasarkan persamaan (2.5) dan (2.6), didapatkan besar beban dalam % melalui persamaan:

$$\text{Load} = \frac{P_i}{P_r} \times 100\% \quad (2-7)$$

dimana:

Load = Daya keluar yang dinyatakan dalam % nilai daya nominal.

2.3.1.3 Koreksi Faktor Daya

Operasi yang tidak efisien pada sistem distribusi elektrik salah satunya merupakan dampak dari faktor daya yang rendah. Untuk beban seimbang satu fasa berdasarkan persamaan (2-8) (Thumann, 2003: 193), pada sistem dengan faktor daya

rendah dibutuhkan arus yang lebih besar untuk menghasilkan daya yang sama dengan sistem berfaktor daya tinggi.

$$P = V_{\text{Load}} \cdot I_{\text{Load}} \cdot \cos \theta \quad (2-8)$$

Pada beberapa aplikasi industri, faktor daya yang rendah merupakan hasil dari penggunaan motor induksi. Karakteristik motor induksi adalah faktor dayanya yang kurang dari satu, menyebabkan efisiensi keseluruhan yang lebih rendah (dan biaya operasi keseluruhan yang lebih tinggi) untuk seluruh sistem listrik pabrik.

Ada beberapa cara untuk melakukan koreksi faktor daya. Cara yang pertama adalah melakukan pergantian motor yang memiliki kapasitas terlalu besar dengan kapasitas yang dibutuhkan. Cara kedua adalah mengganti motor desain biasa dengan motor pabrikan yang memiliki desain efisien. Untuk cara kedua ini dibutuhkan biaya investasi yang lebih besar namun dapat membantu meningkatkan faktor daya dan efisiensi.

Cara ketiga adalah dengan memasang kapasitor. Kapasitor yang disambung secara paralel (*shunt*) dengan motor kadangkala digunakan untuk memperbaiki faktor daya. Kapasitor tidak akan memperbaiki faktor daya motor itu sendiri akan tetapi terminal *starter*nya dimana tenaga dibangkitkan atau didistribusikan. Ukuran kapasitor tergantung pada kVA reaktif tanpa beban (kVAR) yang ditarik oleh motor. Ukuran ini tidak boleh melebihi 90% dari kVAR motor tanpa beban, sebab kapasitor yang lebih tinggi dapat mengakibatkan terlalu tingginya tegangan dan motor akan terbakar. kVAR motor hanya dapat ditentukan oleh pengujian motor tanpa beban. Alternatifnya adalah menggunakan faktor daya motor standar untuk menentukan ukuran kapasitor.

Manfaat dari koreksi faktor daya meliputi penurunan kebutuhan kVA (jadi mengurangi biaya kebutuhan utilitas), penurunan kehilangan I^2R pada kabel di bagian hulu kapasitor (jadi mengurangi biaya energi), berkurangnya penurunan tegangan pada kabel (mengakibatkan pengaturan tegangan meningkat), dan kenaikan dalam efisiensi keseluruhan sistem listrik pabrik.

Manajemen energi untuk motor listrik meliputi penjadwalan beban, pemeliharaan motor berkala, penanganan faktor daya, kesetimbangan tegangan *supply*, dan efisiensi pemakaian motor. Penjadwalan pembebanan motor mengakibatkan motor digunakan sesuai dengan kapasitasnya dan penggunaannya efisien sehingga tidak terjadi pemborosan. Pemeliharaan berkala akan sangat menguntungkan karena *losses* akibat faktor listrik dapat ditekan. Penanganan faktor daya dengan pemasangan kapasitor akan

efektif dalam pemakaian konsumsi daya listrik (*United Nation Environment Programme*, 2006: 18).

2.3.1.4 Pengaruh Temperatur Motor

Pada dasarnya, motor yang sedang beroperasi akan menghasilkan panas. Panas yang dihasilkan oleh motor berasal dari internal dan eksternal motor tersebut. Kerugian panas internal motor listrik berasal dari (Tua, 2006: 292):

- a. Rugi inti yaitu energi yang diperlukan untuk memagnetisasikan beban inti (histerisis) dan kerugian-kerugian karena timbulnya arus listrik yang kecil yang mengalir pada inti.
- b. Rugi tembaga yaitu rugi pemanasan (I^2R) pada lilitan stator karena arus listrik mengalir melalui penghantar kumparan dengan tahanan.
- c. Kerugian beban liar yaitu akibat dari fluks bocor yang diinduksikan oleh arus beban bervariasi sebagai kuadrat arus beban.
- d. Kerugian angin dan gesekan yang diakibatkan oleh gesekan angin dan bantalan terhadap putaran motor.

Motor juga terkena gangguan eksternal saat beroperasi yang dapat menimbulkan panas. Gangguan-gangguan eksternal itu antara lain (Tua, 2006: 293):

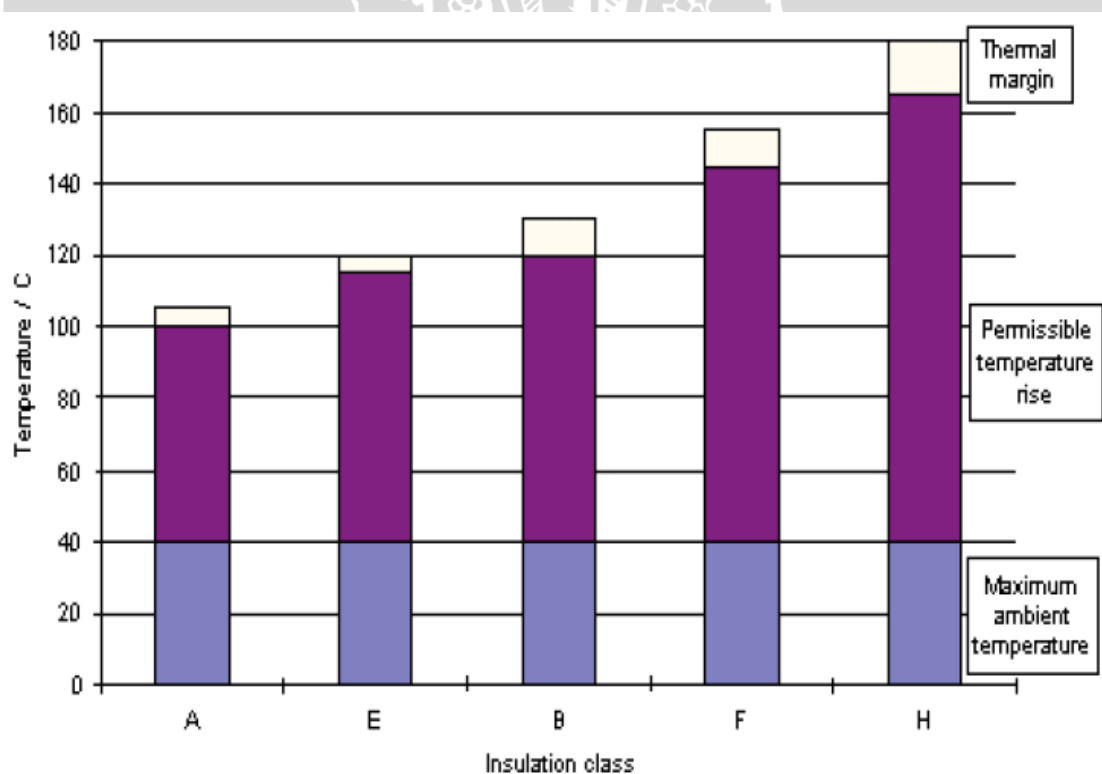
- a. Gangguan mekanik yang meliputi bantalan (*bearing*) yang sudah aus, salah satu tegangan fasa terbuka akibat kontaktor yang rusak, dan longgarnya koneksi.
- b. Gangguan fisik sekeliling yang meliputi suhu ruangan, perubahan fisik akibat benturan, dan pendinginan motor yang tidak baik.
- c. Gangguan dalam operasi dari sistem keseluruhan yang meliputi pembebanan lebih dan pengasutan motor listrik.

Seperti yang disebutkan sebelumnya bahwa kelonggaran koneksi merupakan salah satu bentuk gangguan eksternal yang dapat menyebabkan rugi daya akibat meningkatnya resistansi kontak. Kenaikan temperatur pada kebanyakan rangkaian elektrik diakibatkan oleh disipasi daya dari pemanasan *ohmic*.

Saat membuat koneksi elektrik penting untuk membuat resistansi kontak sekecil mungkin untuk meminimalkan rugi daya. Jika koneksi itu longgar, R akan membesar yang diikuti dengan meningkatnya rugi daya dan temperatur pada titik hubung. Hal ini berarti rangkaian tersebut beroperasi tidak efisien dan membutuhkan daya elektrik lebih besar dari biasanya, dimana makin besar arusnya maka makin besar juga rugi dayanya. Kelonggaran satu koneksi tidak berakibat banyak pada kerugian daya, namun akan

terasa pada *plant* yang lebih besar. Jika arus dan resistansi kontak saat kelonggaran koneksi cukup tinggi, maka akan dapat meningkatkan rugi daya secara signifikan yang berujung pada pemborosan energi listrik.

Kenaikan temperatur tidak boleh melampaui batas sistem isolasi yang sudah ditetapkan, bilamana motor dibebani pada harga nominalnya atau faktor layanan (*service factor*) beban. Berdasarkan standar IEC 34-1, data batas operasional motor senantiasa didasarkan pada temperatur 40° C. Pada temperatur ini motor dapat memberikan daya output nominal tanpa terjadi pemanasan berlebihan yang tidak diizinkan. Menurut IEC 85, isolasi dibagi menjadi beberapa kelas isolasi, yang masing-masing memiliki batas normal dan maksimum temperatur yang diizinkan. Kelas dan isolasi menurut standar IEC 85 dapat dilihat pada Gambar 2.2. Kenaikan temperatur maksimum berbeda-beda tergantung kelas isolasinya dengan kelas F memiliki kenaikan temperatur yang lebih besar dari kelas A dan B. Namun jika diberi tambahan piranti termokopel, kenaikan temperatur maksimum untuk masing-masing kelas bisa lebih tinggi.



Gambar 2.2 Kelas isolasi motor menurut IEC 85

Sumber: IEC 85, 1984: 3

Temperatur belitan motor adalah merupakan jumlah dari temperatur pendingin dan temperatur pemanasan. Jadi bilamana temperatur pendingin kurang dari 40° C, maka kapasitas beban motor masih dapat dinaikkan dan sebaliknya bilamana temperatur pendingin lebih dari 40° C, maka kapasitas beban dari motor harus diturunkan. Tabel 2.1 merupakan daya motor yang diperkenankan berdasarkan temperatur motor.

Tabel 2.1 Daya motor yang diperkenankan berdasarkan temperatur motor

Temperatur (°C)	40	45	50	55	60	70
% power output	100	96.5	93	90	86.5	79

Sumber: IEC 34 – 1, 2004: 9

Jadi batas kemampuan (*rating*) motor yang digunakan pada elemen penggerak tergantung pada keadaan temperatur sekitar dimana motor tersebut terpasang. Penambahan pengaman perlu dilakukan untuk meminimalisasi terjadinya kerusakan/terbakarnya kumparan motor akibat adanya peningkatan suhu yang disebabkan gangguan eksternal maupun internal motor listrik. Gangguan-gangguan tersebut antara lain terjadinya peningkatan suhu sekeliling (*ambient*), pembebanan berlebihan maupun sistem pengasutan yang tidak baik sehingga untuk menghindari terjadinya peningkatan suhu pada motor listrik maka penempatan, pembebanan dan sistem pengasutan harus disesuaikan dengan spesifikasi kemampuan nominal motor listrik.

2.4 Transformator

Transformator digunakan untuk mensuplai dan menyesuaikan daya yang diperlukan pada saat proses operasi. Trafo standar tidak membutuhkan target efisiensi saat proses desain. Sasaran dari trafo standar adalah keamanan, kenyamanan, kesesuaian, keandalan, dan beberapa parameter lingkungan dan teknis lainnya. Penghematan energi dapat diperoleh dengan menggunakan trafo yang efisien dan mengoperasikan trafo secara efisien. Rugi-rugi pada trafo terjadi oleh beberapa hal (IEEE *Recommended Practice for Energy Management in Industrial and Commercial Facilities*, 1996: 146):

- a. Rugi-rugi rangkaian listrik
 1. Rugi I^2R karena arus beban
 2. Rugi I^2R karena arus tanpa beban
 3. Rugi arus pusar (*eddy current*) pada konduktor akibat medan bocor

- b. Rugi-rugi rangkaian magnetik
 1. Rugi histerisis pada isolasi kawat
 2. Rugi arus pusar (*eddy current*) pada isolasi kawat
 3. Rugi arus pusar (*eddy current*) pada penjepit kawat dan baut
- c. Rugi rangkaian dielektrik

Rugi rangkaian dielektrik sampai 50 kV adalah rugi yang kecil dan biasanya terdapat pada rugi tanpa beban. Seperti efisiensi pada umumnya, efisiensi trafo adalah perbandingan antara daya output dan daya input, yang mana rugi-rugi yang dimaksud adalah rugi pada keadaan tanpa beban dan berbeban. Untuk perhitungan pembebanan transformator digunakan persamaan (Indrakoesoema, 2012: 544):

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3}V} \quad (2-9)$$

dimana I_{FL} adalah arus beban penuh (A), S adalah daya semu transformator (kVA) dan V adalah tegangan sisi sekunder transformator (kV).

$$\% \text{ pembebanan} = \frac{I_{f\text{asa}}}{I_{FL}} \times 100\% \quad (2-10)$$

dimana $I_{f\text{asa}}$ adalah arus fundamental RMS per fasa.

Selanjutnya untuk mengetahui rata-rata ketidakseimbangan beban (dalam %) adalah:

$$RKB = \frac{\left| \frac{I_R}{I_{\text{Rata-rata}}} - 1 \right| + \left| \frac{I_S}{I_{\text{Rata-rata}}} - 1 \right| + \left| \frac{I_T}{I_{\text{Rata-rata}}} - 1 \right|}{3} \times 100\% \quad (2-11)$$

dimana RKB adalah rata-rata ketidakseimbangan beban (%), I_R, I_S, I_T (A) merupakan besar arus pada masing-masing fasa, dan $I_{\text{Rata-rata}}$ (A) merupakan rata-rata arus dari fasa R,S,T. Apabila nilai RKB kurang dari 20% maka transformator dibebani cukup merata.

Ada beberapa rekomendasi untuk upaya penghematan energi pada trafo, diantaranya adalah (*Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Recommended Practice for Energy Management in Industrial and Commercial Facilities*, 1996: 153):

- a. Jadwal pemeliharaan berkala penting untuk memeriksa ventilasi, *radiador*, dan kipas dalam keadaan bersih serta memastikan permukaan trafo masih terlindung dengan baik.
- b. Trafo tipe kering sebaiknya dipasang lampu bersensor suhu untuk masing-masing fasa untuk memudahkan pembacaan temperatur.

- c. Trafo dioperasikan pada tegangan yang sesuai. Mengoperasikan trafo pada tegangan primer yang lebih tinggi dapat menambah impedansi berlebih pada belitan primer dan meningkatkan rugi-rugi.



BAB III

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini secara umum tersusun sebagai berikut:

3.1 Studi Literatur

Studi literatur yang dilakukan berupa kajian pustaka terhadap sumber-sumber bacaan yang relevan sehingga mampu menunjang dalam proses audit energi seperti mempelajari dan memahami mengenai konservasi energi listrik, perhitungan, teori mengenai mesin dan transformator yang menunjang dalam penyusunan skripsi ini.

3.2 Pengambilan Data

Data yang diperlukan dalam kajian ini terdiri dari data primer dan data sekunder.

1. Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh dari hasil pengukuran, perhitungan, dan pengamatan langsung di lapangan. Pada skripsi ini, data primer adalah data beban terpasang yang terdiri dari data:

a. Panel Transformator

Transformator digunakan untuk mensuplai dan menyesuaikan daya yang diperlukan pada saat proses operasi. Pengambilan data dilakukan pada bulan Oktober 2013 pada pukul 08.00-11.00 ketika mesin-mesin produksi mulai dioperasikan. Data yang diperlukan adalah tegangan dan arus pada MDP transformator yang diperoleh dengan menggunakan *clamp meter*. Data tegangan dan arus pada MDP transformator digunakan untuk mengetahui pola pembebanan pada transformator.

b. Sistem Penggerak

Alat penggerak yang digunakan selama proses operasi, yaitu motor listrik. Pengambilan data dilakukan pada bulan September sampai Oktober 2013 pukul 08.00-15.00. Data tegangan dan arus pada panel motor diperoleh dengan menggunakan *clamp meter* dan data temperatur pada tiga titik *body* motor diperoleh dengan menggunakan *thermometer infrared*.

2. Data Sekunder

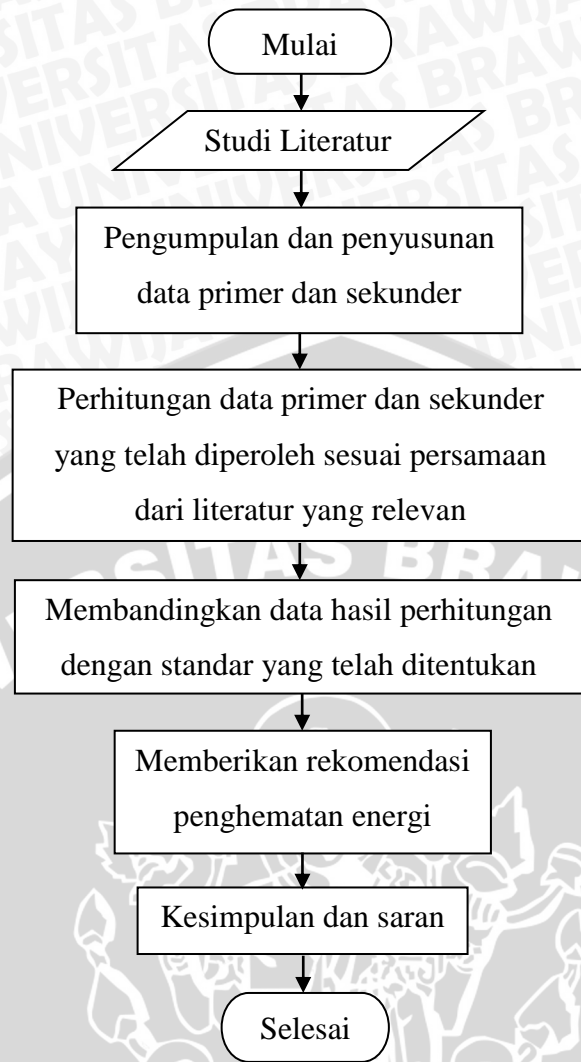
Data sekunder adalah data yang bersumber dari buku referensi, jurnal, dan skripsi yang relevan dengan pembahasan skripsi ataupun yang terdapat pada lapangan (PT INKA). Adapun data sekunder yang digunakan dalam skripsi ini adalah sebagai berikut:

- a. Data Penggunaan Energi Listrik
- b. Data Operasional Harian
- c. Single Line Diagram
- d. Data Spesifikasi Peralatan

3.3 Analisis Data dan Pembahasan

Setelah data primer dan data sekunder yang diperlukan terkumpul, maka selanjutnya akan dilakukan analisis sesuai dengan teori dan persamaan yang terdapat pada literatur yang relevan. Kemudian data-data yang telah diperoleh dianalisis mengacu pada rumusan masalah yang telah ditentukan di awal, yaitu meliputi:

1. Menganalisis penggunaan energi pada mesin produksi divisi pabrikasi dengan mengolah data-data yang ada dalam bentuk tabel. Kemudian dihitung penggunaan motor hariannya untuk mendapatkan penggunaan motor setiap tahunnya. Dianalisis juga keseimbangan pembebanan setiap fasa pada transformator A₂, B₁, B₂, C₁, C₂, dan PCFC .
2. Menganalisis pola penggunaan motor dengan membandingkan kondisi yang ada di lapangan dengan kondisi standar relevan yang telah ditentukan.
3. Menganalisis tindakan yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi pada motor. Setelah mengetahui pola penggunaan motor dan membandingkan dengan standar relevan yang telah ditentukan, maka dapat dilakukan konservasi energi agar didapatkan penggunaan energi yang lebih efisien. Tindakan konservasi energi dapat diperoleh berdasarkan rumus-rumus teknis yang terdapat pada pustaka. Diagram alir proses penelitian yang akan dilakukan dapat dilihat pada Gambar 3:



Gambar 3 Diagram alir proses penelitian

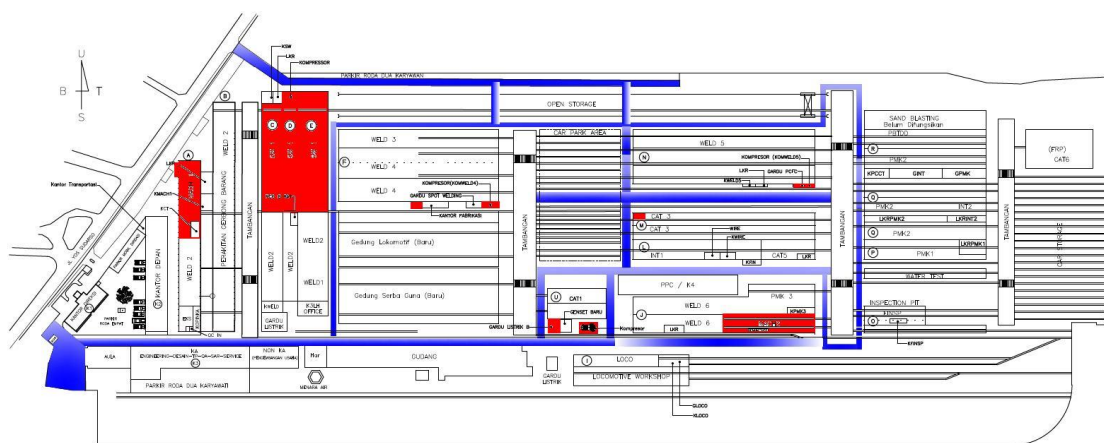
3.4 Penutup

Pada bagian penutup ini akan dilakukan pengambilan kesimpulan dari hasil analisis sehingga dapat diketahui pemakaian energi listrik dan memberikan rekomendasi upaya penghematan energi yang dapat dilakukan untuk mesin-mesin produksi divisi pabrikasi PT INKA Madiun.

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum PT. INKA Madiun

PT INKA Madiun disuplai dari PLN. PLN menyuplai listrik 3 fasa sebesar 3,4 MVA, 20 kV dengan frekuensi 50 Hz. Dalam skripsi ini, diambil lingkup audit pada beban motor listrik pada mesin-mesin produksi divisi pabrikasi PT INKA Madiun. PT INKA memiliki 7 gardu yang masing-masing gardu ada yang terdiri dari dua transformator dan ada yang terdiri dari satu transformator yaitu, gardu A (2 x 1250 kVA), gardu lama (500 kVA dan 630 kVA), gardu B (2x1250 kVA), gardu *test track* (50 kVA dan 1750 kVA), gardu PCFC (1600 kVA), gardu spot (800 kVA), dan gardu C (2x1250 kVA). Transformator yang menyuplai motor listrik pada mesin-mesin produksi divisi pabrikasi PT INKA Madiun adalah gardu A transformator II (A₂) untuk menyuplai motor listrik yang ada di permesinan I, gardu B transformator I (B₁) untuk menyuplai motor listrik *compressor* DMC 250 A dan *compressor* sullair 1, transformator II (B₂) digunakan untuk menyuplai motor listrik pada *bogie machining*, gardu C transformator I (C₁) untuk menyuplai motor listrik pada *steal work*, transformator II (C₂) untuk menyuplai motor listrik *compressor ingersollrand* 1, *compressor sullair* 2, dan kompresor 50 HP, transformator pada gardu PCFC untuk menyuplai motor listrik *compressor ingersollrand* 2. Transformator ini beroperasi pada tegangan 20kV/380V.



Keterangan :

= Area Utility

Gambar 4.1 Denah PT INKA Madiun

Sumber : PT INKA Madiun

4.2 Pembebanan Transformator

Pada umumnya transformator dibebani oleh berbagai macam peralatan. Membebani transformator dengan peralatan semikonduktor dan beban yang bersifat nonlinier dapat mengakibatkan perubahan kualitas sistem yang dihasilkan. Hal ini dapat dilihat pada pengukuran arus dan tegangan pada MDP (*Main Distribution Panel*) transformator. Untuk mengetahui besar arus beban penuh pada masing-masing transformator digunakan persamaan (2-9):

1. Transformator A₂, Transformator B₁ dan B₂, serta Transformator C₁ dan C₂ :

$$I_{FL} = \frac{1250 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 0,380 \text{ kV}} = 1899,18 \text{ A}$$

2. Transformator pada Gardu PCFC

$$I_{FL} = \frac{1600 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 0,380 \text{ kV}} = 2430,95 \text{ A}$$

Dari hasil perhitungan diperoleh I_{FL} pada transformator A₂, transformator B₁ dan B₂, serta transformator C₁ dan C₂ sebesar 1899,18 A dan pada transformator PCFC sebesar 2430,95 A.

Tabel 4.1 Hasil pengukuran arus transformator

Nama Trafo	Arus Terukur (A)			I _{Rata-rata} (A)
	R	S	T	
A ₂	212,2	189,7	205,4	202,43
B ₁	690,7	710,2	685,6	695,50
B ₂	411,3	335,5	380,8	375,87
C ₁	740,3	810,5	765,5	772,10
C ₂	678,4	650,6	710,0	679,67
PCFC	1145,6	1138,5	1210,5	1164,87

Sumber: Hasil Pengukuran

Dari Tabel 4.1 untuk mengetahui besar persentase pembebanan pada transformator A₂ untuk masing-masing fasa digunakan persamaan (2-10):

MDP Transformator A₂:

- a. Pada Fasa R

$$\% \text{ pembebanan} = \frac{212,2 \text{ A}}{1899,18 \text{ A}} \times 100\% = 11,17 \%$$

- b. Pada Fasa S

$$\% \text{ pembebanan} = \frac{189,7 \text{ A}}{1899,18 \text{ A}} \times 100\% = 9,99 \%$$

c. Pada Fasa T

$$\% \text{ pembebanan} = \frac{205,4 \text{ A}}{1899,18 \text{ A}} \times 100\% = 10,82 \%$$

Dengan menggunakan cara perhitungan yang sama besar % pembebanan untuk masing-masing fasa pada transformator A₂, B₁, B₂, C₁, C₂, dan PCFC ditampilkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil perhitungan persentase pembebanan setiap fasa pada masing-masing transformator

MDP Transformator	% Pembebanan Masing-masing Fasa		
	R	S	T
A ₂	11,17	9,99	10,82
B ₁	36,37	37,40	36,10
B ₂	21,66	17,67	20,05
C ₁	38,98	42,68	40,31
C ₂	35,72	34,26	37,38
PCFC	47,13	46,83	49,80

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari hasil perhitungan yang ditampilkan pada Tabel 4.2 didapatkan persentase pembebanan yang masih rendah sehingga beban transformator A₂, B₁, B₂, C₁, C₂, dan PCFC masih dapat ditingkatkan. Selanjutnya untuk mengetahui rata-rata ketidakseimbangan beban (dalam %) di transformator A₂ digunakan persamaan (2-11):

$$\text{RKB} = \frac{\left| \frac{212,2}{202,43} - 1 \right| + \left| \frac{189,7}{202,43} - 1 \right| + \left| \frac{205,4}{202,43} - 1 \right|}{3} \times 100\% = 4,19\%$$

Dengan menggunakan cara perhitungan yang sama rata-rata ketidakseimbangan beban transformator A₂, B₁, B₂, C₁, C₂, dan PCFC ditampilkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil perhitungan rata-rata ketidakseimbangan beban pada transformator

Transformator	RKB (%)
A ₂	4,19
B ₁	1,41
B ₂	7,16
C ₁	3,32
C ₂	2,98
PCFC	2,61

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari hasil perhitungan pada Tabel 4.3 menunjukkan bahwa rata-rata ketidakseimbangan beban pada transformator kurang dari 20% sehingga dapat dikatakan bahwa pembebanan pada transformator cukup merata.

4.3 Analisis Temperatur Motor Listrik

Pengukuran temperatur dilakukan untuk mengetahui batas kemampuan (*rating*) motor yang digunakan. Pengukuran temperatur dilakukan pada bodi motor di tiga titik, yaitu titik T₁, T₂, dan T₃, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2. Dari hasil pengukuran yang telah dilakukan tidak ada motor yang memiliki temperatur di atas standar yang telah ditetapkan sesuai dengan *insulation class* yang diasumsikan sebesar 70°C namun terdapat beberapa motor yang memiliki temperatur di atas temperatur *ambient* 40°C.



Gambar 4.2 Titik pengukuran temperatur pada *body* motor

Sumber: PT INKA Madiun

Sesuai dengan Tabel 2.1, maka dapat dihitung batas daya *output* motor berdasarkan temperatur yang terukur. Misalnya saja untuk motor *press brake* RG 200 dari hasil pengukuran didapatkan T₁=39,7°C; T₂=47,2°C; T₃=43,5°C, maka diperoleh $T_{\text{Rata-rata}} = \frac{39,7+47,2+43,5}{3} = 43,5^{\circ}\text{C}$, sehingga sesuai Tabel 2.1 daya *output* untuk temperatur 43,5°C yang mendekati 45°C adalah 96,5% dari daya pada *nameplate*, yaitu sebesar:

$$P_{\text{output}} = \frac{96,5}{100} \times 14,9 \text{ kW} = 14,38 \text{ kW}$$

Dengan menggunakan cara yang sama, maka akan didapatkan daya keluaran motor yang ditampilkan dalam Tabel 4.4. Tabel 4.4 menyatakan bahwa adanya rugi daya akibat kenaikan temperatur pada motor. Jika kenaikan temperatur terjadi terus menerus, maka akan merusak isolasi motor, mengurangi umur motor, dan menurunkan daya serta efisiensi yang dihasilkan oleh motor tersebut.

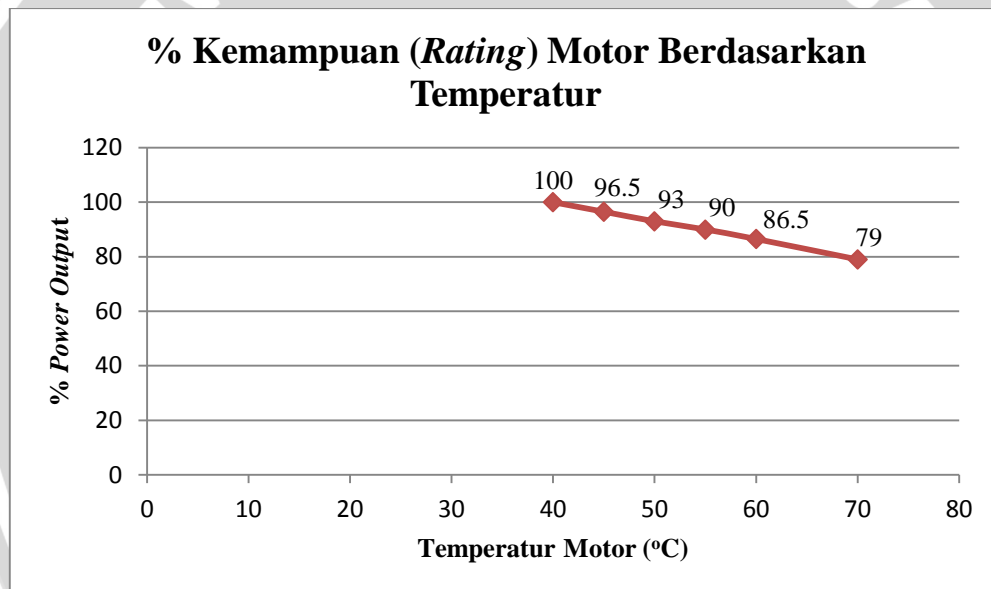
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan daya keluaran motor berdasarkan temperature terukur

No.	Nama Motor	T _{Rata-rata} (°C)	P _{Nameplate} (kW)	%P _{Output}	P _{Output} (kW)
1	Press Brake RG 200	43,5	14,90	96,5	14,38
2	Gap Shear 1	41,9	15,00	96,5	14,48
3	Gap Shear 2	41,5	15,00	96,5	14,48
4	Gap Shear 3	41,7	15,00	96,5	14,48
5	Gap Shear 4	41,6	15,00	96,5	14,48
6	Corner Shear	40,2	2,20	96,5	2,12
7	Roll Leveller	42,0	15,00	96,5	14,48
8	Hydraulic Press 1	39,2	5,50	100,0	5,50
9	Hydraulic Press 2	39,1	5,50	100,0	5,50
10	Roll	39,6	5,50	100,0	5,50
11	Bubut 1	41,7	7,50	96,5	7,24
12	Bubut 2	41,0	7,50	96,5	7,24
13	Bubut 3	40,5	7,50	96,5	7,24
14	Bubut 4	40,4	7,50	96,5	7,24
15	Bubut 5	40,4	7,50	96,5	7,24
16	Bubut 6	41,1	7,50	96,5	7,24
17	Bubut 7	42,4	7,50	96,5	7,24
18	Bubut 8	40,5	7,50	96,5	7,24
19	Bubut 9	41,1	7,50	96,5	7,24
20	Bubut 10	40,3	7,50	96,5	7,24
21	Scraf 1	39,9	3,73	100,0	3,73
22	Scraf 2	40,2	3,73	96,5	3,60
23	Scraf 3	40,0	3,73	100,0	3,73
24	Scraf 4	39,6	3,73	100,0	3,73
25	Scraf 5	40,4	3,73	96,5	3,60
26	Scraf 6	40,6	3,73	96,5	3,60
27	Double Action	43,4	30,00	96,5	28,95
28	BP-13	39,6	22,00	100,0	22,00
29	Rap Drilling & Boor machine 1	39,9	7,50	100,0	7,50
30	Rap Drilling & Boor machine 2	37,9	7,50	100,0	7,50
31	Rap Drilling & Boor machine 3	39,7	7,50	100,0	7,50
32	Compressor Ingersollrand 1	52,2	186,50	90,0	167,85
34	Compressor Sullair 1	46,1	111,90	93,0	104,07
35	Compressor Sullair 2	48,7	111,90	93,0	104,07
36	Compressor DMC	49,9	223,80	93,0	208,13

No.	Nama Motor	T _{Rata-rata} (°C)	P _{Nameplate} (kW)	%P _{Output}	P _{Output} (kW)
37	Compressor	41,6	37,30	96,5	35,99
38	Boor 1	39,5	2,20	100,0	2,20
39	Boor 2	39,4	2,20	100,0	2,20
40	Boor 3	39,4	2,20	100,0	2,20
41	Boor 4	36,7	2,20	100,0	2,20
42	Boor 5	39,5	2,20	100,0	2,20

Sumber: Hasil Perhitungan

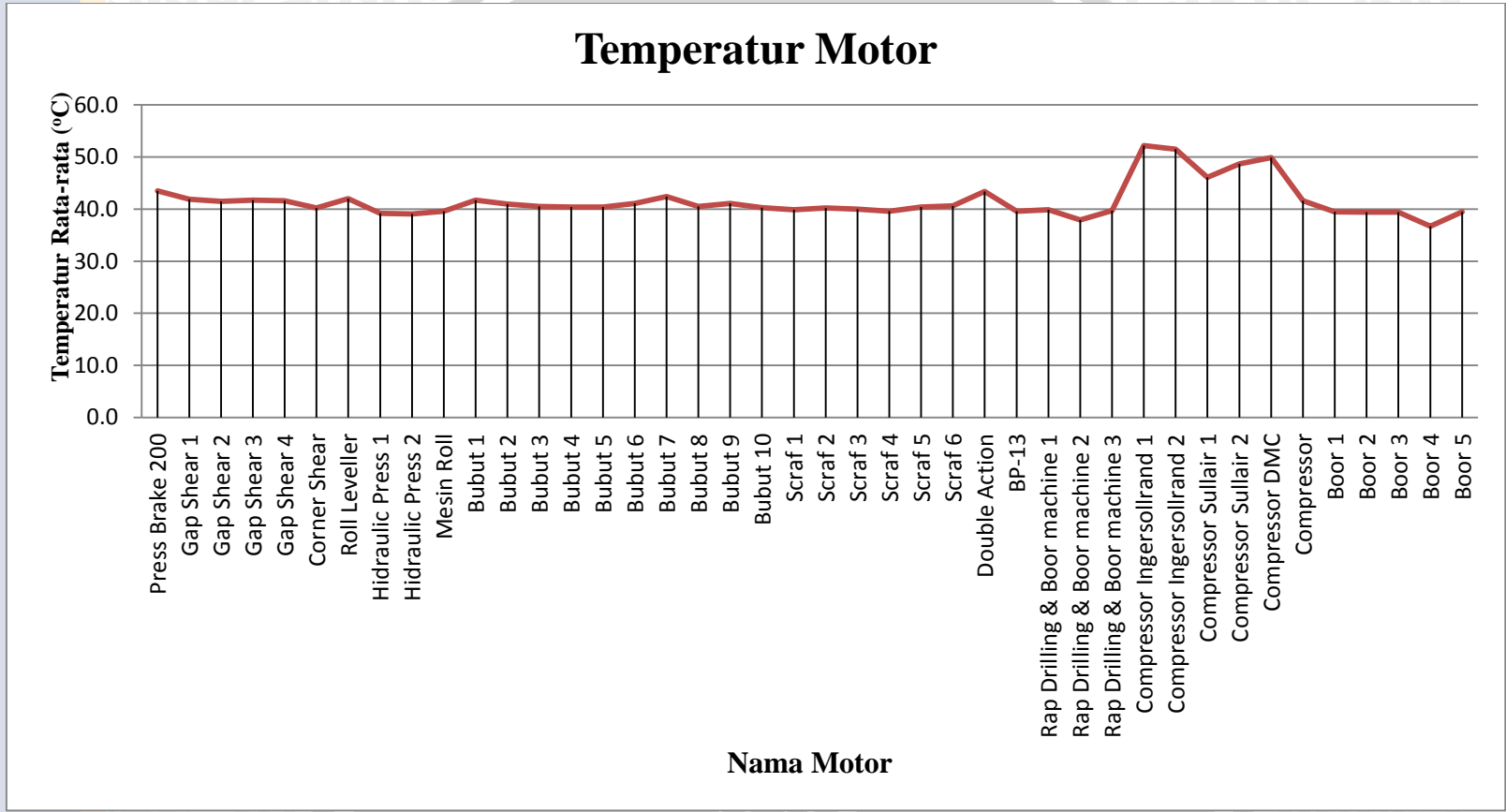
Gambar 4.3 merupakan grafik hubungan antara temperatur dan % *power output* sesuai dengan Tabel 2.1. Pada Gambar 4.3 menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur motor maka semakin kecil persentase kemampuan (*rating*) motor sehingga motor yang memiliki temperatur yang lebih kecil itu lebih baik dibandingkan dengan motor yang memiliki temperatur yang tinggi.



Gambar 4.3 Grafik hubungan antara temperatur dan persentase kemampuan (*rating*) motor

Sumber: IEC 34 – 1, 2004: 9

Selanjutnya Gambar 4.4 menunjukkan bahwa temperatur rata-rata pada motor *compressor* lebih tinggi dibandingkan dengan motor lainnya. Ini dikarenakan motor digunakan dalam waktu yang relatif lama dan motor diletakkan di dalam suatu ruangan yang sempit dan tertutup maka sesuai dengan Gambar 4.3 motor *compressor* memiliki persentase batas kemampuan (*rating*) motor yang lebih kecil dibandingkan dengan motor lainnya. Dari hasil pengukuran menunjukkan bahwa motor yang mempunyai fungsi yang sama memiliki temperatur yang relatif sama.



Gambar 4.4 Grafik hasil pengukuran temperatur motor
 Sumber: Hasil Pengukuran

Untuk meminimalisasi terjadinya kerusakan/terbakarnya kumparan motor akibat peningkatan suhu motor baik panas yang disebabkan panas internal maupun panas eksternal, maka perlu menambahkan pengamanan. Untuk menghindari terjadinya peningkatan suhu pada motor listrik maka penempatan, pembebanan dan sistem pengasutan harus disesuaikan dengan spesifikasi kemampuan nominal motor listrik.

4.4 Perhitungan Beban Motor

Perhitungan beban motor dilakukan untuk mengetahui beban operasi motor-motor pada mesin produksi divisi pabrikasi. Hasil perhitungan digunakan untuk mengidentifikasi beban motor terlalu kecil atau terlalu besar. Perhitungannya menggunakan metode pengukuran daya masuk. Misalnya perhitungan untuk *gap shear* 1 dengan data sebagai berikut :

$I_R = 20 \text{ A}$; $I_S = 25 \text{ A}$; $I_T = 20 \text{ A}$, maka

$$I_{\text{Rata-rata}} = \frac{(20+25+20) \text{ A}}{3} = 21,7 \text{ A}$$

$V_{RS} = 376,7 \text{ V}$; $V_{ST} = 375,7 \text{ V}$; $V_{TR} = 378,3 \text{ V}$, maka

$$V_{\text{Rata-rata}} = \frac{(376,7+375,7+378,3) \text{ V}}{3} = 376,9 \text{ V}$$

$PF = 0,86$; $\eta_r = 0,883$; $P_{\text{nameplate}} = 15 \text{ kW}$

Maka sesuai dengan persamaan (2-5) dapat dihitung daya masuknya, yaitu:

$$P_i = \frac{376,9 \times 21,7 \times 0,86 \times \sqrt{3}}{1000} = 12.180 \text{ W} = 12,18 \text{ kW}$$

Kemudian sesuai dengan persamaan (2-6) dapat dihitung nilai daya masuk berdasarkan data pada *nameplate*, yaitu:

$$P_r = \frac{15 \text{ kW}}{0,883} = 16,99 \text{ kW}$$

Selanjutnya dapat dihitung besar beban motor sesuai dengan persamaan (2-7), yaitu:

$$\text{Load} = \frac{12,18}{16,99} \times 100\% = 71,72 \%$$

maka beban yang sebenarnya adalah $71,72\% \times 15 \text{ kW} = 10,76 \text{ kW}$.

Dengan melakukan langkah-langkah perhitungan yang sama, maka data hasil perhitungan beban motor dengan metode perhitungan daya masuk dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil perhitungan Pembebanan Motor Listrik

No.	Nama Motor	Daya Nameplate (kW)	Efisiensi Motor	P _i (kW)	P _r (kW)	Load (%)	Load (kW)
1	Press Brake RG 200	14,90	88,3	6,92	16,87	41,00	6,11
2	Gap Shear 1	15,00	88,3	12,18	16,99	71,72	10,76
3	Gap Shear 2	15,00	88,3	12,95	16,99	76,22	11,43
4	Gap Shear 3	15,00	88,3	13,05	16,99	76,80	11,52
5	Gap Shear 4	15,00	88,3	13,95	16,99	82,12	12,32
6	Corner Shear	2,20	81,5	2,14	2,70	79,11	1,74
7	Roll Leveller	15,00	88,3	7,35	16,99	43,28	6,49
8	Hydraulic Press 1	5,50	84,8	5,10	6,49	78,67	4,33
9	Hydraulic Press 2	5,50	84,8	5,04	6,49	77,78	4,28
10	Roll	5,50	84,8	2,78	6,49	42,83	2,36
11	Bubut 1	7,50	85,6	5,17	8,76	59,00	4,42
12	Bubut 2	7,50	85,6	4,98	8,76	56,89	4,27
13	Bubut 3	7,50	85,6	5,56	8,76	63,48	4,76
14	Bubut 4	7,50	85,6	4,93	8,76	56,31	4,22
15	Bubut 5	7,50	85,6	5,31	8,76	60,63	4,55
16	Bubut 6	7,50	85,6	4,94	8,76	56,33	4,22
17	Bubut 7	7,50	85,6	4,70	8,76	53,67	4,03
18	Bubut 8	7,50	85,6	5,11	8,76	58,38	4,38
19	Bubut 9	7,50	85,6	5,15	8,76	58,72	4,40
20	Bubut 10	7,50	85,6	5,14	8,76	58,67	4,40
21	Scraf 1	3,73	84,3	3,32	4,42	74,94	2,80

No.	Nama Motor	Daya Nameplate (kW)	Efisiensi Motor	P _i (kW)	P _r (kW)	Load (%)	Load (kW)
22	Scraf 2	3,73	84,3	3,06	4,42	69,24	2,58
23	Scraf 3	3,73	84,3	2,87	4,42	64,87	2,42
24	Scraf 4	3,73	84,3	2,94	4,42	66,39	2,48
25	Scraf 5	3,73	84,3	3,03	4,42	68,42	2,55
26	Scraf 6	3,73	84,3	2,99	4,42	67,53	2,52
27	Double Action	30,00	90,4	16,24	33,19	48,94	14,68
28	BP-13	22,00	89,8	10,39	24,50	42,42	9,33
29	Rap Drilling & Boor machine 1	7,50	85,6	3,29	8,76	37,50	2,81
30	Rap Drilling & Boor machine 2	7,50	85,6	3,28	8,76	37,43	2,81
31	Rap Drilling & Boor machine 3	7,50	85,6	3,34	8,76	38,17	2,86
32	Compressor Ingersollrand 1	186,50	94,1	202,55	198,19	102,20	190,60
33	Compressor Ingersollrand 2	186,50	94,1	217,15	198,19	109,57	204,34
34	Compressor Sullair 1	111,90	94,1	71,87	118,92	60,43	67,63
35	Compressor Sullair 2	111,90	94,1	72,25	118,92	60,76	67,99
36	Compressor DMC	223,80	93,5	250,28	239,36	104,56	234,01
37	Compressor	37,30	91,0	23,89	40,99	58,29	21,74
38	Boor 1	2,20	81,5	1,93	2,70	71,31	1,57
39	Boor 2	2,20	81,5	1,98	2,70	73,28	161
40	Boor 3	2,20	81,5	1,97	2,70	72,93	1,60
41	Boor 4	2,20	81,5	2,03	2,70	75,10	1,65
42	Boor 5	2,20	81,5	2,07	2,70	76,72	1,69

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.5 dapat diketahui bahwa pembebanan pada masing-masing motor tidak sama. Terdapat motor yang dibebani kurang dari 50% dan ada pula yang dibebani lebih dari 50%. Mengoperasikan motor dengan pembebanan dibawah 50% memiliki dampak pada faktor dayanya. Apabila beban turun dibawah 50% efisiensi turun dengan cepat sehingga lebih baik apabila motor dibebani antara 60-80% seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1 karena dengan meningkatnya beban, faktor daya dan efisinsi motor bertambah sampai nilai optimumnya pada sekitar beban penuh.

4.5 Perhitungan Estimasi Konsumsi Energi Listrik

Setelah melakukan pengukuran arus dan tegangan, serta melakukan perhitungan daya masukan motor maka dapat dihitung estimasi konsumsi energi listrik untuk masing-masing motor. Misalnya pada motor *gap shear* 1 dari perhitungan sebelumnya didapatkan daya masukan (P_i) untuk motor *gap shear* 1 sebesar 12,16 kW dan periode operasi motor setiap harinya adalah selama 9 jam, maka estimasi konsumsi energi listrik harian untuk *gap shear* 1:

$$\begin{aligned} W &= P \times t \\ &= 12.160 \times 9 = 62.270 \text{ Wh} = 62,27 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Selanjutnya untuk mengetahui konsumsi energi listrik dalam setahun maka dapat diperoleh melalui perhitungan berikut:

$$\begin{aligned} W &= 62.270 \times 20 \times 12 \\ &= 26.308.800 \text{ Wh} = 26.308,8 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara perhitungan yang sama estimasi konsumsi energi listrik untuk masing-masing motor ditunjukkan pada Tabel 4.6. Dari hasil perhitungan yang ditunjukkan pada Tabel 4.6 diketahui konsumsi energi untuk motor setiap harinya adalah sebesar 9.316,53 kWh dan konsumsi energi motor setahunnya sebesar 1.738.767,60 kWh.

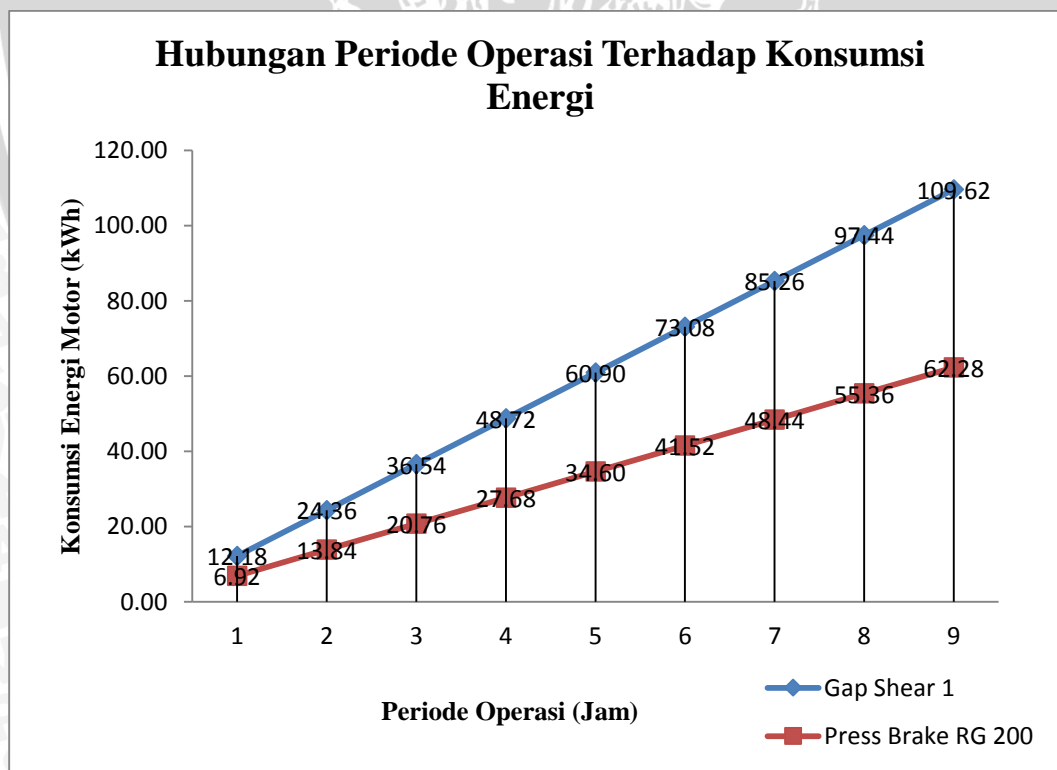
Tabel 4.6 Hasil perhitungan estimasi energi listrik harian

No.	Nama Motor	t (jam)	Daya Input (kW)	Energi Harian (kWh)	Estimasi Hari Aktif Sebulan	Konsumsi Energi Setahun (kWh)
1	<i>Press Brake RG 200</i>	9	6,92	62,28	20	14.947,20
2	<i>Gap Shear 1</i>	9	12,18	109,62	20	26.308,80
3	<i>Gap Shear 2</i>	9	12,95	116,55	20	27.972,00
4	<i>Gap Shear 3</i>	9	13,05	117,45	20	28.188,00
5	<i>Gap Shear 4</i>	9	13,95	125,55	20	30.132,00
6	<i>Corner Shear</i>	9	2,14	19,26	15	3.466,80
7	<i>Roll Leveller</i>	9	7,35	66,15	15	11.907,00
8	<i>Hydraulic Press 1</i>	9	5,10	45,90	20	11.016,00
9	<i>Hydraulic Press 2</i>	9	5,04	45,36	20	10.886,40
10	<i>Roll</i>	9	2,78	25,02	15	4.503,60
11	Bubut 1	9	5,17	46,53	20	11.167,20
12	Bubut 2	9	4,98	44,82	20	10.756,80
13	Bubut 3	9	5,56	50,04	20	12.009,60
14	Bubut 4	9	4,93	44,37	20	10.648,80
15	Bubut 5	9	5,31	47,79	20	11.469,60
16	Bubut 6	9	4,94	44,46	20	10.670,40
17	Bubut 7	9	4,70	42,30	20	10.152,00
18	Bubut 8	9	5,11	45,99	20	11.037,60
19	Bubut 9	9	5,15	46,35	20	11.124,00
20	Bubut 10	9	5,14	46,26	20	11.102,40
21	<i>Scraf 1</i>	9	3,32	29,88	20	7.171,20
22	<i>Scraf 2</i>	9	3,06	27,54	20	6.609,60
23	<i>Scraf 3</i>	9	2,87	25,83	20	6.199,20
24	<i>Scraf 4</i>	9	2,94	26,46	20	6.350,40
25	<i>Scraf 5</i>	9	3,03	27,27	20	6.544,80
26	<i>Scraf 6</i>	9	2,99	26,91	20	6.458,40
27	<i>Double Action</i>	9	16,24	146,16	15	26.308,80
28	BP-13	9	10,39	93,51	15	16.831,80
29	<i>Rap Drilling & Boor machine 1</i>	9	3,29	29,61	20	7.106,40
30	<i>Rap Drilling & Boor machine 2</i>	9	3,28	29,52	20	7.084,80
31	<i>Rap Drilling & Boor machine 3</i>	9	3,34	30,06	20	7.214,40
32	<i>Compressor Ingersollrand 1</i>	9	202,55	1.822,95	15	328.131,00

No.	Nama Motor	t (jam)	Daya Input (kW)	Energi Harian (kWh)	Estimasi Hari Aktif Sebulan	Konsumsi Energi Setahun (kWh)
33	Compressor Ingersollrand 2	9	217,15	1.954,35	15	351.783,00
34	Compressor Sullair 1	9	71,87	646,83	15	116.429,40
35	Compressor Sullair 2	9	72,25	650,25	15	117.045,00
36	Compressor DMC	9	250,28	2.252,52	15	405.453,60
37	Compressor	9	23,89	215,01	10	25.801,20
38	Boor 1	9	1,93	17,37	10	2.084,40
39	Boor 2	9	1,98	17,82	10	2.138,40
40	Boor 3	9	1,97	17,73	10	2.127,60
41	Boor 4	9	2,03	18,27	10	2.192,40
42	Boor 5	9	2,07	18,63	10	2.235,60
Total penggunaan konsumsi energi listrik				9.316,53		1.738.767,60

Sumber: Hasil Perhitungan

Misalnya untuk motor *gap shear* 1 dan *press brake* RG 200 dioperasikan dalam jangka waktu 9 jam dan motor memiliki daya *input* masing-masing 12,18 kW dan 6,92 kW apabila dibuat grafik perbandingan antara periode operasi dengan konsumsi energi pada motor maka akan didapatkan grafik sesuai dengan Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Grafik hubungan periode operasi terhadap konsumsi energi motor *gap shear* 1 dan *press brake* RG 200

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari Gambar 4.5 menunjukkan bahwa semakin lama periode operasi dan semakin besar daya *input* motor maka konsumsi energinya semakin besar sehingga biaya konsumsi energi listriknya juga semakin besar.

4.6 Perhitungan Penghematan Energi dengan Perbaikan Efisiensi Motor

Dengan memperbaiki efisiensi motor dapat membantu dalam penghematan energi. Jika dimisalkan *press brake* RG 200 diperbaiki efisiensinya dan diketahui bahwa harga energi listrik per kWh sebesar Rp 803,00 maka untuk mengetahui besar penghematan energi listrik setiap tahunnya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-3):

$$ES = 0,746 \times 20 \times 0,41 \times 2160 \times \left[\frac{100}{88,3} - \frac{100}{91} \right]$$

$$= 443,39 \text{ kWh/tahun}$$

Selanjutnya menghitung *Cost Saving* sesuai persamaan (2-4):

$$Cost Saving = 443,39 \times 803$$

$$= \text{Rp } 356.041,88/\text{tahun}$$

Dari perhitungan di atas dengan memperbaiki efisiensi motor diperoleh penghematan motor *press brake* RG 200 sebesar Rp 356.041,88/tahun. Dengan menggunakan perhitungan yang sama akan diperoleh penghematan setiap tahun untuk masing-masing motor seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil perhitungan penghematan motor setiap tahun

No.	Nama Motor	P (kW)	Rp/kWh	Energy Saving (ES) (kWh/tahun)	Cost Saving (Rp/tahun)
1	Press Brake RG 200	14,90	803	443,39	356.041,88
2	Gap Shear 1	15,00	803	780,81	626.992,73
3	Gap Shear 2	15,00	803	829,80	666.332,76
4	Gap Shear 3	15,00	803	836,12	671.403,26
5	Gap Shear 4	15,00	803	894,04	717.911,92
6	Corner Shear	2,20	803	237,22	190.489,14
7	Roll Leveller	15,00	803	353,39	283.772,78
8	Hydraulic Press 1	5,50	803	578,77	464.750,76
9	Hydraulic Press 2	5,50	803	572,22	459.493,00
10	Roll	5,50	803	236,32	189.766,83
11	Bubut 1	7,50	803	486,56	390.706,27
12	Bubut 2	7,50	803	469,16	376.733,55

No.	Nama Motor	P (kW)	Rp/kWh	Energy Saving (ES) (kWh/tahun)	Cost Saving (Rp/tahun)
13	Bubut 3	7,50	803	523,50	420.373,46
14	Bubut 4	7,50	803	464,37	372.892,71
15	Bubut 5	7,50	803	500,00	401.500,36
16	Bubut 6	7,50	803	464,54	373.025,15
17	Bubut 7	7,50	803	442,60	355.410,26
18	Bubut 8	7,50	803	481,45	386.600,54
19	Bubut 9	7,50	803	484,25	388.852,07
20	Bubut 10	7,50	803	483,84	388.520,96
21	Scraf 1	3,73	803	261,93	210.332,40
22	Scraf 2	3,73	803	242,01	194.334,33
23	Scraf 3	3,73	803	226,74	182.069,16
24	Scraf 4	3,73	803	232,05	186.335,30
25	Scraf 5	3,73	803	239,14	192.032,86
26	Scraf 6	3,73	803	236,03	189.534,92
27	Double Action	30,00	803	735,57	590.660,25
28	BP-13	22,00	803	473,73	380.407,39
29	Rap Drilling & Boor machine 1	7,50	803	309,25	248.330,26
30	Rap Drilling & Boor machine 2	7,50	803	308,68	247.866,71
31	Rap Drilling & Boor machine 3	7,50	803	314,78	252.767,09
32	Compressor Ingersollrand 1	186,50	803	4.471,47	3.590.588,59
33	Compressor Ingersollrand 2	186,50	803	4.793,92	3.849.518,51
34	Compressor Sullair 1	111,90	803	1.102,88	885.610,02
35	Compressor Sullair 2	111,90	803	1.108,90	890.446,22
36	Compressor DMC	223,80	803	8.074,85	6.484.101,91
37	Compressor	37,30	803	554,92	445.602,73
38	Boor 1	2,20	803	142,56	114.471,67
39	Boor 2	2,20	803	146,49	117.634,04
40	Boor 3	2,20	803	145,79	117.072,20
41	Boor 4	2,20	803	150,13	120.555,63
42	Boor 5	2,20	803	153,37	123.156,17
Total penghematan				34.987,55	28.094.998,72

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari Tabel 4.7 dapat diketahui biaya penghematan energi listrik pada motor. Dari perhitungan diperoleh total penghematan 34.987,55 kWh/tahun sehingga dapat diperoleh penghematan biaya Rp. 28.094.998,72/tahun.

Kemudian untuk mengetahui *payback* untuk perbaikan efisiensi pada motor *press brake* RG 200 adalah sebagai berikut:

$$\text{Payback} = \frac{25.015.800}{356.041,88} = 70,26 \text{ Tahun}$$

Payback yang diberikan dari penggunaan motor *press brake* RG 200 dengan efisiensi yang lebih tinggi adalah sebesar 70,26 tahun. Dengan melakukan perhitungan yang sama akan diperoleh *payback* untuk masing-masing motor seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil perhitungan *payback* masing-masing motor

No.	Nama Motor	Penghematan Biaya/Tahun (Rp)	Harga Motor Nema Premium efisien (Rp)	<i>Payback</i> (Tahun)
1	<i>Press Brake</i> RG 200	356.041,88	25.015.800	70,26
2	<i>Gap Shear</i> 1	626.992,73	25.015.800	39,90
3	<i>Gap Shear</i> 2	666.332,76	25.015.800	37,54
4	<i>Gap Shear</i> 3	671.403,26	25.015.800	37,26
5	<i>Gap Shear</i> 4	717.911,92	25.015.800	34,85
6	<i>Corner Shear</i>	190.489,14	6.711.850	35,23
7	<i>Roll Leveller</i>	283.772,78	25.015.800	88,15
8	<i>Hydraulic Press</i> 1	464.750,76	11.809.000	25,41
9	<i>Hydraulic Press</i> 2	459.493,00	11.809.000	25,70
10	<i>Roll</i>	189.766,83	11.423.400	60,20
11	Bubut 1	390.706,27	13.375.500	34,23
12	Bubut 2	376.733,55	13.375.500	35,50
13	Bubut 3	420.373,46	13.375.500	31,82
14	Bubut 4	372.892,71	13.375.500	35,87
15	Bubut 5	401.500,36	13.375.500	33,31
16	Bubut 6	373.025,15	13.375.500	35,86
17	Bubut 7	355.410,26	13.375.500	37,63
18	Bubut 8	386.600,54	13.375.500	34,60
19	Bubut 9	388.852,07	13.375.500	34,40
20	Bubut 10	388.520,96	13.375.500	34,43
21	<i>Scraf</i> 1	210.332,40	8.097.600	38,50
22	<i>Scraf</i> 2	194.334,33	8.097.600	41,67
23	<i>Scraf</i> 3	182.069,16	8.097.600	44,48

No.	Nama Motor	Penghematan Biaya/Tahun (Rp)	Harga Motor Nema Premium efisien (Rp)	Payback (Tahun)
24	Scraf 4	186.335,30	8.097.600	43,46
25	Scraf 5	192.032,86	8.097.600	42,17
26	Scraf 6	189.534,92	8.097.600	42,72
27	Double Action	590.660,25	56.936.250	96,39
28	BP-13	380.407,39	38.837.150	102,09
29	Rap Drilling & Boor machine 1	248.330,26	13.375.500	53,86
30	Rap Drilling & Boor machine 2	247.866,71	13.375.500	53,96
31	Rap Drilling & Boor machine 3	252.767,09	13.375.500	52,92
32	Compressor Ingersollrand 1	3.590.588,59	359.644.300	100,16
33	Compressor Ingersollrand 2	3.849.518,51	359.644.300	93,43
34	Compressor Sullair 1	885.610,02	227.528.100	256,92
35	Compressor Sullair 2	890.446,22	227.528.100	255,52
36	Compressor DMC	6.484.101,91	461.141.450	71,12
37	Compressor	445.602,73	64.057.800	143,76
38	Boor 1	114.471,67	6.711.850	58,63
39	Boor 2	117.634,04	6.711.850	57,06
40	Boor 3	117.072,20	6.711.850	57,33
41	Boor 4	120.555,63	6.711.850	55,67
42	Boor 5	123.156,17	6.711.850	54,50

Sumber: Hasil Perhitungan

Perbaikan kecil dalam efisiensi motor dapat menghasilkan penghematan energi dan biaya, namun dari hasil perhitungan pada Tabel 4.8 menunjukkan bahwa pengembalian investasi apabila harus mengganti motor yang lama dengan motor yang memiliki efisien yang lebih tinggi memerlukan waktu yang sangat lama. Sehingga sebaiknya tidak melakukan pergantian motor lama dengan motor yang memiliki efisiensi yang lebih tinggi untuk memperbaiki efisiensi motor.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan dan analisis dari pemanfaatan energi listrik pada mesin-mesin produksi divisi pabrikasi di PT INKA Madiun didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan energi listrik untuk mesin-mesin produksi divisi pabrikasi PT INKA adalah sebesar 9.316,53 kWh setiap harinya dan sebesar 1.738.767,60 kWh setiap tahunnya.
2. Pola penggunaan mesin-mesin produksi divisi pabrikasi PT INKA adalah sebagai berikut:
 - a. Hasil pengukuran temperatur menunjukkan bahwa motor tidak melewati batas standar temperatur yang telah ditetapkan yaitu 70°C namun ada beberapa motor yang memiliki temperatur rata-rata di atas temperatur *ambient* yaitu 40°C.
 - b. Hasil pengukuran dan perhitungan menunjukkan bahwa motor dibebani 50-100%, namun ada beberapa motor yang memiliki beban berlebih yaitu pada motor kompresor.
3. Tindakan yang perlu dilakukan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik untuk mesin-mesin produksi divisi pabrikasi di PT INKA adalah dengan melakukan perbaikan efisiensi motor. Dengan melakukan perbaikan efisiensi diperoleh total penghematan sebesar 34.987,55 kWh/tahun atau sebesar Rp.28.094.998,72/tahun namun pengembalian investasinya sangat lama.

5.2 Saran

Dari kesimpulan di atas mengenai pemanfaatan energi listrik pada mesin-mesin produksi divisi pabrikasi di PT INKA Madiun maka ada beberapa saran untuk melakukan upaya penghematan energi untuk ke depannya:

1. Melakukan pengecekan dan pemeliharaan berkala terhadap instalasi dan komponen-komponen yang terdapat pada beban-beban listrik.
2. Melakukan perbaikan efisiensi motor dengan mengganti dengan motor baru berefisiensi tinggi sebaiknya dilakukan apabila motor-motor yang digunakan

sebelumnya sudah rusak karena meskipun dapat menghemat biaya konsumsi motor namun pengembalian investasinya sangat lama.

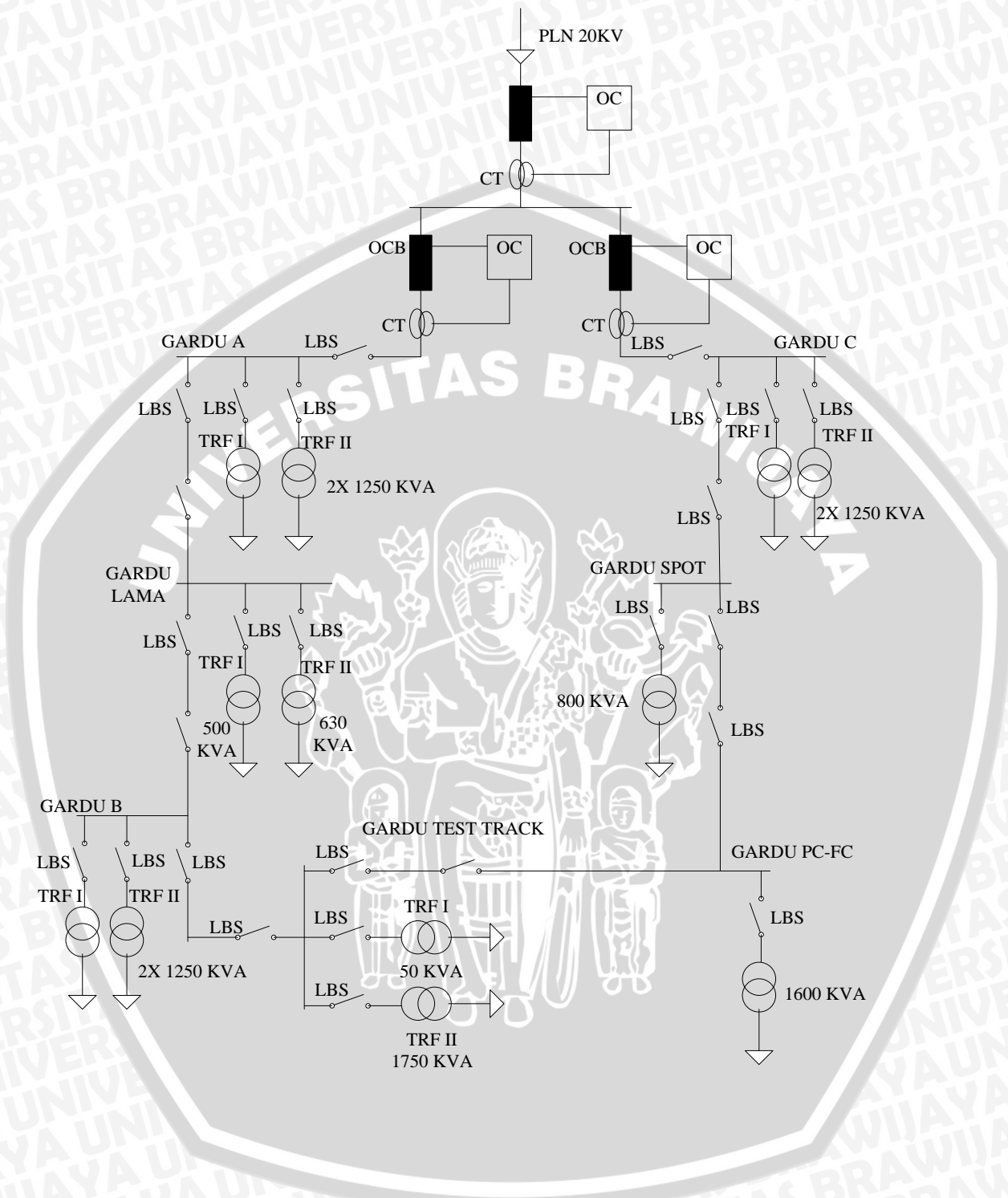
3. Diperlukan pengkajian yang lebih mendalam untuk mengetahui hubungan antara daya *output* motor terhadap temperatur dan pembebanan motor terhadap perbaikan efisiensi.



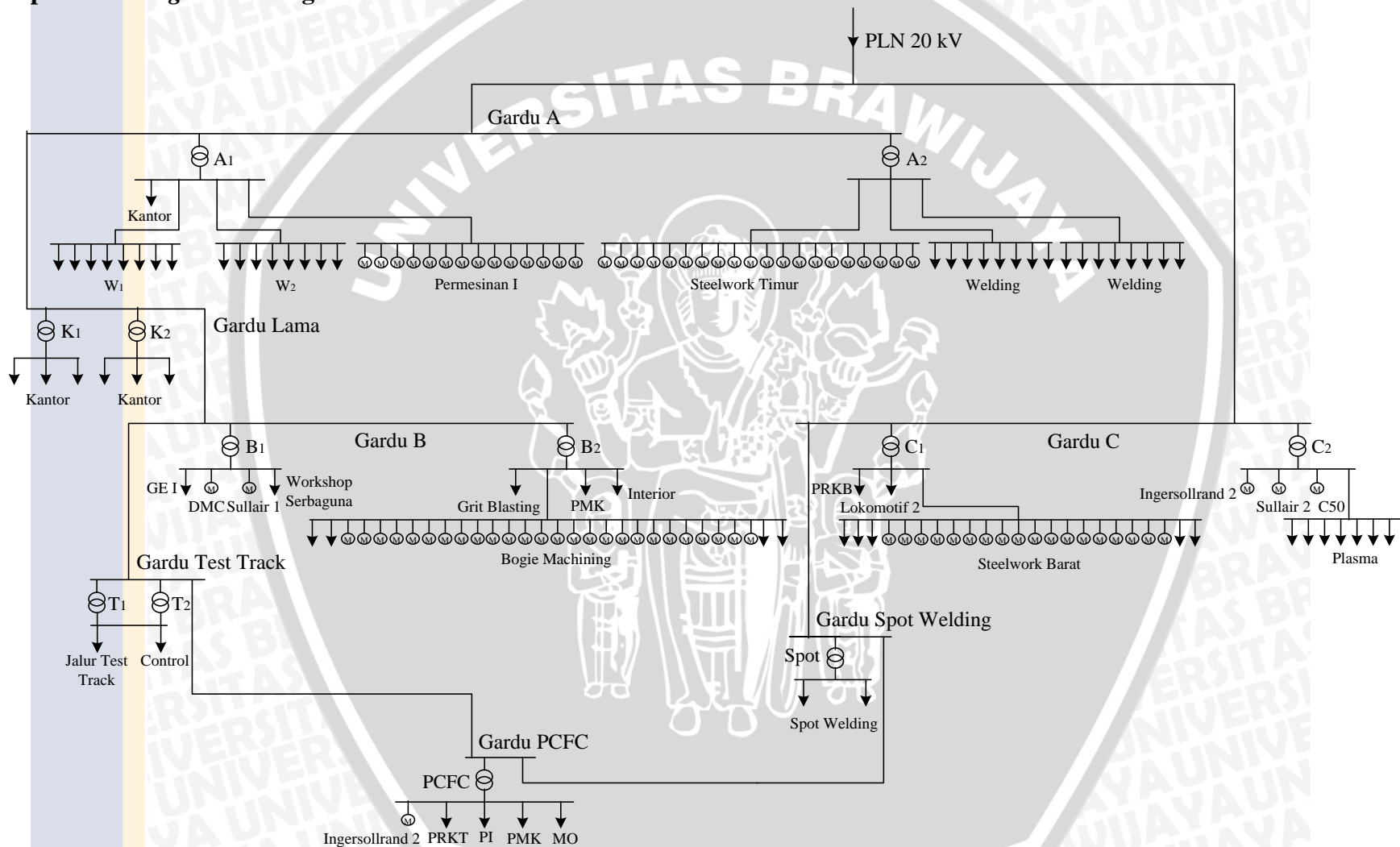
DAFTAR PUSTAKA

- ..., 1984. IEC 85. *Thermal Evaluation and Classification of Electrical Insulation*. Switzerland: *International Electrotechnical Commission*.
- ..., 1996. *IEEE Recommended Practice for Energy Management in Industrial and Commercial Facilities*. USA: *Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.*
- ..., 2000. SNI 03-6196-2000. *Prosedur Audit Energi pada Bangunan Gedung*. Jakarta: BSN.
- ..., 2004. IEC 60034-1. *Rotating electrical machines – Part 1: Rating and performance*. Switzerland: *International Electrotechnical Commission*.
- ..., 2006. *United Nation Environment Programme. Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia*. (www.energyefficiencyasia.org) diakses 09 April 2013.
- ..., 2011. Inpres RI Nomor 13 Tahun 2011. *Tentang Tentang Penghematan Energi dan Air*: Jakarta.
- ..., 2011. Peraturan Menteri ESDM RI Nomor 9 Tahun 2011. *Tentang Ketentuan Pelaksanaan Tarif Tenaga Listrik yang Disediakan oleh Perusahaan Perseroan (Persero) PT PLN*: Jakarta.
- ..., 2012. *Energy Efficiency & Renewable Energy*. Washington, DC: *U.S Department of Energy*.
- ..., 2012. Peraturan Menteri ESDM RI Nomor 30 Tahun 2012. *Tentang Tarif Tenaga Listrik yang Disediakan oleh PT PLN*: Jakarta.
- Beggs, Clive. 2009. *Energy: Management, Supply and Conservation*. Great Britain: Elsevier Ltd.
- Chirakalwasan, Richakorn. 2007. *Motor Load And Efficiency*: Bangkok.
- Indrakoesoema, Koes dkk. 2012. *Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Transformator Kering BHT02 RSG GA Siwabessy Terhadap Arus Netral dan Rugi-rugi*.
- Sudirham, Sudaryatno. 2002. *Analisis Rangkaian Listrik*. Bandung : ITB.
- Thumann, Albert & William J. Younger. 2003. *Handbook of Energy Audits Sixth Edition*. Georgia: *The Fairmont Press, Inc.*
- Tua, Saud Maruli dkk. 2006. *Penambahan Pengaman Motor Listrik dengan Sensor Suhu IC LM 135*: Hasil-hasil Penelitian EBN Tahun 2006.
- Turner, Wayne C. 2005. *Energy Management Handbook*. USA: *Fairmont Press, Inc.*

Lampiran 1 *Single Line Transformator PT INKA Madiun*



Lampiran 2 *Single Line Diagram* PT INKA Madiun



Lampiran 3 Perhitungan % Pembebanan pada MDP Transformator

1. MDP Transformator B₁

d. Pada Fasa R

$$\% \text{ pembebanan} = \frac{690,7}{1899,18 \text{ A}} \times 100\% = 36,37 \%$$

e. Pada Fasa S

$$\% \text{ pembebanan} = \frac{710,2}{1899,18 \text{ A}} \times 100\% = 37,40 \%$$

f. Pada Fasa T

$$\% \text{ pembebanan} = \frac{685,6}{1899,18 \text{ A}} \times 100\% = 36,10 \%$$

2. MDP Transformator B₂

a. Pada Fasa R

$$\% \text{ pembebanan} = \frac{411,3}{1899,18 \text{ A}} \times 100\% = 21,66 \%$$

b. Pada Fasa S

$$\% \text{ pembebanan} = \frac{335,5}{1899,18 \text{ A}} \times 100\% = 17,67 \%$$

c. Pada Fasa T

$$\% \text{ pembebanan} = \frac{380,8}{1899,18 \text{ A}} \times 100\% = 20,05 \%$$

3. MDP Transformator C₁

a. Pada Fasa R

$$\% \text{ pembebanan} = \frac{740,3}{1899,18 \text{ A}} \times 100\% = 38,98 \%$$

b. Pada Fasa S

$$\% \text{ pembebanan} = \frac{810,5}{1899,18 \text{ A}} \times 100\% = 42,68 \%$$

c. Pada Fasa T

$$\% \text{ pembebanan} = \frac{765,5}{1899,18 \text{ A}} \times 100\% = 40,31 \%$$

4. MDP Transformator C₂

a. Pada Fasa R

$$\% \text{ pembebanan} = \frac{678,4}{1899,18 \text{ A}} \times 100\% = 35,72 \%$$

b. Pada Fasa S

$$\% \text{ pembebanan} = \frac{650,6}{1899,18 \text{ A}} \times 100\% = 34,26 \%$$

c. Pada Fasa T

$$\% \text{ pembebanan} = \frac{710}{1899,18 \text{ A}} \times 100\% = 37,38 \%$$

5. MDP Transformator PCFC

a. Pada Fasa R

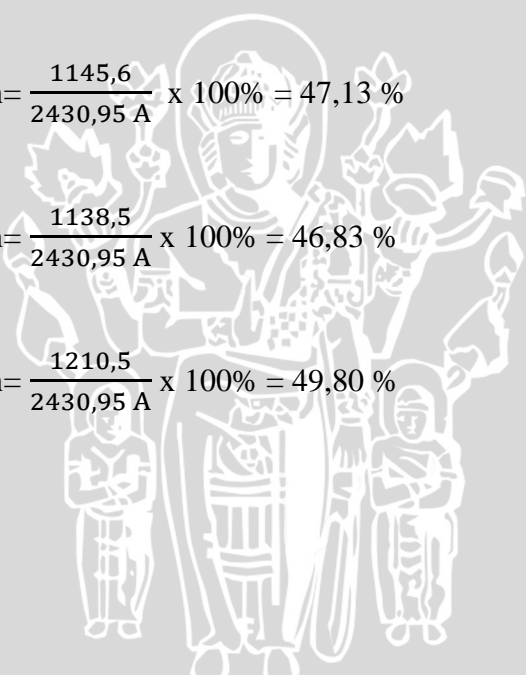
$$\% \text{ pembebanan} = \frac{1145,6}{2430,95 \text{ A}} \times 100\% = 47,13 \%$$

b. Pada Fasa S

$$\% \text{ pembebanan} = \frac{1138,5}{2430,95 \text{ A}} \times 100\% = 46,83 \%$$

c. Pada Fasa T

$$\% \text{ pembebanan} = \frac{1210,5}{2430,95 \text{ A}} \times 100\% = 49,80 \%$$



Lampiran 4 Perhitungan rata-rata ketidakseimbangan beban pada transformator

1. Transformator B₁

$$RKB = \frac{\left| \frac{690,7}{695,50} - 1 \right| + \left| \frac{710,2}{695,50} - 1 \right| + \left| \frac{685,6}{695,50} - 1 \right|}{3} \times 100\% = 1,41\%$$

2. Transformator B₂

$$RKB = \frac{\left| \frac{411,3}{375,87} - 1 \right| + \left| \frac{335,5}{375,87} - 1 \right| + \left| \frac{380,8}{375,87} - 1 \right|}{3} \times 100\% = 7,16\%$$

3. Transformator C₁

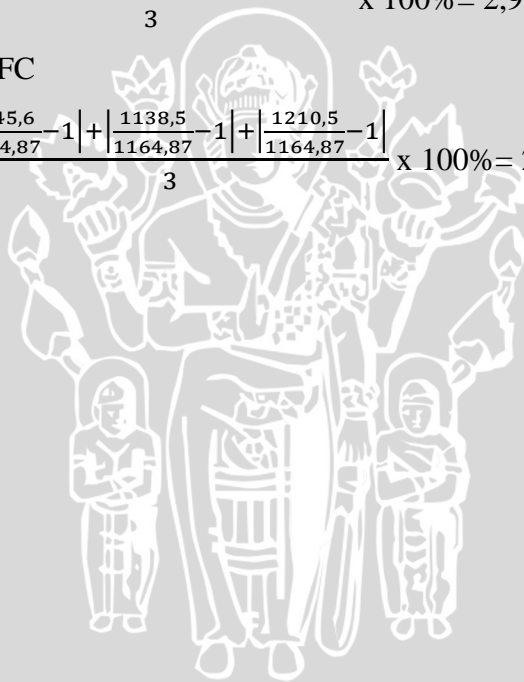
$$RKB = \frac{\left| \frac{740,3}{772,10} - 1 \right| + \left| \frac{810,5}{772,10} - 1 \right| + \left| \frac{765,5}{772,10} - 1 \right|}{3} \times 100\% = 3,32\%$$

4. Transformator C₂

$$RKB = \frac{\left| \frac{678,4}{679,67} - 1 \right| + \left| \frac{650,6}{679,67} - 1 \right| + \left| \frac{710}{679,67} - 1 \right|}{3} \times 100\% = 2,98\%$$

5. Transformator PCFC

$$RKB = \frac{\left| \frac{1145,6}{1164,87} - 1 \right| + \left| \frac{1138,5}{1164,87} - 1 \right| + \left| \frac{1210,5}{1164,87} - 1 \right|}{3} \times 100\% = 2,61\%$$



Lampiran 5 Hasil Pengukuran Temperatur Motor

No.	Nama Motor	Temperatur Terukur °C			T _{Rata-rata} (°C)	Standar Temperatur (°C)	Keterangan
		T ₁	T ₂	T ₃			
1	<i>Press Brake</i> RG 200	39,7	47,2	43,5	43,5	70	Normal
2	<i>Gap Shear</i> 1	40,7	44,2	40,7	41,9	70	Normal
3	<i>Gap Shear</i> 2	39,8	43,6	41	41,5	70	Normal
4	<i>Gap Shear</i> 3	39,9	44,2	41,1	41,7	70	Normal
5	<i>Gap Shear</i> 4	40,9	45,1	38,9	41,6	70	Normal
6	<i>Corner Shear</i>	39,8	40	40,8	40,2	70	Normal
7	<i>Roll Leveller</i>	42,3	43,3	40,5	42,0	70	Normal
8	<i>Hydraulic Press</i> 1	35,0	42,6	40,0	39,2	70	Normal
9	<i>Hydraulic Press</i> 2	38,8	42,3	36,2	39,1	70	Normal
10	<i>Roll</i>	39,6	41,9	37,2	39,6	70	Normal
11	Bubut 1	38,7	42,3	44,0	41,7	70	Normal
12	Bubut 2	39,2	43,2	40,6	41,0	70	Normal
13	Bubut 3	41,4	41,5	38,7	40,5	70	Normal
14	Bubut 4	39,9	40,0	41,4	40,4	70	Normal
15	Bubut 5	41,3	40,8	39,1	40,4	70	Normal
16	Bubut 6	39,7	42,5	41,0	41,1	70	Normal
17	Bubut 7	40,8	45,2	41,3	42,4	70	Normal
18	Bubut 8	40,6	41,1	39,7	40,5	70	Normal
19	Bubut 9	37,7	44,2	41,4	41,1	70	Normal
20	Bubut 10	40,4	42,3	38,2	40,3	70	Normal
21	<i>Scraf</i> 1	39,5	39,5	40,8	39,9	70	Normal

No.	Nama Motor	Temperatur Terukur °C			T _{Rata-rata} (°C)	Standar Temperatur (°C)	Keterangan
		T ₁	T ₂	T ₃			
22	Scraf 2	40,1	39,5	41,0	40,2	70	Normal
23	Scraf 3	40,1	39,2	40,7	40,0	70	Normal
24	Scraf 4	37,7	41,2	39,9	39,6	70	Normal
25	Scraf 5	41,1	39,6	40,5	40,4	70	Normal
26	Scraf 6	40,5	40	41,2	40,6	70	Normal
27	Double Action	40,7	45,8	43,8	43,4	70	Normal
28	BP-13	40,1	38,9	39,8	39,6	70	Normal
29	Rap Drilling & Boor machine 1	40,5	39,1	40,0	39,9	70	Normal
30	Rap Drilling & Boor machine 2	35,7	40,4	37,5	37,9	70	Normal
31	Rap Drilling & Boor machine 3	38,6	40,1	40,5	39,7	70	Normal
32	Compressor Ingersollrand 1	48,8	59,4	48,4	52,2	70	Normal
33	Compressor Ingersollrand 2	46,4	55,6	52,4	51,5	70	Normal
34	Compressor Sullair 1	44,6	43,8	50	46,1	70	Normal
35	Compressor Sullair 2	43,6	52,4	50,2	48,7	70	Normal
36	Compressor DMC	44,5	54,3	50,8	49,9	70	Normal
37	Compressor	37,2	44,3	43,3	41,6	70	Normal
38	Boor 1	38,1	40,6	39,7	39,5	70	Normal
39	Boor 2	36,5	41,3	40,5	39,4	70	Normal
40	Boor 3	37,9	39	41,2	39,4	70	Normal
41	Boor 4	36,2	38,2	35,8	36,7	70	Normal
42	Boor 5	39,1	40,0	39,5	39,5	70	Normal

Sumber: Hasil Pengukuran

Lampiran 6 Tarif Dasar Listrik

TARIF TENAGA LISTRIK UNTUK KEPERLUAN INDUSTRI BERLAKU MULAI 1 OKTOBER 2013

NO.	GOL. TARIF	BATAS DAYA	REGULER		PRA BAYAR (Rp/kWh)
			BIAYA BEBAN (Rp/kVA/bulan)	BIAYA PEMAKAIAN (Rp/kWh) DAN BIAYA kVArh (Rp/kVArh)	
1.	I-1/TR	450 VA	26.000	Blok I : 0 s.d. 30 kWh : 160 Blok II : di atas 30 kWh : 395	485
2.	I-1/TR	900 VA	31.500	Blok I : 0 s.d. 72 kWh : 315 Blok II : di atas 72 kWh : 405	600
3.	I-1/TR	1.300 VA	*)	930	930
4.	I-1/TR	2.200 VA	*)	960	960
5.	I-1/TR	3.500 VA s.d. 14 kVA	*)	1.112	1.112
6.	I-2/TR	di atas 14 kVA s.d. 200 kVA	**)	Blok WBP = $K \times 972$ Blok LWBP = 972 kVArh = 1.057****)	-
7.	I-3/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = $K \times 803$ Blok LWBP = 803 kVArh = 864 ****)	-
8.	I-4/TT	30.000 kVA ke atas	***)	Blok WBP dan LWBP = 723 kVArh = 723 ****)	-

Catatan :

*) Diterapkan Rekening Minimum (RM):

$$RM1 = 40 (\text{Jam Nyala}) \times \text{Daya tersambung (kVA)} \times \text{Biaya Pemakaian.}$$

***) Diterapkan Rekening Minimum (RM):

$$RM2 = 40 (\text{Jam Nyala}) \times \text{Daya tersambung (kVA)} \times \text{Biaya Pemakaian LWBP.}$$

****) Diterapkan Rekening Minimum (RM):

$$RM3 = 40 (\text{Jam Nyala}) \times \text{Daya tersambung (kVA)} \times \text{Biaya Pemakaian WBP dan LWBP.}$$

Jam nyala : kWh per bulan dibagi dengan kVA tersambung.

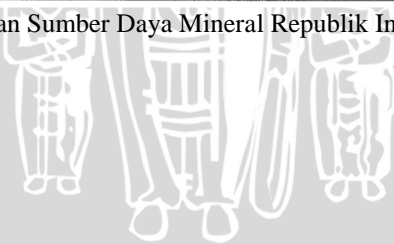
****) Biaya kelebihan pemakaian daya reaktif (kVArh) dikenakan dalam hal faktor daya rata-rata setiap bulan kurang dari 0,85 (delapan puluh lima per seratus).

K : Faktor perbandingan antara harga WBP dan LWBP sesuai dengan karakteristik beban sistem kelistrikan setempat ($1,4 \leq K \leq 2$), ditetapkan oleh Direksi Perusahaan Perseroan (Persero) PT Perusahaan Listrik Negara.

WBP : Waktu Beban Puncak.

LWBP : Luar Waktu Beban Puncak.

Sumber: Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 30 Tahun 2012



Lampiran 7 Hasil Pengukuran Tegangan dan Arus Motor

No.	Nama Motor	Tegangan Terukur (V)			Arus Terukur (A)		
		RS	ST	TR	R	S	T
1	<i>Press Brake RG 200</i>	375,5	373,8	374,6	12,0	13,2	12,0
2	<i>Gap Shear 1</i>	376,7	375,7	378,3	20,0	25,0	20,0
3	<i>Gap Shear 2</i>	374,9	376,7	377,2	22,3	24,0	23,1
4	<i>Gap Shear 3</i>	378,9	376,2	377,5	21,1	23,4	25,2
5	<i>Gap Shear 4</i>	375,5	373,8	374,6	27,0	28,1	20,0
6	<i>Corner Shear</i>	374,8	375,6	377,3	5,2	3,2	3,5
7	<i>Roll Leveller</i>	372,8	373,7	375,2	12,7	13,3	13,5
8	<i>Hydraulic Press 1</i>	377,7	376,8	376,8	8,9	10,1	9,0
9	<i>Hydraulic Press 2</i>	378,9	374,4	377,4	9,0	9,2	9,4
10	<i>Roll</i>	372,7	374,5	376,1	5,1	5,0	5,2
11	Bubut 1	373,7	375,3	372,9	7,9	11,2	9,5
12	Bubut 2	374,6	375,7	379,2	8,2	9,2	9,8
13	Bubut 3	378,0	380,2	377,2	9,0	11,0	10,2
14	Bubut 4	375,7	378,9	375,7	8,7	8,9	9,4
15	Bubut 5	374,3	375,7	379,2	9,6	9,2	10,2
16	Bubut 6	377,5	375,6	377,6	8,5	9,6	9,0
17	Bubut 7	376,4	372,7	378,2	7,8	9,2	8,7
18	Bubut 8	373,7	375,3	372,9	8,9	10,0	9,4
19	Bubut 9	374,5	376,5	377,7	10,2	8,7	9,4
20	Bubut 10	377,6	374,3	375,7	9,0	10,1	9,2
21	<i>Scraf 1</i>	219,5	218,2	216,9	10,2	12,1	9,8
22	<i>Scraf 2</i>	218,2	218,0	217,5	9,2	9,4	11,0
23	<i>Scraf 3</i>	216,2	218,2	217,5	8,9	9,4	9,6
24	<i>Scraf 4</i>	217,2	216,8	219,1	9,2	9,2	10,1
25	<i>Scraf 5</i>	216,4	218,8	217,2	9,4	10,5	9,5
26	<i>Scraf 6</i>	216,5	217,5	216,8	10,1	9,6	9,3
27	<i>Double Action</i>	375,6	374,2	378,3	29,5	30,0	27,6
28	BP-13	375,7	377,0	378,5	18,3	19,2	17,9
29	<i>Rap Drilling & Boor machine 1</i>	377,1	376,3	375,7	6,1	6,2	5,7
30	<i>Rap Drilling & Boor machine 2</i>	374,7	376,3	376,2	5,5	6,0	6,4
31	<i>Rap Drilling & Boor machine 3</i>	375,7	377,8	376,8	5,7	5,5	7,2
32	<i>Compressor Ingersollrand 1</i>	377,6	376,5	377,5	360,0	356,4	340,5
33	<i>Compressor Ingersollrand 2</i>	377,8	378,6	376,5	357,0	385,0	390,0
34	<i>Compressor Sullair 1</i>	378,9	376,0	377,5	123,6	119,5	131,5

No.	Nama Motor	Tegangan Terukur (V)			Arus Terukur (A)		
		RS	ST	TR	R	S	T
35	<i>Compressor Sullair 2</i>	377,9	373,6	375,2	125,0	130,1	123,6
36	<i>Compressor DMC</i>	377,5	375,5	377,2	457,0	401,0	449,6
37	<i>Compressor</i>	380,0	377,5	377,3	41,4	44,8	41,0
38	<i>Boor 1</i>	376,6	377,5	375,5	3,3	3,6	3,9
39	<i>Boor 2</i>	375,7	376,8	376,8	3,5	3,7	3,8
40	<i>Boor 3</i>	375,5	373,8	374,6	3,7	3,6	3,7
41	<i>Boor 4</i>	374,9	376,7	375,2	4,0	3,8	3,7
42	<i>Boor 5</i>	372,8	373,7	375,2	3,6	4,0	4,1

Sumber: Hasil Pengukuran

