



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA KONSERVASI ENERGY LISTRIK PADA
INDUSTRI TEKSTIL**

SKRIPSI

**SUBHAN RAMADHANI
08 06 36 6560**

**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA EKSTENSI
DEPOK
JUNI 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA KONSERVASI ENERGY LISTRIK PADA
INDUSTRI TEKSTIL**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik**

**SUBHAN RAMADHANI
08 06 36 6560**

**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
JUNI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar**

Nama : SUBHAN RAMADHANI

Npm : 08 06 36 6560

Tanda Tangan :

Tanggal : 7 Juni 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Subhan Ramadhani
NPM : 08 06 36 6560
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Analisa Konservasi Energi Listrik pada Industri Tekstil

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Budi Sudiarto ST,MT ()

Penguji : Ir Agus R. Utomo MT ()

Penguji : Aji Nur Widyanto ST.MT ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 2 Juli 2010

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Budi Sudiarto ST,MT, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Orang tua tercinta, kakak-kakak dan adikku, yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral;
- (3) Untuk om Mus dan tante Frida yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral;
- (4) Teman-teman yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu

Depok, 7 Juni 2010

Subhan Ramadhani

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Subhan Ramadhani
NPM : 08 06 36 6560
Program Studi : Teknik Elektro
Departemen : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Analisa Konservasi Energy Listrik pada Industri Tekstil.

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan skripsi saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 7 Juni 2010
Yang menyatakan

(Subhan Ramadhani)

ABSTRAK

Nama : Subhan Ramadhani
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Analisa Konservasi Energi Listrik pada Industri Tekstil

Energi memiliki peran penting untuk mendorong pertumbuhan ekonomi di Indonesia. Energi merupakan sumber daya yang dimanfaatkan untuk memenuhi permintaan, Namun sumber energi fosil terbatas khususnya minyak, karena itu penting untuk memanfaatkan sumber energi secara optimal. Dalam rangka mengoptimalkan pendayagunaan energi, pemerintah Indonesia telah menerbitkan kebijakan energi meliputi diversifikasi energi, intensifikasi energi, konservasi energi, harga energi, dan mengurangi dampak lingkungan dari pemanfaatan energy. Industri tekstil merupakan salah satu industri yang potensial untuk menerapkan program konservasi energy. Banyak study tentang konservasi energy yang menguntungkan dapat dianalisa pada industry textile. Dari hasil analisis menunjukkan bahwa secara teknis ada lebih banyak alternatif untuk menerapkan program konservasi energy. Alternatif – alternative ini perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dalam hal biaya efektif sebelum diterapkan pada industri.

Kata kunci :
Energi, konservasi, industri tekstil.

ABSTRACT

Name : Subhan Ramadhani
Study Program : Electrical Engineering
Title : Analysys of Electrical Energy Conservation in The Textile Industry.

Energi has an important role to drive the economic growth in indonesia. Energi resource should be exploited to meet the demand. However fossil energy resource is limited especiaully oil, therefore its important to utilize the energy resource optimally. In order optimize utillzation of energy, government of indonesia has published energy policy covering energy diversification, energy intensification, energy conservation, energi pricing, and reducing envirotnment impact from energy utilization. Textile industry is one of a potential industry to apply energy conversation program. These studies analiyze the energy conservation oppourtunities in the textile industry case study. Result of analysis indicate that technically there are more alternative to apply energy conservation program. This alternative needs to study further in term of cost effectively before its applied.

Keywords :
Energy,conservation,textile industry.

DAFTAR ISI

JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Tujuan	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.5 Metoda Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II LANDASAN TEORI	4
2.1 Terminologi Dasar.....	4
2.1.1 Audit Energy	4
2.1.2 Management Energy.....	5
2.3.2. Identifikasi Potensi Penghematan Energy Melalui Audit Energi.....	7
2.2 Sistem Kelistrikan	9
2.2.1 Pembangkit dan Pendistribusian Listrik	9
2.2.2 Fasa Listrik.....	11
2.2.3 Unbalance Voltage.....	13
2.2.4 Unbalance Load.....	14
2.2.5 Daya Aktif dan Reaktif.....	14
2.2.6 Faktor Daya.....	15
2.2.7 Kapasitor.....	16
2.2.8 Management Beban Listrik.....	17
2.3 Trafo.....	19
2.3.1 Jenis Trafo.....	20
2.3.2 Efisiensi Trafo.....	21
2.3.3 Jatuh Tegangan.....	22
2.4 Motor Listrik.....	23
2.4.1 Prinsip Kerja Motor Listrik.....	24
2.4.2 Jenis Motor Listrik.....	24
2.4.2.1 Motor AC.....	25
2.4.2.2 Motor Induksi.....	26
2.4.2.2.1 Komponen Motor Induksi.....	26
2.4.2.2.2 Klasifikasika Motor Induksi.....	27
2.4.2.2.3. Hubungan beban, kecepatan, torque.....	28
2.4.2.2.4 Efisiensi Motor Listrik	28
2.6 Harmonisa	31
III. METODA PENELITIAN	33

3.1	Deskripsi Pabrik.....	33
3.2	Layout Pabrik dan Proses Produksi.....	33
3.3	Pemanfaatan Energi Utama.....	34
3.4	Sumber Energy.....	34
3.5	Sistem Kelistrikan.....	37
3.6	Alat Ukur yang Digunakan.....	39
3.7	Prosedur Pengukuran.....	39
3.8	Titik Pengukuran.....	40
3.9	Beban.....	42
3.9.1	Motor Listrik.....	42
IV.	ANALISA DATA DAN PERHITUNGAN	43
4.1	Distribusi Pemanfaatan Energi.....	43
4.2	Pemakaian Energi Bulanan.....	46
4.3	Pola Penggunaan Energi.....	47
4.3.1	Pengukuran Panel Utama.....	47
4.3.2	Pengukuran Sub Panel.....	49
4.3.2.1	Panel Distribusi Feeder Chiller.....	50
4.3.2.2	Panel Distribusi Feeder CP-1.....	50
4.3.2.3	Panel Distribusi Feeder CP-2.....	52
4.3.2.4	Panel Distribusi Feeder Emergency.....	52
4.3.2.5	Panel Sub-Distribusi Trafo 1 feeder CP-1.....	54
4.3.2.6	Panel Sub-Distribusi Trafo 2 feeder CP-1.....	54
4.3.2.7	Panel Sub-Distribusi Trafo 4 feeder CP-1.....	55
4.3.2.8	Panel Sub-Distribusi Trafo 1 feeder CP-2.....	56
4.3.2.9	Panel Sub-Distribusi Trafo 2 feeder CP-2.....	57
4.3.2.10	Penggunaan Energi listrik Total.....	58
4.3.2.11	Penggunaan Motor Listrik.....	58
4.3.2.12	Pembebanan Trafo.....	60
4.3.2.12.1	Load Trafo Utama.....	60
4.3.2.12.2	Load Trafo Masing-Masing Feeder.....	61
4.4	Kualitas Kelistrikan.....	62
4.4.1	Efisiensi Trafo.....	62
4.4.1.1	Efisiensi Trafo pada Feeder CP-1.....	62
4.4.2	Total Harmonic Demand (THD) pada Panel Utama	64
4.4.3	Unbalance Tegangan.....	65
4.4.4	Unbalance Load.....	66
4.4.5	Jatuh Tegangan.....	67
4.4.5.1	Jatuh Tegangan pada Feeder CP 1.....	68
4.4.5.2	Jatuh Tegangan pada Feeder CP 2.....	69
4.4.5.3	Jatuh Tegangan pada Feeder Chiller.....	69
4.4.5.4	Jatuh Tegangan pada Feeder Emergency.....	70
4.4.6	Faktor Daya.....	70
4.4.6.1	Faktor Daya pada Panel Utama.....	71
4.4.6.2	Faktor Daya pada Feeder CP 1.....	71
4.4.6.3	Faktor Daya pada Feeder CP 2.....	72
4.5	Rekomendasi Penghematan Energi.....	73
4.5.1	Optimalisasi Daya Terpasang.....	73

4.5.2. Pemasangan Filter Harmonic dan Kapasitor Bank.....	75
4.5.2.1. Pemasangan Filter Harmonic Orde 5.....	76
4.5.3. Pemasangan Kapasitor.....	79
4.5.3.1. Pemasangan Kapasitor pada Beban Feeder CP 1.....	79
4.5.3.2. Pemasangan Kapasitor pada Beban Feeder CP 2.....	82
4.5.3.3. Pemasangan Kapasitor pada Beban Motor Listrik.....	83
4.5.3.4. Perbandingan Daya pada Trafo Feeder CP 1.....	84
4.5.3.4. Perbandingan Daya pada Trafo Feeder CP 2.....	85
4.5.4. Pergantian Motor Listrik.....	86
4.5.4.1. Pergantian Motor Listrik Suply Fan AC Area CP 2.....	87
V. KESIMPULAN.....	90
5.1. Kesimpulan.....	90
DAFTAR ACUAN.....	94
DAFTAR LAMPIRAN.....	95

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Pembangkit Listrik di Dunia.....	9
Gambar 2.2. Pembangkit, Transmisi, dan Distribusi Daya.....	10
Gambar 2.3. Sistem Listrik 3 Fasa.....	12
Gambar 2.4. Hubungan Bintang dan Delta pada system Listrik.....	12
Gambar 2.5. Gambaran Segitiga Daya.....	14
Gambar 2.6. Faktor Daya pada Sistem Listrik.....	15
Gambar 2.7. Pemasangan Kapasitor	16
Gambar 2.8. Bank Kapasitor Jenis Film.....	16
Gambar 2.9. Kurva beban harian industri rekayasa.....	19
Gambar 2.10. Gambar Trafo.....	19
Gambar 2.11. Rakitan Inti dan Kumparan Trafo Tiga Fasa.....	20
Gambar 2.12. Kehilangan trafo versus persen pembebanan.....	22
Gambar 2.13. Prinsip Dasar dari Kerja Motor Listrik.....	24
Gambar 2.14. Klasifikasi Jenis Utama Motor Listrik.....	25
Gambar 2.15. Motor Induksi.....	27
Gambar 2.16. Grafik <i>Torque</i> -Kecepatan Motor Induksi AC 3-Fase.....	28
Gambar 2.17. Kehilangan Energi di Motor listrik.....	28
Gambar 2.18. Efisiensi Motor Beban Sebagian.....	30
Gambar 2.19. Gelombang Fundamental, Harmonik Ketiga & Hasil Penjumlahannya.....	31
Gambar 3.1. Diagram alir proses produksi.....	34
Gambar 3.2. Distribusi energi listrik pabrik.....	38
Gambar 3.3. Power Analyzer dan Clamp on.....	39
Gambar 3.4. Letak Titik Pengukuran.....	41
Gambar 4.1. Distribusi energi listrik pabrik.....	45
Gambar 4.2. Grafik Pemanfaatan energi listrik bulanan.....	47
Gambar 4.3. Profil beban per hari.....	48
Gambar 4.4. Profil daya per hari.....	48
Gambar 4.5. Profil penggunaan energi listrik total.....	48
Gambar 4.6. Konsumsi energi listrik pada feeder chiller.....	50
Gambar 4.7. Konsumsi energi listrik pada feeder CP-1.....	51
Gambar 4.8. Konsumsi energi listrik pada feeder CP-2.....	52

Gambar 4.9. Konsumsi energi listrik pada feeder Emergency.....	53
Gambar 4.10. Konsumsi energi listrik pada trafo 1 di feeder CP-1	54
Gambar 4.11. Konsumsi energi listrik pada trafo 2 di feeder CP-1	54
Gambar 4.12. Konsumsi energi listrik pada trafo 4 di feeder CP-1	55
Gambar 4.13. Konsumsi energi listrik pada trafo 1 di feeder CP-2.....	56
Gambar 4.14. Konsumsi energi listrik pada trafo 2 di feeder CP-2.....	57
Gambar 4.15. Konsumsi energi listrik total.....	59
Gambar 4.16. Grafik tegangan panel utama.....	65
Gambar 4.17. Grafik arus panel utama.....	66
Gambar 4.18. Profil faktor daya.....	71

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Keuntungan Transmisi Tegangan Tinggi.....	11
Tabel 2.2. Strategi Management Beban Puncak.....	17
Tabel 2.3. Pengelompokan Trafo.....	23
Tabel 2.4. Rugi Tegangan.....	26
Tabel 2.5. Jenis Kehilangan pada Motor Induksi.....	29
Tabel 2.6. Standard Harmonisa Arus.....	32
Tabel 2.7. Standard Harmonisa Tegangan.....	32
Tabel 4.1. Pemakaian Energi Bulanan.....	46
Tabel 4.2. Beban listrik pada feeder Chiller.....	50
Tabel 4.3. Beban listrik pada feeder CP-1.....	51
Tabel 4.4. Beban listrik pada feeder CP-2.....	52
Tabel 4.5. Beban listrik pada feeder Emergency.....	53
Tabel 4.6. Beban listrik pada Trafo 1 feeder CP-1.....	53
Tabel 4.7. Beban listrik pada Trafo 2 feeder CP-1.....	54
Tabel 4.8. Beban listrik pada Trafo 4 feeder CP-1.....	55
Tabel 4.9. Beban listrik pada Trafo 1 feeder CP-2.....	56
Tabel 4.10. Beban listrik pada Trafo 2 feeder CP-2.....	57
Tabel 4.11. Hasil pengukuran pada motor-motor AC.....	59
Tabel 4.12. Beban motor listrik Blower untuk Auto winding.....	59
Tabel 4.13. Hasil pengukuran pada trafo utama.....	60
Tabel 4.14. Hasil pengukuran pada trafo 1.....	60
Tabel 4.15. Hasil perhitungan pada masing – masing trafo.....	61
Tabel 4.16. Hasil pengukuran pada trafo satu.....	62
Tabel 4.17. Hasil perhitungan pada masing – masing trafo.....	63
Tabel 4.18. Hasil pengukuran THD arus dari panel utama.....	64
Tabel 4.19. Hasil pengukuran THD tegangan dari panel utama.....	64
Tabel 4.20. Hasil pengukuran tegangan.....	67
Tabel 4.21. Hasil perhitungan susut tegangan feeder CP 1.....	68
Tabel 4.22. Hasil perhitungan susut tegangan feeder CP 2.....	69
Tabel 4.23. Hasil perhitungan susut tegangan feeder Chiller.....	69
Tabel 4.24. Hasil perhitungan susut tegangan feeder Emergency.....	70
Tabel 4.25. Hasil pengukuran Factor Daya feeder CP 1.....	71

Tabel 4.26. Hasil pengukuran Factor Daya feeder CP 2.....	73
Tabel 4.27. Hasil pengukuran $\cos \phi$	75
Tabel 4.28. Hasil perhitungan kapasitas filter harmonic.....	77
Tabel 4.29. Hasil pengukuran Factor Daya beban feeder CP 1.....	79
Tabel 4.30. Perhitungan pemasangan kapasitor per beban feeder CP 1.....	81
Tabel 4.31. Perhitungan pemasangan kapasitor per beban feeder CP 2.....	82
Tabel 4.32. Perhitungan pemasangan kapasitor pada Motor Listrik.....	83
Tabel 4.33. Perbandingan total daya sebelum dan setelah kompensasi.....	84
Tabel 4.34. Perbandingan total daya sebelum dan setelah kompensasi.....	85
Tabel 4.35. Beban motor listrik Blower awal.....	86
Tabel 4.36. Beban pada motor-motor AC awal.....	86
Tabel 4.37. Hasil pengukuran motor listrik supply fan.....	87
Tabel 4.38. Distribution of losses in an ABB.....	87
Tabel 4.38. Pergantian motor listrik.....	89

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Sektor energi mempunyai peran yang sangat penting dalam mewujudkan pembangunan nasional yang berkelanjutan. Oleh karena itu sesuai dengan visi misi energi pengelolaan, penyediaan dan pemanfaatan energi nasional perlu dilaksanakan secara optimal, arif dan bijaksana yang dilandasi oleh pertimbangan obyektif mencakup aspek: lingkungan, kepentingan antar generasi, kebutuhan energi, sosial politik, geopolitik, dan ekonomi. Keenam aspek tersebut merupakan kriteria penting yang dipersyaratkan dalam pemanfaatan energi untuk pembangunan berkelanjutan.

Kebijakan konservasi energi dimaksudkan untuk meningkatkan penggunaan energi secara efisien dan rasional tanpa mengurangi kuantitas energi yang memang benar-benar diperlukan. Upaya konservasi energi dapat diterapkan pada seluruh tahap pemanfaatan, mulai dari pemanfaatan sumber daya energi sampai pada pemanfaatan akhir, dengan menggunakan teknologi yang efisien dan membudayakan pola hidup hemat energi. DESDM (2003) mengidentifikasi bahwa potensi konservasi energi di semua sektor mempunyai peluang yang sangat besar yaitu antara 10-30% ^[1]. Penghematan ini dapat direalisasikan dengan cara yang mudah dengan sedikit atau tanpa biaya.

Sektor industri yang disampingkan menggunakan energi listrik juga menggunakan energi uap untuk proses produksi merupakan sektor yang sudah banyak melakukan upaya konservasi. Kelompok industri tersebut antara lain: industri pulp and paper, kilang minyak, tekstil, gula, pupuk, dan baja. Konservasi energi dapat dicapai melalui penggunaan teknologi hemat energi dalam penyediaan, baik dari sumber terbarukan maupun sumber tak terbarukan dan menerapkan budaya hemat energi dalam pemanfaatan energi. Penerapan konservasi energi meliputi perencanaan, pengoperasian, dan pengawasan dalam pemanfaatan energi. Hambatan yang dihadapi dalam konservasi energi antara lain: biaya investasi tinggi, kebiasaan hemat energi masih sulit diterapkan,

pengetahuan SDM yang masih rendah, sehingga wawasan terhadap teknologi yang efisien masih sangat kurang.

Pada tugas akhir ini, penulis membahas konservasi energi di industri tekstil yang meliputi audit energi serta peluang penghematan energi dengan menerapkan teknologi yang lebih efisien baik secara teknis maupun ekonomis terhadap industri tekstil.

1.2 TUJUAN TUGAS AKHIR

Tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Mengidentifikasi peluang penghematan pada industri textile khususnya pada system kelistrikan.
2. Menganalisa kualitas system kelistrikan yang telah terpasang pada industry textile.
3. Menganalisa deskripsi, pola penggunaan energi, dan sistem manajemen energy pada industry textile
4. Memberikan rekomendasi perbaikan dan peluang penghematan pada system kelistrikan.

1.3 BATASAN MASALAH

Pada tugas akhir ini akan membahas konservasi atau penghematan energy pada industry textile yang hanya dibatasi pada system kelistrikan. Pada system kelistrikan akan membahas panel utama (MDP), trafo distribusi, panel distribusi (SDP), dan beban - beban listrik yang menunjang proses produksi.

Untuk panel utama (MDP) yang merupakan outgoing dari trafo utama akan membahas pola pemakaian energy dan kualitas kelistrikan berdasarkan hasil pengukuran selama 24 jam. Untuk trafo distribusi, panel distribusi (SDP) dan beban – beban listrik hanya dilakukan pengukuran sesaat (load survey) untuk mengetahui pemakaian energy dan peluang penghematan yang dapat direkomendasikan.

1.4. METODE PENELITIAN

Untuk memperoleh informasi dan berbagai data yang diperlukan dalam penulisan Tugas Akhir ini, penulis menggunakan metode sebagai berikut :

1. Studi Pustaka, yaitu mengumpulkan data dan informasi dengan cara mencari referensi dan literatur-literatur yang berhubungan dengan penulisan Tugas Akhir ini.
2. Studi Lapangan, dengan melakukan studi dilapangan diharapkan penulis dapat memperoleh data tentang kelistrikan yang digunakan. Hal ini dimaksudkan sebagai perbandingan dengan analisa yang penulis buat.
3. Evaluasi atau Penyelesaian Masalah, evaluasi dilakukan pada tahap akhir dari pembuatan tugas akhir. Evaluasi dilakukan untuk mengoreksi adanya kesalahan pada tugas akhir. Dan untuk menyempurnakan penyusunan tugas akhir.

1.5. SISTEMATIKA PENULISAN

Dalam penulisan tugas akhir ini akan disusun secara sistematis yang terdiri atas bagian-bagian yang saling berhubungan sehingga diharapkan akan mudah dipahami dan dapat diambil manfaatnya. Adapun uraian singkat tentang hal ini adalah sebagai berikut.

Bab I Pendahuluan membahas latar belakang, perumusan masalah, pembatasan masalah, metode penelitian dan sistematika penulisan, Bab II Landasan Teori berisi teori yang mendukung pengerjaan tugas akhir ini, Bab III Data berisi data yang telah diperoleh yang dijadikan pedoman untuk melakukan analisa dan perhitungan, Bab IV Analisa dan Perhitungan membahas mengenai analisa dan perhitungan teknis dan ekonomis dari data yang sudah dikumpulkan, Bab V Penutup Berisi kesimpulan yang diambil setelah melakukan analisa dan perhitungan berupa rekomendasi. Pada bab ini pula berisi tentang saran yang dianggap perlu untuk kesempurnaan dan kelengkapan penulisan tugas akhir ini.

Daftar Pustaka

Lampiran

BAB II

DASAR TEORI

Sebelum mendiskusikan peluang konservasi energi, penting bagi kita untuk mengetahui beberapa terminologi dasar yang berhubungan dengan sistem konservasi energi secara umum. Banyak dari terminologi ini yang sering kita gunakan dalam beberapa konteks lainnya, antara lain: audit energy, management energy dan identifikasi penghematan energy.

2.1 TERMINOLOGI DASAR

2.1.1 Audit Energi

Kebutuhan memakai energi secara efisien menjadi semakin mendesak terutama dalam kondisi harga dan suplai energi dunia yang tidak menentu. Telah bertahun tahun, konservasi energi terbukti sebagai jawaban yang cost effective terhadap krisis energi. Meskipun banyak perusahaan yang peduli dan sadar bahwa energy adalah sangat penting dan dibutuhkan dalam menjalankan bisnis mereka, cukup banyak pula yang tidak tahu pasti bagaimana sebenarnya mereka mengkonsumsi komoditas yang termasuk mulai langka ini. Berbagai pendekatan standard telah dikembangkan untuk menolong suatu perusahaan dalam mengevaluasi efisiensi energi, mengidentifikasi peluang penghematan energi serta menetapkan rencana untuk proyek - proyek guna menghemat energy.

Salah satu pendekatan tersebut adalah audit energi yang juga sering disebut survey energy. Audit energi (energy audit) adalah nama populer untuk *heat balance* atau *energy balance* yang digunakan para *engineer* beberapa tahun lalu. Ini merupakan survai teknis yang berguna dalam mengidentifikasi peluang penghematan energi dan memungkinkan potensi ini diimplementasikan pada proyek - proyek konservasi energy.^[1]

Biasanya audit energi dikerjakan dalam dua tingkat, yakni :^[2]

1. audit energi awal (preliminary)
2. audit energi rinci (detailed)

Audit Energi Awal (Preliminary Energy Audit), atau survey awal (initial survey) terdiri dari sebagai berikut :

1. Pengumpulan data awal yang sudah tersedia,
2. Pengamatan (*walk through*) kondisi umum operasi peralatan
3. Standard pemeliharaan dan tingkat pengendalian manajemen terhadap operasi.

Tujuan dari audit energi awal adalah mengidentifikasi dan menghitung penghematan dalam bidang pemakaian dan biaya energy. Rekomendasi audit energi awal terdiri atas item :

1. Housekeeping, cara pengoperasian dan perawatan mesin secara umum
2. Pengeluaran modal (capital), termasuk diantaranya modifikasi, upgrading atau proyek penggantian mesin.

2.1.2 Management Energy^[1]

Di industri, biaya energi tidak jarang menjadi komponen biaya terbesar yang mesti dibayar tiap bulan. Biaya energi bisa dalam bentuk tagihan listrik dan bahan bakar (minyak, gas, dll). Karena merupakan komponen biaya besar, ketika pemerintah menaikkan harga minyak dan listrik, maka banyak industry yang mengalami kesulitan.

Terdapat solusi yang sudah diakui secara internasional dan telah diterapkan secara luas di negara-negara maju, yaitu Program Energi Managemen (PEM). Terdapat dua target umum dari PEM. Pertama, menghemat penggunaan segala jenis energi dengan cara mengurangi atau menghilangkan energi terbuang (wasted energy) dan menggunakan energi secara efisien. Kedua, di beberapa industri, mungkin perlu mengganti bahan-bakar yang biasa digunakan untuk pabrik mereka dengan yang lebih murah, misalnya mengganti BBM (yang mahal) dengan gas (yang murah).

Dengan menerapkan Program Energi Managemen (PEM) didapat keuntungan antara lain sebagai berikut :

1. Memangkas biaya energi,
2. Meningkatkan keuntungan perusahaan,
3. Mengurangi resiko kekurangan suplai energy
4. Keuntungan lingkungan, yaitu mengurangi emisi gas karbon,

5. Meningkatkan kemampuan perusahaan dalam berkompetisi, karena dengan penghematan biaya yang dicapai perusahaan dapat meningkatkan kualitas produk dan service.

Ada beberapa hal yang perlu dilakukan industri untuk menerapkan PEM. Terdapat beberapa panduan salah satunya dengan metode Department of Primary Industries and Energy (DPIE) Australia, yaitu :

1. Perusahaan menunjuk konsultan PEM.
2. Konsultan melakukan investigasi awal untuk melihat pola penggunaan energi di perusahaan.
3. jika proyek terlihat *feasible*, perusahaan menunjuk seorang Manager Energi yang akan mendampingi konsultan dan nantinya akan mengkoordinasi penerapan PEM.
4. Melakukan audit energi secara detail. Audit energi akan memperlihatkan bagian-bagian di mana pemborosan energi terjadi dan bagian-bagian yang memungkinkan dilakukan penghematan energi.
5. Merumuskan strategi PEM. Pada tahap ini konsultan akan mengeluarkan rekomendasi untuk dilakukan oleh perusahaan.
6. PEM diterapkan dibawah koordinasi Manager Energi.
7. Monitoring dan evaluasi program.

Banyak industry yang keberatan dengan biaya yang dikeluarkan untuk Program Energi Managemen (PEM). Apakah Yang menjadi permasalahan apakah PEM itu ekonomis. Yang bisa menjawab adalah perusahaan sendiri (dituntut komitmen Manager Energi). Penghematan yang ditargetkan bisa dicapai jika rekomendasi konsultan dilaksanakan secara konsisten. Sudah banyak contoh sukses dari PEM. Memang perusahaan perlu mengeluarkan biaya awal yang cukup besar, tapi penghematan masa depan yang diperoleh juga besar. Kebanyakan pengalaman membuktikan modal kembali (payback) antara tiga bulan hingga tiga tahun. Setelah itu, perusahaan mendapat keuntungan tiap bulan. Jika perusahaan punya target penghematan 30%, maka akan menghemat lima juta sebulan jika selama ini anda membayar energi 15 juta sebulan. Dengan modal awal 150 juta, akan mendapatkan payback dalam 2,5 tahun. Setelah itu, tiap bulan akan menghemat lima juta.

2.1.3 Identifikasi Potensi Penghematan Energy Melalui Audit Energi^[2]

Untuk melakukan identifikasi potensi penghematan energi, langkah-langkah yang akan dilakukan sebagai berikut :

1. Pengumpulan Data Lapangan

Pengumpulan data pada pelaksanaan audit energi ditujukan untuk mendapatkan informasi mengenai kondisi performance peralatan pengguna energi dan teknologi yang digunakan serta kondisi operasi proses pada masing-masing peralatan pengguna energi. Data yang terkumpul berupa data sekunder dan primer.

1.1. Data Primer

Data primer dilakukan melalui survei lapangan guna untuk mendapatkan informasi data teknis dan operasi aktual serta spesifikasi peralatan yang berkaitan dengan operasional peralatan pengguna energi di industri. Kegiatan pengumpulan data primer ini diawali dengan *walk-trough* ke lapangan mengetahui kondisi operasi peralatan pengguna energi serta menentukan titik-titik pengukuran yang diperlukan. Data operasi aktual pada masing-masing unit antara lain meliputi: *input & output*, spesifikasi peralatan, konsumsi energi, kondisi operasi, serta faktor/parameter lain yang turut menentukan operasi yang akan dikumpulkan berdasarkan data *logsheet* peralatan pengguna energi. Data dan parameter proses pada kondisi operasi aktual yang tidak tercatat dari *log sheet* pabrik ataupun ruang kendali (*control room*) tetapi diperlukan dalam evaluasi, dapat diperoleh dengan cara melakukan pengukuran langsung (*load survey*) dan parameter-parameter pengoperasian seperti: tekanan, suhu, laju alir (*flow rate*) yang diukur dengan menggunakan alat ukur *portable*. Pengukuran dilakukan pada kondisi dan beban operasi normal dengan memperhatikan prosedur operasi yang dijalankan, meliputi: pengukuran temperatur, kelembaban, tekanan, *flow rate*, kondisi kelistrikan (tegangan, arus, daya, faktor daya, dan lain-lain), serta parameter-parameter lainnya yang diperlukan untuk dianalisis.

1.2. Data Sekunder

Data sekunder ini diperlukan untuk mendapatkan informasi mengenai spesifikasi *design* peralatan pengguna energi dan kondisi operasi pada masing-masing unit, yang akan digunakan untuk mendukung analisis data primer dan evaluasi selanjutnya. Data sekunder yang dikumpulkan pada setiap industri yang dilakukan assesmen energi antara lain mencakup:

- Data disain peralatan utama;
- *Logsheet* data operasi peralatan pengguna energi;
- Sistem utilitas pabrik;
- Informasi mengenai data-data kegiatan modifikasi yang pernah dilakukan, baik dalam rangka peningkatan efisiensi, reliabilitas, kapasitas maupun konservasi energi;

1.3. Analisa Data

Data primer dan data sekunder yang diperoleh dari setiap obyek survei selanjutnya diverifikasi sehingga dapat digunakan untuk melakukan analisis/pengkajian yang diperlukan dalam menyusun rekomendasi. Menganalisa penggunaan energi secara teknis dan ekonomis diperlukan untuk:

- Mengevaluasi kinerja penggunaan energi di industry
- Analisis sumber energi dan konsumsi energi pada peralatan pengguna energi
- Mengevaluasi efisiensi mesin peralatan pengguna dan penghasil energi (produksi dan utilitas)
- Menganalisis/Inventarisasi konsumsi energi terhadap produk yang dihasilkan atau intensitas energi terhadap alur proses maupun peralatan pengguna energi sebagai parameter untuk mengetahui tingkat efektifitas dan efisiensi penggunaan energi
- Mengevaluasi potensi/peluang efisiensi energi berdasarkan skala prioritas/investasi (*no/low cost, medium cost, dan high cost*)

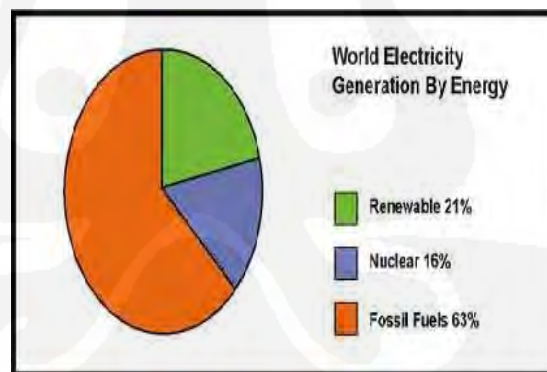
- Menentukan *benchmark* intensitas energi; menganalisis secara teknik dan ekonomi untuk mengetahui kelayakan potensi konservasi energi.

2.2 SISTEM KELISTRIKAN

Pemakaian listrik per kapita kadangkala digunakan sebagai indikator perkembangan suatu negara. Di negara yang sedang berkembang, industri merupakan pemakai listrik terbesar, termasuk industri textile.

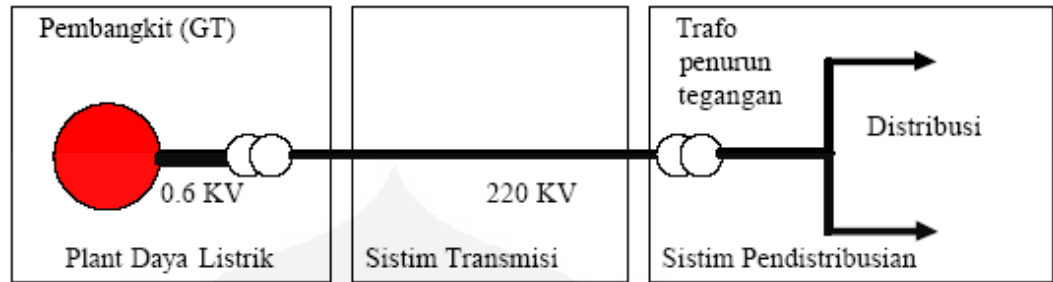
2.2.1. Pembangkit dan Pendistribusian Listrik.^[3]

Hampir kebanyakan listrik dihasilkan oleh stasiun daya listrik yang menggunakan bahan bakar fosil (batubara, gas, minyak) dan fasilitas nuklir yang menggunakan uranium (gambar 2.1). Dikarenakan kepedulian terhadap lingkungan dan keselamatan, dan akhir-akhir ini kepedulian terhadap keamanan energi sebagaimana pasokan minyak tergantung pada sedikit negara, sumber alternatif energi masih sedang digali. Energi yang terbarukan menyediakan 21% dari kebutuhan energi dunia, termasuk PLTA/ daya air (20%), energi matahari, angin, panas bumi, biomasa, dan ombak (sekitar 1% namun makin berkembang).



Gambar 2. 1 Pembangkitan listrik di dunia

Pada gambar 2.2 memperlihatkan gambaran sederhana mengenai sistem kelistrikan, yang dijelaskan di bawah ini.



Gambar 2.2. Pembangkitan, transmisi dan distribusi daya

Listrik umumnya dibangkitkan dengan pembangkit AC disebut *alternator* pada pembangkit daya termal, air atau nuklir pada 50 atau 60 siklus per detik. Biasanya listrik dibangkitkan pada sekitar 9 hingga 13 KV di terminal pembangkitnya. Daya yang dihasilkan oleh satu pembangkit (dikenal juga dengan istilah UNIT) berada pada kisaran 67,5 MW, 110 MW, 220 MW, 500 MW, dan ada juga yang mencapai 1000 MW atau lebih. Tingkat MW yang lebih tinggi lebih disukai karena lebih rendahnya pemakaian daya pembantu, biaya perawatan dan biaya operasi per MW yang dihasilkan.

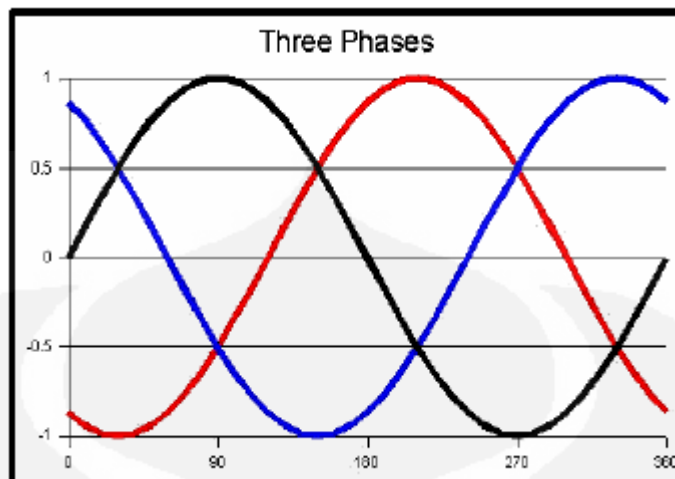
Listrik harus dibangkitkan hanya jika diperlukan, sebab listrik tidak dapat disimpan. Daya yang dihasilkan disalurkan ke pengguna melalui jaringan transmisi dan distribusi, yang terdiri dari trafo, jalur transmisi dan peralatan kontrol. Seluruh stasiun daya memiliki trafo pembangkit (GTs) yang meningkatkan tegangan menjadi tegangan ekstra tinggi (EHV, misal 132 kV, 220 kV, 400 kV) sebelum ditransmisikan. Mentransmisikan daya pada tegangan tinggi mempunyai keuntungan dapat mengurangi kehilangan selama transmisi dan dapat digunakan jalur transmisi yang lebih kecil dan lebih ekonomis (tabel 2.1) Kemudian, pada sub-stasiun dipasang trafo penurun, yang akan menurunkan tegangan untuk didistribusikan ke pengguna industri, perdagangan dan pemukiman melalui jalur distribusi.

Tabel 2.1. Keuntungan Transmisi Tegangan Tinggi

Alasan	Penjelasan	Keuntungan
Lebih sedikit terjadi penurunan tegangan	Penurunan tegangan pada jalur transmisi/distribusi tergantung pada tahanan, reaksi dan panjang jalur, dan arus yang terambil. Untuk jumlah daya yang sama yang dialirkan, tegangan yang lebih tinggi menghasilkan arus terambil lebih rendah dan penurunan tegangan yang lebih rendah.	Pengaturan tegangan yang baik (perbedaan antara tegangan yang terkirim dan diterima sekecil mungkin).
Lebih sedikit terjadi kehilangan daya	Daya yang hilang pada jalur sebanding dengan hambatan (R) dan kuadrat arus (I), jadi $P_{Loss} = I^2R$. Tegangan yang lebih tinggi menghasilkan arus yang lebih rendah sehingga kehilangan daya lebih rendah.	Efisiensi transmisi tinggi
Konduktor lebih kecil	Tegangan yang lebih tinggi menghasilkan arus yang lebih rendah sehingga hanya diperlukan konduktor yang lebih kecil untuk mengalirkan arus.	Investasi dan biaya pemasangan lebih sedikit

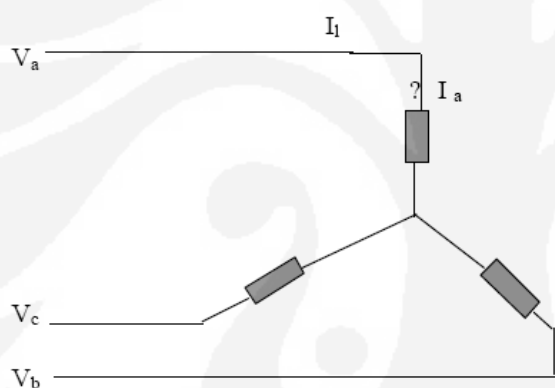
2.2.2. Fasa Listrik

Pada dasarnya pasokan listrik AC dibagi kedalam sirkuit *satu fase* dan *tiga fase*. Sirkuit AC satu fase memiliki dua buah kawat yang dihubungkan ke sumber listrik. Tidak seperti sirkuit DC yang arah arus listrik nya tidak berubah, maka dalam sirkuit AC arah arus berubah berkali-kali tiap detiknya tergantung pada frekuensi pasokan. Listrik 240 volt (V) yang dipasok ke rumah kita merupakan listrik AC satu fase dan memiliki dua buah kawat: 'aktif' dan 'netral'. Jalur distribusi dapat terdiri dari empat jalur. Tiga jalur membawa listrik dari tiga sirkuit listrik, yang dibagi menjadi jalur netral yang umum (tiga jalur aktif dan satu jalur netral). Sistem 3 fase memiliki 3 bentuk gelombang (biasanya membawa daya) yaitu $2/3$ p radian (120 derajat, $1/3$ siklus) untuk waktu tertentu. Gambar 4 menunjukkan sistem satu siklus tiga fase, dari 0 hingga 360 derajat (2 p radians), sepanjang aksis waktu. Garis yang diplotkan menunjukkan keragaman tegangan sesaat (atau arus) dalam waktu. Siklus ini akan berulang 50 atau 60 kali per detiknya tergantung pada frekuensi sistem dayanya. Warna garis menyatakan kode pewarnaan Amerika untuk sistem tiga fase: hitam = V_{L1} merah = V_{L2} biru = V_{L3} .



Gambar 2.3. Sistem listrik 3 fase

Sistem pasokan tiga fase selanjutnya dinyatakan oleh hubungan *bintang* dan *delta* seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.4 sebagai berikut.



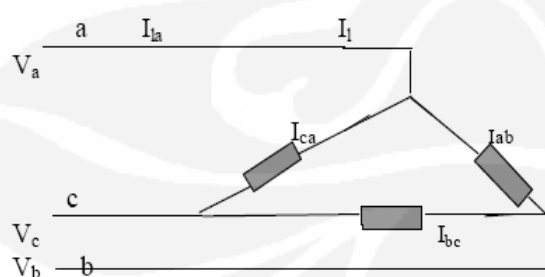
Hubungan Bintang

$I_L = \text{Jalur arus} = I_a = \text{Fase arus}$

$V_a = V_b = V_c = \text{Jalur tegangan}$

$n = \text{Titik netral}$

Jalur tegangan = 1,732 X Fase tegangan



Hubungan Delta

$V_a = \text{Jalur tegangan} = \text{Fase tegangan}$

$I_a = I_b = I_c = \text{Jalur arus}$

Jalur arus = 1,732 X Fase arus

Gambar 2.4. Hubungan bintang dan delta pada sistem listrik

2.2.3. Unbalance Voltage

Unbalance voltage merupakan besarnya ketidakseimbangan tegangan antar fasa, dimana tiap fasa mempunyai besar dan sudut tegangan yang tidak standar sehingga tegangan antar fasa menjadi tidak sama. Unbalance voltage sangat mempengaruhi operasi beban tiga fasa, dimana menyebabkan timbulnya peningkatan temperatur, konsumsi kWh dan penurunan kemampuan operasi.

Kondisi Unbalance disebabkan antara lain oleh kondisi beban secara keseluruhan system, dimana beban satu phase tidak sama dengan phase yang lain, sehingga impedansi dari beban - beban tersebut tidak sama phase satu sama lain. Atau juga impedansi sebuah motor tidak sama phase satu dengan yang lain.

Selain itu ada beberapa hal yang menyebabkan Unbalance voltage, sebagai berikut : ^[10]

- Unbalance dari power supply
- Taping di trafo tidak sama
- Ada trafo single phase dalam system
- Ada open phase di primer trafo distribusi
- Ada fault atau ground di trafo power
- Ada open delta di trafo-bank
- Ada fuse-blown di 3 phase di capacitor bank (capacitor untuk perbaikan power factor)
- Impedance dari konduktor power supply tidak sama.
- Unbalance distribusi / single phase load (lighting)
- Heavy reactive single phase load. Misal : mesin welder.

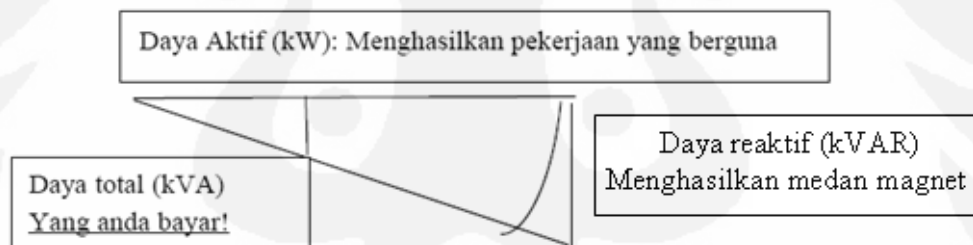
Kondisi unbalance adalah yang paling umum mempunyai efek merusak pada motor listrik. Efek ini juga dapat disebabkan oleh power supply wiring, transformer dan generator. Unbalance voltage pada terminal motor mengakibatkan unbalance arus phase sebesar 6 - 10 kali persen^[10] unbalance voltage pada motor dengan beban penuh (full load).

2.2.4. Unbalance Load (Current)

Unbalance load merupakan besarnya ketidakseimbangan arus yang mengalir antara tiap fasa, besar ketidakseimbangan ini menunjukkan ketidakseimbangan beban tiap fasa menyebabkan mengalirnya arus pada titik netral. Dimana arus netral ini mengakibatkan terjadinya beda tegangan antara titik netral dengan ground (ground efektif memiliki nilai nol), selain itu dengan mengalirnya arus pada titik netral maka reference tegangan pada titik netral tidak terpenuhi sehingga menyebabkan tegangan fasa ke netral turun.

2.2.5. Daya Reaktif dan Reaktif^[3]

Daya aktif, diukur dalam kilowatt (kW), merupakan daya nyata (daya poros, daya yang sebenarnya) yang digunakan oleh beban untuk melakukan tugas tertentu. Terdapat beban tertentu seperti motor, yang memerlukan bentuk lain dari daya yang disebut daya reaktif (kVAR) untuk membuat medan magnet. Walaupun daya reaktif merupakan daya yang tersendiri, daya ini sebenarnya merupakan beban (kebutuhan) pada suatu sistim listrik. Utilitas harus membayar daya/kebutuhan total seperti digambarkan dalam Gambar 2.5.



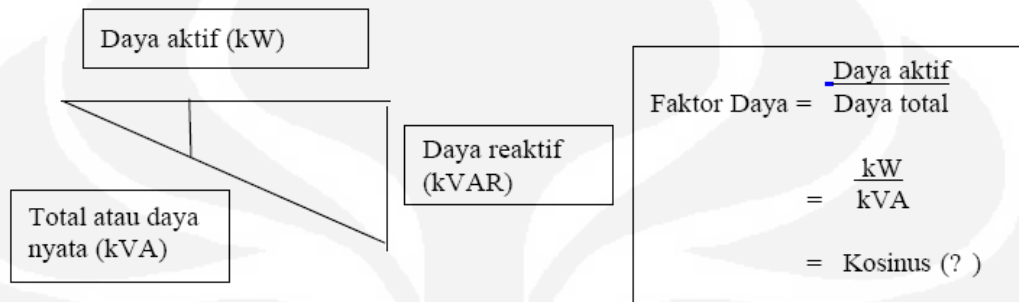
Gambar 2.5. Gambaran segitiga daya

Penjumlahan vektor daya aktif dan reaktif merupakan daya total (nyata), diukur dalam kVA (kilo Volts-Amperes). Daya ini merupakan daya yang dikirim oleh perusahaan energi ke pelanggan. Secara matematis hal ini dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$kVA = \sqrt{(KW)^2 + (KVAR)^2}$$

2.2.6. Faktor Daya^[3]

Faktor daya adalah perbandingan antara daya aktif (kW) dengan daya total (kVA), atau kosinus sudut antara daya aktif dan total. Daya reaktif yang tinggi akan meningkatkan sudut ini dan sebagai hasilnya faktor daya akan menjadi lebih rendah (Lihat Gambar 2.6).



Gambar 2.6 Faktor Daya pada sirkuit listrik

Faktor daya selalu lebih kecil atau sama dengan satu. Secara teoritis, jika seluruh beban daya yang dipasok oleh perusahaan listrik memiliki faktor daya satu, daya maksimum yang ditransfer setara dengan kapasitas sistem pendistribusian. Sehingga, dengan beban yang terinduksi dan jika faktor daya berkisar dari 0,2 hingga 0,3, kapasitas jaringan distribusi listrik menjadi tertekan. Jadi, daya reaktif (kVAR) harus serendah mungkin untuk keluaran kW yang sama dalam rangka meminimalkan kebutuhan daya total (kVA). Dengan demikian bila faktor daya bebannya rendah maka untuk memperoleh suatu harga P (Watt) yang kecil diperlukan suatu sumber listrik atau generator, transformator dan jala-jala yang besar kemampuannya.

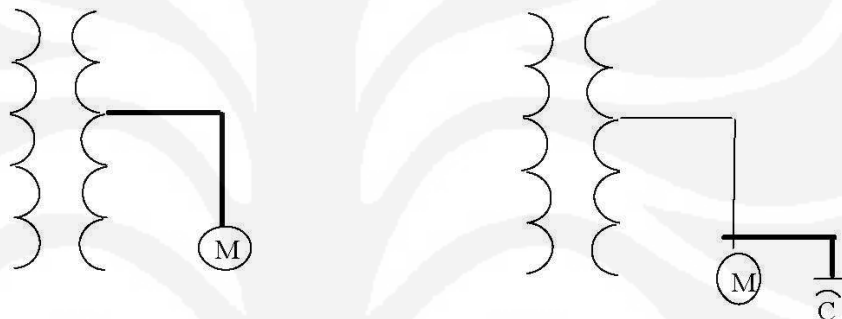
Faktor daya yang rendah akan berakibat sistem berkerja tidak baik dan tidak ekonomis. Oleh karena itu faktor daya yang rendah dari suatu sistem perlu diperbaiki agar menjadi tinggi. Faktor daya yang rendah disebabkan adanya pemakaian daya reaktif (VAR) dari beban. Pemakaian daya buta ini disebabkan oleh beban instalasi berupa :

- Motor-motor induksi
- Transformator
- Reaktor, jala-jala, dan sebagainya.

Dari macam-macam beban di atas yang paling besar pengaruhnya terhadap turunnya factor daya adalah motor-motor induksi. Oleh karena itu dalam suatu instalasi tenaga yang banyak menggunakan motor-motor induksi masalah perbaikan factor daya amatlah penting.

2.2.7. Kapasitor^[3]

Faktor daya dapat diperbaiki dengan memasang kapasitor pengkoreksi faktor daya (lihat gambar 2.7 dan 2.8) pada sistim distribusi daya pabrik. Kapasitor bertindak sebagai pembangkit daya reaktif dan oleh karenanya akan mengurangi jumlah daya reaktif, juga daya total yang dihasilkan oleh bagian utilitas.



Gambar 2.7. Pemasangan kapasitor



Gambar 2.8. Bank Kapasitor jenis *film*

Keuntungan perbaikan faktor daya melalui pemasangan kapasitor adalah:

Bagi perusahaan:

- a) Diperlukan hanya sekali investasi untuk pembelian dan pemasangan kapasitor dan tidak ada biaya terus menerus.
- b) Mengurangi biaya listrik bagi perusahaan sebab (a) daya reaktif (kVAR) tidak lagi dipasok oleh perusahaan utilitas sehingga kebutuhan total (kVA)

berkurang dan (b) nilai denda yang dibayar jika beroperasi pada faktor daya rendah dapat dihindarkan.

- c) Mengurangi kehilangan distribusi (kWh) dalam jaringan pabrik.
- d) Tingkat tegangan pada beban akhir meningkat sehingga meningkatkan kinerja motor.

Bagi utilitas pemasok listrik :

- a) Komponen reaktif pada jaringan dan arus total pada sistim ujung akhir berkurang.
- b) Kehilangan daya I^2R dalam sistim berkurang karena penurunan arus.
- c) Kemampuan kapasitas jaringan distribusi listrik meningkat, mengurangi kebutuhan untuk memasang kapasitas tambahan.

2.2.8. Manajemen Beban Listrik.^[3]

Di tingkat makro, meningkatnya konsumsi listrik dan kecenderungan menurunnya konsumsi listrik selama waktu tertentu pada siang hari dapat diatur untuk disesuaikan dengan kebutuhan. Dengan mahalnya penambahan kapasitas dan hanya dapat dipasang dalam jangka waktu yang panjang (terutama jika *plant* daya yang baru harus dibangun), manajemen pembebanan yang lebih baik pada penggunaan akhir dapat membantu meminimalkan kebutuhan puncak pada infrastruktur utilitas dan memperbaiki penggunaan kapasitas pembangkit listrik. Beberapa teknik yang efektif untuk manajemen pembebanan diberikan dalam tabel 2.2.

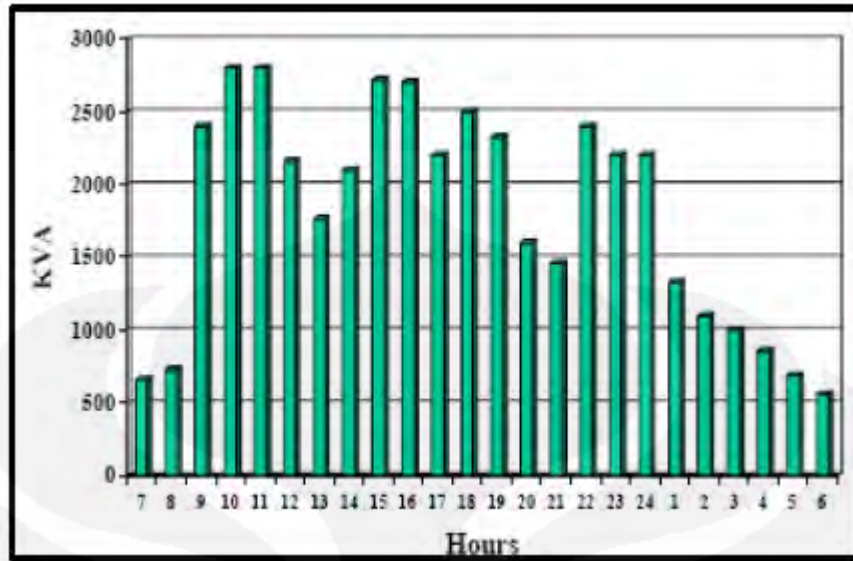
Tabel 2.2. Strategi Manajemen Beban Puncak

<p><i>Menggeser Beban Proses yang Tidak Kritis dan Tidak Kontinyu ke waktu bukan Beban Puncak</i></p>	<p>Penjadwalan ulang beban listrik yang besar dan pengoperasian peralatan, pada shift kerja yang ada dapat direncanakan dan diterapkan untuk meminimalkan permintaan maksimum secara bersamaan. Untuk maksud ini, disarankan untuk mempersiapkan diagram alir operasi dan diagram proses. Menganalisa diagram tersebut dengan pendekatan yang terintegrasi, memungkinkan untuk melakukan penjadwalan ulang operasi peralatan dengan berbagai cara untuk memperbaiki faktor beban yang pada gilirannya akan menurunkan permintaan maksimum.</p>
--	--

<i>Membuang Beban yang Tidak Penting selama Waktu Beban Puncak</i>	Bila permintaan maksimum cenderung mencapai batas yang sudah ditentukan, pembuangan beberapa beban yang tidak perlu untuk sementara waktu dapat menolong mengurangi beban. Dapat juga dipasang sistem pemantauan langsung, yang akan mematikan beban yang tidak perlu bila batas permintaan yang ditentukan telah tercapai. Sistem yang sederhana adalah dengan membunyikan alarm, kemudian beban dibuang secara manual. Sistem pengendali mikroprosesor yang canggih juga tersedia, yang memberikan opsi pembuangan beban secara otomatis.
<i>Mengoperasikan Pembangkitan di tempat atau Penggunaan Pembangkit Diesel selama Waktu Beban Puncak</i>	Jika digunakan pembangkit diesel (DG) untuk melengkapi daya yang dipasok oleh utilitas listrik, disarankan untuk menggunakan DG untuk waktu beban puncak. Hal ini akan mengurangi permintaan beban menuju tingkat yang dapat dipertimbangkan dan meminimalkan biaya tagihan.
<i>Mengoperasikan unit AC selama waktu bukan beban puncak dan menggunakan penampung termis dingin</i>	Memungkinkan untuk mengurangi permintaan maksimum dengan cara membangun tempat penyimpanan produk/ bahan, air, air dingin/ air panas, yang dioperasikan selama waktu beban rendah. Operasi pada waktu beban rendah dapat menolong dalam menghemat energi dikarenakan kondisi yang baik seperti suhu luar yang lebih rendah dll.
<i>Pemasangan Peralatan Pengkoreksi Faktor Daya</i>	Permintaan maksimum dapat juga dikurangi pada pabrik dengan menggunakan bank kapasitor dan menjaga faktor daya optimal. Sistem tersebut menyala-matikan bank kapasitor untuk mencapai faktor daya yang dikehendaki pada suatu sistem sehingga dapat mengoptimalkan permintaan maksimum.

Suatu penyajian dari permintaan beban oleh pemakai terhadap waktu dikenal dengan nama 'Kurva Beban'. Jika permintaan beban diplotkan untuk 24 jam pada satu hari, dikenal dengan istilah 'Kurva Beban Jam-an' (lihat Gambar 2.9) dan jika permintaan harian diplotkan untuk selama satu bulan, disebut 'Kurva Beban Harian'.

Kurva beban berguna dalam memperkirakan pola permintaan daya rendah yang tinggi untuk bagian pabrik, pabrik keseluruhan, dan jaringan distribusi.



Gambar 2.9. Kurva beban harian industri rekayasa

2.3. TRAFO

Trafo merupakan suatu peralatan listrik statis, yang merubah energi listrik dari tingkat tegangan yang satu ke tingkat tegangan yang lain. Adanya alat ini memungkinkan untuk menghasilkan energi listrik pada tegangan yang relatif rendah dan mentransmisikannya pada tegangan tinggi dan arus yang rendah, sehingga akan mengurangi kehilangan jaringan dan digunakan pada tegangan yang aman (lihat Gambar 2.11)



Gambar 2.10. Gambar sebuah trafo

Trafo terdiri dari dua atau lebih kumparan yang listriknya terisolasi namun kemagnetannya tersambungkan. Kumparan primernya dihubungkan ke sumber

daya dan kumparan sekundernya dihubungkan ke beban. Keistimewaan trafo sebagai berikut.^[3]

- a) *Turn's ratio*; merupakan perbandingan antara jumlah kumparan sekunder yang menyala dan jumlah kumparan primer yang menyala (lihat Gambar 2.11).
- b) Tegangan sekunder; tegangan primer dikalikan *turn's ratio*.
- c) *Ampere-turns*; dihitung dengan mengalikan arus dalam kumparan dengan jumlah nyala. *Ampere-turns* primer setara dengan *ampere-turns* sekunder.
- d) Pengaturan tegangan trafo; persentase kenaikan tegangan dari beban penuh ke tanpa beban.



Gambar 2.11. Rakitan inti dan kumparan trafo tiga fase

2.3.1. Jenis Trafo

Trafo memiliki beberapa jenis berdasarkan beberapa kriteria. Berikut daftar berbagai macam jenis trafo, sebagai berikut.^[3]

Tabel 2.3. Pengelompokan Trafo

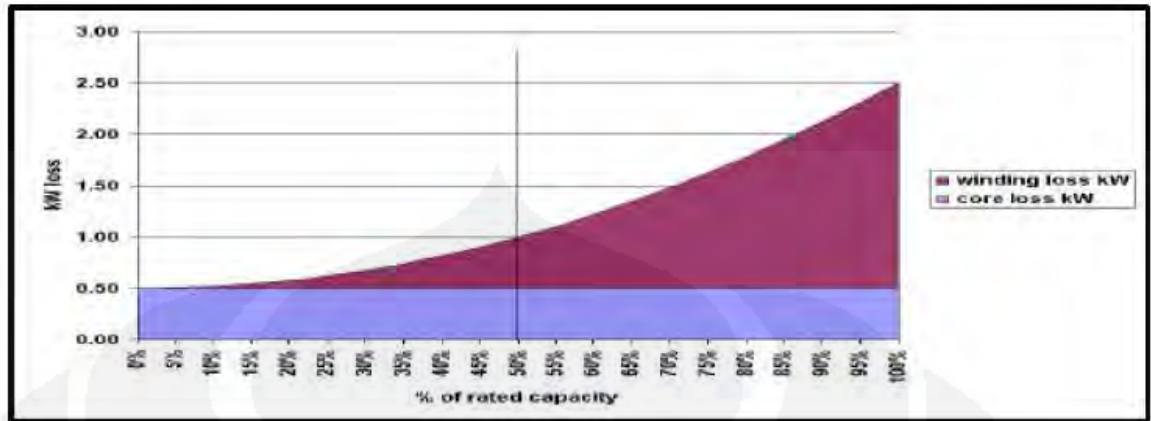
Kriteria	Jenis	Keterangan
Berdasarkan pada tegangan yang masuk	Penaik/ <i>Step Up</i>	Mengubah LV ke HV
	Penurun/ <i>Step Down</i>	Mengubah HV ke LV
Berdasarkan pengoperasian	Trafo Daya	Terletak pada stasiun daya untuk menaikkan tegangan dan menangani daya yang besar. Jenis tegangannya adalah 400 kV, 220kV, 132KV, 66 kV, 33kV dll.
	Trafo Distribusi	Terletak pada sub-stasiun jaringan distribusi dan menangani daya yang rendah. Jenis tegangannya adalah 11kV, 6.6 kV, 3.3 kV, 440V, 230V dll.
	Trafo instrumen	Digunakan untuk mengukur tegangan dan arus yang tinggi dalam instrumen pengukuran.
Berdasarkan Lokasi	Luar ruangan	Berlokasi diluar ruangan pada struktur beton atau struktur tiang besi
	Dalam ruangan	Terletak di dalam gudang berstruktur beton
Berdasarkan hubungan	Tiga fase	Pasokan <i>input</i> dan <i>output</i> merupakan tiga fase (R/Y/B) dengan atau tanpa netral
	Satu fase	Pasokan <i>input</i> dan <i>output</i> merupakan satu fase

2.3.2. Efisiensi Trafo

Didalam trafo tidak terdapat bagian yang berputar, sehingga efisiensinya berada pada kisaran 96 hingga 99 persen. Kehilangan-kehilangan terutama disebabkan dengan: ^[5]

- a) Kehilangan Konstan; hal ini disebut juga kehilangan besi atau kehilangan inti, yang tergantung pada bahan inti dan sirkuit magnetik pada alur *flux*. Kehilangan arus *Hysteresis* dan *Eddy* merupakan dua komponen kehilangan konstan.
- b) Kehilangan Variabel; juga disebut dengan kehilangan beban atau kehilangan tembaga, yang beragam dengan kwadrat arus beban.

Efisiensi trafo terbaik terjadi pada beban bilamana kehilangan konstan sama dengan kehilangan variabel. Kehilangan trafo sebagai persentase arus beban ditunjukkan pada Gambar 2.12. ^[3]



Gambar 2.12. Kehilangan trafo versus persen pembebanan

Pabrik pembuat trafo biasanya memberikan kehilangan tanpa beban (PNO-LOAD) dan dengan beban penuh (PLOAD). Hubungan matematis berikut merupakan kehilangan total (PTOTAL) pada berbagai kondisi beban pada trafo: ^[3]

$$P_{\text{TOTAL}} = P_{\text{TANPA BEBAN}} + (\% \text{ Beban}/100)^2 \times P_{\text{BEBAN}}$$

$$P_{\text{TOTAL}} = P_{\text{TANPA BEBAN}} + (\text{Beban KVA}/\text{Laju KVA})^2 \times P_{\text{BEBAN}}$$

2.3.3. Jatuh Tegangan

Pada PUIL 2000 4.1.2-A.5 dinyatakan bahwa : susut tegangan antara PHB utama dan setiap titik beban, tidak boleh lebih dari 5 % dari tegangan di PHB utama.

Adapun pembagian penentuan drop tegangan pada suatu penghantar dapat digolongkan menjadi beberapa jenis :

- Untuk arus searah
- Untuk arus bolak-balik satu fasa
- Untuk arus bolak-balik tiga fasa

Rugi tegangan biasanya dinyatakan dalam satuan persen (%) dalam tegangan kerjanya yaitu : ^[11]

$$\Delta V(\%) = \frac{\Delta V \times 100 \%}{V}$$

Besarnya rugi tegangan (%) yang diijinkan ialah :

Tabel 2.4. Rugi Tegangan

ΔV (%)	Penggunaan Jaringan
0.5	Dari jala-jala ke KWH meter
1.5	Dari KWH meter ke rangkaian penerangan
3.0	Dari KWH meter ke motor atau rangkaian daya

Untuk menentukan rugi tegangan berdasarkan luas penampang dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

Untuk arus searah, penampang minimum :^[11]

$$\Delta V = \frac{2 \times I \times l}{x \times A} \text{ Volt}$$

Untuk arus bolak-balik satu fasa, penampang minimum :^[11]

$$\Delta U = 2 \times I \times l (RL \cos \varphi + XL \sin \varphi)$$

Untuk arus bolak-balik tiga fasa, penampang minimum :^[11]

$$\Delta U = \sqrt{3} \times I \times l (RL \cos \varphi + XL \sin \varphi)$$

Dimana :

ΔU = Rugi tegangan dalam penghantar (V)

I = Kuat arus dalam penghantar (A)

l = Jarak dari permulaan penghantar sampai ujung (m)

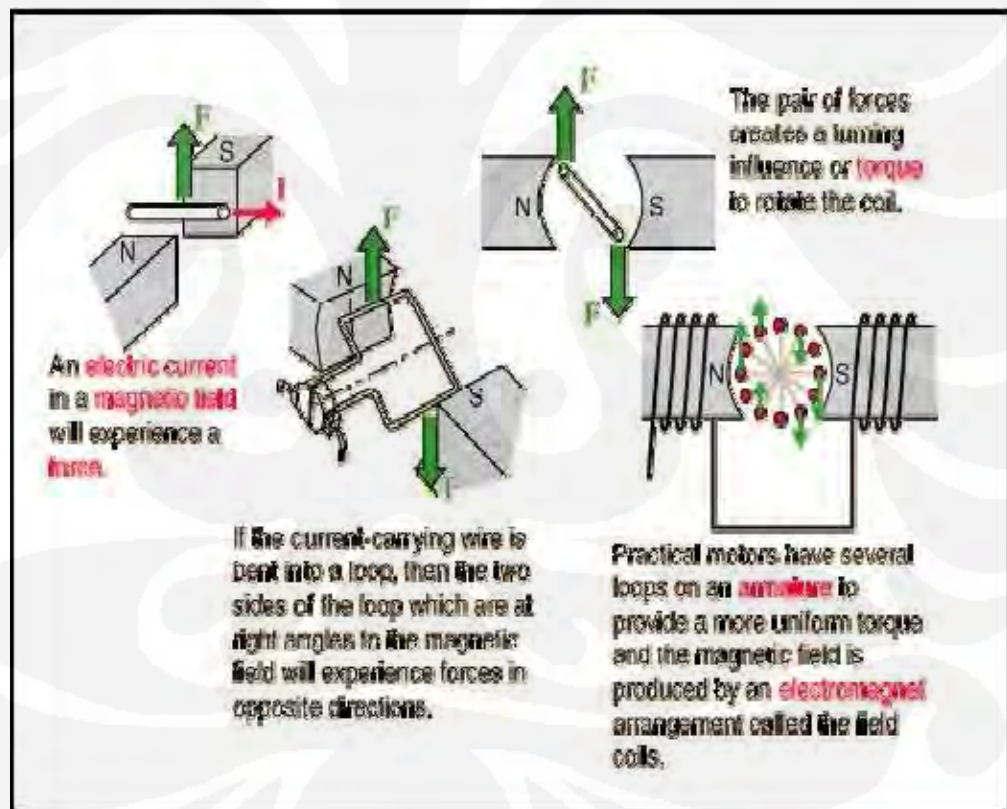
2.4. MOTOR LISTRIK

Motor listrik merupakan sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan untuk, misalnya, memutar *impeller* pompa, fan atau blower, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan, dll. Motor listrik digunakan juga di rumah (*mixer*, bor listrik, fan angin) dan di industri. Motor listrik kadangkala disebut “kuda kerja” nya industri sebab diperkirakan bahwa motor-motor menggunakan sekitar 70%^[6] beban listrik total di industri.

2.4.1. Prinsip Kerja Motor Listrik^[6]

Mekanisme kerja untuk seluruh jenis motor secara umum sama (Gambar 2.14):

- Arus listrik dalam medan magnet akan memberikan gaya.
- Jika kawat yang membawa arus dibengkokkan menjadi sebuah lingkaran/*loop*, maka kedua sisi *loop*, yaitu pada sudut kanan medan magnet, akan mendapatkan gaya pada arah yang berlawanan.
- Pasangan gaya menghasilkan tenaga putar/ *torque* untuk memutar kumparan.
- Motor-motor memiliki beberapa *loop* pada dinamanya untuk memberikan tenaga putaran yang lebih seragam dan medan magnetnya dihasilkan oleh susunan elektromagnetik yang disebut kumparan medan.



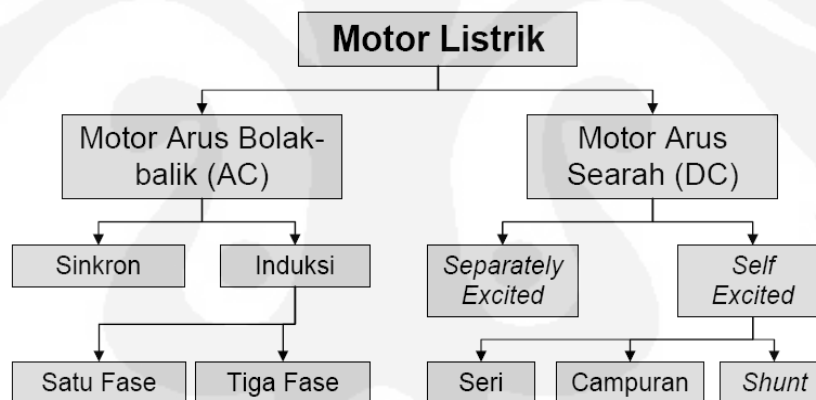
Gambar 2.13. Prinsip Dasar dari Kerja Motor Listrik

Dalam memahami sebuah motor, penting untuk mengerti apa yang dimaksud dengan beban motor. Beban mengacu kepada keluaran tenaga putar/ *torque* sesuai dengan kecepatan yang diperlukan. Beban umumnya dapat dikategorikan kedalam tiga kelompok:

- a) Beban *torque* konstan adalah beban dimana permintaan keluaran energinya bervariasi dengan kecepatan operasinya namun *torque* nya tidak bervariasi. Contoh beban dengan *torque* konstan adalah *conveyors*, *rotary kilns*, dan pompa *displacement* konstan.
- b) Beban dengan variabel *torque* adalah beban dengan *torque* yang bervariasi dengan kecepatan operasi. Contoh beban dengan variabel *torque* adalah pompa sentrifugal dan fan (*torque* bervariasi sebagai kwadrat kecepatan).
- c) Beban dengan energi konstan adalah beban dengan permintaan *torque* yang berubah dan berbanding terbalik dengan kecepatan. Contoh untuk beban dengan daya konstan adalah peralatan-peralatan mesin

2.4.2. Jenis Motor Listrik

Gambar 2.15 memperlihatkan kategori motor listrik yang paling umum. Motor tersebut dikategorikan berdasarkan pasokan *input*, konstruksi, dan mekanisme operasi, dan dijelaskan lebih lanjut dibawah ini.



Gambar 2.14. Klasifikasi Jenis Utama Motor Listrik

2.4.2.1. Motor AC

Motor arus bolak-balik menggunakan arus listrik yang membalikkan arahnya secara teratur pada rentang waktu tertentu. Motor listrik memiliki dua buah bagian dasar listrik: "stator" dan "rotor" seperti ditunjukkan dalam Gambar 7. Stator merupakan komponen listrik statis. Rotor merupakan komponen listrik berputar untuk memutar as motor. Keuntungan utama motor DC terhadap motor AC adalah bahwa kecepatan motor AC lebih sulit dikendalikan. Untuk mengatasi kerugian ini, motor AC dapat dilengkapi dengan penggerak frekuensi variabel untuk meningkatkan kendali kecepatan sekaligus

menurunkan dayanya. Motor induksi merupakan motor yang paling populer di industri karena kehandalannya dan lebih mudah perawatannya. Motor induksi AC cukup murah (harganya setengah atau kurang dari harga sebuah motor DC) dan juga memberikan rasio daya terhadap berat yang cukup tinggi (sekitar dua kali motor DC).

2.4.2.2. Motor Induksi

Motor induksi merupakan motor yang paling umum digunakan pada berbagai peralatan industri. Popularitasnya karena rancangannya yang sederhana, murah dan mudah didapat, dan dapat langsung disambungkan ke sumber daya AC.

2.4.2.2.1. Komponen Motor Induksi^[6]

Motor induksi memiliki dua komponen listrik utama (Gambar 2.15):

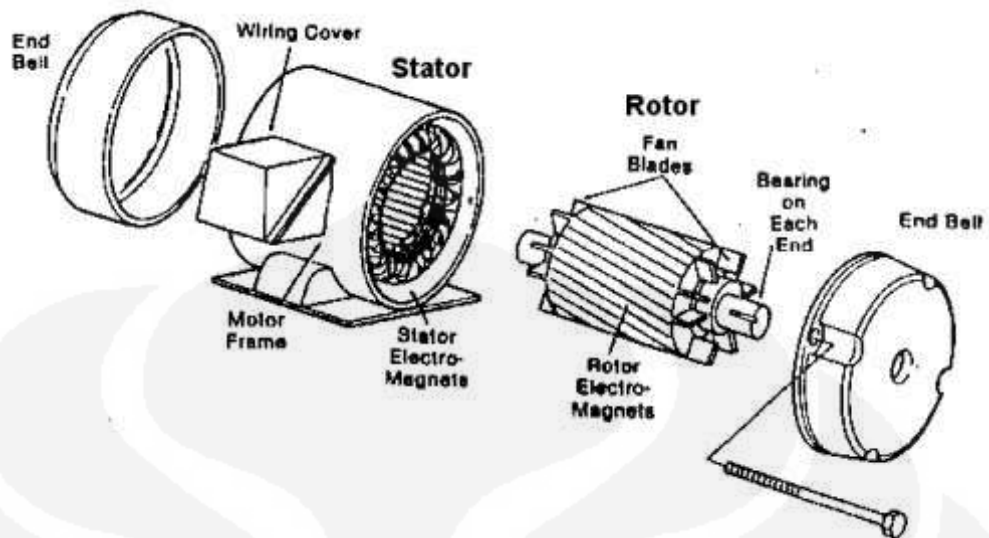
a) Rotor;

Motor induksi menggunakan dua jenis rotor:

- Rotor kandang tupai terdiri dari batang penghantar tebal yang dilekatkan dalam petak-petak *slots* paralel. Batang-batang tersebut diberi hubungan pendek pada kedua ujungnya dengan alat cincin hubungan pendek.
- Lingkaran rotor yang memiliki gulungan tiga fase, lapisan ganda dan terdistribusi. Dibuat melingkar sebanyak kutub stator. Tiga fase digulungi kawat pada bagian dalamnya dan ujung yang lainnya dihubungkan ke cincin kecil yang dipasang pada batang as dengan sikat yang menempel padanya.

b) Stator;

Stator dibuat dari sejumlah *stampings* dengan *slots* untuk membawa gulungan tiga fase. Gulungan ini dilingkarkan untuk sejumlah kutub yang tertentu. Gulungan diberi spasi geometri sebesar 120 derajat.



Gambar 2.15. Motor Induksi

2.4.2.2.2. Klasifikasi Motor Induksi

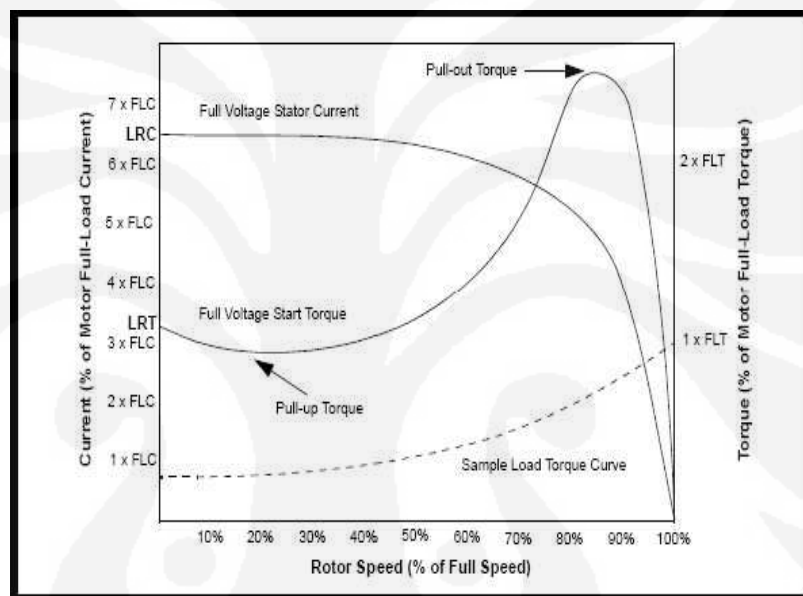
Motor induksi dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama:

- a) Motor induksi satu fase. Motor ini hanya memiliki satu gulungan *stator*, beroperasi dengan pasokan daya satu fase, memiliki sebuah rotor kandang tupai, dan memerlukan sebuah alat untuk menghidupkan motornya. Sejauh ini motor ini merupakan jenis motor yang paling umum digunakan dalam peralatan rumah tangga, seperti fan angin, mesin cuci dan pengering pakaian, dan untuk penggunaan hingga 3 sampai 4 HP.
- b) Motor induksi tiga fase. Medan magnet yang berputar dihasilkan oleh pasokan tiga fase yang seimbang. Motor tersebut memiliki kemampuan daya yang tinggi, dapat memiliki kandang tupai atau gulungan rotor (walaupun 90% memiliki rotor kandang tupai); dan penyalaan sendiri. Diperkirakan bahwa sekitar 70% motor di industri menggunakan jenis ini, sebagai contoh, pompa, kompresor, *belt conveyor*, jaringan listrik, dan *grinder*. Tersedia dalam ukuran 1/3 hingga ratusan HP.

2.4.2.2.3. Hubungan antara beban, kecepatan dan torque.^[6]

Gambar 2.16 menunjukkan grafik *torque*-kecepatan motor induksi AC tiga fase dengan arus yang sudah ditetapkan bila motor:

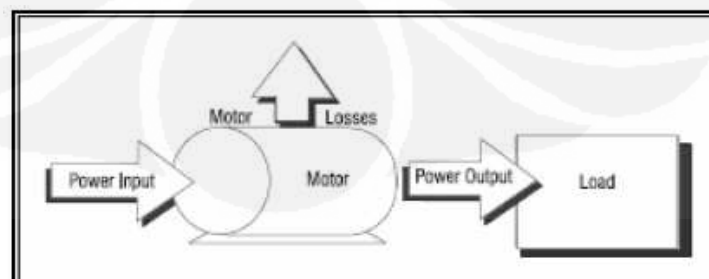
- Mulai menyala ternyata terdapat arus nyala awal yang tinggi dan *torque* yang rendah (“*pull-up torque*”).
- Mencapai 80% kecepatan penuh, *torque* berada pada tingkat tertinggi (“*pull-out torque*”) dan arus mulai turun.
- Pada kecepatan penuh, atau kecepatan sinkron, arus *torque* dan *stator* turun ke nol.



Gambar 2.16. Grafik *Torque*-Kecepatan Motor Induksi AC 3-Fase

2.4.2.2.4. Efisiensi Motor Listrik

Motor mengubah energi listrik menjadi energi mekanik untuk melayani beban tertentu. Pada proses ini, kehilangan energi ditunjukkan dalam Gambar 2.17.



Gambar 2.17. Kehilangan Energi di Motor listrik

Efisiensi motor ditentukan oleh kehilangan dasar yang dapat dikurangi hanya oleh perubahan pada rancangan motor dan kondisi operasi. Kehilangan dapat bervariasi dari kurang lebih dua persen hingga 20 persen. Tabel 2.4 memperlihatkan jenis kehilangan untuk motor induksi. ^[6]

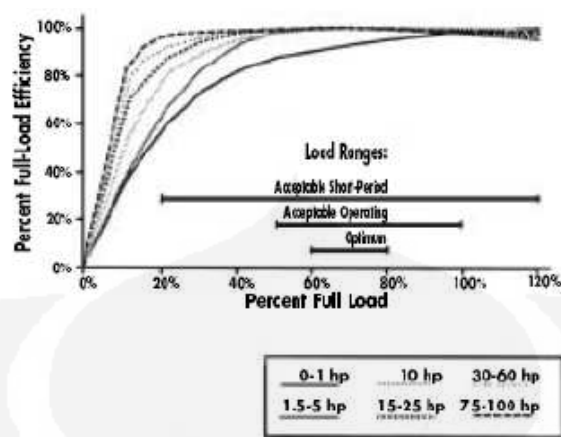
Tabel 2.5. Jenis Kehilangan pada Motor Induksi

Jenis kehilangan	Persentase kehilangan total (100%)
Kehilangan tetap atau kehilangan inti	25
Kehilangan variabel: kehilangan stator I^2R	34
Kehilangan variabel: kehilangan rotor I^2R	21
Kehilangan gesekan & penggulangan ulang	15
Kehilangan beban yang menyimpang	5

Efisiensi motor dapat didefinisikan sebagai “perbandingan keluaran daya motor yang dirgunakan terhadap keluaran daya totalnya.” Faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi adalah:

- a) Usia. Motor baru lebih efisien.
- b) Kapasitas. Sebagaimana pada hampir kebanyakan peralatan, efisiensi motor meningkat dengan laju kapasitasnya.
- c) Kecepatan. Motor dengan kecepatan yang lebih tinggi biasanya lebih efisien.
- d) Jenis. Sebagai contoh, motor kandang tupai biasanya lebih efisien daripada motor cincin geser.
- e) Suhu. Motor yang didinginkan oleh fan dan tertutup total (TEFC) lebih efisien daripada motor *screen protected drip-proof* (SPDP).
- f) Penggulangan ulang motor dapat mengakibatkan penurunan efisiensi. Beban, seperti yang dijelaskan dibawah.

Terdapat hubungan yang jelas antara efisiensi motor dan beban. Pabrik motor membuat rancangan motor untuk beroperasi pada beban 50-100% dan akan paling efisien pada beban 75%. Tetapi, jika beban turun dibawah 50% efisiensi turun dengan cepat seperti ditunjukkan pada Gambar 11. Mengoperasikan motor dibawah laju beban 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.



Gambar 2.18. Efisiensi Motor Beban Sebagian (sebagai fungsi dari % efisiensi beban penuh)

Untuk alasan ini maka dalam mengkaji kinerja motor akan bermanfaat bila menentukan beban dan efisiensinya. Pada hampir kebanyakan negara, merupakan persyaratan bagi pihak pembuat untuk menuliskan efisiensi beban penuh pada pelat label motor. Namun demikian, bila motor beroperasi untuk waktu yang cukup lama, kadang-kadang tidak mungkin untuk mengetahui efisiensi tersebut sebab pelat label motor kadangkala sudah hilang atau sudah dicat.

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. Jika tidak memungkinkan untuk memutuskan sambungan motor dari beban, perkiraan nilai efisiensi didapat dari tabel khusus untuk nilai efisiensi motor. Nilai efisiensi disediakan untuk: [7]

- Motor dengan efisiensi standar 900, 1200, 1800 dan 3600 rpm .
- Motor yang berukuran antara 10 hingga 300 HP.
- Dua jenis motor: motor anti menetes terbuka/ *open drip-proof* (ODP) dan motor yang didinginkan oleh fan dan tertutup total/ *enclosed fan-cooled motor* (TEFC).
- Tingkat beban 25%, 50%, 75% dan 100%.

Lembar fakta juga menjelaskan tiga kategori metode yang lebih canggih untuk mengkaji efisiensi motor: peralatan khusus, metode perangkat lunak, dan metode analisis. Dengan kata lain, survei terhadap motor dapat dilakukan untuk menentukan beban, yang juga memberi indikasi kinerja motor.

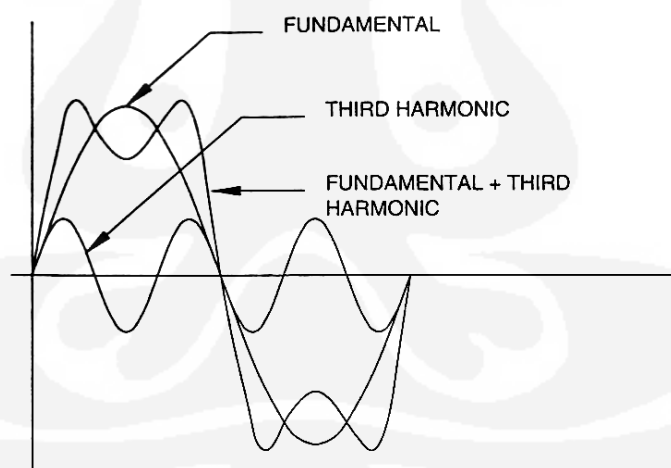
2.6. HARMONISA

Dalam sistem tenaga listrik yang ideal, bentuk gelombang tegangan yang disalurkan ke peralatan konsumen dan bentuk gelombang arus yang dihasilkan adalah gelombang sinus murni.

Harmonisa adalah gangguan yang terjadi dalam sistem distribusi tenaga listrik yang disebabkan adanya distorsi gelombang arus dan tegangan. Distorsi gelombang arus dan tegangan ini disebabkan adanya pembentukan gelombang-gelombang dengan frekuensi kelipatan bulat dari frekuensi fundamentalnya.

Harmonisa bisa muncul akibat adanya beban – beban non linier yang terhubung ke sistem distribusi. Beban non linier ini umumnya adalah peralatan elektronik yang di dalamnya banyak terdapat komponen semi konduktor, yang dalam proses kerjanya berlaku sebagai saklar yang bekerja pada setiap siklus gelombang dari sumber tegangan. Beberapa contoh beban non linier antara lain *variable speed drive*, komputer, printer, lampu *fluorescent* yang menggunakan elektronik ballast.

Gelombang non sinusoidal dapat terbentuk dengan menjumlahkan gelombang – gelombang sinusoidal, seperti terlihat pada gambar 2.19



Gambar 2.19 Gelombang Fundamental, Harmonik Ketiga & Hasil Penjumlahannya

Standar harmonisa berdasarkan standar IEEE 519. Ada dua kriteria yang digunakan untuk mengevaluasi distorsi harmonisa. Yaitu batasan untuk harmonisa arus, dan batasan untuk harmonisa tegangan. Untuk standard harmonisa arus, ditentukan oleh rasio I_{sc}/I_L . I_{sc} adalah arus hubung singkat yang ada pada PCC

(*Point of Common Coupling*), sedangkan I_L adalah arus beban fundamental nominal. Sedangkan untuk standard harmonisa tegangan ditentukan oleh tegangan sistem yang dipakai.

Tabel 2.6. Standard Harmonisa Arus

I_{SC}/I_{LOAD}	HARMONIC ORDER					Total Harmonic Distortion
	<11	11-16	17-22	23-24	>35	
< 20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50-100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100-1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Where I_{SC} = Maximum short circuit current at point of common coupling.
 And I_L = Maximum demand load current (fundamental frequency) at point of common coupling.
 TDD = Total demand distortion (RSS) in % of maximum demand

$$TDD = \sum_{h=2}^H \left(\frac{I_h^2}{I_L \text{ demand}} \right)^{1/2} \times 100\% = \text{Total harmonic distortion}$$

Tabel 2.7. Standard Harmonisa Tegangan

Maximum Distortion (in %)	SYSTEM VOLTAGE		
	Below 69 kV	69 - 138 kV	> 138 kV
Individual Harmonic	3.0	1.5	1.0
Total Harmonic	5.0	2.5	1.5

(For conditions lasting more than one hour. Shorter periods increase limit by 50%)

BAB III METODE PENELITIAN

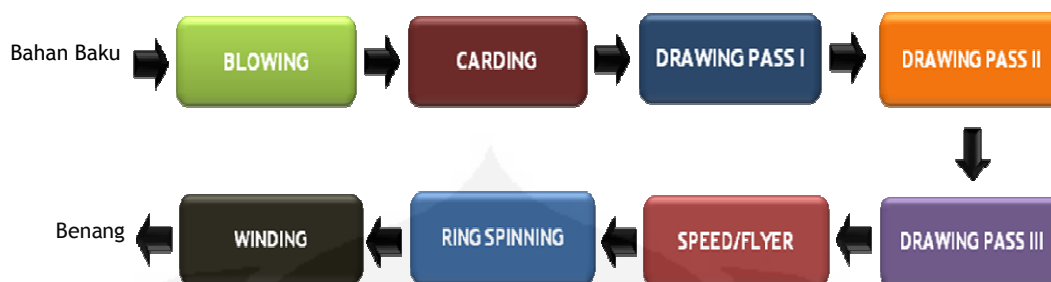
3.1. Deskripsi Pabrik

PT Industri Sandang Nusantara (Persero) atau disingkat PT ISN (Persero) merupakan salah satu perusahaan BUMN yang bergerak dibidang industri tekstil PT ISN (Persero) Unit Patal Cilacap yang bergerak dibidang tekstil dengan hasil produksinya berupa benang. PT ISN (Persero) Unit Patal Cilacap ini mulai beroperasi pada tahun 1956.

3.2. Lay Out Pabrik dan Proses Produksi.

Di dalam produksinya, pabrik didukung dengan beberapa mesin-mesin produksi, yakni: *blowing*, *carding*, *drawing passage I, II, dan III*, *speed/flyer*, *ring spinning*, dan *winder*.

Pada awal proses produksi, bahan baku masuk ke dalam mesin *blowing*, dimana di dalam proses tersebut bahan baku diubah menjadi bentuk *foil* yang digulung di dalam mesin *roll*. Setelah bahan baku diproses di mesin *blowing*, kemudian proses produksi di mesin *carding*. Di mesin ini, *foil* kapas dibagi menjadi beberapa bagian kemudian digulung di *cane*. Kemudian dilanjutkan ke dalam proses *drawing*, dimana di dalam proses ini terbagi dalam beberapa tahapan. Tahap awal dimulai dari *drawing I* (penarikan dan pengecilan ukuran benang), *unilap*, *combing* (pengaturan susunan benang yang sebelumnya), *drawing pass II, III*, dan *roving*. Selanjutnya masuk ke proses *ring spinning*, dimana dalam proses ini benang tergulung-gulung di *cone-cone* yang kecil dan yang terakhir masuk ke dalam proses *winding*, dimana di dalam proses tersebut terjadi penggabungan benang di *cone-cone* yang besar. Berikut adalah gambaran proses produksi.



Gambar 3.1. Diagram alir proses produksi.

Di dalam proses produksi, mesin-mesin produksi tersebut juga memerlukan peran serta mesin penunjang guna mendukung hasil produktivitasnya. Mesin-mesin penunjang tersebut adalah sistem air washer dan sistem kompresor. Semua mesin dan utilitas tersebut diperlukan untuk pengoperasian pabrik sehari-hari.

3.3. Pemanfaatan Energi Utama

Pada pabrik ini pemanfaatan energi utama adalah:

1. Mesin-mesin produksi, berupa mesin Blowing, Carding, Drawaing Pass I, Drawing Pass II, Drawing Pass III, Roving, Ring Spinning dan Winding.
2. Peralatan penghasil udara bertekanan (kompresor) terdiri dari beberapa kompresor, diantaranya: 3 (tiga) unit kompresor untuk masing-masing plant produksi (CP-1 dan CP-2) dan 1 (satu) unit kompresor yang melayani mesin blowing di CP-1 dan CP-2, serta untuk proses pembersihan di ring spinning dan AC sebagai kontrol.

3.4. Sumber Energi.

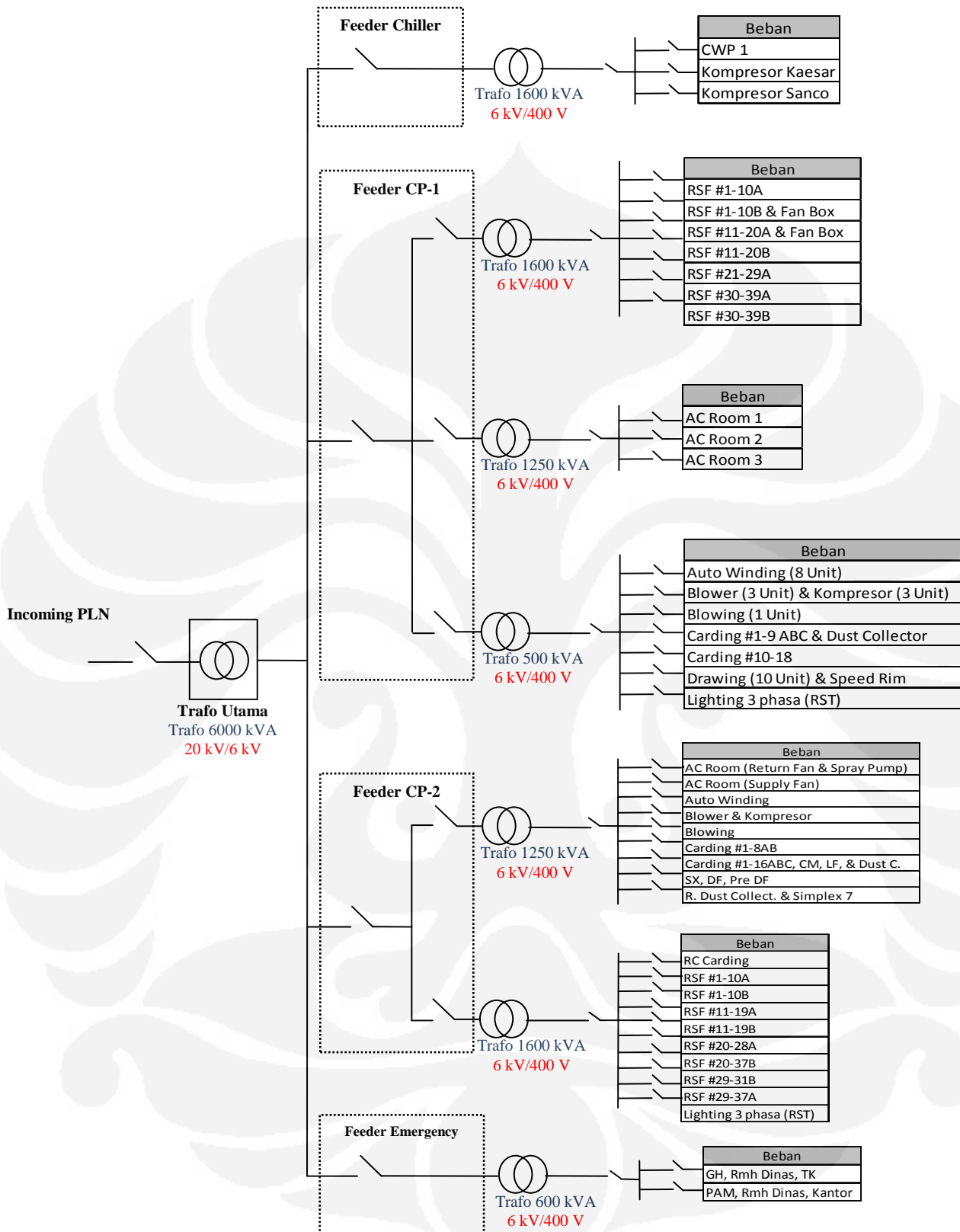
Energi yang digunakan di dalam pengoperasian pabrik sehari-hari adalah energi listrik yang disuply dari PLN. Terdapat 1 (satu) unit trafo utama dengan kapasitas 6000 kVA untuk menurunkan tegangan dari 20 kV menjadi 6 kV. Selain itu terdapat 7 (tujuh) unit trafo distribusi dengan kapasitas masing – masing 500 kVA, 600 kVA, 1250 kVA, dan 1600 kVA untuk menurunkan tegangan dari 6 kV mejadi 400/230 V. Berikut data dari trafo.

- Capacity : 6000 VA
 - Voltage Ratio : 20 KV / 6 KV
 - Total : 1 (SATU) UNIT
 - No.of phase : 3 PHASE
 - Primary Tap Voltages : 20 kV
 - Secondary Rated Voltage : 6000 V
 - Rated Frekuensi : 50 Hz
 - Winding Connection : $\Delta - Y$
 - Insulation Class Of Winding : A
-
- Capacity : 1600 VA
 - Voltage Ratio : 6 KV / 400 V
 - Total : 2 (DUA) UNIT
 - No.of phase : 3 PHASE
 - Primary Tap Voltages : 6 kV
 - Secondary Rated Voltage : 400 V
 - Rated Frekuensi : 50 Hz
 - Winding Connection : $\Delta - Y$
 - Insulation Class Of Winding : A
-
- Capacity : 1250 VA
 - Voltage Ratio : 6 KV / 400 V
 - Total : 2 (DUA) UNIT
 - No.of phase : 3 PHASE
 - Primary Tap Voltages : 6 kV
 - Secondary Rated Voltage : 400 V
 - Rated Frekuensi : 50 Hz
 - Winding Connection : $\Delta - Y$
 - Insulation Class Of Winding : A

- Capacity : 600 VA
 - Voltage Ratio : 6 KV / 230 V
 - Total : 1 (SATU) UNIT
 - No.of phase : 3 PHASE
 - Primary Tap Voltages : 6 kV
 - Secondary Rated Voltage : 230 V
 - Rated Frekuensi : 50 Hz
 - Winding Conection : $\Delta - Y$
 - Insulation Class Of Winding : A
-
- Capacity : 500 VA
 - Voltage Ratio : 6 KV / 400 V
 - Total : 1 (SATU) UNIT
 - No.of phase : 3 PHASE
 - Primary Tap Voltages : 6 kV
 - Secondary Rated Voltage : 400 V
 - Rated Frekuensi : 50 Hz
 - Winding Conection : $\Delta - Y$
 - Insulation Class Of Winding : A

3.5. Sistem Kelistrikan

Pola penggunaan energi pada pabrik didasarkan pada penggunaan energi total yang dikonsumsi setiap hari untuk pengoperasian pabrik. Daya total yang terpasang pabrik adalah 3985 kVA. dengan kapasitas trafo sebesar 6000 kVA yang terbagi dalam 4 (empat) *feeder*. Adapun kapasitas trafo yang terpasang dari setiap *feeder*-nya adalah sebagai berikut: *feeder* chiller terbagi menjadi 1 (satu) trafo dengan kapasitas 1600 kVA, *feeder* CP-1 terbagi menjadi 3 (tiga) trafo dengan kapasitas masing-masing trafo sebesar 1600 kVA, 1250 kVA, dan 500 kVA, *feeder* CP-2 terbagi menjadi 2 (dua) trafo dengan kapasitas masing-masing trafo sebesar 1250 kVA dan 1600 kVA, serta *feeder* emergency yang terbagi menjadi 1 (satu) trafo dengan kapasitas trafo sebesar 600 kVA. Adapun distribusi pemakaian energi listrik dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2. Distribusi energi listrik pabrik

3.6. Alat Ukur yang Digunakan.

Alat ukur yang digunakan penulis untuk melakukan pengukuran data di lapangan menggunakan dua buah alat ukur yaitu power analyzer dan clamp on. Power analyzer digunakan untuk mengukur pada Main Distribution Panel (MDP) dan clamp on digunakan untuk mengukur pada sub panel (SDP), motor listrik, dan beban listrik lainnya.



Gambar 3.3. Power Analyzer dan Clamp on

3.7. Prosedur Pengukuran

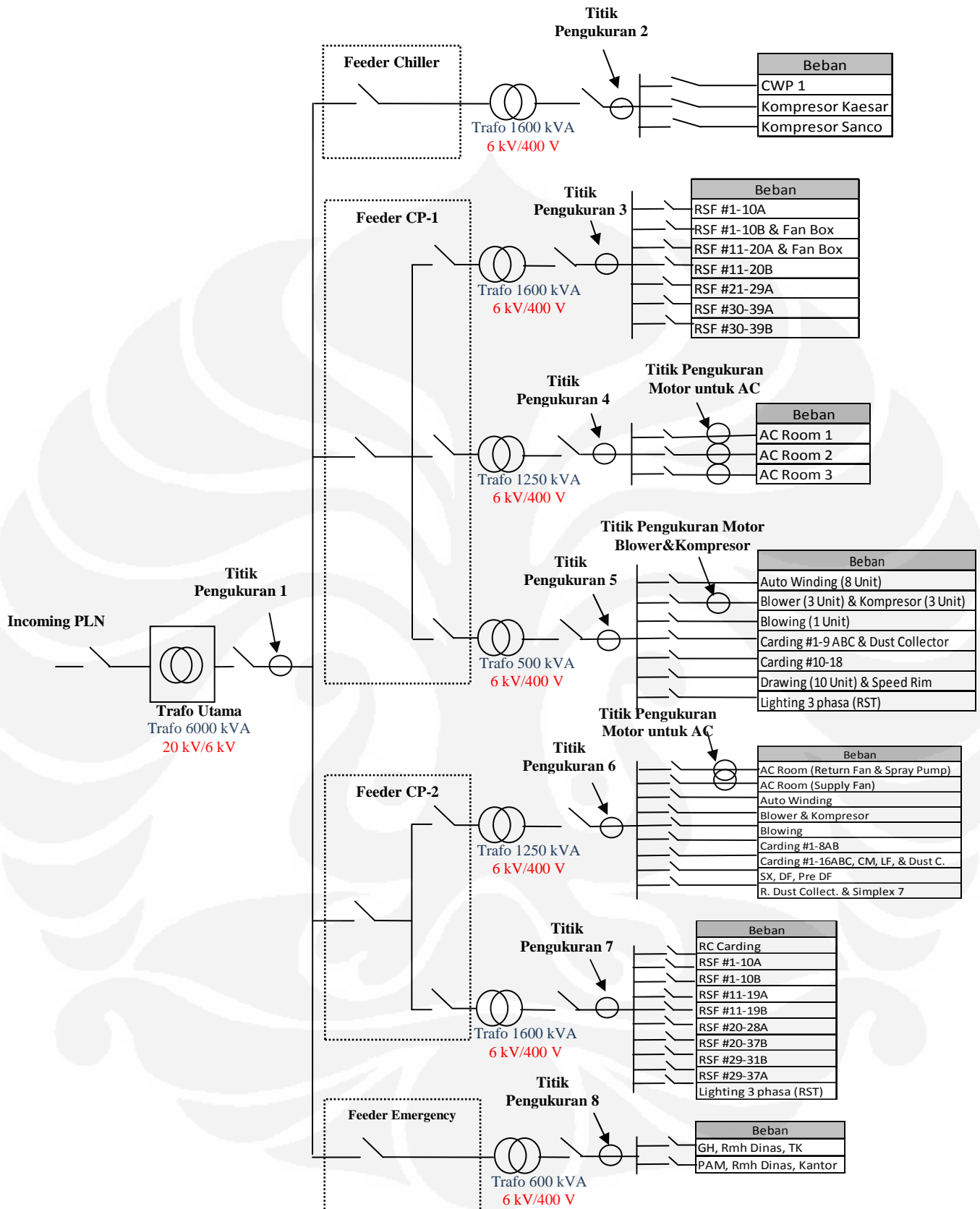
Adapun pengukuran atau pengambilan data dilakukan pada :

1. MDP (Main Distribution Panel), dimana pengukuran dilakukan selama 24 jam dalam jangka waktu 5 hari dengan menggunakan alat ukur Power analyzer. Data yang diambil adalah kurva harian tegangan, arus, daya, harmonic dan factor daya.
2. SDP (Sub Distribution Panel) , dimana pengukuran dilakukan beberapa menit (load survey) untuk mendapatkan *pie chart* penggunaan beban pada masing – masing panel. Dimana data yang diambil berupa tegangan, arus, daya, faktor daya, dan lain-lain.
3. Motor listrik dan beban listrik lainnya, dimana pengukuran dilakukan pada saat kondisi dan beban beroperasi normal dengan memperhatikan prosedur operasi yang dijalankan, meliputi kondisi kelistrikan (tegangan, arus, daya, faktor daya, dan lain-lain), serta parameter-parameter lainnya yang diperlukan untuk dianalisa.

3.8. Titik Pengukuran

Pengukuran dilakukan pada MDP (Main Distribution Panel), SDP (Sub Distribution Panel), Motor listrik dan beban listrik lainnya. Pada pengukuran MDP (Main Distribution Panel) letak pengukuran pada outgoing trafo utama. Untuk pengukuran SDP (Sub Distribution Panel) letak pengukuran pada outgoing masing – masing trafo distribusi. Dan untuk pengukuran motor listrik yaitu motor blower untuk auto winding dan motor untuk AC. Berikut gambar dari letak titik pengukuran.





Gambar 3.4. Letak Titik Pengukuran

Dari gambar diatas dapat dilihat, pada titik pengukuran 1 (satu) merupakan pengukuran main panel (MDP) yang diukur pada outgoing trafo utama. Hasil dari pengukuran tersebut didapat profil pemakaian energy listrik total pabrik. Untuk titik pengukuran 2 (dua) sampai dengan 8 (delapan) merupakan pengukuran sub panel (SDP) yang diukur pada outgoing masing-masing trafo distribusi. Untuk titik pengukuran motor listrik yaitu motor blower untuk auto winding dan motor untuk AC dilakukan pada sub panel AC yang terdiri dari motor return fan 1, return fan 2, spray pump, suplay fan.

3.8. Beban Listrik

Berdasarkan kebutuhannya beban listrik dibagi atas 2 (dua) jenis :

- **Beban Listrik Esensial :**

Beban yang mempunyai pengaruh langsung terhadap kesinambungan dengan proses produksi. Beban ini harus mendapat pelayanan listrik yang handal atau paling terakhir mengalami pemadaman listrik misalnya: Mesin produksi, kompresor, dan motor listrik.

- **Beban Listrik Tidak Esensial**

Beban yang tidak mempunyai pengaruh langsung terhadap kesinambungan dengan proses produksi, misalnya : Kebutuhan Perumahan.

3.8.1. Motor Listrik

Beberapa peralatan pengguna energi listrik di bebaskan oleh motor-motor sebagai penunjang proses produksi. Motor-motor listrik tersebut dibebaskan oleh peralatan kompresor, blower, dan sistem AC. Motor untuk blower terdapat pada area CP-1 dan CP-2 dengan jumlah masing-masing 3 (tiga) unit dengan kapasitas 30 kW. Untuk sistem AC atau pendingin untuk area CP-1, motor yang dilakukan pengukuran yaitu motor return fan 1 (satu), return fan 2 (dua) dengan kapasitas 22 kW, spray pump dengan kapasitas 18,5 kW, dan suplay pump dengan kapasitas 45 kW. Untuk area CP-2, motor yang dilakukan pengukuran yaitu motor return fan 1 (satu), return fan 2 (dua), return fan 3 (tiga) dengan kapasitas 45 kW, spray pump dengan kapasitas 30 kW, dan suplay pump dengan kapasitas 170 kW.

BAB IV

ANALISA DAN PERHITUNGAN

Pada bab ini akan disajikan mekanisme perhitungan dan analisa terhadap data yang telah di ukur di lapangan. Dari proses perhitungan dan analisa yang dilakukan kemudian akan didapatkan hasil berupa rekomendasi konservasi energi. Selanjutnya dilakukan proses analisa terhadap hasil rekomendasi untuk dikelompokkan berdasarkan kriteria tanpa biaya atau biaya rendah, biaya sedang dan biaya tinggi serta daftar prioritas rekomendasi hasil audit energi yang memerlukan studi kelayakan. Hasil analisa tersebut kemudian dibandingkan dengan teori yang dipelajari sebelumnya.

Analisa dan perhitungan seperti telah dijelaskan pada bab satu dibatasi hanya membahas sistem kelistrikan. Berikut masalah – masalah yang akan di bahas pada bab ini sebagai berikut:

1. Distribusi Pemanfaatan Energi.
2. Pemakaian Energi Bulanan.
3. Pola Penggunaan Energi
4. Kualitas Kelistrikan
5. Rekomendasi Penghematan Energi

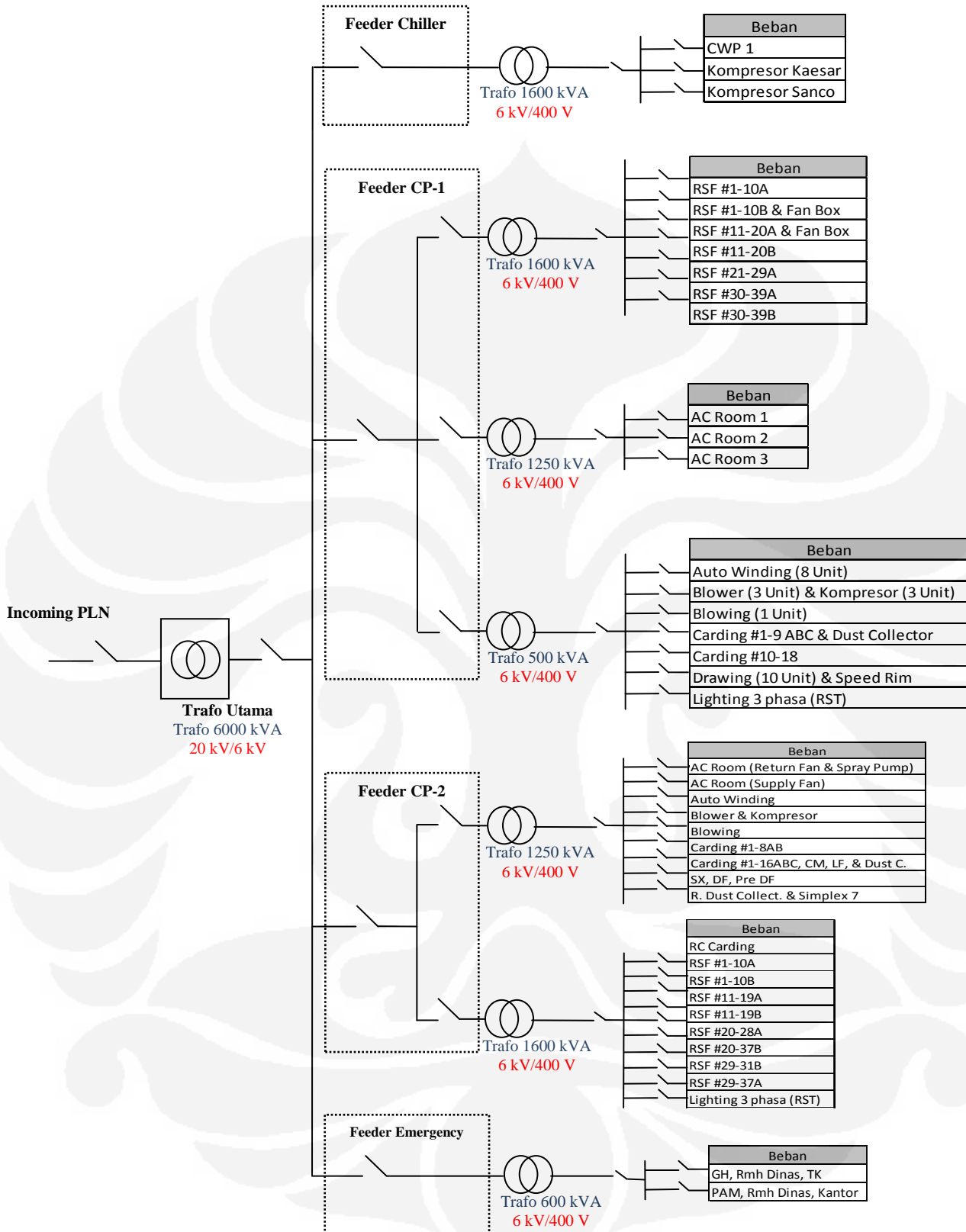
4.1 DISTRIBUSI PEMANFAATAN ENERGI

Pola penggunaan energi didasarkan pada penggunaan energi total yang dikonsumsi setiap hari untuk pengoperasian pabrik. Pola penggunaan energi didapat dari survey lapangan dengan melakukan pengukuran pada komponen – komponen listrik. Hal ini ditujukan untuk mengetahui potret penggunaan energi yang digunakan di pabrik tersebut. Selain itu, pola penggunaan energi ini bermanfaat untuk mencari potensi konservasi energi baik di setiap unit maupun di total pemakaian energinya. Data penggunaan energi per bulanan dan tahunan dan setiap prosesnya dapat dijadikan acuan untuk mencari peluang konservasi.

Dalam pengoperasian pabrik mengkonsumsi energi listrik yang bersumber dari PT PLN. Pabrik ini memiliki daya listrik yang terpasang dari PT PLN sebesar 3985 kVA dengan kapasitas trafo sebesar 6000 kVA yang terbagi dalam 4 (empat)

feeder. Masing-masing *feeder* ini mendistribusikan energi listrik ke setiap mesin sesuai dengan *line*-nya masing-masing. Adapun kapasitas trafo yang terpasang dari setiap *feeder*-nya adalah sebagai berikut: *feeder chiller* terbagi menjadi 1 (satu) trafo dengan kapasitas 1600 kVA, *feeder CP-1* terbagi menjadi 3 (tiga) trafo dengan kapasitas masing-masing trafo sebesar 1600 kVA, 1250 kVA, dan 500 kVA, *feeder CP-2* terbagi menjadi 2 (dua) trafo dengan kapasitas masing-masing trafo sebesar 1250 kVA dan 1600 kVA, serta *feeder emergency* yang terbagi menjadi 1 (satu) trafo dengan kapasitas trafo sebesar 600 kVA. Adapun distribusi pemakaian energi listrik dapat dilihat pada gambar 4.1.

Di dalam memenuhi kebutuhan energi listrik, pabrik membagi beberapa Unit *feeder* untuk mempermudah mengontrol pemakaian energi listrik guna mendukung proses produksi karena di dalam proses produksi tidak boleh terjadi pemadaman atau dip. Pemadaman dapat mengakibatkan kerugian proses produksi terutama pada saat mesin *running* yang semuanya itu berdampak pada kenaikan kerugian perusahaan. Energi yang dikonsumsi untuk melakukan proses produksi adalah listrik yang dikonsumsi dari PT PLN



Gambar 4.1. Distribusi energi listrik pabrik.

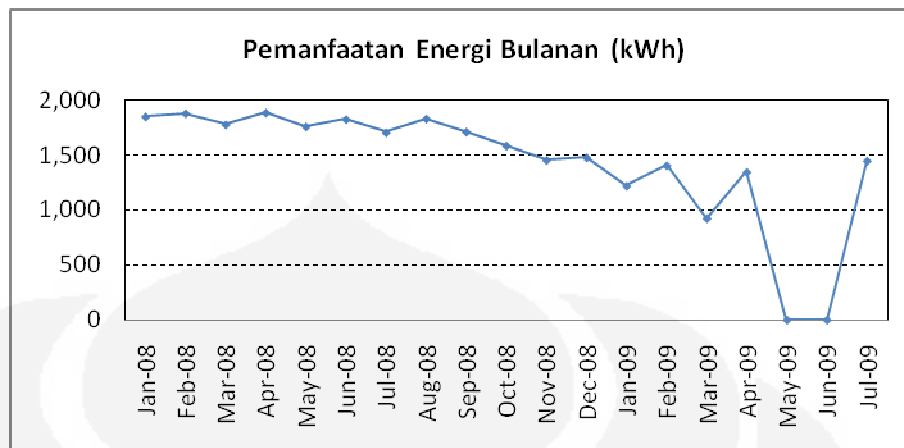
4.2 PEMAKAIAN ENERGI BULANAN.

Untuk data pemakaian energi bulanan diperoleh data pemakaian energi pada bulan Januari 2008 - Juli 2009. Gambaran pemakaian energi dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 4.1 Pemakaian Energi Bulanan

No.	Bulan	Energi (MWh)			D. Reaktif	F. Daya	Daya Max (WBP)	Biaya Listrik
		LWBP	WBP	Total	MVAR	Cosphi	kVA	Rp. Juta
1	Jan-08	1,542	306	1,848	576	0.955	2,939.5	1,018.23
2	Feb-08	1,566	312	1,878	606	0.952	3,249.5	1,043.18
3	Mar-08	1,488	288	1,776	552	0.955	-	996.93
4	Apr-08	1,572	312	1,884	594	0.954	2,939.5	1,036.67
5	May-08	1,464	294	1,758	528	0.958	2,879.5	971.63
6	Jun-08	1,518	306	1,824	564	0.955	2,879.5	1,005.93
7	Jul-08	1,428	276	1,704	528	0.955	2,879.5	940.08
8	Aug-08	1,530	300	1,830	600	0.950	2,819.5	1,004.16
9	Sep-08	1,422	288	1,710	564	0.950	2,759.5	944.44
10	Oct-08	1,320	264	1,584	522	0.950	2,819.5	880.36
11	Nov-08	1,212	240	1,452	516	0.942	2,639.5	806.56
12	Dec-08	1,236	240	1,476	528	0.942	2,759.5	820.64
13	Jan-09	1,014	204	1,218	444	0.940	2,699.5	796.04
14	Feb-09	1,170	234	1,404	504	0.941	2,579.5	766.16
15	Mar-09	768	156	924	336	0.940	2,399.5	565.06
16	Apr-09	1,116	228	1,344	402	0.958	2,459.5	848.67
17	May-09	-	-	-	-	-	-	802.25
18	Jun-09	-	-	-	-	-	-	608.25
19	Jul-09	1,206	240	1,446	474	0.950	2,459.5	805.85
Rata-rata		1,328	264	1,592	520	0.950	2,760.125	876.90

Catatan: Data bulan May-Jun 2009 tidak diperoleh data rekeningnya.



Gambar 4.2. Grafik Pemanfaatan energi listrik bulanan

Terlihat pemakaian energi listrik pada tahun 2009, trend pemakaiannya semakin rendah. Dimana pemakaian energy listrik terbesar pada bulan Juni 2008 sebesar 1.884 MWh dan pemakaian energy listrik terkecil pada bulan Maret 2009 sebesar 924 MWh. Pemakaian energi listrik rata-rata sebesar 1.592 MWh dengan biaya energi sebesar Rp. 876,90 juta.

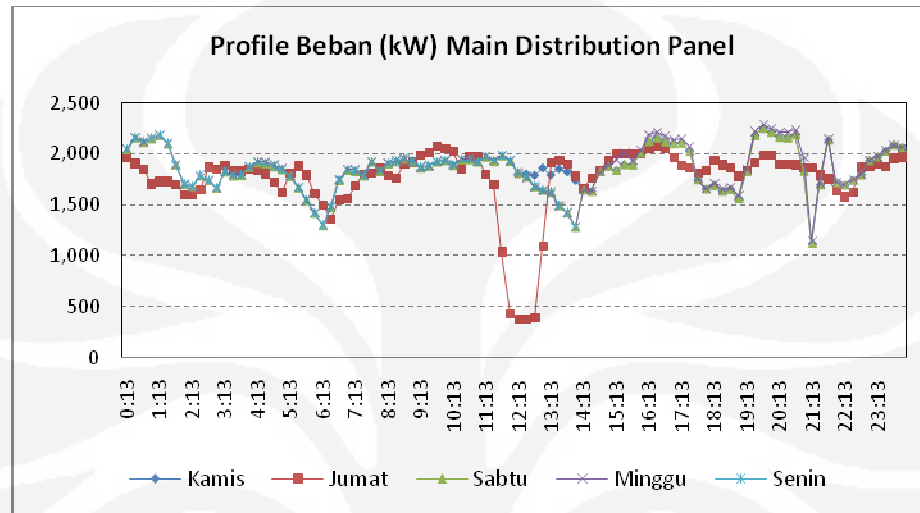
4.3 POLA PENGGUNAAN ENERGI

Pola penggunaan energi didapat dari pengukuran pada panel utama, panel distribusi, dan beban listrik. Hal ini ditujukan untuk mengetahui potret penggunaan energi yang digunakan di pabrik tersebut. Selain itu, pola penggunaan energi ini bermanfaat untuk mencari potensi konservasi energi baik di setiap unit maupun di total pemakaian energinya. Data penggunaan energi per bulanan dan tahunan dan setiap prosesnya dapat dijadikan acuan untuk mencari peluang konservasi.

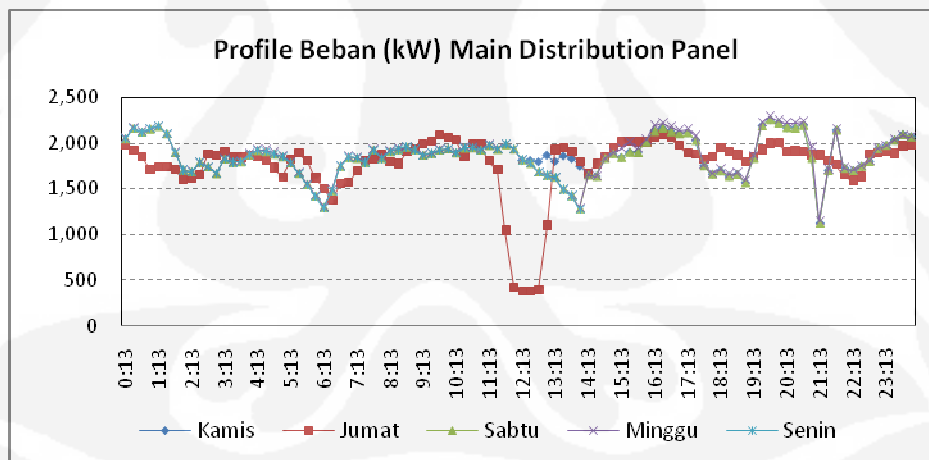
4.3.1. Pengukuran Panel Utama.

Hasil pengukuran kelistrikan di panel utama, untuk memperoleh profile penggunaan energi total pabrik selama lima hari. Dari profil energi total pabrik dapat diketahui total penggunaan energi dan pemakaian beban harian tertinggi. Pengukuran dilakukan pada panel keluaran trafo Utama 6000 kVA dengan tegangan 20/6 kV.

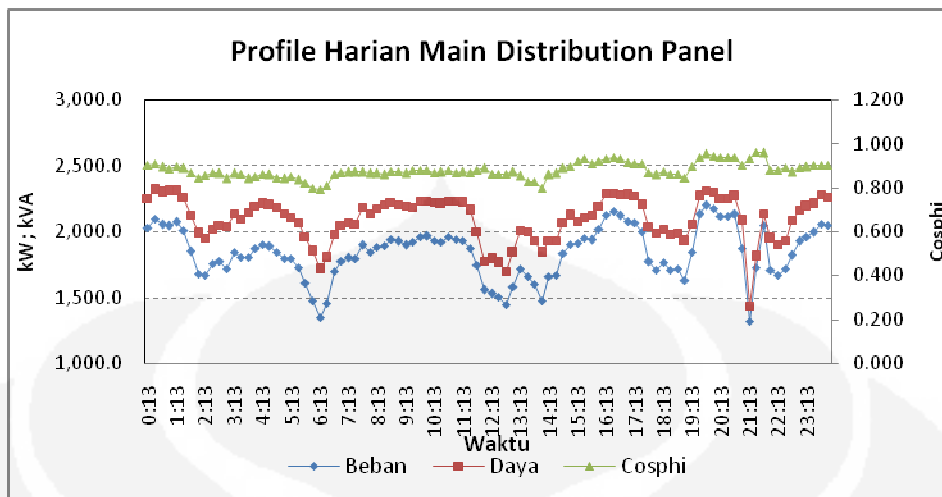
Energi listrik dikonsumsi oleh seluruh peralatan produksi, utilitas, serta pengguna energi listrik lainnya seperti rumah dinas, kantor, dan lain sebagainya. Berdasarkan hasil survey lapangan, diperoleh potret penggunaan energi di pabrik



Gambar 4.3. Profil beban per hari



Gambar 4.4. Profil daya per hari



Gambar 4.5. Profil penggunaan energi listrik total

.Berdasarkan gambar diatas, didapat profile pemakaian kelistrikan beban hariannya tertinggi sebesar 2.197,3 kW dengan rata-rata sebesar 1.793,4 kW. Daya hariannya yang tertinggi sebesar 2.314,3 kVA dengan rata-rata sebesar 2.083,8 kVA. Dan Cosphi hariannya yang tertinggi sebesar 0,961 dengan rata-rata sebesar 0,860.

Dari gambar diatas, dapat diperoleh potret penggunaan energi listrik total. Gambaran tersebut dapat memperlihatkan bahwa beban pemakaian listrik di dalam proses produksi cukup stabil, hanya beberapa terjadi fluktuasi. Pada kisaran jam 05.00-06.30; 11.00-16.00; serta 20.15-21.15 terjadi penurunan beban akibat berkurangnya proses produksi.

Untuk waktu beban puncak (WBP jam 17.00-22.00) proses produksi yang dilakukan masih cukup besar dengan beban listrik maksimal mencapai 2.197,3 kW dengan daya listrik sebesar 2.306,2 kVA dan cos phi 0,960. Sehingga untuk melakukan penggeseran beban atau poses produksi pada WBP tersebut tidak dapat dilakukan secara penuh dalam mencapai target produksi. Pada grafik di atas terlihat pada waktu 17:00-19:00, kelistrikannya terjadi penurunan mencapai 1.800 kW dengan daya 1990 kVA dan cos phi 0,87, hal ini dikarenakan kegiatan istirahat dan sholat magrib.

Untuk pemakaian listrik pada hari Kamis, Jumat, Sabtu, Minggu, dan Senin tidak ada perbedaan yang cukup besar, hanya pada hari jumat pada pukul 12.00 – 13.00 terjadi penurunan karena ibadah salat jumat

4.3.2. Pengukuran Sub Panel (SDP).

Pengukuran pada panel distribusi untuk memperoleh distribusi penggunaan energi total pabrik. Dengan melakukan pengukuran pada panel distribusi maka akan di dapat besarnya energi pada masing – masing panel. Sehingga dapat diketahui besarnya konsumsi beban, untuk konsumsi beban terbesar dan konsumsi beban terendah pada tiap panel. Hal tersebut untuk pemerataan distribusi penggunaan energy pada tiap panel.

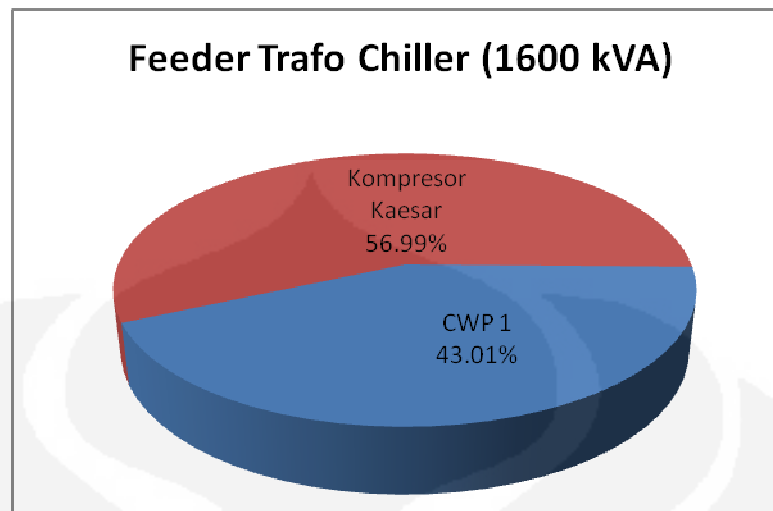
Pengukuran load survei yang dilakukan adalah pada panel distribusi listrik feeder, panel sub-distribusi trafo, dan panel distribusi listrik 400 volt serta mesin pendukung produksi seperti Blower Ms. Auto Winding. Panel distribusi utama terdiri 4 *feeder* yaitu feeder CP-1, CP-2, Chiller dan Emergency. Berikut masing – masing panel distribusi *feeder*.

4.3.2.1. Panel Distribusi Feeder Chiller (1600 kVA)

Feeder Chiller mendistribusikan energi listrik ke berbagai mesin penunjang dengan trafo 1600. kVA dengan tegangan kerja 6000/400 Volt, diantaranya: pompa air chiller (CWP), kompresor kaeser, dan kompresor Sanco. Pada saat pengukuran, ada beberapa unit mesin yang tidak beroperasi yakni kompresor Sanco. Dari hasil load survey pada *feeder* chiller diketahui persentase pemakaian energi listrik pada line tersebut. Pada *feeder* chiller pemakaian energi terbesar dikonsumsi oleh kompresor Kaeser. Persentase pemakaian energi pada *feeder* chiller dapat dilihat pada gambar berikut ini.

Tabel 4.2. Beban listrik pada feeder Chiller

Beban	Daya Trafo	Hasil Pengukuran		Cosphi	P (kW)
	(kVA)	Volt	Ampr		
CWP 1		408.91	35.55	0.80	20.17
Kompresor Kaesar		411.13	47.67	0.79	26.72



Gambar 4.6. Konsumsi energi listrik pada feeder chiller

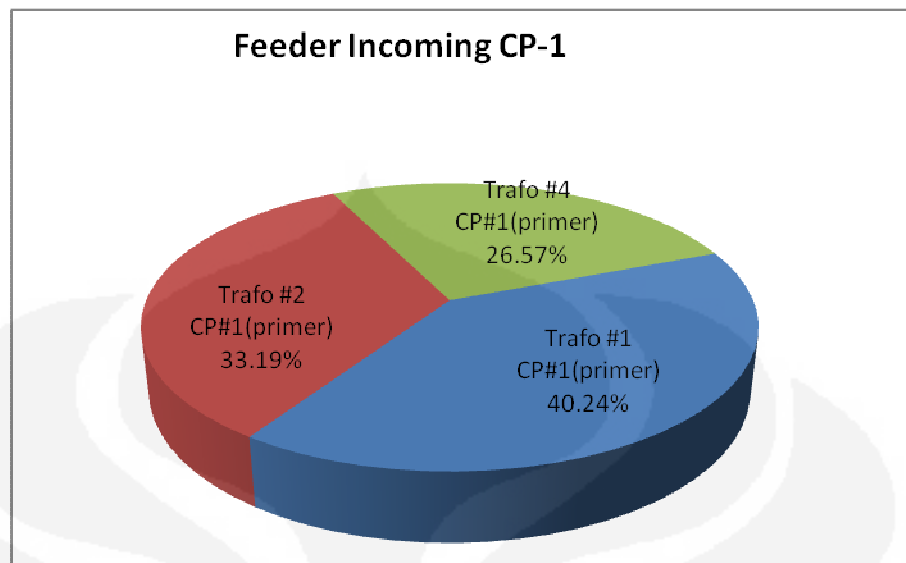
Terlihat hasil load survei yang dilakukan pada sub-beban trafo Chiller, beban kompresor Kaesar sebesar 26,72 kW (56,99%) dan beban CWP 1 sebesar 20,17 kW (43,01%). Dan hasil pengukuran pada kedua beban tersebut factor daya cukup baik yaitu mencapai 0,8.

4.3.2.2. Panel Distribusi Feeder CP-1

Feeder CP-1 terbagi menjadi 3 (tiga) unit trafo yang masing-masing mendistribusikan energi listrik ke berbagai mesin produksi dan penunjang di area CP-1. Beban energi listrik pada feeder CP-1 dikonsumsi untuk kebutuhan proses produksi di CP-1.

Tabel 4.3. Beban listrik pada feeder CP-1

Beban	Daya Trafo	Hasil Pengukuran		Cosphi	P (kW)
	(kVA)	Volt	Ampr		
Trafo 1 CP1	1600	400.61	1013.38	0.72	502.84
Trafo 2 CP1	1250	442.06	994.39	0.71	414.69
Trafo 4 CP1	500	402.30	483.22	0.99	331.97



Gambar 4.7. Konsumsi energi listrik pada feeder CP-1

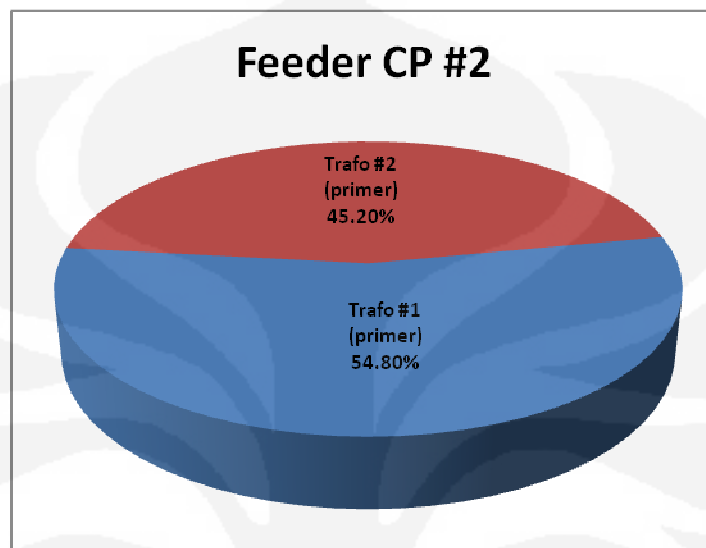
Dari hasil pengukuran load survei pada feeder CP-1 diperoleh bahwa beban energi listrik yang terbesar terjadi pada trafo 1 untuk mesin Ring Spinning Frame (RSF) sebesar 502,84 kW (40,24%). Sedangkan beban listrik lainnya trafo 2 untuk mesin produksi seperti Blowing, Auto Winding & Carding, bebannya sebesar 414,69 kW (33,19 %). Dan beban trafo 4 untuk mesin utilitas seperti sistem air washer (AC), penerangan, kantor dll., bebannya sebesar 331,97 kW (26,57%). Untuk beban Trafo 3 di switch ke trafo 4, sehingga trafo 3 tidak ada lagi beban energi listrik (kondisi off).

4.3.2.3. Panel Distribusi Feeder CP-2

Feeder CP-2 terbagi menjadi 2 (dua) trafo yang masing-masing mendistribusikan energi listrik ke berbagai mesin produksi dan penunjang di area CP-2. Beban energi listrik pada *feeder* CP-2 dikonsumsi untuk kebutuhan proses produksi di CP-2.

Tabel 4.4. Beban listrik pada feeder CP-2

Beban	Daya Trafo	Hasil Pengukuran		Cosphi	P (kW)
	(kVA)	Volt	Ampr		
Trafo 1 CP-2	1250	399.29	1016.73	0.72	502.84
Trafo 2 CP-2	1600	399.79	845.32	0.71	414.69



Gambar 4.8. Konsumsi energi listrik pada feeder CP#2

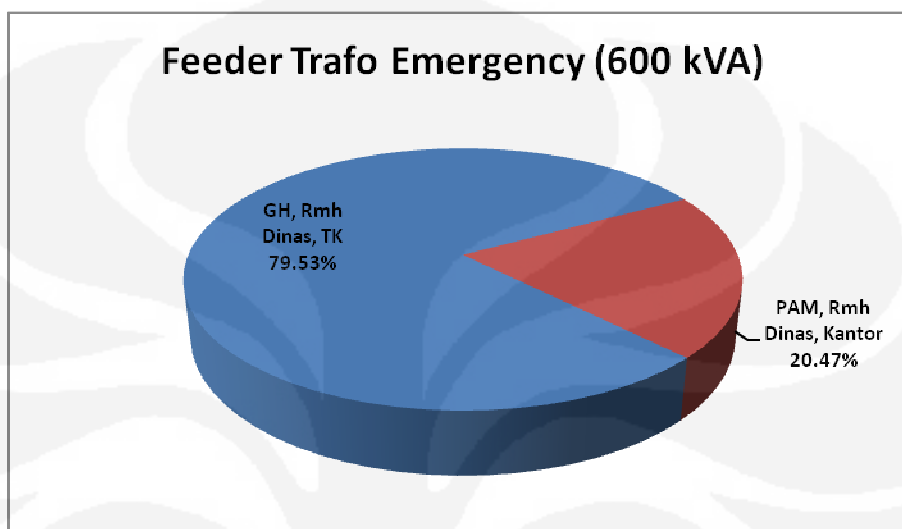
Dari hasil pengukuran pada feeder CP-2 diperoleh bahwa beban energi listrik yang besar terjadi pada trafo 1. Beban trafo 1 terdiri dari beban mesin-mesin produksi seperti Blower, Carding & Autowinding dan utilitas seperti AC room 4 pada area CP2. Sedangkan beban listrik lainnya pada trafo 2 untuk mesin RSF dan penerangan.

4.3.2.4. Panel Distribusi Feeder Emergency

Feeder emergency mendistribusikan energi listrik untuk keperluan non produksi seperti: perumahan, PDAM, kantor, dan lain sebagainya. Pada feeder emergency ini beban energi listrik yang besar di konsumsi oleh keperluan rumah dinas dan kantor sedangkan sisanya hanya untuk keperluan PDAM dan rumah dinas. Persentase pemakaian energi pada feeder emergency dapat dilihat pada gambar berikut ini.

Tabel 4.5. Beban listrik pada feeder Emergency

Beban	Hasil Pengukuran			P (kW)
	Volt	Ampr	Cosphi	
GH, Rmh Dinas, TK	228.9	42.4	0.706	11.84
PAM, Rmh Dinas, Kantor	228.4	9.3	0.812	3.05

Gambar 4.9. Konsumsi energi listrik pada *feeder Emergency*

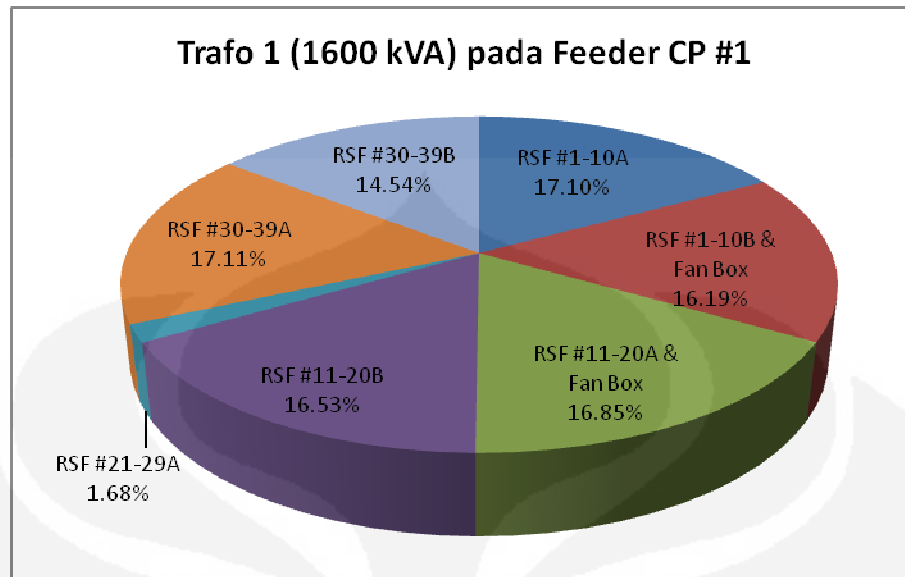
Terlihat hasil load survei pada siang hari diperoleh beban GH, rumah dinas dan TK merupakan beban terbesar yaitu 11,84 kW (79,53%) dan beban PAM, rumah dinas dan kantor sebesar 3,05 kW (20,47%).

4.3.2.5. Panel Sub-Distribusi Trafo 1 (1600 kVA) di feeder CP-1

Berikut ini adalah hasil load survey pada masing-masing trafo di Feeder CP-1 berdasarkan pembagian beban pada Trafo 1 (1600 kVA) di *feeder* CP-1, gambaran beban energi listriknya adalah sebagai berikut.

Tabel 4.6. Beban listrik pada Trafo 1 (1600 kVA) feeder CP-1

Beban	Hasil Pengukuran		Cosphi	P (kW)
	Volt	Ampr		
RSF #1-10A	397.70	180.05	0.69	86.01
RSF #1-10B & Fan Box	396.53	177.53	0.67	81.45
RSF #11-20A & Fan Box	398.47	180.28	0.68	84.75
RSF #11-20B	396.13	176.77	0.69	83.17
RSF #21-29A	396.10	18.01	0.70	8.47
RSF #30-39A	396.50	167.77	0.75	86.07
RSF #30-39B	396.46	153.73	0.69	73.17



Gambar 4.10. Konsumsi energi listrik pada trafo 1 di feeder CP-1

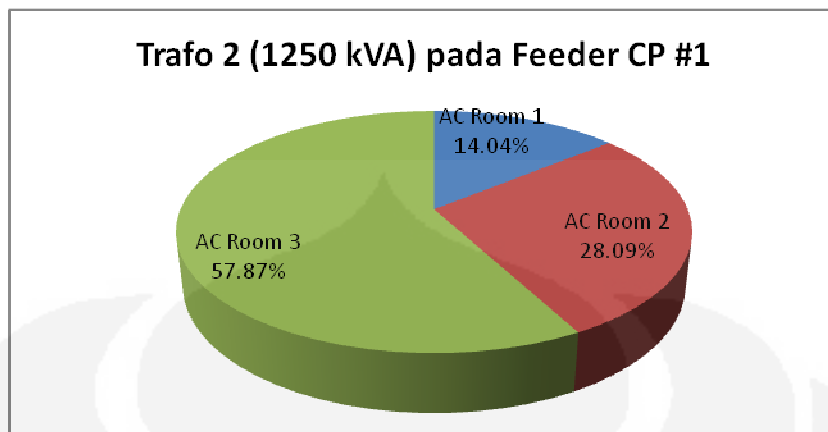
Dari gambaran pembebanan energi listrik tersebut, terlihat bahwa seluruh beban pada trafo 1 ini adalah dikonsumsi oleh mesin RSF (Ring Spinning Frame). Nilai distribusi beban energi listrik pada trafo 1 ini cukup sama, hanya saja pada RSF #21-29 A beban energy listriknya rendah. Hal ini disebabkan mesin RSF tersebut banyak yang tidak beroperasi.

4.3.2.6. Panel Sub-Distribusi Trafo 2 (1250 kVA) di feeder CP-1

Pembagian beban pada Trafo 2 (1250 kVA) di *feeder* CP-1, gambaran beban energi listriknya adalah sebagai berikut.

Tabel 4.7 Beban listrik pada Trafo 2 (1250 kVA) feeder CP-1

Beban	Hasil Pengukuran		Cosphi	P (kW)
	Volt	Ampr		
AC Room 1	413.12	30.57	0.73	16.05
AC Room 2	413.36	59.73	0.75	32.12
AC Room 3	412.76	136.72	0.67	66.19



Gambar 4.11. Konsumsi energi listrik pada trafo 2 di *feeder* CP-1

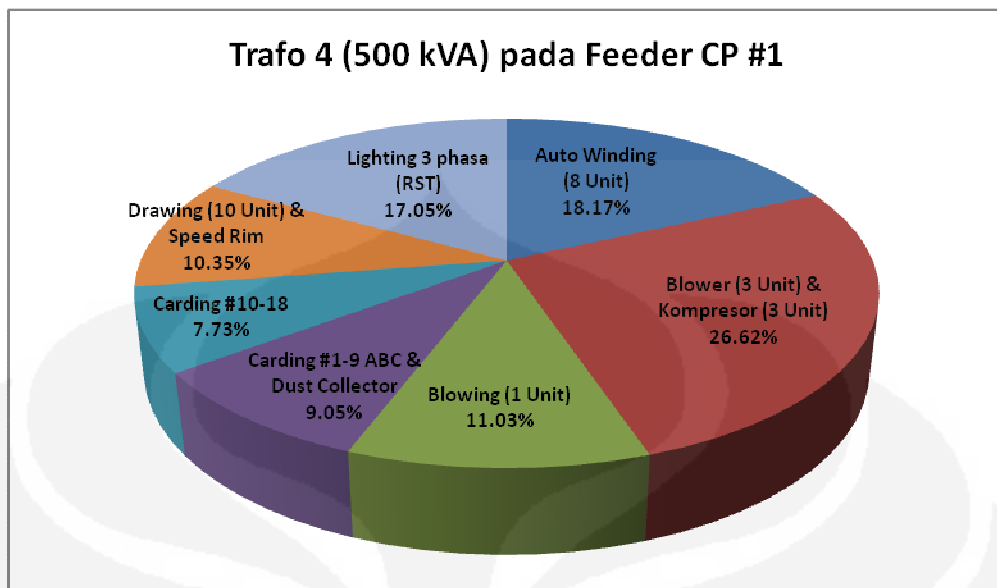
Pada trafo 2 di feeder CP-1, beban energi listrik terbesar dikonsumsi oleh AC Room 3. Hal ini dikarenakan sistem AC Room 3 semuanya beroperasi. Pada sistem air washer AC room 3, energi listrik dikonsumsi oleh 1 (satu) unit supply fan, 1 (satu) unit spray water pump, dan 2 (dua) unit return fan. Untuk sistem AC pada AC Room 2, pembebanan energi listrik hanya untuk 2 (dua) unit return fan. Sedangkan Untuk sistem AC pada AC Room 1, pembebanan energi listrik hanya untuk 1 (satu) unit return fan.

4.3.2.7. Panel sub-distribusi Trafo 4 (500 kVA) di feeder CP-1

Pembagian beban pada Trafo 4 (500 kVA) di *feeder* CP-1, gambaran beban energi listriknya adalah sebagai berikut.

Tabel 4.8. Beban listrik pada Trafo 4 (500 kVA) feeder CP-1

Beban	Hasil Pengukuran		Cosphi	P (kW)
	Volt	Ampr		
Auto Winding (8 Unit)	390.54	120.60	0.67	54.81
Blower (3 Unit) & Kompresor (3 Unit)	391.04	142.68	0.83	80.28
Blowing (1 Unit)	391.21	104.31	0.47	33.26
Carding #1-9 ABC & Dust Collector	391.13	53.97	0.75	27.30
Carding #10-18	390.92	50.21	0.69	23.32
Drawing (10 Unit) & Speed Rim	390.72	68.67	0.67	31.20
Lighting 3 phasa (RST)	389.59	234.26	0.98	51.43



Gambar 4.12. Konsumsi energi listrik pada trafo 4 di *feeder* CP-1

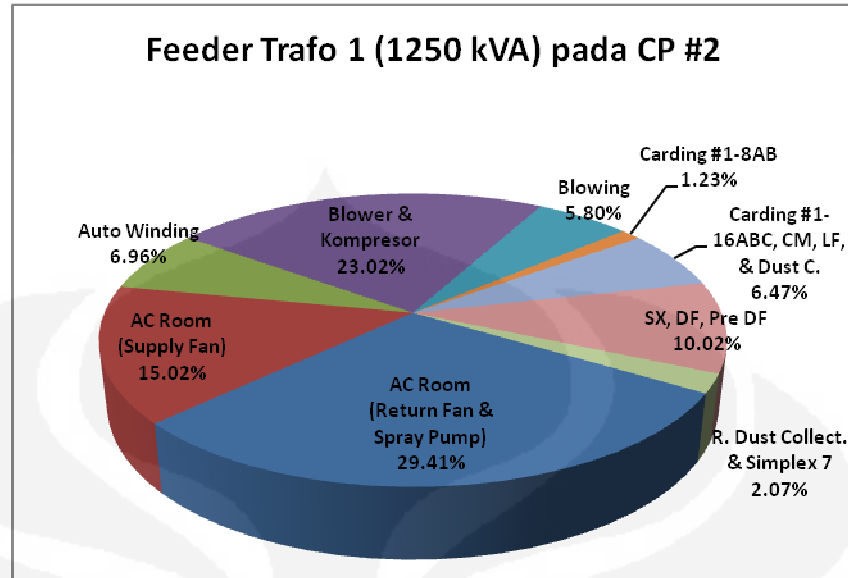
Pada trafo 4 di feeder CP-1, beban energi listrik terbesar dikonsumsi oleh blower dan kompresor. Mesin blower pada CP-1 ini beroperasi sebanyak 3 (tiga) unit dan mesin kompresor yang beroperasi hanya 1 (satu) unit dari 3 (tiga) unit kompresor. 2 (dua) kompresor lainnya pada kondisi rusak dan off.

4.3.2.8. Panel sub-distribusi Trafo 1 (1250 kVA) di feeder CP-2

Berikut ini adalah hasil load survei pada masing-masing trafo di Feeder CP-2 berdasarkan pembagian beban pada Trafo 1 (1250 kVA) di *feeder* CP-2, gambaran beban energi listriknya adalah sebagai berikut.

Tabel 4.9. Beban listrik pada Trafo 1 (1250 kVA) feeder CP-2

Beban	Hasil Pengukuran			P (kW)
	Volt	Ampr	Cosphi	
AC Room (Return Fan & Spray Pump)	384.4	268.7	0.818	146.1
AC Room (Supply Fan)	383.9	197.3	0.569	74.6
Auto Winding	383.6	91.9	0.555	34.56
Blower & Kompresor	384.3	203.6	0.838	114.33
Blowing	383.5	88.2	0.491	28.81
Carding #1-8AB	384.2	22.9	0.365	6.13
Carding #1-16ABC, CM, LF, & Dust C	383.8	89.4	0.559	32.15
SX, DF, Pre DF	383.1	99.9	0.692	49.77
R. Dust Collect. & Simplex 7	382.7	30.2	0.587	10.3



Gambar 4.13. Konsumsi energi listrik pada trafo 1 di *feeder* CP-2

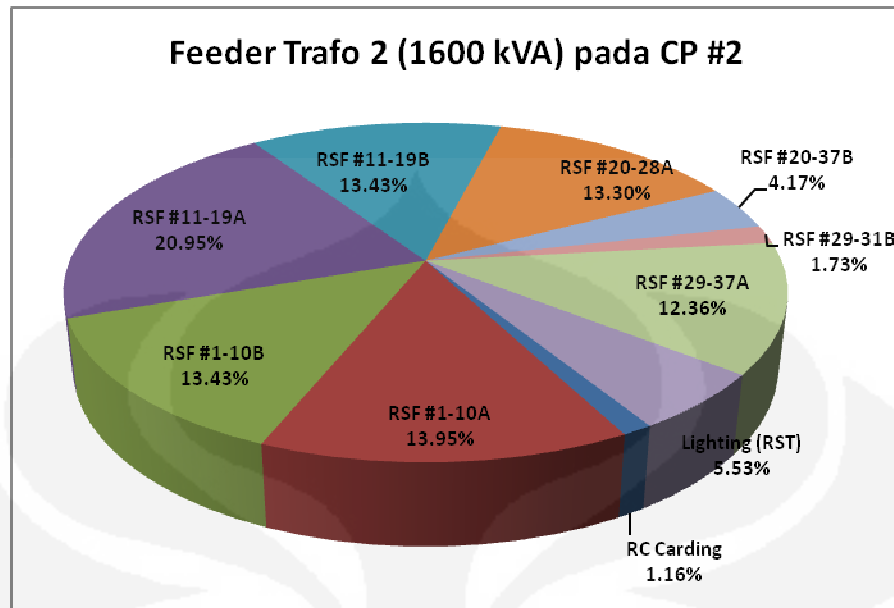
Dari gambaran pembebanan energi listrik tersebut, terlihat bahwa seluruh beban pada trafo 1 ini adalah mesin produksi dan AC room. Beban energi listrik pada trafo 1 ini banyak dipergunakan oleh mesin AC room. Hal ini disebabkan pada sistem air washer ini energi listrik dikonsumsi oleh beberapa peralatan diantaranya 1 (satu) unit supply fan, 1 (satu) unit spray water pump, dan 2 (dua) unit return fan.

4.3.2.9. Panel sub-distribusi Trafo 2 (1600 kVA) di *feeder* CP-2

Pembagian beban pada Trafo 2 (1600 kVA) di *feeder* CP-2, gambaran beban energi listriknya adalah sebagai berikut.

Tabel 4.10. Beban listrik pada Trafo 2 (1600 kVA) *feeder* CP-2

Beban	Hasil Pengukuran		Cosphi	P (kW)
	Volt	Ampr		
RSF #1-10A	395.65	135.93	0.71	66.47
RSF #1-10B	395.30	132.35	0.71	63.97
RSF #11-19B	395.30	132.35	0.71	63.97
RSF #20-28A	398.17	140.24	0.66	63.34
RSF #20-37B	397.78	43.34	0.67	19.86
RSF #29-31B	397.39	21.43	0.56	8.24
RSF #29-37A	398.54	123.37	0.69	58.90
Lighting (RST)	397.79	57.10	0.67	26.33

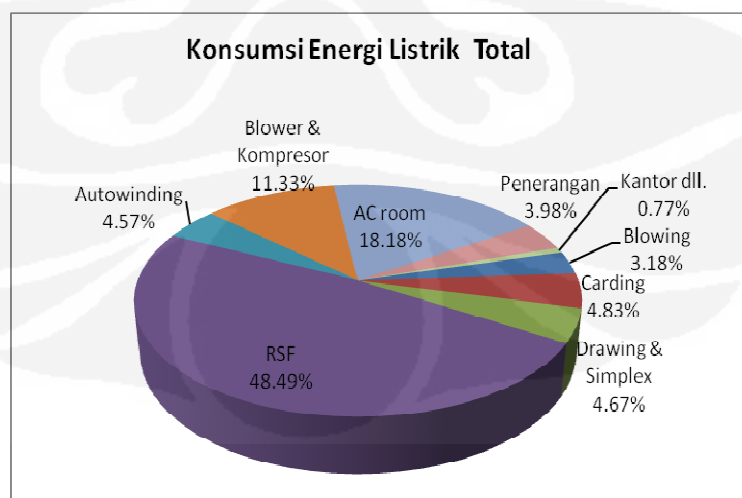


Gambar 4.14. Konsumsi energi listrik pada trafo 2 di *feeder* CP-2

Dari gambaran pembebanan energi listrik tersebut, terlihat bahwa seluruh beban pada trafo 2 ini adalah mesin RSF (Ring Spinning Frame), Mesin Carding, dan lighting. Nilai distribusi beban energi listrik untuk mesin RSF pada trafo 2 ini relatif cukup sama, hanya saja pada RSF #20-37B dan RSF #29-31B beban energi listriknya rendah. Hal ini disebabkan mesin RSF tersebut banyak yang tidak beroperasi. Sedangkan unit mesin carding juga banyak yang tidak beroperasi.

4.3.2.10. Penggunaan Energi Listrik Total.

Berikut adalah gambaran penggunaan energi listrik total pabrik.



Gambar 4.15. Konsumsi energi listrik total

Dari gambaran penggunaan energi listrik pada setiap *feeder* tersebut, dapat diklasifikasikan bahwa penggunaan energi listrik, beban energi listrik terbesar di konsumsi oleh mesin RSF dan mesin-mesin RSF ini merupakan inti dari proses produksi spinning. Mesin RSF mengkonsumsi energi listrik mencapai 947,6 kW (48,5%). Kemudian sistem AC yang bebannya cukup besar yaitu 355,2 kW (18,18%) dan sistem Blower & kompersor sebesar 221,3 kW (11,33%). Berdasarkan gambaran penggunaan energy tersebut, maka peluang konservasi lebih diutamakan pada mesin produksi dan sistem AC serta kompresor.

4.3.2.11. Pengukuran Motor Listrik

Beberapa peralatan pengguna energi listrik di bebaskan oleh motor-motor sebagai penunjang proses produksi. Maka perlu dilakukan pengukuran untuk mengetahui kinerja dari motor tersebut. Motor-motor listrik tersebut dibebaskan oleh peralatan kompresor, blower, dan sistem AC. Terdapat beberapa peralatan motor listrik yang perlu dilakukan perbaikan ataupun penggantian motor listrik yang *high efficiency*. Berikut adalah gambaran performan penggunaan energi listrik pada motor-motor listrik penunjang proses produksi.

Tabel 4.11. Hasil pengukuran pada motor-motor AC

No.	Lokasi	Beban Motor	Hasil Pengukuran			Daya (kW)		Load Beban
			Volt	Ampr	Cosphi	Aktual	Desain	%
1	Area Chiller	CWP 1	408.9	35.6	0.801	20.17	45	44.82
		Kompressor Kaesar	411.4	47.5	0.784	26.72	30	89.07
2	Area CP-1 room Comp.	Compressor 1	OFF				15	
		Compressor 2	OFF				15	
		Compressor 3	383.4	22.5	0.781	11.86	15	79.07
3	Area CP-2 room Comp.	Compressor 4	375.2	19.1	0.504	6.23	15	41.53
		Compressor 5	373.7	23.1	0.792	11.82	15	78.80
		Compressor 6	373.6	24.7	0.824	13.16	15	87.73
4	Area CP-1 room AC#1	Return Fan #1	411.9	30.3	0.76	16.44	22	74.73
		Return Fan 2	OFF				22	
		Spray Pump	OFF				18.5	
		Suplay Fan	OFF				45	
5	Area CP-1 room AC#2	Return Fan 1	412.6	29.9	0.767	16.37	22	74.41
		Return Fan 2	412	30.1	0.764	16.41	22	74.59
		Spray Pump	OFF				18.5	
		Suplay Fan	OFF				45	
6	Area CP-1 room AC#3	Return Fan 1	408.9	29.6	0.78	16.33	22	74.23
		Return Fan 2	408.6	30.1	0.784	16.68	22	75.82
		Spray Pump	408.9	28.7	0.828	16.82	18.5	90.92
		Suplay Fan	409.4	54.2	0.63	24.24	45	53.87
7	Area CP-2 room AC#4	Return Fan 1	384.4	74.6	0.817	40.56	45	90.13
		Return Fan 2	383.7	74.6	0.82	40.6	45	90.22
		Return Fan 3	383.4	73.5	0.817	39.86	45	88.58
		Spray Pump	383.6	46.7	0.851	26.39	30	87.97
		Suplay Fan	384	187.7	0.463	57.8	170	34.00

Tabel 4.12. Beban motor listrik Blower untuk Auto winding

No.	Lokasi	Beban Motor	Hasil Pengukuran			Daya (kW)		Load Beban
			Volt	Ampr	Cosphi	Aktual	Desain	%
1	Area CP-1 room Comp.	Blower #1	383	39.4	0.85	22.21	30	74.03
		Blower #2	383	29.4	0.769	15.03	30	50.10
		Blower #3	383.1	39.7	0.855	22.51	30	75.03
2	Area CP-2 room Comp.	Blower #1	373.3	45.2	0.866	25.28	30	84.27
		Blower #2	375.3	42.2	0.852	23.37	30	77.90
		Blower #3	375.2	31.3	0.831	16.92	30	56.40

Dari gambaran performance motor listrik tersebut, terdapat beberapa motor listrik yang pemakaiannya (load beban) hanya sekitar 50%. Dimana motor beroperasi paling efisien pada beban 75%. Tetapi, jika beban turun dibawah 50%, efisiensi akan turun dengan cepat dan memiliki dampak pada faktor dayanya.

4.3.2.12. Pembebanan Trafo.

4.3.2.12.1. Load (Pembebanan) Trafo.

Pada pabrik terdapat 1 (satu) trafo utama dan 7 (tujuh) unit trafo distribusi untuk kegiatan operasional pabrik. Dari pengukuran di lapangan di dapat data daya input dan daya output untuk menghitung pembebanan trafo. Besarnya pembebanan trafo di hitung untuk mengetahui persen kapasitas trafo yang terpakai. Sehingga di dapat peluang penghematan dari perhitungan tersebut.

4.3.2.12.1.1. Load pada Trafo Utama.

Didapat data pengukuran sebagai berikut.

Tabel 4.13. Hasil pengukuran pada trafo utama

Beban	Daya Trafo	Hasil Pengukuran		Cosphi	P (kW)
	(kVA)	Volt	Ampr		
Trafo Utama	6000	6140.30	198.82	0.88	2083.80

Contoh perhitungan :

Pembebanan trafo dapat diketahui dengan rumus ;

$$\text{Faktor Pembebanan} = \frac{\text{Daya}_{\text{pengukuran}}}{\text{Daya}_{\text{name plate}}} \times 100\%$$

Didapat Load trafo utama sebesar :

$$\text{Faktor Pembebanan} = \frac{\text{Daya}_{\text{pengukuran}}}{\text{Daya}_{\text{name plate}}} \times 100\% = \frac{2.423,02}{6000} \times 100\% = 40,38\%$$

Untuk pembebanan trafo utama dari segi efektifitas pemakaian kurang karena pembebanan masih cukup kecil sebesar 40,38% dari kapasitas trafo tersebut. Maka dapat dilakukan pergantian trafo dengan kapasitas yang lebih mendekati daya dari pengukuran sebesar 4000 kVA, maka didapat load sebesar:

$$\text{Faktor Pembebanan} = \frac{\text{Daya}_{\text{pengukuran}}}{\text{Daya}_{\text{name plate}}} \times 100\% = \frac{2.423,02}{4000} \times 100\% = 51,07\%$$

Estimasi penjualan trafo 6000 kVA sebesar Rp. 1.559.950.000, dan harga trafo 4000 kVA sebesar Rp.950.000.000 maka didapat keuntungan sebesar Rp. 609.950.000.

4.3.2.12.1.2. Load Trafo pada Masing-Masing Feeder.

Didapat data pengukuran trafo *feeder* CP-1 sebagai berikut.

Tabel 4.14. Hasil pengukuran pada trafo 1

Beban	Daya Trafo	Hasil Pengukuran		Cosphi	P (kW)
	(kVA)	Volt	Ampr		
Trafo 1 CP1	1600	400.61	1013.38	0.72	502.84

Contoh perhitungan :

Pembebanan trafo dapat diketahui dengan rumus ;

$$\text{Faktor Pembebanan} = \frac{\text{Daya}_{\text{pengukuran}}}{\text{Daya}_{\text{name plate}}} \times 100\%$$

Didapat Load trafo1 (satu) sebesar :

$$\text{Faktor Pembebanan} = \frac{\text{Daya}_{\text{pengukuran}}}{\text{Daya}_{\text{name plate}}} \times 100\% = \frac{702,29}{1600} \times 100\% = 43,42\%$$

Berikut tabel perhitungan masing – masing trafo, sebagai berikut.

Tabel 4.15. Hasil perhitungan pada masing – masing trafo

Beban	Daya	Hasil Pengukuran			P (kW)	P(KVA)	Load TR
	Trafo	Volt	Ampr	Cosphi			%
	(kVA)						
Incoming CP- 1							
Trafo 1 CP1	1600	400.61	1013.38	0.72	502.84	702.33	43.90
Trafo 2 CP1	1250	442.06	994.39	0.71	414.69	584.64	46.77
Trafo 4 CP1	500	402.30	483.22	0.99	331.97	336.31	67.26
Incoming CP- 2							
Trafo 1 CP2	1250	399.29	1016.73	0.716	502.8	702.23	56.18
Trafo 2 CP2	1600	399.79	845.32	0.709	414.7	584.91	36.56
Trafo 3 CP2 Emerge	600	229.46	55.23	0.999	49.6	49.65	8.27
Trafo Chiller							
Trafo Chiller	1600	446.13	131.50	0.624	63.34	101.51	6.24

Dari hasil perhitungan pada table, rata – rata pembebanan trafo berkisar antara nilai 40 – 60%. Hal ini menunjukkan pembebanan trafo dari segi pemakaian kurang efektif karena pembebanan masih cukup kecil

dari kapasitas trafo tersebut. Untuk trafo chiller pada saat pengukuran banyak utilitas listrik seperti kompresor dan chiller tidak beroperasi.

4.4. KUALITAS KELISTRIKAN

Sistem kelistrikan yang baik dapat mempengaruhi produktivitas dari suatu produksi pabrik. Dari hasil pengukuran di lapangan di dapat beberapa data yang menunjukkan kualitas system kelistrikan pada pabrik.

4.4.1. Efisiensi Trafo.

Selain dicari load atau pembebanan trafo, perlu diketahui nilai dari efisiensi trafo tersebut. Karena adanya kerugian pada transformator, maka efisiensi transformator tidak dapat mencapai 100%, efisiensinya berada pada kisaran 96 hingga 99 persen. Berikut perhitungan untuk masing – masing trafo distribusi.

4.4.1.1. Efisiensi Trafo pada Feeder CP1.

Didapat data pengukuran sebagai berikut.

Tabel 4.16. Hasil pengukuran pada trafo satu

Beban	Daya Trafo	Hasil Pengukuran		Cosphi	P (kW)
	(kVA)	Volt	Ampr		
Trafo 1 CP1	1600	400.61	1013.38	0.72	502.84

Contoh perhitungan :

Efisiensi transformator dapat diketahui dengan rumus :

$$\eta = \frac{P_{\text{primer}} - R_{\text{ugi}_{\text{inti}}} - R_{\text{ugi}_{\text{lilitan}}}}{P_{\text{primer}}} \times 100\%$$

Rugi Inti = 3.300 Watt = 3,3 kW (table spesifikasi trafo distribusi SPLN).

Rugi Lilitan = 18,1 kW (table spesifikasi trafo distribusi SPLN).

Dicari perbandingan untuk rugi lilitan :

Didapat arus full load untuk trafo 1600 kVA:

$$I = \frac{P_{\text{primer}}}{1.73 \times V \times \cos \phi} = \frac{1600}{1.73 \times 400,61 \times 0.716} = 3,224 \text{ kA} = 3224,32 \text{ A}$$

Maka didapat perbandingan arus trafo:

$$\frac{\text{load}}{\text{fullload}} = \frac{1013,38A}{3224,32A} = \frac{1}{3,18}$$

Berdasarkan rumus daya $P = I^2 \times R$, maka $P = \left(\frac{1}{3,18} \times I\right)^2 \times R$

Didapat $P = \frac{1}{10,112} \times I^2 \times R$, maka dapat dicari rugi lilitan:

$$\text{Rugi lilitan} = \frac{18.100}{10,112} = 1789,95W = 1,78 \text{ kW.}$$

Maka efisiensi untuk trafo 1 CP 1 :

$$\eta = \frac{P_{\text{primer}} - \text{Rugi}_{\text{inti}} - \text{Rugi}_{\text{lilitan}}}{P_{\text{primer}}} \times 100\% = \frac{502,84 - (3,3 + 1,78)}{502,84} =$$

98,99%

Berikut tabel perhitungan masing – masing trafo, sebagai berikut.

Tabel 4.17. Hasil perhitungan pada masing – masing trafo

Beban	Daya	Hasil Pengukuran			P (kW)	Load TR %	Eff Trafo %
	Trafo	Volt	Ampr	Cosphi			
	(kVA)						
Incoming CP- 1							
Trafo 1 CP1	1600	400.61	1013.38	0.72	502.84	43.90	98,96
Trafo 2 CP1	1250	442.06	994.39	0.71	414.69	46.77	98,67
Trafo 4 CP1	500	402.30	483.22	0.99	331.97	67.26	99,32
Incoming CP- 2							
Trafo 1 CP2	1250	399.29	1016.73	0.716	502.8	56.18	98,97
Trafo 2 CP2	1600	399.79	845.32	0.709	414.7	36.56	98,38
Trafo 3 CP2 Emergency	600	229.46	55.23	0.999	49.6	8.27	-
Trafo Chiller							
Trafo Chiller	1600	446.13	131.50	0.624	63.34	6.24	-

Berdasarkan pada perhitungan pada tabel di atas, efisiensi masing – masing trafo berkisar antara 98% sampai 99%. Dapat dilihat pada tabel semakin besar pembebanan trafo maka efisiensi trafo semakin besar. Untuk trafo emergency dan trafo chiller load trafo sangat kecil karena banyak utilitas yang off.

4.4.2. Total Harmonik Demand (THD) Volt & Ampere Panel Utama

Dari hasil pengukuran pada panel utama di dapat grafik pengukuran THD. Berikut tabel pengukuran THD tegangan dan arus dari panel utama.

Tabel 4.18. Hasil pengukuran THD arus dari panel utama.

Fasa	I nominal	I_{sc} / I_L	Range	Pengukuran (%)	Standard h (%)	ket
THD Arus Total						
R	184.85	52.06	50-100	20.15	12	tidak sesuai
S	207.77	46.31	20-50	18.24	8	tidak sesuai
T	203.84	47.21	20-50	20.42	8	tidak sesuai

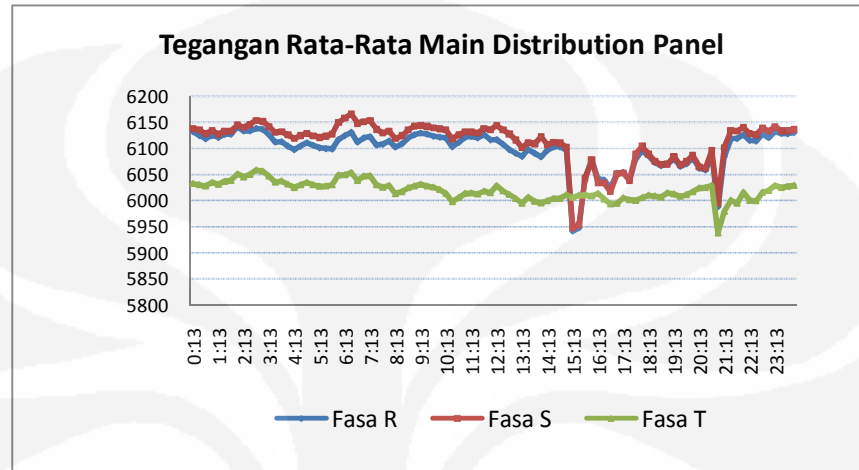
Tabel 4.19. Hasil pengukuran THD tegangan dari panel utama

Fasa	VTHD Pengukuran (%)	VTHD	Keterangan
		Standard (%)	
R	7.5	5	tidak sesuai
S	8	5	tidak sesuai
T	8.8	5	tidak sesuai

Dari grafik di atas terlihat bahwa untuk THD tegangan masing-masing fasa mencapai 8,8% dan THD arus mencapai 35%. Nilai tersebut sudah di atas dari standar yang telah ditentukan. Dari besarnya harmonik tersebut dapat menyebabkan kerusakan-kerusakan pada peralatan elektronik, termasuk balast elektronik, dan menimbulkan kerugian energi dimana menyebabkan arus dari system kelistrikan menjadi naik. Perlu adanya pemasangan filter harmonic untuk meredam besarnya nilai THD tegangan dan arus tersebut.

4.4.3. Unbalance Tegangan

Dari pengukuran pada panel utama (MDP) di dapat hasil pengukuran tegangan. Berikut gambar grafik tegangan dari panel utama, sebagai berikut.



Gambar 4.16. Grafik tegangan panel utama

Dimana pada pengukuran didapat tegangan rata – rata pada masing – masing fasa sebagai berikut.

- Fasa R : 6,09 KV
- Fasa S : 6,12 KV
- Fasa T : 6,02 KV

Sehingga di dapat tegangan rata – rata untuk panel incoming PLN (panel utama) sebesar 6,07 KV. Dari pengukuran di atas dapat di hitung besarnya un-balance tegangan sebagai berikut.

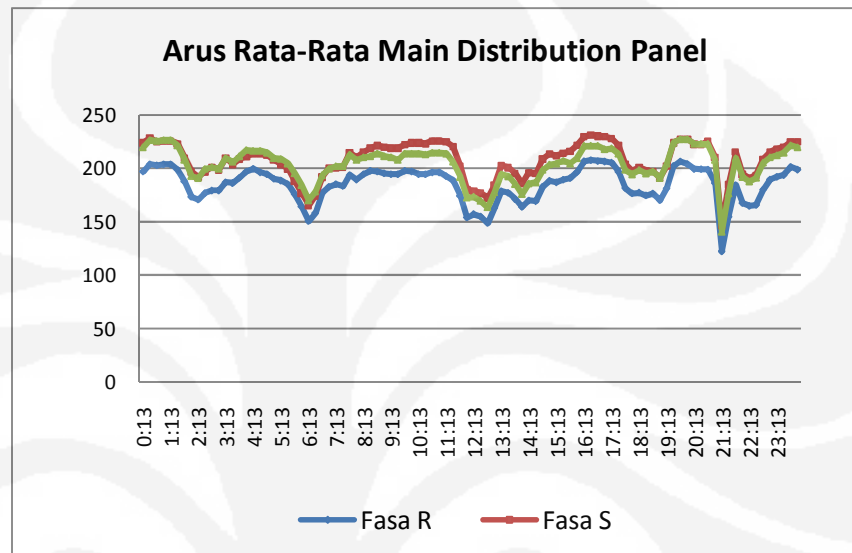
$$\%Teg\ Unbalance = \frac{teg\ max - teg\ rata - rata}{teg\ rata - rata_1} \times 100\% = \dots\dots(10)$$

$$\%Teg\ Unbalance = \frac{6,12 - 6,07}{6,07} \times 100\% = 0,82\%$$

Didapat dari perhitungan unbalance voltage antar setiap fasa sebesar 0,82%. Berdasarkan NEMA (MGI) part 14.35, unbalance voltage tidak lebih dari 1%. Maka unbalance voltage pada panel utama (MDP) masih baik karena masih di bawah dari 1%.

4.4.4. Unbalance Load (Current)

Dari pengukuran pada panel utama (MDP) di dapat hasil pengukuran arus. Berikut gambar grafik arus dari panel utama, sebagai berikut.



Gambar 4.17. Grafik arus panel utama

. Dimana pada pengukuran didapat arus rata – rata pada masing – masing fasa sebagai berikut.

- Fasa R : 184,85 Ampere.
- Fasa S : 207,77 Ampere
- Fasa T : 203,84 Ampere.

Sehingga di dapat arus rata – rata untuk panel incoming PLN (panel utama) sebesar 198,82 Ampere. Dengan menggunakan persamaan koefisien a, b, dan c dapat diketahui besarnya, dimana besarnya arus fasa dalam keadaan seimbang (I) sama dengan besarnya arus rata-rata (Irata).

- $I_R = a \cdot I$ maka : $a = \frac{I_R}{I} = \frac{184,85}{198,82} = 0,929$
- $I_S = b \cdot I$ maka : $b = \frac{I_S}{I} = \frac{207,77}{198,82} = 1,045$
- $I_T = c \cdot I$ maka : $c = \frac{I_T}{I} = \frac{203,84}{198,82} = 1,025$

Pada keadaan seimbang, besarnya koefisien a, b dan c adalah 1. Dengan demikian, rata-rata ketidakseimbangan beban (dalam %) adalah :

$$= \frac{\{ |a - 1| + |b - 1| + |c - 1| \}}{3} \times 100 \%$$

$$= \frac{\{ |0,929 - 1| + |1,045 - 1| + |1,025 - 1| \}}{3} \times 100 \% = 16,67\%$$

Dari perhitungan di atas, terlihat bahwa ketidakseimbangan arus cukup besar. Berdasarkan dengan standart ANSI diperoleh ketidakseimbangan rata-rata sekitar 10%. Hal ini disebabkan karena penggunaan beban pada pabrik yang tidak merata antar fasa.

4.4.5. Jatuh Tegangan

Jatuh tegangan dapat menyebabkan kinerja mesin dan motor listrik menjadi tidak maksimal. Berikut perhitungan jatuh tegangan pada tiap feeder.

Contoh Perhitungan:

Tabel 4.20. Hasil pengukuran tegangan

Beban	Volt	Amp.	ΔV	$\% \Delta V$
RSF #1-10A	397.7	180.0	2.9	0.73

Berdasarkan pengukuran, besarnya tegangan sekunder trafo 1 (satu) : 400,61 Volt , maka besarnya drop tegangan yang sampai ke beban 1 (RSF#1-10A).

$$\Delta V = 400,61 - 397,7 = 2,9 \text{ V}$$

Maka persentase susut tegangan dari penghantar trafo ke beban :

$$\% \text{Drop Teg.} = \frac{(V_1 - V_2)}{V_1} \times 100\% = \frac{(400,61 - 397,7)}{400,61} \times 100\% = 0,72\%$$

4.4.5.1. Jatuh Tegangan pada Feeder CP 1

Berikut tabel hasil perhitungan drop tegangan pada feeder CP 1.

Tabel 4.21. Hasil perhitungan susut tegangan

Trafo 1	Teg Sekunder Trafo	Teg Beban	ΔV	$\% \Delta V$
Beban	Volt	Volt		
RSF #1-10A	400.61	397.7	2.9	0.73
RSF #1-10B & Fan Box	400.61	396.5	4.1	1.02
RSF #11-20A & Fan Box	400.61	398.5	2.1	0.53
RSF #11-20B	400.61	396.1	4.5	1.12
RSF #21-29A	400.61	396.1	4.5	1.12
RSF #30-39A	400.61	396.5	4.1	1.03
RSF #30-39B	400.61	396.5	4.2	1.04
Trafo 2				
AC Room 1	442.6	413.1	29.5	6.66
AC Room 2	442.6	413.4	29.2	6.61
AC Room 3	442.6	412.8	29.8	6.74
Trafo 4				
Auto Winding (8 Unit)	402.3	390.5	11.8	2.92
Blower (3 Unit) & Kompresor	402.3	391.0	11.3	2.80
Blowing (1 Unit)	402.3	391.2	11.1	2.76
Carding #1-9 ABC & Dust Collector	402.3	391.1	11.2	2.78
Carding #10-18	402.3	390.9	11.4	2.83
Drawing (10 Unit) & Speed	402.3	390.7	11.6	2.88
Lighting 3 phasa (RST)	402.3	389.6	12.7	3.16

Dari hasil perhitungan dapat dilihat untuk sistem distribusi listrik pada trafo 1 (satu) dan 4 (empat) masih baik, karena persentase jatuh tegangan yang terjadi berkisar antara 0,72% - 3,16%, sedangkan persentase jatuh tegangan tertinggi yang masih dapat dikatakan baik adalah 5 %. (PUIIL 2000 4.2.3.1). Untuk trafo 2 (dua) nilai jatuh tegangan berkisar antara 6,66% – 6,74%. Nilai tersebut sudah melebihi batas nilai

jatuh tegangan tertinggi yang masih dapat dikatakan baik sebesar 5 %. Dari data pengukuran didapat nilai tegangan pada beban trafo 2 (dua) sebesar 412 Volt – 413 Volt. Hal tersebut tidak sesuai dengan tegangan standar yang diijinkan sebesar 342 Volt – 399 Volt (IEE 241).

4.4.5.2. Jatuh Tegangan pada Feeder CP 2

Berikut tabel hasil perhitungan drop tegangan pada feeder CP 2.

Tabel 4.22. Hasil perhitungan susut tegangan

Trafo 1	Teg Sekunder Trafo	Teg Beban	ΔV	$\% \Delta V$
Beban	Volt	Volt		
AC Room (Return Fan & Spr	399.29	384.4	14.9	3.74
AC Room (Supply Fan)	399.29	383.9	15.4	3.86
Auto Winding	399.29	383.6	15.7	3.93
Blower & Kompresor	399.29	384.3	15.0	3.75
Blowing	399.29	383.5	15.8	3.96
Carding #1-8AB	399.29	384.2	15.1	3.79
Carding #1-16ABC, CM, LF, &	399.29	383.8	15.5	3.87
SX, DF, Pre DF	399.29	383.1	16.2	4.05
R. Dust Collect. & Simplex 7	399.29	382.7	16.6	4.15
Trafo 2				
RC Carding	399.79	398.3	1.5	0.37
RSF #1-10A	399.79	395.7	4.1	1.03
RSF #1-10B	399.79	395.3	4.5	1.12
RSF #11-19A	399.79	396.7	3.1	0.76
RSF #11-19B	399.79	395.3	4.5	1.12
RSF #20-28A	399.79	398.2	1.6	0.40
RSF #20-37B	399.79	389.2	10.6	2.64
RSF #29-31B	399.79	397.4	2.4	0.60
RSF #29-37A	399.79	398.5	1.2	0.31
Lighting 3 phasa (RST)	399.79	397.8	2.0	0.50

Dari hasil perhitungan dapat dilihat untuk sistem distribusi listrik pada feeder CP 2 masih baik, karena persentase jatuh tegangan yang terjadi berkisar antara 0,37% - 4,15%, sedangkan persentase jatuh tegangan tertinggi yang masih dapat dikatakan baik adalah 5 %. (PUIL 2000 4.2.3.1).

4.4.5.3. Jatuh Tegangan pada Feeder Trafo

Berikut tabel hasil perhitungan drop tegangan pada feeder chiller.

Tabel 4.23. Hasil perhitungan susut tegangan

Trafo 1	Teg Sekunder Trafo	Teg Beban	ΔV	$\% \Delta V$
Beban	Volt	Volt		
CWP 1	446.13	408.9	37.2	8.34
Kompresor Kaesar	446.13	411.4	34.7	7.78
Kompresor Sanco	Off			

Dari hasil tabel di atas dapat dilihat bahwa nilai jatuh tegangan berkisar antara 7,78% dan 8,34%. Nilai tersebut sudah melebihi dari batas yang telah ditentukan 5 % (PUIL 2000 4.2.3.1). Dari data pengukuran didapat nilai tegangan pada beban sebesar 408 Volt – 411 Volt. Hal tersebut tidak sesuai dengan tegangan standar yang diijinkan sebesar 342 Volt – 399 Volt (IEE 241).

4.4.5.4. Jatuh Tegangan pada Feeder Emergency

Berikut tabel hasil perhitungan drop tegangan pada feeder emergency.

Tabel 4.24. Hasil perhitungan susut tegangan

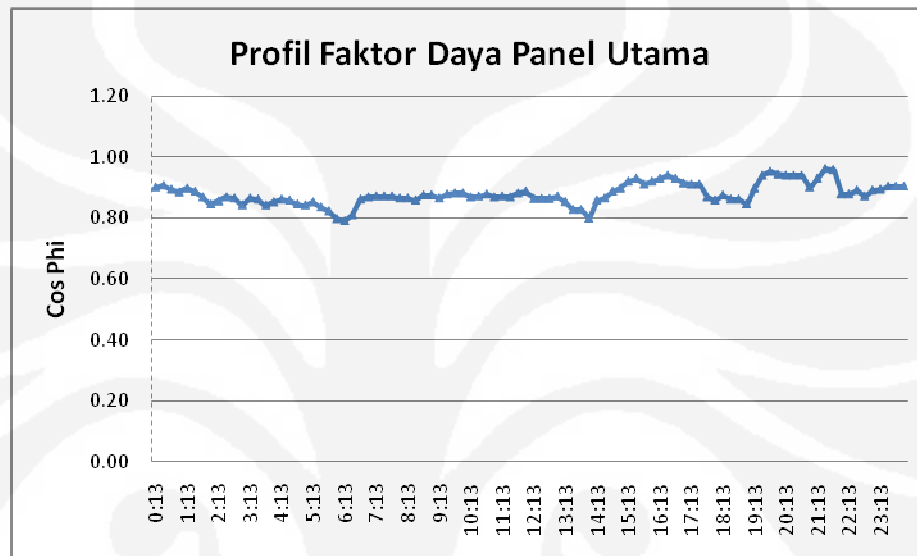
Trafo 1	Teg Sekunder Trafo	Teg Beban	ΔV	$\% \Delta V$
SDP	Volt	Volt		
GH, Rmh Dinas, TK	229.46	228.9	0.56	0.24
PAM, Rmh Dinas, Kantor	229.46	228.4	1.06	0.46

Dari hasil perhitungan dapat dilihat untuk sistem distribusi listrik pada feeder emergency masih baik, karena persentase jatuh tegangan yang terjadi berkisar antara 0,24% dan 0,46%, sedangkan persentase jatuh tegangan tertinggi yang masih dapat dikatakan baik adalah 5 %. (PUIL 2000 4.2.3.1).

4.4.6. Faktor Daya.

Pengukuran faktor daya dilakukan pada panel utama dan beban. Pengukuran pada titik tersebut dilakukan untuk mengetahui apakah besarnya faktor daya sudah merata dari panel utama sampai beban. Berikut hasil pengukuran pada masing – masing panel sebagai berikut.

4.4.6.1. Faktor Daya pada Panel Utama



Gambar 4.18. Profil faktor daya

Berdasarkan gambar di atas, nilai cos phi rata - rata harian pada panel utama sebesar 0,88. Nilai tersebut masih di atas batas yang diizinkan sebesar 0,85. Dengan nilai cos phi tersebut pabrik tidak terkena denda dari PLN.

4.4.6.2. Faktor Daya pada Feeder CP 1

Berikut hasil pengukuran faktor daya pada feeder CP 1 sebagai berikut.

Tabel 4.25. Hasil pengukuran Factor Daya

Trafo 1 CP 1 Beban	Hasil Pengukuran		P (kW)	Cosphi	Standar Cosphi	Ket
	Volt	Ampr				
RSF #1-10A	397.70	180.05	86.01	0.69	0.85	tidak sesuai
RSF #1-10B & Fan Box	396.53	177.53	81.45	0.67	0.85	tidak sesuai
RSF #11-20A & Fan Box	398.47	180.28	84.75	0.68	0.85	tidak sesuai
RSF #11-20B	396.13	176.77	83.17	0.69	0.85	tidak sesuai
RSF #21-29A	396.10	18.01	8.47	0.70	0.85	tidak sesuai
RSF #30-39A	396.50	167.77	86.07	0.75	0.85	tidak sesuai
RSF #30-39B	396.46	153.73	73.17	0.69	0.85	tidak sesuai
Trafo 2 CP 1						
AC Room 1	413.12	30.58	16.06	0.73	0.85	tidak sesuai
AC Room 2	413.36	59.74	32.12	0.75	0.85	tidak sesuai
AC Room 3	412.76	136.73	66.19	0.68	0.85	tidak sesuai
Trafo 4 CP 1						
Auto Winding (8 Unit)	390.54	120.60	54.81	0.67	0.85	tidak sesuai
Blower (3 Unit) & Kompresor	391.04	142.68	80.28	0.85	0.85	sesuai
Blowing (1 Unit)	391.21	104.31	33.26	0.47	0.85	tidak sesuai
Carding #1-9 ABC & Dust	391.13	53.97	27.30	0.75	0.85	tidak sesuai
Carding #10-18	390.92	50.21	23.32	0.69	0.85	tidak sesuai
Drawing (10 Unit) & Speeder	390.72	68.67	31.20	0.67	0.85	tidak sesuai
Lighting 3 phasa (RST)	389.59	234.26	51.43	0.98	0.85	sesuai

Berdasarkan dari tabel di atas, dimana dapat diketahui pada feeder CP 1 terdapat banyak unit mesin yang nilai cosphinya masih rendah di bawah dari standar cos phi yaitu sebesar 0,85. Nilai cos phi yang rendah mengakibatkan arus yang dibutuhkan oleh mesin tersebut lebih besar dari load yang dibutuhkan.

4.4.6.3. Faktor Daya pada Feeder CP 2.

Berikut hasil pengukuran faktor daya pada feeder CP 2 sebagai berikut.

Tabel 4.26. Hasil pengukuran Factor Daya

Trafo 1 CP 2 Beban	Hasil Pengukuran		P (kW)	Cosphi	Standar Cosphi	Ket
	Volt	Ampr				
AC Room (Return Fan & Spray Pump)	384.38	268.65	146.10	0.85	0.85	sesuai
AC Room (Supply Fan)	383.88	197.25	74.60	0.57	0.85	tidak sesuai
Auto Winding	383.58	91.88	34.56	0.56	0.85	tidak sesuai
Blower & Kompresor	384.33	203.63	114.33	0.84	0.85	tidak sesuai
Blowing	383.46	88.17	28.81	0.49	0.85	tidak sesuai
Carding #1-8AB	384.17	22.93	6.13	0.36	0.85	tidak sesuai
Carding #1-16ABC, CM, LF, & Dust C.	383.83	89.44	32.15	0.56	0.85	tidak sesuai
SX, DF, Pre DF	383.13	99.93	49.77	0.69	0.85	tidak sesuai
R. Dust Collect. & Simplex 7	382.72	30.17	10.28	0.59	0.85	tidak sesuai
Trafo 2 CP 2						
RC Carding	398.30	10.32	5.55	0.78	0.85	tidak sesuai
RSF #1-10A	395.65	135.93	66.47	0.71	0.85	tidak sesuai
RSF #1-10B	395.30	132.35	63.97	0.71	0.85	tidak sesuai
RSF #11-19A	396.74	198.57	99.79	0.73	0.85	tidak sesuai
RSF #11-19B	395.30	132.35	63.97	0.71	0.85	tidak sesuai
RSF #20-28A	398.17	140.24	63.34	0.66	0.85	tidak sesuai
RSF #20-37B	397.78	43.34	19.86	0.67	0.85	tidak sesuai
RSF #29-31B	397.39	21.43	8.24	0.56	0.85	tidak sesuai
RSF #29-37A	398.54	123.37	58.90	0.69	0.85	tidak sesuai
Lighting (RST)	397.79	57.10	26.33	0.67	0.85	tidak sesuai
Trafo Emergency						
GH, Rmh Dinas, TK	228.95	42.36	11.84	0.71	0.85	tidak sesuai
PAM, Rmh Dinas, Kantor	228.38	9.33	3.05	0.85	0.85	sesuai

Berdasarkan dari tabel di atas, dimana dapat diketahui pada feeder CP 2 terdapat banyak unit mesin yang nilai cosphinya masih rendah di bawah dari standar cos phi yaitu sebesar 0,85. Nilai cos phi yang rendah mengakibatkan arus yang dibutuhkan oleh mesin tersebut lebih besar dari load yang dibutuhkan.

4.5. REKOMENDASI PENGHEMATAN ENERGI

Dari hasil observasi dan pengukuran di lapangan serta analisis dari data yang diperoleh, terdapat beberapa peluang penghematan energi yang dapat dilakukan. Peluang penghematan dapat dilakukan dengan cara perbaikan, men-stop mesin-mesin yang tidak perlu beroperasi ataupun implementasi peralatan pengguna energy yang baru.

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis yang dilakukan, maka dengan demikian dapat diperoleh beberapa potensi penghematan energi. Berikut adalah potensi penghematan energi yang dapat dilakukan.

4.5.1. Optimalisasi Daya Terpasang

Dari hasil pengamatan terhadap pembebanan energi listrik pada pabrik, diperoleh bahwa daya listrik berkisar antara 1500-2500 kVA. Sementara daya listrik terpasang sebesar 3985 kVA. Dengan pemakaian beban listrik yang masih jauh di bawah kapasitas daya langganan tersebut, maka kerugian-kerugian energi listrik agar memenuhi 350 jam nyala setiap bulannya terus dialami pabrik. Dimana jika pemakaian di bawah 350 jam maka pelanggan industri akan kena tarif Rp 69.326 per KVA.^[14]

Untuk memenuhi kebutuhan pengoperasian, pabrik hanya mampu memakai daya secara maksimal hingga kisaran 2300 kVA. Beban puncak tersebut masih jauh lebih rendah dari kapasitas daya langganan. Oleh karena itu, disarankan untuk menurunkan kapasitas daya langganan. Berikut estimasi perhitungan penghematan biaya rekening listrik jika dilakukan penurunan daya listrik terpasang.

Data Kelistrikan :

Daya terpasang PLN	:	3985 kVA
Daya aktual (hasil pengukuran)	:	2314,32 kVA

Dari data di atas dapat di hitung biaya beban per bulan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Daya terpasang} \times \text{harga per kVA} &= 3985 \text{ kVA} \times \text{Rp. } 29.500 \\ &= \text{Rp. } 117.557.500 \end{aligned}$$

Untuk melakukan penurunan daya terpasang harus diperhitungkan space daya untuk rencana penambahan beban untuk masa yang akan datang. Berdasarkan pengkuran selama satu minggu pola pembebanan tidak mengalami perubahan yang besar dan berdasarkan info tidak akan ada penambahan beban untuk masa yang akan datang, maka penulis memperkirakan pemasangan daya terpasang baru sebagai berikut.

- Penurunan Daya yang baru	:	2855 kVA (rencana)
- Selisih daya yang baru	:	541 kVA

Untuk biaya pemasangan dapat di hitung sebagai berikut.

Biaya pemasangan per-KVA (baru) :

Biaya UJL (Uang Jaminan Langganan) baru : Rp. 112.000 / kVA

Total perhitungan biaya yang baru : Rp. 112.000 / kVA

Sehingga perhitungan daya baru sebagai berikut.

Perhitungan daya baru = Rp. 112.000 x 2855 kVA

= Rp. 319.760.000

Biaya investasi yang dibutuhkan sebesar Rp. 319.760.000

Dari hasil pemasangan daya baru di dapat biaya beban per bulan sebagai berikut.

Daya terpasang x harga per kVA = 2855 kVA x Rp. 29.500

= Rp. 84.222.500

Maka di dapat penghematan sebesar = Daya beban lama – Daya beban baru

= Rp. 117.557.500 - Rp. 84.222.500

= Rp. 33.335.000 / bulan

= Rp. 400 juta / tahun.

Dari hasil perhitungan di atas, setelah penurunan daya terpasang di dapat biaya panghematan yang diperoleh dengan melihat biaya beban yang turun dari Rp.117.558.500 menjadi Rp.84.222.500 dan biaya investasi atau biaya yang harus

dikeluarkan dengan merubah daya yang baru sebesar Rp. 319.760.000 atau payback periode sekitar 1,2 tahun. Selain memperoleh biaya beban yang rendah, industri juga akan mengurangi mengoperasikan mesin-mesin tidak menghasilkan produksi untuk memenuhi operasi di atas 350 jam nyala.

4.5.2. Pemasangan Filter Harmonic dan Kapasitor Bank

Berdasarkan pengukuran di dapat pengukuran THD tegangan rata - rata masing-masing phasa mencapai 8,8% dan THD arus rata - rata mencapai 20%. Nilai tersebut sudah di atas dari standar yang telah ditentukan. Pada pengukuran faktor daya di dapat cos phi rata – rata sebesar 0,88. Nilai tersebut memang sudah di atas dari batas yang ditetapkan oleh PLN sebesar 0.85. Namun nilai tersebut masih dapat ditingkatkan dengan menambah kapasitor bank mencapai 0,99 untuk mengurangi kehilangan distribusi (kWh) dalam jaringan pabrik

Sebelum merancang suatu filter pasif, maka perlu diketahui besarnya kebutuhan daya reaktif pada sistem. Daya reaktif sistem ini diperlukan untuk menghitung besarnya nilai kapasitor yang diperlukan untuk memperbaiki sistem tersebut. Besarnya kapasitas kapasitor bank yang dibutuhkan untuk menaikkan cos phi dari 0,88 ke 0,99 adalah sebagai berikut:

Tabel 4.27. Hasil pengukuran cos phi

Beban	Hasil Pengukuran		P (kW)	Cosphi
	Volt	Ampr		
Panel Utama	6140.3	198.82	2083.8	0.88

Mencari besarnya kapasitor dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q_c = P (\tan \alpha_1 - \tan \alpha_2) \dots\dots\dots(11)$$

$$\text{Cos phi awal} = 0,88; \alpha_1 = 28,35$$

$$\text{Cos phi yang diinginkan} = 0,99; \alpha_2 = 8,109$$

$$Q_c = 2083,8 \text{ KW} (\tan 28,35 - \tan 8,109)$$

$$Q_c = 2083,8 \text{ KW} \times 0,397$$

$$Q_c = 826,27 \text{ KVAR}$$

Berdasarkan perhitungan untuk menaikkan cos phi dari 0,88 ke 0,99 diperlukan penambahan kapasitor sebesar 826,27 KVAR.

Perbandingan persentase harmonisa arus yang dominan orde ketiga dan kelima sebesar 11,29% dan 15,67%;. Sehingga daya reaktif untuk masing – masing filter harmonic sebagai berikut.

$$Q_3 = 11,29\% \times 826 \text{ KVAR} = 93,26 \text{ KVAR}$$

$$Q_5 = 15,67\% \times 826 \text{ KVAR} = 129,43 \text{ KVAR.}$$

Setelah mengetahui besarnya masing – masing kompensasi yang diperlukan maka dapat dicari C totalnya.

4.5.2.1. Pemasangan Filter Harmonic Orde 5

Pemasangan filter harmonic terdiri komponen dari kapasitor, induktor, dan induktor.

- Kapasitor

Nilai kapasitor di hitung berdasarkan daya reaktif yang dibutuhkan. Dari perhitungan sebelumnya dibutuhkan daya reaktif sebesar 129,43 kVar pada tegangan 20 kV.

$$kVAR = 2\pi f x C x V^2 x 10^{-9} \dots\dots\dots(13)$$

Dimana kapasitansi dalam micro farad (μ F)

Nilai komponen kapasitor, resistor dan inductor dapat dihitung sebagai berikut

$$C = \frac{Q_n}{V^2 x 2\pi f x 10^{-9}} \dots\dots\dots(13)$$

$$C = \frac{129,43}{20000^2 x 2\pi 50 x 10^{-9}} = 1,03 \mu \text{ F.}$$

- Induktor.

Frekuensi resonansi $f_0 = 250$ Hz, sehingga nilai inductor dapat di hitung sebagai berikut.

$$L = \frac{1}{\omega_n^2 x C_{tot}} \dots\dots\dots(13)$$

$$L = \frac{1}{(2\pi f_n)^2 x C_{tot}} \dots\dots\dots(13)$$

$$L = \frac{1}{(2 \times 3,14 \times 250)^2 \times 1,03 \times 10^{-6}}$$

$$L = 0,393H .$$

- Resistor.

Sedangkan untuk mencari resistor dapat menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$R = \frac{2}{\omega_n^2 \times C_{tot}} \dots\dots\dots(13)$$

$$R = \frac{2}{(2 \times 3,14 \times 250)^2 \times 1,99 \times 10^{-6}}$$

$$R = 0,787\Omega$$

Berikut perhitungan untuk kapasitas filter harmonic untuk orde 3 dan 5 sebagai berikut.

Tabel 4.28. Hasil perhitungan kapasitas filter harmonic

No	Filter Orde	Kapasitas Filter		
		C (F)	L(H)	R(Ohm)
1	3	$0,742 \times 10^{-6}$	1,518	3,03
2	5	$1,03 \times 10^{-6}$	0,393	0,787

Di mana berdasarkan pengukuran didapat I_{rms} sebesar 198,82 A dan setelah pemasangan filter pada orde 3 dan 5 maka mengurangi THD arus mencapai 13,75%. Maka didapat nilai penghematan dari penurunan kWh dan losses jaringan.

Berikut penghematan penurunan kWh yang didapat dengan memasang filter.

- Besarnya kWh sebelum pemasangan filter:

$$P = \sqrt{3} \times 6140 \times 198,82 \times 0,88$$

$$P = 1.860,68kW$$

$$kWh / bulan = 1.860,68 \times 24 \times 30$$

$$kWh / bulan = 1.339.689,7kWh$$

- Besarnya kWh setelah pemasangan filter:

$$P = \sqrt{3} \times 6140 \times 171,48 \times 0,88$$

$$P = 1.604,82 \text{ kW}$$

$$\text{kWh} / \text{bulan} = 1.604,82 \times 24 \times 30$$

$$\text{kWh} / \text{bulan} = 1.155.467,25 \text{ kWh}$$

Maka didapat selisih kWh per bulan sebesar sebagai berikut.

$$\text{kWh} / \text{bulan} = 1.339.689,7 - 1.155.467,25$$

$$\text{kWh} / \text{bulan} = 184.222 \text{ kWh}$$

Maka penghematan per bulan yang didapat sebesar:

$$= 184.222 \text{ kWh} \times \text{Rp. } 567,16 = \text{Rp. } 104.483.603$$

Berikut penghematan losses jaringan yang didapat dengan memasang filter.

Setelah pemasangan filter maka didapat selisih daya sebesar sebagai berikut.

$$\begin{aligned} I_{\text{setelah pemasangan}} &= 198,82 - 171,49 \\ &= 27,33 \text{ A.} \end{aligned}$$

Maka besarnya selisih daya setelah pemasangan kapasitor:

$$P = I^2 \times R$$

Nilai R didapat dari resistansi penghantar.

$$P = (27,33 \text{ A})^2 \times 0,121 \Omega / \text{km}$$

$$P = 90,18 \text{ W}$$

Maka pemakaian energy (kWh) per bulan didapat:

$$\text{kWh} = P \times \text{jam pemakaian} \times \text{hari}$$

$$\text{kWh} = 0,090 \times 24 \times 30 = 64,92 \text{ kWh/bulan.}$$

Maka penghematan yang didapat sebesar:

$$= 64,92 \text{ kWh} \times \text{Rp. } 567,16 = \text{Rp. } 36.825 / \text{bulan.}$$

$$= \text{Rp. } 36.825 \times 12 = \text{Rp. } 441.906 / \text{tahun}$$

Maka total penghematan yang di dapat dari pemasangan filter sebesar sebagai berikut.

$$= \text{Penghematan penurunan kWh} + \text{Penghematan losses jaringan}$$

$$= \text{Rp. } 104.483.603 + \text{Rp. } 36.825$$

$$= \text{Rp. } 104.520.428$$

Setelah pemasangan filter pada orde 3 dan 5 maka mengurangi THD arus mencapai 13,75%. Selain itu didapat nilai penghematan dari penurunan kWh dan losses jaringan. Penghematan penurunan kWh didapat sebesar Rp. 104.483.603 dan penghematan losses jaringan sebesar Rp. 36.825. Maka total penghematan sebesar Rp. 104.520.428 per bulan. Estimasi biaya dan pemasangan filter sebesar Rp. 500.000.000, maka pay back periode sebesar 0,39 tahun.

4.5.3. Pemasangan Kapasitor

Dari hasil pengukuran di lapangan, sebagian besar mesin memiliki nilai factor daya di bawah 0,85. Sehingga dibutuhkan pemasangan kapasitor untuk meningkatkan nilai factor daya. Pemasangan kapasitor dapat dilakukan pada Sub-distribusi panel (SDP) atau pada unit mesin. Sehingga dengan memasang kapasitor tersebut dapat mengurangi daya reaktif mulai dari sisi beban dan mengurangi arus unit mesin tersebut serta mengurangi rugi-rugi listrik (*losses*) pada sistem distribusi listrik di SDP unit mesin tersebut.

Terdapat beberapa peralatan pengguna energi listrik yang nilai cos phi-nya harus ditingkatkan. Berikut adalah perhitungan pemakaian kapasitor pada masing – masing beban.

4.5.3.1. Pemasangan Kapasitor pada Beban Feeder CP 1

Berikut data pengukuran pada beban sebagai berikut.

Tabel 4.29. Hasil pengukuran cos phi

Trafo 1 CP 1 Beban	Hasil Pengukuran		P (kW)	Cosphi
	Volt	Ampr		
Mesin RSF A	397.70	18.05	8.60	0.650

Mencari besarnya kapasitor dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q_c = P (\tan \alpha_1 - \tan \alpha_2) \dots \dots \dots (11)$$

$$\text{Cos phi awal} = 0,65; \alpha_1 = 49,45$$

$$\text{Cos phi yang diinginkan} = 0,95; \alpha_2 = 18,195$$

$$Q_c = 8,6 (\tan 49,45 - \tan 18,195)$$

$$Q_c = 8,6 \times 0,839$$

$$Q_c = 7,21 \text{ KVAR}$$

Jadi untuk menaikkan $\cos \phi$ dari 0,65 ke 0,95 untuk mesin RSF 8,6 kW, maka digunakan kapasitor dengan kapasitas 7,21 KVAR.

Besarnya persentase pengurangan rugi – rugi jaringan yang diperoleh setelah pemasangan kapasitor pada beban sebagai berikut:

$$\% \text{ pengurangan rugi – rugi} = 1 - \frac{\cos \phi_{awal}^2}{\cos \phi_{sudahperbaikan}^2}$$

$$\% \text{ Pengurangan rugi – rugi} = 1 - \frac{0,65^2}{0,95^2}$$

$$= 53\%$$

Besarnya arus setelah pemasangan kapasitor pada beban sebagai berikut:

$$I = \frac{kW}{\sqrt{3} \times V \times \cos \phi}$$

$$I = \frac{8,6}{\sqrt{3} \times 397,7 \times 0,95}$$

$$I = 15,18 \text{ A}$$

Maka besarnya system losses setelah pemasangan kapasitor:

$$P = \Delta V \times I$$

$$\Delta V = \text{Drop Tegangan}$$

$$P = 2,9 \text{ V} - (18,20 - 12,18) \text{ A}$$

$$P = 8,758 \text{ W}$$

Besarnya losses jaringan distribusi dapat dihitung sebagai berikut.

$$\text{Losses system} = 0,58 \times 0,00875$$

$$= 0,00507 \text{ kW}$$

Maka total losses daya setelah pergantian kapasitor sebagai berikut.

$$\text{kW} = 8,06 \times 0,00507$$

$$= 0,0409 \text{ kW}$$

Maka pemakaian energy (kWh) per bulan didapat:

$$\text{kWh} = P \times \text{jam pemakaian} \times \text{hari}$$

$$\text{kWh} = 0,0409 \times 24 \times 30 = 29,45 \text{ kWh/bulan}$$

Maka penghematan yang didapat sebesar:

$$= 29,45 \text{ kWh} \times \text{Rp. } 567,16 = \text{Rp. } 16.704 / \text{bulan.}$$

$$= \text{Rp. } 16.704 \times 12 = \text{Rp } 200.443 / \text{tahun}$$

Estimasi pemasangan kapasitor sebesar Rp. 3.500.0000, maka pay back periode sebesar 18 tahun.

Berikut table perhitungan pemasangan kapasitor pada beban feeder CP-1 sebagai berikut:

Tabel 4.30. Perhitungan pemasangan kapasitor per beban

Trafo 1 CP 1	Hasil Pengukuran		P (kW)	Cosphi	Cosphi setelah	Arus setelah	Selisih	Selisih	Kapasitor	Saving Perbulan		Payback
Beban	Volt	Ampr		Awal	perbaikan	perbaikan	Arus	Daya (kW)	(kVAR)	Energi (kWh)	Biaya (Rp.)	(Thn)
RSF A (1-10)	397.70	18.20	8.60	0.65	0.95	13.14	5.06	0.067	7.23	48.52	27,520.79	10.94
RSF B (1-10)	396.53	17.75	8.15	0.67	0.95	12.49	5.26	0.088	6.38	63.51	36,019.81	7.38
RSF A(11-20)	398.47	18.03	8.48	0.68	0.95	12.93	5.10	0.045	6.32	32.36	18,355.13	14.36
RSF B (11-20)	396.13	17.67	8.32	0.69	0.95	12.76	4.91	0.088	6.09	63.09	35,781.77	7.09
RSF A (21-29)	396.10	18.01	8.15	0.70	0.95	12.50	5.51	0.092	5.63	66.56	37,749.68	6.22
RSF A (30-39)	396.50	16.77	8.16	0.75	0.95	12.51	4.26	0.055	4.58	39.28	22,280.10	8.56
RSF B (30-39)	396.46	15.37	7.32	0.69	0.95	11.22	4.15	0.059	5.20	42.39	24,044.72	9.01
Trafo 4 CP 1											28,821.71	
Auto Winding	390.54	15.15	6.85	0.67	0.95	10.66	4.49	0.183	5.37	131.46	74,561.67	3.00
Blowing	391.21	104.31	33.26	0.47	0.95	51.66	52.65	14.646	51.41	10545.31	5,980,982.79	0.36
Carding ABC	391.13	5.98	3.03	0.75	0.95	4.71	1.27	0.017	1.71	11.90	6,751.36	10.57
Carding	390.92	6.27	2.92	0.69	0.95	4.54	1.73	0.027	2.13	19.76	11,209.07	7.92

Berdasarkan tabel perhitungan di atas, setelah melakukan pemasangan kapasitor pada beban dapat mereduksi losses jaringan dari trafo ke beban. Dari losses daya maka didapat nilai penghematan yang diperoleh. Pada trafo satu feeder CP 1, nilai penghematan yang diperoleh per satu mesin rata – rata sebesar Rp. 17.488 / bulan atau Rp. 209.857 / tahun. Untuk trafo empat feeder CP 1, penghematan terbesar di dapat dari blowing dengan penghematan sebesar Rp. 5.980.982 / bulan atau Rp. 71.771.000 / tahun.

4.5.3.2. Pemasangan Kapasitor pada Beban Feeder CP 2

Berikut table perhitungan pemasangan kapasitor pada beban feeder CP-2 sebagai berikut

Tabel 4.31. Perhitungan pemasangan kapasitor per beban

Trafo 1 CP 2	Hasil Pengukuran		P (kW)	Cosphi	Cosphi setelah	Arus setelah	Selisih	Selisih	Kapasitor	Saving Perbulan		Payback
Beban	Volt	Ampr		Awal	perbaikan	perbaikan	Arus	Daya (kW)	(kVAR)	Energi (kWh)	Biaya (Rp.)	(Thn)
Auto Winding	383.58	15.15	6.85	0.56	0.95	10.85	4.30	0.044	8.01	32.00	18,149.07	18.39
Blowing	383.46	88.17	28.81	0.49	0.95	45.66	42.50	0.493	41.68	355.17	201,440.77	8.62
Carding	384.17	5.98	3.03	0.36	0.95	4.79	1.19	0.015	6.74	11.02	6,248.20	44.94
Carding	383.83	5.59	2.89	0.56	0.95	4.58	1.01	0.010	3.33	7.37	4,181.94	33.21
R. Dust Collect.	382.72	30.17	10.28	0.59	0.95	16.32	13.85	0.142	10.78	102.03	57,867.00	7.76
Trafo 2 CP 2												
RC Carding	398.30	10.32	5.55	0.78	0.95	8.46	1.86	0.001	2.57	0.63	359.97	297.98
RSF 1-10A	395.65	13.59	6.65	0.71	0.95	10.21	3.38	0.006	4.46	4.48	2,541.09	73.11
RSF 1-10B	395.30	13.23	6.34	0.71	0.95	9.75	3.48	0.007	4.18	4.94	2,803.70	62.15
RSF 11-19A	396.74	24.82	11.08	0.73	0.95	16.97	7.85	0.010	6.75	7.08	4,014.82	70.08
RSF 11-19B	395.30	16.54	7.98	0.71	0.95	12.27	4.27	0.008	5.26	6.06	3,438.58	63.78
RSF 20-28A	398.17	17.53	7.92	0.66	0.95	12.09	5.44	0.005	6.49	3.30	1,874.05	144.23
RSF 20-37B	397.78	10.32	5.55	0.67	0.95	8.48	1.85	0.010	4.34	7.07	4,010.62	45.06
RSF 29-31B	397.39	17.54	8.24	0.56	0.95	12.61	4.93	0.008	9.60	5.60	3,174.40	126.01
RSF 29-37A	398.54	15.42	7.36	0.69	0.95	11.22	4.20	0.002	5.21	1.76	996.56	217.80

Berdasarkan tabel perhitungan di atas, setelah melakukan pemasangan kapasitor pada beban dapat mereduksi losses jaringan dari trafo ke beban. Dari losses daya maka didapat nilai penghematan yang diperoleh. Pada trafo satu feeder CP 2, nilai penghematan yang diperoleh per satu mesin rata – rata sebesar Rp. 55.577 / bulan atau Rp. 690.928 / tahun. Untuk trafo dua feeder CP 1, penghematan yang diperoleh per satu mesin rata – rata cukup kecil sebesar Rp. 2.579 / bulan atau Rp. 30.920 / tahun. Kecilnya nilai penghematan pemasangan kapasitor pada beban dikarenakan arus yang kecil sehingga daya (kW) pemakaian mesin kecil.

4.5.3.3. Pemasangan Kapasitor pada Beban Motor Listrik

Berikut table perhitungan pemasangan kapasitor pada beban motor listrik sebagai berikut.

Tabel 4.32. Perhitungan pemasangan kapasitor pada Motor Listrik

No	Lokasi	Beban Motor	Hasil Pengukuran			P (kW)	Cosphi Awal	Cosphi setelah perbaikan	Looses Daya (kW)	Arus setelah perbaikan	Selisih Arus	Kapasitor (kVAR)	Saving Perbulan		Payback (Thn)
			Volt	Ampr									Energi (kWh)	Biaya (Rp.)	
1	Area Chiller	CWP 1	408.9	35.6	20.17	0.801	0.95	0.018	29.98	5.62	8.45	13.22	7,499.33	46.92	
		Kompressor	411.4	47.5	26.72	0.784	0.95	0.029	39.47	8.03	12.37	20.83	11,815.16	43.64	
2	Area CP-1 room Comp.	Compressor 1	OFF												
		Compressor 2	OFF												
		Compressor 3	383.4	22.5	11.86	0.781	0.95	0.014	18.80	3.70	5.59	9.76	5,534.81	42.05	
3	Area CP-2 room Comp.	Compressor 4	375.2	19.1	6.23	0.504	0.95	0.097	10.09	9.01	8.63	69.91	39,650.66	9.07	
		Compressor 5	373.7	23.1	11.82	0.792	0.95	0.018	19.22	3.88	5.23	12.77	7,243.32	30.07	
		Compressor 6	373.6	24.7	13.16	0.824	0.95	0.012	21.41	3.29	4.72	8.81	4,995.05	39.40	
		Return Fan #1	411.9	30.3	16.44	0.76	0.95	0.033	24.26	6.04	8.66	23.50	13,326.92	27.06	
4	Area CP-1 room AC 1	Return Fan 2	OFF												
		Spray Pump	OFF												
		Suplay Fan	OFF												
		Return Fan 2	412.6	29.9	16.37	0.767	0.95	0.059	24.11	5.79	8.31	42.80	24,274.74	14.27	
5	Area CP-1 room AC 2	Return Fan 2	412	30.1	16.41	0.764	0.95	0.061	24.21	5.89	8.46	44.22	25,080.14	14.06	
		Spray Pump	OFF												
		Suplay Fan	OFF												
		Return Fan 1	408.9	29.6	16.33	0.78	0.95	0.052	24.27	5.33	7.73	37.26	21,132.98	15.25	
6	Area CP-1 room AC 3	Return Fan 2	408.6	30.1	16.68	0.784	0.95	0.050	24.81	5.29	7.72	36.21	20,534.42	15.67	
		Spray Pump	408.9	28.7	16.82	0.828	0.95	0.027	25.00	3.70	5.86	19.09	10,824.41	22.57	
		Suplay Fan	409.4	54.2	24.24	0.63	0.95	0.304	35.98	18.22	21.91	218.97	124,189.48	7.35	
		Return Fan 1	384.4	74.6	40.56	0.817	0.95	0.041	64.13	10.47	15.30	29.26	16,595.92	38.40	
7	Area CP-2 room AC 4	Return Fan 2	383.7	74.6	40.6	0.82	0.95	0.039	64.31	10.29	14.99	28.16	15,969.35	39.12	
		Return Fan 3	383.4	73.5	39.86	0.817	0.95	0.040	63.18	10.32	15.03	28.82	16,346.11	38.32	
		Spray Pump	383.6	46.7	26.39	0.851	0.95	0.014	41.81	4.89	7.61	10.36	5,878.49	53.95	
		Suplay Fan	384	187.7	57.8	0.463	0.95	1.093	91.48	96.22	91.65	787.08	446,402.60	8.55	

Berdasarkan tabel perhitungan di atas, dengan melakukan pemasangan kapasitor pada motor dapat mereduksi losses jaringan dari trafo ke beban. Dari losses daya maka didapat nilai penghematan yang diperoleh. Selain itu dengan memperbaiki nilai faktor daya pada motor dapat meningkatkan kinerja dari motor tersebut. Dengan meningkatnya kinerja motor maka proses produksi pun akan meningkat. Nilai penghematan pemasangan kapasitor yang terbesar diperoleh pada motor suply fan sebesar Rp. 446.402 / bulan atau Rp. 5.356.831 / tahun dengan pay back periode sekitar 8 tahun.

4.5.3.4. Perbandingan Daya pada Trafo Feeder CP 1

Setelah melakukan perbaikan cos phi dengan memasang kapasitor pada tiap beban dan didapat besarnya penghematan dan nilai losses pada sistem jaringan distribusi dari beban ke trafo distribusi. Selain itu, pemasangan kapasitor akan meningkatkan kapasitas daya aktif.

Berikut perhitungan perbandingan total daya terpasang sebelum dan setelah perbaikan factor daya sebagai berikut.

Tabel 4.33. Perbandingan total daya sebelum dan setelah kompensasi

Trafo 1 CP 1 Beban	Hasil Pengukuran		P (kW)	Cosphi Awal	Cosphi setelah perbaikan	Daya Awal (kVA)	Daya Setelah Kompensasi (kVA)	Selisih Daya (kVA)
	Volt	Ampr						
RSF #1-10A	397.70	180.05	86.01	0.69	0.95	123.97	90.54	193.74
RSF #1-10B & Fat	396.53	177.53	81.45	0.67	0.95	121.81	85.74	
RSF #11-20A & F	398.47	180.28	84.75	0.68	0.95	124.40	89.21	
RSF #11-20B	396.13	176.77	83.17	0.69	0.95	121.25	87.54	
RSF #21-29A	396.10	18.01	8.47	0.70	0.95	12.10	8.92	
RSF #30-39A	396.50	167.77	86.07	0.75	0.95	115.21	90.60	
RSF #30-39B	396.46	153.73	73.17	0.69	0.95	105.49	77.02	
Total						723.3	529.56	
Trafo 2 CP 1								
AC Room 1	413.12	30.58	16.06	0.73	0.95	21.89	16.90	309.90
AC Room 2	413.36	59.74	32.12	0.75	0.95	42.82	33.81	
AC Room 3	412.76	136.73	66.19	0.68	0.95	97.62	69.68	
Total						430.29	120.39	
Trafo 4 CP 1								
Auto Winding (8	390.54	120.60	54.81	0.67	0.95	81.99	57.70	158.62
Blower (3 Unit) &	391.04	142.68	80.28	0.83	0.95	96.72	84.50	
Blowing (1 Unit)	391.21	104.31	33.26	0.47	0.95	70.66	35.01	
Carding #1-9 ABC	391.13	53.97	27.30	0.75	0.95	36.62	28.74	
Carding #10-18	390.92	50.21	23.32	0.69	0.95	33.95	24.54	
Drawing (10 Unit	390.72	68.67	31.20	0.67	0.95	46.44	32.84	
Total						421.94	263.33	

Berdasarkan table di atas, terjadi penurunan daya terpasang setelah perbaikan factor daya. Dimana selisih daya yang di dapat cukup besar, pada trafo satu didapat selisih daya sebesar 193,74 kVA, trafo dua sebesar 309,9 kVA, dan trafo empat sebesar 158,62 kVA. Besarnya selisih daya tersebut tidak terlalu berpengaruh karena pemakaian beban pada masing – masing trafo rata – rata hanya 50%.

4.5.3.5. Perbandingan Daya pada Trafo Feeder CP 2

Berikut perhitungan perbandingan total daya terpasang sebelum dan setelah perbaikan cos phi sebagai berikut.

Tabel 4.34. Perbandingan total daya sebelum dan setelah kompensasi

Trafo 1 CP 2 Beban	Hasil Pengukuran		P (kW)	Cosphi Awal	Cosphi setelah perbaikan	Daya Awal (kVA)	Daya Setelah Kompensasi (kVA)	Selisih Daya (kVA)
	Volt	Ampr						
AC Room (Return)	384.38	268.65	146.10	0.82	0.95	178.61	153.79	197.34
AC Room (Supply)	383.88	197.25	74.60	0.57	0.95	131.16	78.53	
Auto Winding	383.58	91.88	34.56	0.56	0.95	62.26	36.38	
Blower & Kompr	384.33	203.63	114.33	0.84	0.95	136.45	120.34	
Blowing	383.46	88.17	28.81	0.49	0.95	58.71	30.33	
Carding #1-8AB	384.17	22.93	6.13	0.36	0.95	16.79	6.45	
Carding #1-16AB	383.83	89.44	32.15	0.56	0.95	57.47	33.84	
SX, DF, Pre DF	383.13	99.93	49.77	0.69	0.95	71.87	52.39	
R. Dust Collect. &	382.72	30.17	10.28	0.59	0.95	17.50	10.82	
Total						720.20	522.86	
Trafo 2 CP 2								
RC Carding	398.30	10.32	5.55	0.78	0.95	7.08	5.84	144.59
RSF #1-10A	395.65	135.93	66.47	0.71	0.95	93.96	69.97	
RSF #1-10B	395.30	132.35	63.97	0.71	0.95	89.93	67.33	
RSF #11-19A	396.74	198.57	99.79	0.73	0.95	136.83	105.04	
RSF #11-19B	395.30	132.35	63.97	0.71	0.95	89.93	67.33	
RSF #20-28A	398.17	140.24	63.34	0.66	0.95	96.42	66.67	
RSF #20-37B	397.78	43.34	19.86	0.67	0.95	29.68	20.91	
RSF #29-31B	397.39	21.43	8.24	0.56	0.95	14.81	8.68	
RSF #29-37A	398.54	123.37	58.90	0.69	0.95	84.83	62.00	
Total						618.37	473.77	

Berdasarkan table di atas, terjadi penurunan daya terpasang setelah perbaikan cos phi. Dimana selisih daya yang di dapat cukup besar, pada trafo satu didapat selisih daya sebesar 193,74 kVA, dan trafo dua sebesar 144,59 kVA. Namun selisih daya tersebut tidak terlalu berpengaruh karena pemakaian beban pada masing – masing trafo rata – rata hanya 40%.

4.5.4. Pergantian Motor Listrik.

Dari hasil pengukuran di lapangan, dapat diketahui bahwa peluang konservasi energi pada peralatan motor listrik yaitu dengan cara mengganti motor listrik untuk meningkatkan efisiensi kinerja motor. Berdasarkan pengukuran, terdapat beberapa motor listrik yang pemakaiannya (load beban) hanya sekitar 50%. Dimana motor beroperasi paling efisien pada beban 75% sampai 100%, jika beban turun dibawah 50%, efisiensi akan turun dengan cepat dan memiliki dampak pada faktor dayanya.

Berikut adalah penggunaan energi listrik pada motor-motor listrik yang belum optimal.

Tabel 4.35. Beban motor listrik Blower awal

No.	Lokasi	Beban Motor	Hasil Pengukuran			Daya (kW)		Pemakaian
			Volt	Ampr	Cosphi	Aktual	Desain	%
1	Area CP 1 room Comp	Blower 2	383	29.4	0.769	15.03	30	50.10
		Blower 3	375.2	31.3	0.831	16.92	30	56.40

Tabel 4.36. Beban pada motor-motor AC awal

No.	Lokasi	Beban Motor	Hasil Pengukuran			Daya (kW)		Pemakaian
			Volt	Ampr	Cosphi	Aktual	Desain	%
1	Area Chiller	CWP 1	408.9	35.6	0.801	20.17	45	44.82
2	Area CP-1 room AC 4	Suplay Fan	409.4	54.2	0.63	24.24	45	53.87
3	Area CP-2 room AC 4	Suplay Fan	384	187.7	0.463	57.8	170	34.00

Berdasarkan table di atas, penggunaan motor listrik masih belum optimal dimana pemakaiannya (load beban) hanya sekitar 50%. Disarankan untuk dilakukan penggantian motor guna meningkatkan efisiensi motor serta bermanfaat di dalam menurunkan beban energi listrik. Beberapa motor listrik yang disarankan untuk dilakukan penggantian motor adalah: supply fan pada sistem AC room 3 CP 1 dan *supply fan* AC room 4 CP 2 dan *Chilled Water Pump* (CWP) area chiller. Berikut perhitungan penghematan energi yang diperoleh jika dilakukan penggantian motor-motor pada mesin penunjang.

4.5.4.4. Pergantian Motor Listrik Suply Fan AC Area CP 2.

Berikut data pengukuran motor listrik sebagai berikut.

Tabel 4.37. Hasil pengukuran motor listrik supply fan

No.	Lokasi	Beban Motor	Hasil Pengukuran			Daya (kW)		Pemakaian
			Volt	Ampr	Cosphi	Aktual	Desain	%
1	Area CP-2 room AC 4	Suplay Fan	384	187.7	0.463	57.8	170	34.00

Sebelum pergantian motor :

- Desain Motor : 170 kW
- Daya pengukuran Motor : 57,8 kW
- Load Motor : $\frac{DayaPengukuran}{DesainMotor} = \frac{57,8}{170} \times 100 = 34\%$.
- Motor Tanpa Beban (No load) : 7 % x daya motor
 $7\% \times 170 \text{ kW} = 11,9 \text{ kW}$

Dimana 7% didapat berdasarkan dari table Distribution of losses in an ABB M3BP motor sebagai berikut.

Tabel 4.38. Distribution of losses in an ABB

	losses	%
no-load losses	iron losses in core	18
	windage & friction	10
load losses	stator copper losses	34
	rotor losses	24
	stray load losses	14

Dari table di atas dapat diketahui no load losses sebesar 28%. Dimana *peak efficiency* motor yaitu 75%^[6] dari rated load. Jadi total losses dari motor sebesar 25%. Maka no load losses dari motor sebesar $28\% \times 25\% = 7\%$.

Rekomendasi pergantian motor :

- Desain Motor (rekomendasi) : 65 kW
- Load Motor : $\frac{DayaPengukuran}{DesainMotor(rek)} = \frac{57,8}{65} \times 100 = 88,9\%$.
- Motor Tanpa Beban (No load) : 7 % x daya motor
 $7\% \times 65 \text{ kW} = 4,55 \text{ kW}$

Dari perhitungan di atas, dapat dilihat setelah melakukan pergantian motor dari 170 kW ke 65 kW, pemakaian (load beban) motor naik dari 34% menjadi

88,9%. Dengan naiknya load beban motor listrik maka akan meningkatkan efisiensi motor serta bermanfaat di dalam menurunkan beban energi listrik.

Dengan melakukan pergantian motor listrik maka biaya yang dapat di hemat, sebagai berikut:

- Selisih pergantian motor baru :

$$MotorNoLoad_{\text{sebelum pergantian motor}} - MotorNoLoad_{\text{sesudah pergantian motor}} \cdot (6)$$

$$= 11,9 \text{ kW} - 4,55 \text{ kW} = 7,35 \text{ kW}.$$

Selisih pergantian motor baru didapat 7,35 kW.

Maka pemakaian energy (kWh) per bulan didapat :

$$\text{kWh} = P \times \text{jam pemakaian} \times \text{hari}$$

$$\text{kWh} = 7,35 \times 24 \times 30 = 5.292 \text{ kWh/bulan}.$$

Maka penghematan yang didapat sebesar:

$$= 5.292 \text{ kWh} \times \text{Rp. } 567,16 = \text{Rp. } 3.001.464 / \text{bulan}.$$

$$= \text{Rp. } 3.001.464 \times 12 = \text{Rp. } 36.017.564 / \text{tahun}.$$

Estimasi pembelian motor baru sebesar Rp. 65.000.000, maka pay back periode sebesar 1,8 tahun.

Berikut table perhitungan pergantian motor listrik yang load bebannya sekitar 50% sebagai berikut:

Tabel 4.38. Pergantian motor listrik

No.	Lokasi	sebelum pergantian			sesudah pergantian			invest (Rp.Juta)	Saving (per-bulan)		payback (tahun)
		Desain	aktual	% load	Desain	selisih daya	% load		Energi (kWh)	Biaya (Rp.)	
1	Area Chiller	45	20.17	44.8	30	1.05	67.2	30	756	428,780.52	5.83
2	Area CP-1	45	24.24	53.87	27.5	1.23	88.1	28	882	500,243.94	4.58
3	Area CP-2	170	57.8	34.00	65	7.35	88.9	65	5292	3,001,463.64	1.80

Berdasarkan tabel perhitungan di atas, dapat dilihat dengan mengganti motor sesuai dengan data pengukuran maka load beban motor listrik menjadi naik dari 44% menjadi 68%.. Dengan naiknya load motor listrik maka akan meningkatkan efisiensi motor serta bermanfaat di dalam menurunkan beban energi listrik. Dengan meningkatnya efisiensi motor maka mempengaruhi hasil produksi. Selain itu di dapat penghematan mencapai Rp. 3 juta per bulan untuk motor suply fan area CP 2 dengan payback periode selama 0,8 tahun.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 KESIMPULAN

Dari hasil pengamatan lapangan, pengumpulan dan analisis data yang dilakukan serta kalkulasi terhadap beberapa peralatan pengguna energi utama pabrik, dapat disimpulkan terdapat peluang penghematan atau konservasi energi yang dapat dilakukan serta meningkatkan produktivitas kerja yang berimbang dengan naiknya produksi dan meningkatkan nilai sumber daya manusia itu sendiri.

Adapun beberapa kesimpulan terhadap sistem kelistrikan di pabrik adalah sebagai berikut:

- **Trafo**

Berdasarkan pengukuran di lapangan, pembebanan trafo utama dan distribusi masih cukup rendah. Pembebanan masing – masing trafo berkisar 40 – 60%. Pembebanan yang rendah dapat mempengaruhi efisiensi dari trafo. Maka perlu melakukan perencanaan terhadap distribusi penggunaan beban pada masing – masing trafo. Dimana efisiensi masing – masing trafo distribusi berkisar 98,3 – 99,4%.

- **Harmonic**

Berdasarkan pengukuran pada panel utama didapat nilai harmonic arus (I_{THD}) rata – rata mencapai 20%. Perlu dilakukan pemasangan filter untuk mereduksi harmonic. Besarnya nilai harmonic arus dapat membuat rugi – rugi pada trafo semakin besar yang dapat menyebabkan panas berlebih. Setelah pemasangan filter dapat mereduksi harmonic sebesar 13% dan didapat penghematan sebesar Rp. 104.520.428 / bulan dengan investasi sebesar Rp. 500.000.000, maka pay back periode sebesar 0,39 tahun. Dengan lamanya pay back periode sekitar 0,39 tahun maka rekomendasi tersebut layak dilakukan.

- **Power Factor**

Berdasarkan pengukuran di lapangan, nilai faktor daya masih cukup rendah. Terutama pada faktor daya pada beban yang semuanya masih di bawah nilai $\cos \phi$ 0,85 maka perlu dilakukan pemasangan kapasitor pada beban. Nilai faktor daya yang rendah menyebabkan losses pada jaringan distribusi dari trafo ke beban. Losses jaringan mengurangi supply daya ke beban. Setelah pemasangan kapasitor pada mesin RSF memperbaiki faktor daya menjadi 0,9 dan di dapat penghematan Rp. 27.520 / bulan atau Rp. 330.240 / tahun dengan investasi sebesar Rp. 3.613.915 maka pay back periode sekitar 10 tahun (lengkapnya pada tabel 5.1). Dengan lamanya pay back periode sekitar 10 tahun maka rekomendasi tersebut tidak layak dilakukan.

- Motor Listrik

Berdasarkan pengukuran, terdapat beberapa motor listrik yang pemakaiannya (load beban) hanya sekitar 50%. Penggunaan motor di bawah 50% dapat mempengaruhi efisiensi motor. Turunnya efisiensi dapat menyebabkan hasil produksi turun. Maka perlu dilakukan pergantian motor sesuai dengan kebutuhan yang diperlukan. Setelah pergantian pada motor supply fan maka didapat penghematan sebesar Rp. 3.001.464 / bulan atau Rp. 36.017.564 / tahun dengan investasi sebesar Rp. 65.000.000 maka pay back periode sekitar 1,8 tahun (lengkapnya pada tabel 5.1). Dengan lamanya pay back periode sekitar 1,8 tahun maka rekomendasi tersebut layak dilakukan.

- Kapasitas Daya Langgan.

Dari hasil pengukuran diperoleh untuk memenuhi kebutuhan pengoperasian, pabrik hanya mampu memakai daya secara maksimal hingga kisaran 2300 kVA. Beban puncak tersebut masih jauh lebih rendah dari kapasitas daya langganan sebesar 3985 kVA. Dengan pemakaian beban listrik yang masih jauh di bawah kapasitas daya langganan tersebut, maka kerugian-kerugian energi listrik agar memenuhi 350 jam nyala setiap bulannya terus dialami pabrik Oleh karena itu, disarankan untuk menurunkan kapasitas daya langganan dari 3985 kVA menjadi 2880 kVA. Setelah menurunkan kapasitas daya langganan didapat penghematan

sebesar Rp. 33 juta / bulan atau Rp. 400 juta / tahun dengan investasi sebesar Rp. 300 juta maka pay back periode sekitar 1,2 tahun. Dengan lamanya pay back periode sekitar 2 tahun maka rekomendasi tersebut layak dilakukan.

Berikut perhitungan total penghematan pabrik sebagai berikut.

Tabel5.1. Total penghematan energy listrik pabrik

No	Peluang Penghematan	Penghematan (Bulan)		Persentase	Biaya	Payback
		Energy	Biaya		Implementasi	
		(kWh/bulan)	(Rp./bulan)	(% energi total)	(Rp.Juta)	periode
No Cost						
1	Melakukan <i>house keeping</i>					
	Melakukan anjuran penghematan energi	-	-		-	-
Low Cost						
1	Memasang Kapasitor pada mesin Trafo 1 CP 1 :					
	RSF A (1-10)	48.52	27,520.79	0.0030	3,613,915.41	10.94
	RSF B (1-10)	63.51	36,019.81	0.0039	3,191,787.17	7.38
	RSF A(11-20)	32.36	18,355.13	0.0020	3,162,166.40	14.36
	RSF B (11-20)	63.09	35,781.77	0.0038	3,045,964.19	7.09
	RSF A (21-29)	66.56	37,749.68	0.0041	2,816,280.40	6.22
	RSF A (30-39)	39.28	22,280.10	0.0024	2,289,678.04	8.56
	RSF B (30-39)	42.39	24,044.72	0.0026	2,598,401.68	9.01
2	Memasang Kapasitor pada mesin Trafo 4 CP 1 :					
	Auto Winding	131.46	74,561.67	0.0080	2,684,599.63	3.00
	Blowing	10545.31	5,980,982.79	0.6424	25,705,337.95	0.36
	Carding ABC	11.90	6,751.36	0.0007	856,375.43	10.57
	Carding	19.76	11,209.07	0.0012	1,065,251.98	7.92
	Drawing	26.23	14,877.69	0.0016	1,207,322.50	6.76
3	Memasang Kapasitor pada mesin Trafo 1 CP 2 :					
	Auto Winding	32.00	18,149.07	0.0019	4,005,520.53	18.39
	Blowing	355.17	201,440.77	0.0216	20,839,562.13	8.62
	Carding	11.02	6,248.20	0.0007	3,369,418.00	44.94
	Carding	7.37	4,181.94	0.0004	1,666,337.31	33.21
	R. Dust Collect. & Simplex 7	102.03	57,867.00	0.0062	5,389,906.72	7.76
4	Memasang Kapasitor pada mesin Trafo 1 CP 2 :					
	RC Carding	0.63	359.97	0.0000	1,287,135.44	297.98
	RSF 1-10A	4.48	2541.09	0.0003	2,229,450.08	73.11
	RSF 1-10B	4.94	2803.70	0.0003	2,090,933.48	62.15
	RSF 11-19A	7.08	4014.82	0.0004	3,376,384.47	70.08
	RSF 11-19B	6.06	3438.58	0.0004	2,631,805.86	63.78
	RSF 20-28A	3.30	1874.05	0.0002	3,243,467.20	144.23
	RSF 20-37B	7.07	4010.62	0.0004	2,168,640.39	45.06
	RSF 29-31B	5.60	3174.40	0.0003	4,800,000.14	126.01
	RSF 29-37A	1.76	996.56	0.0001	2,604,640.82	217.80
Medium Cost						
1	Memperbaiki Motor Listrik sesuai Kebutuhan:					
	Penggantian motor listrik supply fan AC 3 CP 1	882	500,243.94	0.0537	28,000,000	4.58
	Penggantian motor listrik supply fan AC 4 CP 2	5292	3,001,463.64	0.3224	65,000,000	1.8
	Penggantian motor listrik Chiller Water Pump	756	428,780.52	0.0461	30,000,000	5.83
High Cost						
1	Memasang Filter					
	panel utama	184,287.00	104,520,428	11.2263	500,000,000	0.27
2	Menurunkan Daya terpasang sesuai kebutuhan					
	Menurunkan Daya terpasang dari 3985 kVA ke 3465 kVA	-	400000000		188,830,000	1.2
TOTAL		202,855.90	515,052,151.45	12.36	923,770,283.36	

Berdasarkan table di atas didapat nilai total penghematan dan persentase penghematan terhadap energy total pabrik. Dimana total penghematan untuk kelistrikan yang di dapat sebesar 202.855 kWh atau 12,36% dari total energy pabrik. Dimana penghematan yang terbesar dengan memasang filter pada panel utama dan penurunan daya langganan PLN.



DAFTAR ACUAN

Tinambunan Fritson (2004). “Diktat Konservasi Energy “, Jakarta.

United Nations Environment Programme (2006).“ Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia”, London.

Devki Energy Consultancy Pvt. Ltd (2006). “Best Practice Manual Electrical Motor”, London.

Devki Energy Consultancy Pvt. Ltd (2006). “BEE Code Electrical Motor”, London.

Sumardjati Prih (2000).“ Handout Instalasi Cahaya Semester Tiga Politeknik Negeri Bandung”, Bandung.

Roger C. Dugan, Mark F. McGranaghan, H. Wayne Beaty (1996), “Electrical Power System Quality”, McGraw-Hill. New York.

Mikko Helinko Ritva Eskola (2007). “Motor Efficiency ABB Motor”, Finland.mikko.helinko@fi.abb, Finland.

Pujiantara Margo (2003).”Penyempurnaan Desain Filter Harmonisa Menggunakan Kapasitor Eksisting Pada Pabrik Soda Kaustik Di Serang Banten”, Jurusan Teknik Elektro-FTI, Institut Teknologi Sepuluh, Surabaya.

Setiadji, Sentosa Julius (2003).” Pengaruh Harmonisa Pada Gardu Trafo Tiang 100 kVA di PLN APJ Surabaya Selatan”. Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Kristen Petra. Surabaya.

Motor Challenge is a partnership program between the U.S. Department of Energy and the nation’s industries”, Diakses 2 Juni 2010.

<http://www.motor.doe.gov>

Energy Efficiency in Asia”, Diakses 08 Mei 2010.

<http://www.energyefficiencyasia.org>

Power Factor The Basic”, Diakses 2 Juni 2010.

<http://www.powerstudies.com>

Lampiran 1. Data pengukuran panel utama per hari

Time	Beban (kW)					Daya Aktif (kVA)				
	Kamis	Jumat	Sabtu	Minggu	Senin	Kamis	Jumat	Sabtu	Minggu	Senin
0:13:24		1,972	2,046	2,050	2,046		2,167	2,281	2,286	2,281
0:28:24		1,911	2,160	2,165	2,160		2,130	2,374	2,380	2,374
0:43:24		1,849	2,118	2,121	2,118		2,091	2,361	2,364	2,361
0:58:24		1,709	2,152	2,155	2,152		2,022	2,399	2,402	2,399
1:13:24		1,733	2,182	2,184	2,182		2,020	2,398	2,400	2,398
1:28:24		1,733	2,101	2,100	2,101		2,020	2,343	2,341	2,343
1:43:24		1,703	1,896	1,894	1,896		1,984	2,177	2,174	2,177
1:58:24		1,598	1,704	1,699	1,704		1,891	2,017	2,010	2,017
2:13:24		1,608	1,686	1,684	1,686		1,903	1,965	1,962	1,965
2:28:24		1,653	1,787	1,781	1,787		1,926	2,052	2,045	2,052
2:43:24		1,873	1,742	1,736	1,742		2,118	2,031	2,023	2,031
2:58:24		1,858	1,666	1,666	1,666		2,133	2,003	2,002	2,003
3:13:24		1,895	1,827	1,829	1,827		2,143	2,129	2,131	2,129
3:28:24		1,836	1,788	1,798	1,788		2,108	2,084	2,096	2,084
3:43:24		1,836	1,794	1,803	1,794		2,108	2,157	2,167	2,157
3:58:24		1,854	1,871	1,879	1,871		2,129	2,214	2,224	2,214
4:13:24		1,843	1,917	1,927	1,917		2,116	2,234	2,246	2,234
4:28:24		1,809	1,906	1,921	1,906		2,108	2,221	2,239	2,221
4:43:24		1,723	1,878	1,895	1,878		2,040	2,222	2,242	2,222
4:58:24		1,624	1,849	1,860	1,849		1,952	2,188	2,201	2,188
5:13:24		1,816	1,783	1,789	1,783		1,995	2,143	2,150	2,143
5:28:24		1,886	1,670	1,676	1,670		2,043	2,071	2,079	2,071
5:43:24		1,797	1,548	1,556	1,548		1,975	1,951	1,963	1,951
5:58:24		1,613	1,421	1,427	1,421		1,825	1,853	1,860	1,853
6:13:24		1,499	1,299	1,305	1,299		1,671	1,723	1,731	1,723
6:28:24		1,366	1,479	1,490	1,479		1,592	1,865	1,879	1,865
6:43:24		1,551	1,744	1,752	1,744		1,704	2,064	2,074	2,064
6:58:24		1,563	1,843	1,854	1,843		1,743	2,148	2,161	2,148
7:13:24		1,686	1,832	1,846	1,832		1,853	2,135	2,151	2,135
7:28:24		1,800	1,787	1,799	1,787		1,978	2,083	2,096	2,083
7:43:24		1,815	1,924	1,925	1,924		1,994	2,242	2,243	2,242
7:58:24		1,869	1,831	1,841	1,831		2,025	2,167	2,179	2,167
8:13:24		1,786	1,905	1,917	1,905		2,021	2,220	2,235	2,220
8:28:24		1,766	1,927	1,939	1,927		2,058	2,246	2,260	2,246
8:43:24		1,901	1,955	1,956	1,955		2,151	2,244	2,246	2,244
8:58:24		1,924	1,926	1,927	1,926		2,177	2,211	2,212	2,211
9:13:24		1,988	1,867	1,868	1,867		2,249	2,176	2,177	2,176
9:28:24		2,016	1,885	1,885	1,885		2,247	2,164	2,164	2,164
9:43:24		2,077	1,924	1,926	1,924		2,283	2,209	2,211	2,209
9:58:24		2,052	1,936	1,933	1,936		2,255	2,223	2,220	2,223
10:13:24		2,026	1,892	1,897	1,892		2,259	2,205	2,211	2,205
10:28:24		1,850	1,944	1,954	1,944		2,124	2,232	2,243	2,232
10:43:24		1,983	1,947	1,956	1,947		2,210	2,235	2,246	2,235

10:58:24		1,982	1,924	1,926	1,924		2,209	2,242	2,245	2,242
11:13:24		1,800	1,973	1,976	1,973		2,067	2,266	2,269	2,266
11:28:24		1,704	1,929	1,937	1,929		1,986	2,215	2,224	2,215
11:43:24		1,039	1,985	1,989	1,985		1,142	2,279	2,283	2,279
11:58:24		423	1,932	1,934	1,932		451	2,219	2,220	2,219
12:13:24	1,808	379	1,817	1,818	1,817	2,076	416	2,150	2,152	2,150
12:28:24	1,808	377	1,778	1,771	1,778	2,076	415	2,105	2,096	2,105
12:43:24	1,794	394	1,684	1,680	1,684	2,091	426	1,993	1,989	1,993
12:58:24	1,868	1,096	1,648	1,640	1,648	2,144	1,110	1,981	1,971	1,981
13:13:24	1,798	1,920	1,626	1,618	1,626	2,096	2,110	1,954	1,945	1,954
13:28:24	1,859	1,942	1,496	1,489	1,496	2,134	2,196	1,886	1,877	1,886
13:43:24	1,830	1,904	1,425	1,426	1,425	2,101	2,153	1,797	1,798	1,797
13:58:24	1,745	1,785	1,283	1,286	1,283	2,034	2,049	1,701	1,706	1,701
14:13:24	1,651	1,666	1,651	1,656		1,924	1,942	1,924	1,930	
14:28:24	1,636	1,768	1,636	1,635		1,907	2,000	1,907	1,905	
14:43:24	1,832	1,837	1,832	1,831		2,073	2,047	2,073	2,071	
14:58:24	1,884	1,945	1,884	1,892		2,100	2,169	2,100	2,109	
15:13:24	1,842	2,004	1,842	1,945		1,996	2,202	1,996	2,107	
15:28:24	1,900	2,006	1,900	2,008		2,030	2,205	2,030	2,145	
15:43:24	1,896	2,006	1,896	1,941		2,084	2,204	2,084	2,133	
15:58:24	2,012	2,005	2,012	2,034		2,180	2,203	2,180	2,203	
16:13:24	2,128	2,062	2,128	2,187		2,273	2,266	2,273	2,337	
16:28:24	2,161	2,080	2,161	2,213		2,277	2,285	2,277	2,332	
16:43:24	2,124	2,054	2,124	2,180		2,269	2,258	2,269	2,329	
16:58:24	2,103	1,966	2,103	2,140		2,279	2,224	2,279	2,318	
17:13:24	2,111	1,889	2,111	2,155		2,287	2,169	2,287	2,334	
17:28:24	2,028	1,866	2,028	2,076		2,198	2,143	2,198	2,249	
17:43:24	1,751	1,817	1,751	1,762		2,010	2,118	2,010	2,023	
17:58:24	1,660	1,840	1,660	1,667		1,934	2,144	1,934	1,943	
18:13:24	1,697	1,939	1,697	1,714		1,948	2,193	1,948	1,968	
18:28:24	1,638	1,898	1,638	1,656		1,909	2,179	1,909	1,930	
18:43:24	1,658	1,865	1,658	1,674		1,932	2,141	1,932	1,951	
18:58:24	1,568	1,784	1,568	1,593		1,855	2,111	1,855	1,886	
19:13:24	1,834	1,842	1,834	1,856		2,015	2,146	2,015	2,039	
19:28:24	2,188	1,920	2,188	2,223		2,274	2,204	2,274	2,311	
19:43:24	2,254	1,992	2,254	2,289		2,312	2,253	2,312	2,348	
19:58:24	2,218	1,994	2,218	2,250		2,306	2,256	2,306	2,339	
20:13:24	2,168	1,905	2,168	2,218		2,253	2,187	2,253	2,305	
20:28:24	2,163	1,906	2,163	2,219		2,248	2,188	2,248	2,307	
20:43:24	2,194	1,898	2,194	2,233		2,281	2,179	2,281	2,321	
20:58:24	1,833	1,866	1,833	1,960		2,014	2,142	2,014	2,154	
21:13:24	1,125	1,865	1,125	1,151		1,185	2,141	1,185	1,213	
21:28:24	1,701	1,798	1,701	1,712		1,701	2,127	1,701	1,712	
21:43:24	2,141	1,758	2,141	2,148		2,141	2,113	2,141	2,148	

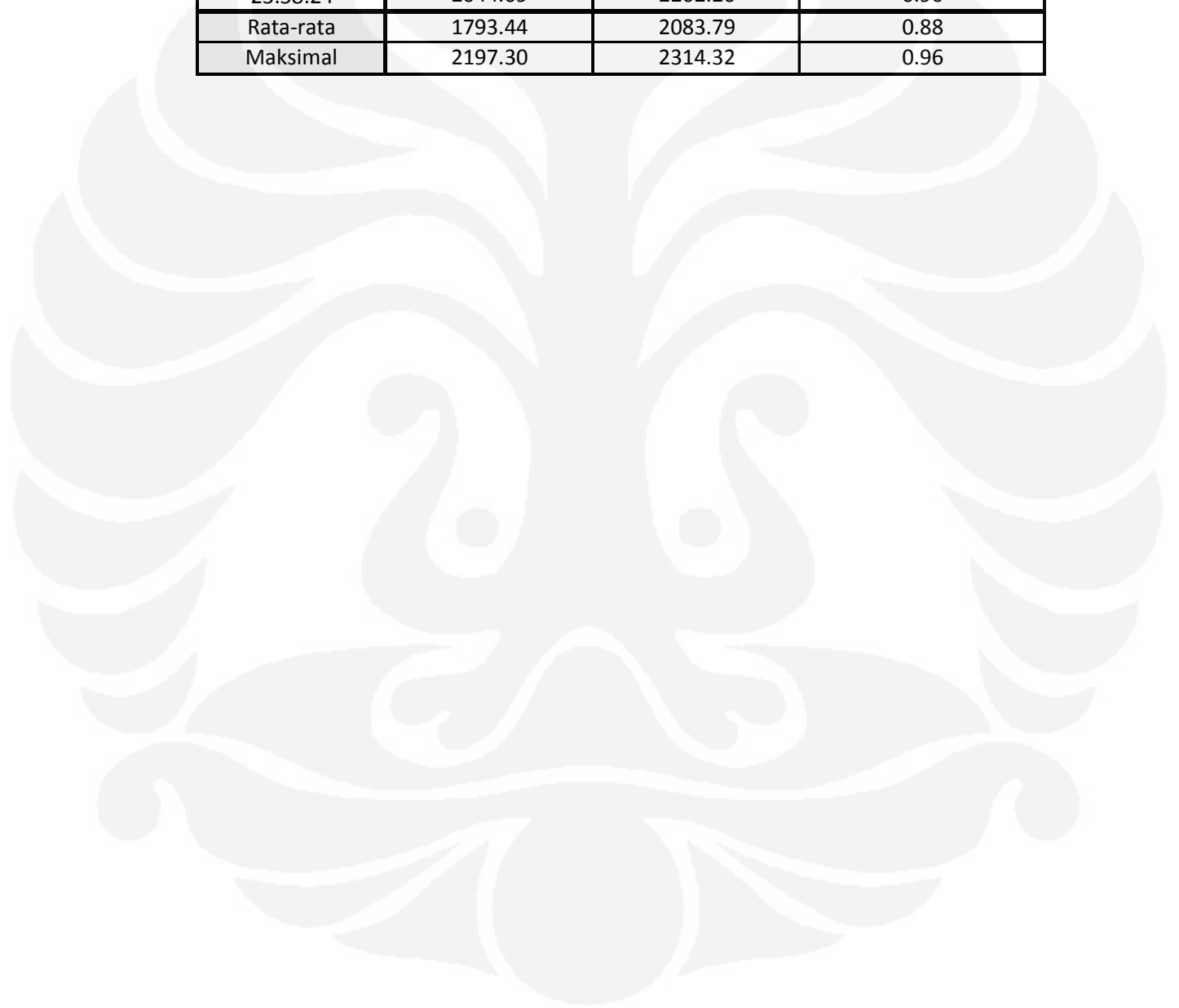
21:58:24	1,724	1,645	1,724	1,727		1,922	2,009	1,922	1,925	
22:13:24	1,699	1,583	1,699	1,702		1,894	1,933	1,894	1,898	
22:28:24	1,747	1,627	1,747	1,747		1,919	1,955	1,919	1,920	
22:43:24	1,799	1,873	1,799	1,801		2,066	2,150	2,066	2,067	
22:58:24	1,940	1,881	1,940	1,938		2,163	2,160	2,163	2,160	
23:13:24	1,975	1,902	1,975	1,973		2,202	2,151	2,202	2,199	
23:28:24	2,033	1,880	2,033	2,033		2,234	2,127	2,234	2,234	
23:43:24	2,093	1,962	2,093	2,084		2,300	2,219	2,300	2,290	
23:58:24	2,068	1,974	2,068	2,065		2,273	2,234	2,273	2,269	
Rata-rata	1,889	1,764	1,819	1,822	1,819	2,312	2,285	2,399	2,402	2,399
Maksimal	2,254	2,080	2,254	2,289	2,182	2,312	2,285	2,399	2,402	2,399

Lampiran 2. Data pengukuran panel utama rata - rata

Time	Rata-rata Harian		
	Beban	D. Aktif	Faktor Daya
	kW	kVA	Cosphi
0:13:24	2028.44	2253.50	0.90
0:28:24	2099.11	2314.32	0.91
0:43:24	2051.48	2294.62	0.89
0:58:24	2041.97	2305.75	0.88
1:13:24	2070.37	2303.99	0.90
1:28:24	2009.02	2261.67	0.89
1:43:24	1847.23	2128.22	0.87
1:58:24	1676.38	1983.88	0.85
2:13:24	1666.08	1949.03	0.85
2:28:24	1751.97	2018.63	0.87
2:43:24	1773.28	2050.71	0.86
2:58:24	1714.11	2035.23	0.84
3:13:24	1844.15	2133.12	0.86
3:28:24	1802.81	2093.19	0.86
3:43:24	1806.97	2147.13	0.84
3:58:24	1868.67	2195.07	0.85
4:13:24	1900.84	2207.42	0.86
4:28:24	1885.56	2197.62	0.86
4:43:24	1843.40	2181.54	0.85
4:58:24	1795.58	2132.45	0.84
5:13:24	1792.36	2107.51	0.85
5:28:24	1725.17	2066.26	0.84
5:43:24	1612.15	1960.13	0.82
5:58:24	1470.39	1847.49	0.80
6:13:24	1350.75	1712.20	0.79
6:28:24	1453.34	1800.09	0.81
6:43:24	1697.89	1976.56	0.86
6:58:24	1775.93	2050.05	0.87
7:13:24	1798.74	2068.36	0.87
7:28:24	1793.14	2059.94	0.87
7:43:24	1896.84	2180.55	0.87
7:58:24	1843.18	2134.55	0.86
8:13:24	1878.50	2174.09	0.86
8:28:24	1889.89	2202.67	0.86
8:43:24	1941.75	2221.31	0.87
8:58:24	1925.53	2202.60	0.87
9:13:24	1897.55	2194.55	0.86
9:28:24	1917.61	2184.85	0.88
9:43:24	1963.04	2228.22	0.88
9:58:24	1964.52	2230.23	0.88
10:13:24	1926.86	2220.10	0.87

10:28:24	1923.11	2207.93	0.87
10:43:24	1958.10	2231.61	0.88
10:58:24	1938.84	2234.62	0.87
11:13:24	1930.87	2216.85	0.87
11:28:24	1874.73	2159.80	0.87
11:43:24	1749.26	1995.55	0.88
11:58:24	1555.36	1777.29	0.89
12:13:24	1527.73	1788.79	0.86
12:28:24	1502.77	1759.27	0.86
12:43:24	1447.40	1698.59	0.86
12:58:24	1580.13	1837.48	0.87
13:13:24	1717.47	2011.61	0.85
13:28:24	1656.17	1996.10	0.83
13:43:24	1601.88	1929.27	0.83
13:58:24	1476.32	1838.27	0.80
14:13:24	1656.03	1930.11	0.86
14:28:24	1668.82	1929.86	0.86
14:43:24	1832.92	2065.91	0.89
14:58:24	1901.27	2119.59	0.90
15:13:24	1908.25	2075.20	0.92
15:28:24	1953.49	2102.37	0.93
15:43:24	1934.90	2126.26	0.91
15:58:24	2015.71	2191.63	0.92
16:13:24	2126.14	2287.25	0.93
16:28:24	2153.53	2292.74	0.94
16:43:24	2120.38	2281.04	0.93
16:58:24	2078.06	2274.90	0.91
17:13:24	2066.28	2269.20	0.91
17:28:24	1999.84	2196.86	0.91
17:43:24	1770.19	2040.27	0.87
17:58:24	1706.50	1988.93	0.86
18:13:24	1761.75	2014.50	0.87
18:28:24	1707.32	1981.63	0.86
18:43:24	1713.58	1989.07	0.86
18:58:24	1628.12	1926.77	0.85
19:13:24	1841.21	2053.96	0.90
19:28:24	2129.64	2265.89	0.94
19:43:24	2197.30	2306.22	0.95
19:58:24	2169.96	2301.40	0.94
20:13:24	2114.48	2249.71	0.94
20:28:24	2112.64	2247.84	0.94
20:43:24	2129.74	2265.39	0.94
20:58:24	1873.10	2081.31	0.90
21:13:24	1316.45	1431.19	0.93

21:28:24	1727.72	1810.15	0.96
21:43:24	2046.93	2135.66	0.96
21:58:24	1705.07	1944.52	0.88
22:13:24	1670.85	1904.73	0.88
22:28:24	1716.80	1928.49	0.89
22:43:24	1818.02	2087.28	0.87
22:58:24	1924.66	2161.31	0.89
23:13:24	1956.12	2188.53	0.89
23:28:24	1994.62	2207.08	0.90
23:43:24	2057.84	2277.21	0.90
23:58:24	2044.09	2262.20	0.90
Rata-rata	1793.44	2083.79	0.88
Maksimal	2197.30	2314.32	0.96



Lampiran 3. Data pengukuran tegangan panel utama per hari

Time	Jumat			sabtu			minggu			senin		
	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T
0:13:24	6140.30	6143.41	6041.23	6124.75	6133.19	6026.12	6140.30	6143.41	6041.23	6124.75	6133.19	6026.12
0:28:24	6138.52	6140.74	6035.90	6110.98	6130.97	6027.01	6138.52	6140.74	6035.90	6110.98	6130.97	6027.01
0:43:24	6130.08	6130.08	6028.79	6107.42	6128.75	6029.23	6130.08	6130.08	6028.79	6107.42	6128.75	6029.23
0:58:24	6134.97	6134.97	6036.78	6114.53	6134.08	6034.56	6134.97	6134.97	6036.78	6114.53	6134.08	6034.56
1:13:24	6132.30	6127.42	6033.23	6110.53	6128.30	6030.56	6132.30	6127.42	6033.23	6110.53	6128.30	6030.56
1:28:24	6131.41	6127.42	6033.23	6123.42	6138.97	6041.67	6131.41	6127.42	6033.23	6123.42	6138.97	6041.67
1:43:24	6130.53	6126.97	6031.90	6124.75	6139.86	6046.56	6130.53	6126.97	6031.90	6124.75	6139.86	6046.56
1:58:24	6138.08	6133.19	6037.67	6145.63	6158.07	6066.11	6138.08	6133.19	6037.67	6145.63	6158.07	6066.11
2:13:24	6134.52	6135.41	6038.12	6133.64	6146.08	6053.67	6134.52	6135.41	6038.12	6133.64	6146.08	6053.67
2:28:24	6124.75	6135.86	6040.78	6143.41	6156.29	6061.66	6124.75	6135.86	6040.78	6143.41	6156.29	6061.66
2:43:24	6125.64	6142.52	6048.78	6151.85	6165.18	6070.10	6125.64	6142.52	6048.78	6151.85	6165.18	6070.10
2:58:24	6133.64	6152.30	6056.33	6139.86	6152.30	6058.55	6133.64	6152.30	6056.33	6139.86	6152.30	6058.55
3:13:24	6128.75	6147.85	6051.45	6124.75	6136.75	6044.34	6128.75	6147.85	6051.45	6124.75	6136.75	6044.34
3:28:24	6130.97	6149.19	6051.89	6094.54	6113.20	6020.35	6130.97	6149.19	6051.89	6094.54	6113.20	6020.35
3:43:24	6130.08	6148.30	6051.45	6096.32	6117.20	6025.68	6130.08	6148.30	6051.45	6096.32	6117.20	6025.68
3:58:24	6120.31	6140.30	6044.34	6089.21	6113.20	6020.35	6120.31	6140.30	6044.34	6089.21	6113.20	6020.35
4:13:24	6117.20	6135.86	6041.23	6078.55	6102.54	6010.13	6117.20	6135.86	6041.23	6078.55	6102.54	6010.13
4:28:24	6131.41	6148.74	6055.00	6077.66	6101.20	6007.02	6131.41	6148.74	6055.00	6077.66	6101.20	6007.02
4:43:24	6142.97	6154.52	6060.78	6079.43	6103.43	6010.57	6142.97	6154.52	6060.78	6079.43	6103.43	6010.57
4:58:24	6129.64	6140.30	6046.56	6082.99	6108.31	6015.46	6129.64	6140.30	6046.56	6082.99	6108.31	6015.46
5:13:24	6115.42	6130.08	6035.90	6086.99	6112.76	6020.35	6115.42	6130.08	6035.90	6086.99	6112.76	6020.35
5:28:24	6114.53	6133.19	6037.67	6085.21	6114.53	6019.46	6114.53	6133.19	6037.67	6085.21	6114.53	6019.46
5:43:24	6120.75	6143.85	6046.11	6076.77	6112.31	6016.35	6120.75	6143.85	6046.11	6076.77	6112.31	6016.35
5:58:24	6135.41	6160.74	6059.00	6099.43	6140.30	6040.78	6135.41	6160.74	6059.00	6099.43	6140.30	6040.78
6:13:24	6143.85	6170.07	6061.22	6106.09	6147.85	6039.45	6143.85	6170.07	6061.22	6106.09	6147.85	6039.45
6:28:24	6161.63	6188.28	6074.55	6101.20	6145.19	6034.12	6161.63	6188.28	6074.55	6101.20	6145.19	6034.12
6:43:24	6130.97	6161.18	6051.45	6094.54	6136.30	6027.45	6130.97	6161.18	6051.45	6094.54	6136.30	6027.45
6:58:24	6139.86	6168.29	6064.33	6100.76	6135.41	6031.90	6139.86	6168.29	6064.33	6100.76	6135.41	6031.90
7:13:24	6150.52	6175.40	6070.55	6094.98	6131.86	6026.57	6150.52	6175.40	6070.55	6094.98	6131.86	6026.57
7:28:24	6131.86	6153.18	6050.11	6081.66	6120.31	6012.79	6131.86	6153.18	6050.11	6081.66	6120.31	6012.79
7:43:24	6115.42	6128.75	6025.23	6101.20	6132.30	6027.01	6115.42	6128.75	6025.23	6101.20	6132.30	6027.01
7:58:24	6137.63	6149.19	6043.45	6092.32	6118.09	6015.90	6137.63	6149.19	6043.45	6092.32	6118.09	6015.90
8:13:24	6127.42	6136.75	6030.56	6078.55	6102.09	5997.24	6127.42	6136.75	6030.56	6078.55	6102.09	5997.24
8:28:24	6132.30	6140.74	6035.45	6086.10	6108.76	5999.47	6132.30	6140.74	6035.45	6086.10	6108.76	5999.47
8:43:24	6126.97	6134.08	6028.79	6114.09	6138.08	6022.12	6126.97	6134.08	6028.79	6114.09	6138.08	6022.12
8:58:24	6133.19	6138.97	6031.90	6120.31	6147.41	6026.12	6133.19	6138.97	6031.90	6120.31	6147.41	6026.12
9:13:24	6136.75	6140.30	6035.90	6122.97	6149.19	6027.45	6136.75	6140.30	6035.90	6122.97	6149.19	6027.45
9:28:24	6131.86	6135.41	6029.68	6123.86	6149.63	6027.45	6131.86	6135.41	6029.68	6123.86	6149.63	6027.45
9:43:24	6130.53	6136.30	6031.90	6116.75	6142.52	6021.23	6130.53	6136.30	6031.90	6116.75	6142.52	6021.23
9:58:24	6119.86	6126.08	6021.68	6123.86	6149.63	6022.12	6119.86	6126.08	6021.68	6123.86	6149.63	6022.12
10:13:24	6127.86	6136.75	6030.56	6114.09	6135.86	5998.58	6127.86	6136.75	6030.56	6114.09	6135.86	5998.58
10:28:24	6116.31	6127.86	6020.35	6090.54	6110.09	5976.81	6116.31	6127.86	6020.35	6090.54	6110.09	5976.81
10:43:24	6126.08	6133.64	6027.90	6098.09	6118.97	5984.80	6126.08	6133.64	6027.90	6098.09	6118.97	5984.80
10:58:24	6124.75	6128.30	6026.12	6118.97	6137.19	6003.46	6124.75	6128.30	6026.12	6118.97	6137.19	6003.46
11:13:24	6126.97	6130.08	6025.68	6119.86	6134.08	6004.35	6126.97	6130.08	6025.68	6119.86	6134.08	6004.35
11:28:24	6133.19	6136.75	6031.01	6108.31	6124.31	5995.02	6133.19	6136.75	6031.01	6108.31	6124.31	5995.02
11:43:24	6133.19	6140.30	6029.23	6120.31	6136.75	6008.35	6133.19	6140.30	6029.23	6120.31	6136.75	6008.35
11:58:24	6118.53	6134.52	6022.57	6114.53	6137.63	6008.80	6118.53	6134.52	6022.57	6114.53	6137.63	6008.80

12:13:24	6122.53	6145.63	6031.90	6111.87	6142.97	6026.57	6122.53	6145.63	6031.90	6111.87	6142.97	6026.57
12:28:24	6098.98	6122.53	6006.13	6117.20	6149.19	6032.34	6098.98	6122.53	6006.13	6117.20	6149.19	6032.34
12:43:24	6093.21	6121.64	6001.69	6102.54	6134.97	6023.01	6093.21	6121.64	6001.69	6102.54	6134.97	6023.01
12:58:24	6078.99	6100.76	5986.14	6102.98	6132.75	6022.57	6078.99	6100.76	5986.14	6102.98	6132.75	6022.57
13:13:24	6073.66	6086.99	5980.36	6096.32	6116.75	6010.57	6073.66	6086.99	5980.36	6096.32	6116.75	6010.57
13:28:24	6086.10	6094.98	5992.36	6110.09	6126.97	6021.68	6086.10	6094.98	5992.36	6110.09	6126.97	6021.68
13:43:24	6099.43	6107.42	6003.02	6082.54	6111.87	5995.02	6099.43	6107.42	6003.02	6082.54	6111.87	5995.02
13:58:24	6106.09	6113.64	6009.68	6062.55	6131.41	5982.14	6106.09	6113.64	6009.68	6062.55	6131.41	5982.14
14:13:24	6103.43	6110.98	6008.35	6083.43	6101.20	5984.36	6103.43	6110.98	6008.35			
14:28:24	6102.54	6107.87	6004.80	6103.87	6121.64	6003.91	6102.54	6107.87	6004.80			
14:43:24	6103.43	6107.42	6003.91	6103.87	6117.64	6005.24	6103.43	6107.42	6003.91			
14:58:24	6110.98	6114.53	6013.24	6069.66	6079.88	6008.35	6110.98	6114.53	6013.24			
15:13:24	6102.09	6108.31	6007.91	5620.06	5627.61	6004.80	6102.09	6108.31	6007.91			
15:28:24	6110.53	6114.98	6017.68	5622.72	5632.05	5997.69	6110.53	6114.98	6017.68			
15:43:24	6110.09	6112.31	6015.90	5909.72	5904.84	6002.58	6110.09	6112.31	6015.90			
15:58:24	6104.76	6110.09	6014.13	6023.01	6015.90	6000.35	6104.76	6110.09	6014.13			
16:13:24	6114.53	6119.42	6021.68	5895.95	5864.41	6000.35	6114.53	6119.42	6021.68			
16:28:24	6104.31	6107.87	6009.68	5909.72	5886.18	5990.58	6104.31	6107.87	6009.68			
16:43:24	6094.54	6096.32	6000.80	5885.29	5860.85	5980.36	6094.54	6096.32	6000.80			
16:58:24	6098.09	6100.76	6003.91	5961.26	5955.48	5977.70	6098.09	6100.76	6003.91			
17:13:24	6109.20	6113.64	6014.57	5944.82	5932.38	5988.80	6109.20	6113.64	6014.57			
17:28:24	6102.09	6111.87	6006.57	5914.61	5894.17	5992.36	6102.09	6111.87	6006.57			
17:43:24	6096.32	6110.09	6002.58	6047.00	6048.34	5996.80	6096.32	6110.09	6002.58			
17:58:24	6105.65	6116.31	6010.57	6075.88	6081.21	5998.13	6105.65	6116.31	6010.57			
18:13:24	6110.98	6118.53	6018.12	6037.67	6031.01	5997.24	6110.98	6118.53	6018.12			
18:28:24	6103.87	6112.76	6010.13	6011.91	6002.58	6007.91	6103.87	6112.76	6010.13			
18:43:24	6095.87	6105.20	6003.91	6008.80	5998.58	6013.24	6095.87	6105.20	6003.91			
18:58:24	6113.20	6122.08	6019.46	5982.14	5967.03	6007.46	6113.20	6122.08	6019.46			
19:13:24	6112.31	6120.75	6019.01	6015.01	6013.24	6002.58	6112.31	6120.75	6019.01			
19:28:24	6109.65	6118.09	6013.68	5978.14	5971.48	5998.58	6109.65	6118.09	6013.68			
19:43:24	6113.20	6124.31	6015.01	5985.69	5977.25	6006.57	6113.20	6124.31	6015.01			
19:58:24	6120.31	6132.75	6020.79	6002.58	5997.69	6011.02	6120.31	6132.75	6020.79			
20:13:24	6124.75	6139.41	6027.01	5936.38	5917.27	6020.79	6124.75	6139.41	6027.01			
20:28:24	6129.64	6144.30	6031.01	5917.72	5898.62	6014.57	6129.64	6144.30	6031.01			
20:43:24	6135.86	6152.30	6035.90	5995.02	5986.58	6018.57	6135.86	6152.30	6035.90			
20:58:24	6134.52	6150.52	6033.67	5696.03	5684.48	5746.67	6134.52	6150.52	6033.67			
21:13:24	6129.64	6146.96	6030.12	5995.02	6012.35	5879.51	6129.64	6146.96	6030.12			
21:28:24	6130.08	6146.96	6016.35	6096.32	6110.98	5972.36	6130.08	6146.96	6016.35			
21:43:24	6126.97	6142.08	6000.80	6104.31	6116.31	5985.25	6126.97	6142.08	6000.80			
21:58:24	6130.97	6144.74	6019.90	6117.64	6134.08	6010.57	6130.97	6144.74	6019.90			
22:13:24	6122.97	6135.41	6000.80	6101.65	6116.31	6000.80	6122.97	6135.41	6000.80			
22:28:24	6117.64	6130.08	5996.36	6108.31	6120.75	6007.46	6117.64	6130.08	5996.36			
22:43:24	6130.08	6142.52	6014.57	6121.64	6133.64	6019.90	6130.08	6142.52	6014.57			
22:58:24	6117.64	6133.19	6017.24	6127.86	6135.86	6024.79	6117.64	6133.19	6017.24			
23:13:24	6128.30	6140.30	6026.57	6139.86	6144.30	6035.01	6128.30	6140.30	6026.57			
23:28:24	6128.75	6135.86	6024.79	6130.08	6131.41	6027.01	6128.75	6135.86	6024.79			
23:43:24	6119.42	6126.97	6019.46	6146.52	6149.19	6044.78	6119.42	6126.97	6019.46			
23:58:24	6126.97	6134.52	6026.12	6138.08	6141.19	6037.23	6126.97	6134.52	6026.12			

Lampiran 4. Data pengukuran panel utama per hari

Time	Tegangan Rata - Rata Harian		
	R	S	T
0:13:24	6132.53	6138.30	6033.67
0:28:24	6124.75	6135.86	6031.45
0:43:24	6118.75	6129.42	6029.01
0:58:24	6124.75	6134.52	6035.67
1:13:24	6121.42	6127.86	6031.90
1:28:24	6127.42	6133.19	6037.45
1:43:24	6127.64	6133.41	6039.23
1:58:24	6141.85	6145.63	6051.89
2:13:24	6134.08	6140.74	6045.89
2:28:24	6134.08	6146.08	6051.22
2:43:24	6138.75	6153.85	6059.44
2:58:24	6136.75	6152.30	6057.44
3:13:24	6126.75	6142.30	6047.89
3:28:24	6112.76	6131.19	6036.12
3:43:24	6113.20	6132.75	6038.56
3:58:24	6104.76	6126.75	6032.34
4:13:24	6097.87	6119.20	6025.68
4:28:24	6104.54	6124.97	6031.01
4:43:24	6111.20	6128.97	6035.67
4:58:24	6106.31	6124.31	6031.01
5:13:24	6101.20	6121.42	6028.12
5:28:24	6099.87	6123.86	6028.57
5:43:24	6098.76	6128.08	6031.23
5:58:24	6117.42	6150.52	6049.89
6:13:24	6124.97	6158.96	6050.33
6:28:24	6131.41	6166.73	6054.33
6:43:24	6112.76	6148.74	6039.45
6:58:24	6120.31	6151.85	6048.11
7:13:24	6122.75	6153.63	6048.56
7:28:24	6106.76	6136.75	6031.45
7:43:24	6108.31	6130.53	6026.12
7:58:24	6114.98	6133.64	6029.68
8:13:24	6102.98	6119.42	6013.90
8:28:24	6109.20	6124.75	6017.46
8:43:24	6120.53	6136.08	6025.46
8:58:24	6126.75	6143.19	6029.01
9:13:24	6129.86	6144.74	6031.68
9:28:24	6127.86	6142.52	6028.57
9:43:24	6123.64	6139.41	6026.57
9:58:24	6121.86	6137.86	6021.90
10:13:24	6120.97	6136.30	6014.57
10:28:24	6103.43	6118.97	5998.58
10:43:24	6112.09	6126.31	6006.35

10:58:24	6121.86	6132.75	6014.79
11:13:24	6123.42	6132.08	6015.01
11:28:24	6120.75	6130.53	6013.02
11:43:24	6126.75	6138.52	6018.79
11:58:24	6116.53	6136.08	6015.68
12:13:24	6117.20	6144.30	6029.23
12:28:24	6108.09	6135.86	6019.24
12:43:24	6097.87	6128.30	6012.35
12:58:24	6090.99	6116.75	6004.35
13:13:24	6084.99	6101.87	5995.47
13:28:24	6098.09	6110.98	6007.02
13:43:24	6090.99	6109.65	5999.02
13:58:24	6084.32	6122.53	5995.91
14:13:24	6096.76	6107.72	6000.35
14:28:24	6102.98	6112.46	6004.50
14:43:24	6103.57	6110.83	6004.35
14:58:24	6097.21	6102.98	6011.61
15:13:24	5941.41	5948.08	6006.87
15:28:24	5947.93	5954.00	6011.02
15:43:24	6043.30	6043.15	6011.46
15:58:24	6077.51	6078.69	6009.54
16:13:24	6041.67	6034.41	6014.57
16:28:24	6039.45	6033.97	6003.32
16:43:24	6024.79	6017.83	5993.99
16:58:24	6052.48	6052.33	5995.17
17:13:24	6054.41	6053.22	6005.98
17:28:24	6039.60	6039.30	6001.83
17:43:24	6079.88	6089.50	6000.65
17:58:24	6095.72	6104.61	6006.43
18:13:24	6086.54	6089.36	6011.16
18:28:24	6073.21	6076.03	6009.39
18:43:24	6066.85	6069.66	6007.02
18:58:24	6069.51	6070.40	6015.46
19:13:24	6079.88	6084.91	6013.53
19:28:24	6065.81	6069.22	6008.65
19:43:24	6070.70	6075.29	6012.20
19:58:24	6081.06	6087.73	6017.53
20:13:24	6061.96	6065.37	6024.94
20:28:24	6059.00	6062.40	6025.53
20:43:24	6088.91	6097.06	6030.12

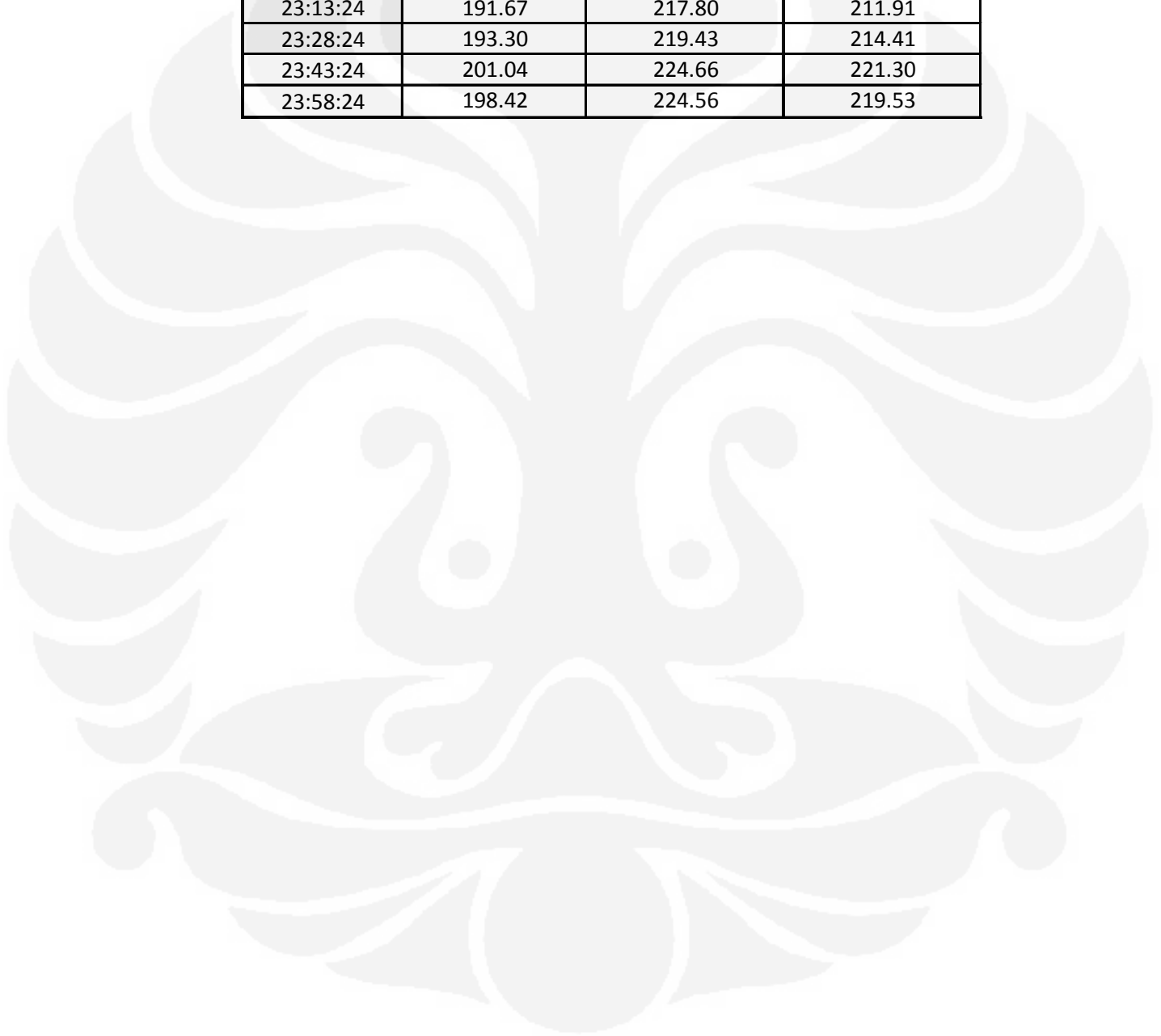
20:58:24	5988.36	5995.17	5938.01
21:13:24	6084.77	6102.09	5979.92
21:28:24	6118.83	6134.97	6001.69
21:43:24	6119.42	6133.49	5995.62
21:58:24	6126.53	6141.19	6016.79
22:13:24	6115.86	6129.05	6000.80
22:28:24	6114.53	6126.97	6000.06
22:43:24	6127.27	6139.56	6016.35
22:58:24	6121.05	6134.08	6019.75
23:13:24	6132.15	6141.63	6029.38
23:28:24	6129.19	6134.38	6025.53
23:43:24	6128.45	6134.38	6027.90
23:58:24	6130.67	6136.75	6029.82

Lampiran 5. Data pengukuran arus rata – rata panel utama

Time	Arus Rata - Rata Harian		
	R	S	T
0:13:24	196.67	223.68	219.46
0:28:24	203.42	227.90	226.21
0:43:24	202.58	224.52	225.37
0:58:24	203.42	225.37	226.21
1:13:24	203.42	225.37	226.21
1:28:24	198.36	222.84	221.15
1:43:24	187.38	209.33	207.64
1:58:24	173.04	196.67	192.45
2:13:24	170.50	191.61	190.76
2:28:24	176.41	196.67	199.20
2:43:24	178.94	200.89	200.89
2:58:24	178.94	198.36	199.20
3:13:24	186.54	209.33	209.33
3:28:24	185.70	203.42	205.95
3:43:24	190.76	208.49	211.02
3:58:24	196.67	211.02	216.93
4:13:24	199.20	213.55	216.08
4:28:24	195.83	213.55	216.08
4:43:24	194.14	211.86	214.40
4:58:24	189.92	207.64	209.33
5:13:24	188.23	203.42	208.49
5:28:24	184.85	199.20	204.27
5:43:24	175.57	187.38	194.98
5:58:24	163.75	176.41	184.01
6:13:24	150.25	165.44	169.66
6:28:24	157.84	173.88	178.10
6:43:24	176.41	191.61	193.29
6:58:24	182.32	200.05	199.20
7:13:24	184.85	200.05	201.73
7:28:24	183.16	200.89	201.73
7:43:24	193.29	214.40	212.71
7:58:24	189.07	210.17	207.64
8:13:24	194.14	215.24	210.17
8:28:24	197.51	218.62	211.02
8:43:24	196.67	221.15	213.55
8:58:24	194.98	219.46	211.02
9:13:24	194.14	218.62	210.17
9:28:24	194.14	218.62	207.64
9:43:24	197.51	221.99	213.55
9:58:24	196.67	223.68	213.55
10:13:24	194.14	223.68	213.55
10:28:24	194.14	222.84	212.71
10:43:24	195.83	225.37	214.40

10:58:24	195.83	225.37	214.40
11:13:24	192.45	224.52	213.55
11:28:24	188.23	220.30	205.95
11:43:24	173.88	201.73	191.61
11:58:24	153.62	179.79	172.19
12:13:24	156.80	178.42	173.25
12:28:24	154.47	176.67	169.32
12:43:24	148.52	172.07	163.28
12:58:24	162.64	184.17	177.39
13:13:24	178.17	202.47	194.29
13:28:24	176.79	200.43	192.26
13:43:24	170.80	195.08	184.93
13:58:24	163.47	185.63	175.57
14:13:24	169.57	195.77	185.57
14:28:24	168.82	195.05	186.54
14:43:24	182.32	208.54	198.37
14:58:24	188.02	213.35	203.39
15:13:24	186.52	211.51	204.25
15:28:24	188.99	213.99	206.68
15:43:24	190.55	215.69	204.19
15:58:24	196.23	221.42	209.25
16:13:24	206.39	229.65	221.02
16:28:24	207.37	230.70	221.03
16:43:24	206.44	229.77	221.02
16:58:24	206.02	229.51	217.61
17:13:24	205.02	227.60	218.46
17:28:24	196.49	221.50	213.47
17:43:24	181.23	203.92	198.33
17:58:24	176.27	197.32	194.07
18:13:24	176.90	200.41	198.24
18:28:24	174.28	197.76	194.97
18:43:24	175.99	196.94	196.72
18:58:24	169.89	190.79	190.70
19:13:24	180.99	201.98	204.17
19:28:24	201.85	223.62	223.59
19:43:24	206.07	226.98	227.00
19:58:24	203.61	227.06	226.99
20:13:24	199.01	222.31	222.80
20:28:24	198.88	222.17	222.73
20:43:24	198.43	225.19	222.73

20:58:24	185.93	209.95	207.64
21:13:24	121.94	146.33	140.37
21:28:24	154.32	184.67	176.20
21:43:24	183.89	215.09	209.24
21:58:24	167.07	194.08	191.56
22:13:24	164.50	190.66	187.38
22:28:24	165.40	193.24	190.82
22:43:24	179.75	208.44	205.14
22:58:24	189.13	215.25	210.22
23:13:24	191.67	217.80	211.91
23:28:24	193.30	219.43	214.41
23:43:24	201.04	224.66	221.30
23:58:24	198.42	224.56	219.53



Jumlah kabel dan penampang (mm ²)	Resistansi DC pada 70 °C R Ω/km	Resistansi pada 70 °C R Ω/km	Reaktansi induktif X _L Ω/km	Resistansi efektif per unit panjang $R^1_L \cos Q + X^1_L \sin q$ Pada cos				
				0,95	0,9	0,8	0,7	0,6
				Ω/km	Ω/km	Ω/km	Ω/km	Ω/km
4 x 1,5	14,47	14,17	0,115	13,8	13,8	11,65	10,2	8,77
4 x 2,5	8,71	8,71	0,110	8,31	7,89	7,03	6,18	5,31
4 x 4	5,45	5,45	0,107	5,21	4,95	4,42	3,89	3,36
4 x 6	3,62	3,62	0,100	3,47	3,30	2,96	2,61	2,25
4 x 10	2,16	2,16	0,094	2,08	1,99	1,78	1,58	1,37
4 x 16	1,36	1,36	0,090	1,32	1,26	1,14	1,02	1,888
4 x 25	0,863	0,863	0,086	0,847	0,814	0,742	0,666	0,587
4 x 35	0,827	0,627	0,083	0,622	0,60	0,55	0,498	0,443
4 x 50	0,463	0,463	0,083	0,466	0,453	0,42	0,38	0,344
4 x 70	0,321	0,321	0,082	0,331	0,326	0,306	0,283	0,258
4 x 95	0,231	0,232	0,082	0,246	0,245	0,235	0,221	0,205
4 x 120	0,183	0,184	0,080	0,2	0,2	0,195	0,186	0,174
4 x 150	0,149	0,150	0,080	0,168	0,17	0,168	0,162	0,154
4 x 185	0,118	0,1201	0,080	0,139	0,143	0,144	0,141	0,136
4 x 240	0,0901	0,0922	0,079	0,112	0,117	0,121	0,121	0,119
4 x 300	0,0718	0,0745	0,079	0,0954	0,101	0,107	0,109	0,108



