



UNIVERSITAS INDONESIA

**KONSERVASI ENERGI LISTRIK PADA INDUSTRI
OTOMOTIF**

SKRIPSI

HADI PRASETIO

040323024Y

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
DESEMBER 2008**



UNIVERSITAS INDONESIA

**KONSERVASI ENERGI LISTRIK PADA INDUSTRI
OTOMOTIF**

SKRIPSI

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

**HADI PRASETIO
040323024Y**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
DESEMBER 2008**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Hadi Prasetyo

NPM : 040323024Y

Tanda Tangan :

Tanggal : 30 Desember 2008

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Hadi Prasetio
NPM : 040323024Y
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Konservasi Energi Listrik Pada Industri Otomotif

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 : Ir. Amien Rahardjo MT ()
Penguji : Prof. Ir. Rudy Setiabudy MSc, Ph.D ()
Penguji : Budi Sudiarto ST, MT ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 30 Desember 2008

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 Teknik 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. Ir. Amien Rahardjo M.T., selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
2. Natan Karunianto S.T. dan rekan-rekan dari Maintenance Department serta Dhodhit Priyo Utomo dari Production Engineering Department PT. Astra Daihatsu Motor – Press Plant yang telah banyak membantu dalam memperoleh data yang saya perlukan;
3. Orang tua dan adik-adik saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; dan
4. Laila Fajriani yang telah banyak membantu saya dalam segi moral dalam menyelesaikan skripsi ini.

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

Depok, 30 Desember 2008

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama : Hadi Prasetio
NPM : 040323024Y
Program Studi : Teknik Elektro
Departemen : Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

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

KONSERVASI ENERGI LISTRIK PADA INDUSTRI OTOMOTIF

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir 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 : 30 Desember 2008
Yang menyatakan

(Hadi Prasetio)

ABSTRAK

Nama : Hadi Prasetio
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Konservasi Energi Listrik pada Industri Otomotif

Konservasi energi dalam dunia industri otomotif belum menjadi aktivitas yang dijalankan dengan konsisten sebagai tindakan praktis dalam usaha menekan rugi-rugi dan penghematan energi listrik serta mengurangi biaya produksi. Dalam proses produksinya, pelaku sektor industri masih menggunakan energi listrik tanpa terlalu memperhatikan peluang-peluang penghematannya. Penelitian ini membahas aktivitas-aktivitas pelaksanaan konservasi energi listrik di industri otomotif yang meliputi audit energi serta peluang penghematan energi dengan menerapkan teknologi yang lebih efisien baik secara teknis maupun ekonomis.

Konservasi energi listrik adalah penggunaan energi listrik secara efisiensi tinggi melalui langkah-langkah penurunan berbagai kehilangan (*loss*) energi listrik pada semua taraf pengelolaan, mulai dari pembangkitan, pengiriman (transmisi), sampai dengan pemanfaatan. Fase-fase yang lengkap untuk melakukan manajemen energi ada tiga tahapan, yaitu: fase pendahuluan, fase audit dan analisis, serta fase pelaksanaan.

PT.ADM PP, yang memproduksi *body* kendaraan bermotor, pasokan energi listriknya berasal gardu distribusi PK 87 dan PK 79 yang memiliki kapasitas masing-masing 3895 kVA serta genset 1000 kVA dan 500 kVA sebagai suplai listrik cadangan. Sistem distribusinya terbagi ke tujuh LVMDP untuk memberi energi ke fasilitas-fasilitas utama produksi yakni *shearing line*, *press line*, *welding line*, *die maintenance facility*, *finish parts warehouse*, dan *inline packing*.

Konservasi energi listrik dilakukan dengan optimalisasi kapasitas daya terpasang, perbaikan faktor daya, serta reduksi distorsi harmonik arus pada sistem distribusi PT.ADM PP. Penurunan kapasitas langganan PLN pada PK 87 menjadi 3500 kVA dan PK 79 menjadi 3700 kVA. Perbaikan faktor daya direncanakan menggunakan bank kapasitor untuk meningkatkan faktor daya sistem yang pada awalnya di bawah 0,85 menjadi 0,95. Kemudian reduksi distorsi harmonik arus menggunakan filter harmonik akan menurunkan nilai THD arus awal yang besarnya di atas 20% menjadi 2,5%.

Potensi penghematan energi dan pengurangan biaya yang diperoleh dari aktivitas konservasi energi listrik adalah sebesar Rp.17.405.000 per bulan dari penurunan kapasitas langganan listrik kemudian penghematan energi sebesar 2,40% per bulan dari perbaikan faktor daya dan 1,58% per bulan dari reduksi distorsi harmonik arus. Konsumsi energi spesifik PT.ADM PP turun 3,98% dari nilai awal sebesar 62,12 kWh/unit menjadi 59,65 kWh/unit.

Kata Kunci:

Konservasi energi listrik, audit energi listrik, konsumsi energi spesifik, pengurangan biaya

ABSTRACT

Name : Hadi Prasetyo
Study Program : Electrical Engineering
Title : Electrical Energy Conservation in Automotive Industry

The energy conservation has not become a consistently-done activity in automotive industry as a concrete effort to reduce losses and to save electrical energy and also to reduce the production cost. In the production process, the industrial sector stakeholders still use the electrical energy without concerning the electrical energy saving opportunities. This research investigates about the activities of electrical energy conservation in the automotive industry which consist of energy audit and energy saving opportunities through implementation of more efficient technology by considering the technical and economical aspects.

Electrical energy conservation is to utilize the electrical energy with high efficiency through steps of electrical losses reductions in all of management levels, starting from the electrical generation, electrical transmission, until its utilization. Complete phases of energy management are consisting of preliminary phase, audit and analysis phase, and implementation phase.

PT.ADM PP produces body components of automobiles. Its electrical energy supply comes from two electrical sub stations i.e. PK 87 and PK 79. The power capacity of each electrical sub stations is 3895 kVA. There are also 1000 kVA and 500 kVA generator sets as emergency electrical supply for PT.ADM PP. The distribution system consist of seven low voltage main distribution panels to supply energy for the main production facilities such as shearing line, press line, welding line, die maintenance facility, finish parts warehouse, and inline packing.

Electrical energy conservation is done by optimizing the existing electrical power capacity, power factor correction, and reducing the total harmonic distortion of electrical current in the electrical distribution system of PT.ADM PP. The electrical power capacity of PK 87 is reduced to 3500 kVA and PK 79 is reduced to 3700 kVA. Power factor correction by installing capacitor banks increases the electrical power factor from under 0.85 to become 0.95. The total harmonic distortion of electrical current reduction using harmonic filters will reduce the THD from above 20% to 2.5%.

The electrical energy saving and cost reduction which resulting from electrical energy conservation activities is as much as Rp.17,405,000 per month from the electrical power capacity reduction, then the energy saving from the power factor correction is 2.40% per month, and electrical current THD reduction has 1.58% power saving per month. Specific energy consumption is reduced from beginning value of 62.12 kWh/unit to 59.65 kWh/unit, equals to 3.98% reduction.

Keywords:

Electrical energy conservation, energy audit, specific energy consumption, cost reduction

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	v
ABSTRAK.....	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xi
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Metodologi Penelitian	3
1.5.1 Studi Literatur	3
1.5.2 Survey Lapangan.....	4
1.5.3 Pengolahan Data dan Analisa	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
2. DASAR TEORI	5
2.1 Konservasi Energi Listrik	5
2.1.1 Pengertian.....	5
2.1.2 Audit Energi Listrik	5
2.1.3 Elemen Audit Energi.....	7
2.2 Sistem Tiga Fasa	9
2.2.1 Karakteristik Sistem Tiga Fasa	9
2.2.2 Daya pada Sistem Tiga Fasa	10
2.3 Perbaikan Faktor Daya.....	12
2.4 Metode Perbaikan Faktor Daya.....	13
2.4.1 Kompensasi Global	13
2.4.2 Kompensasi Sektorial.....	14
2.4.3 Kompensasi Individual.....	14
2.5 Distorsi Harmonik.....	14
2.6 Tarif Listrik	16
2.6.1 Biaya Awal.....	16
2.6.2 Biaya Bulanan	16
2.7 Interaksi Pertimbangan Teknis dan Ekonomis.....	17
2.7.1 Faktor Kebutuhan.....	17
2.7.2 Faktor Keragaman Beban.....	18
2.7.3 Faktor Beban	20
2.8 <i>Life-Cycle Cost Analysis</i>	20
2.8.1 Penentuan Periode Studi	21

2.8.2	Perkiraan Biaya pada LCCA.....	22
2.8.3	Perhitungan Nilai Uang Terhadap Waktu Sekarang	23
2.8.4	<i>Life-Cycle Cost Analysis</i>	23
2.8.5	Keputusan Berdasarkan LCCA.....	26
3.	AUDIT ENERGI LISTRIK	27
3.1	PT.Astra Daihatsu Motor Press Plant	27
3.1.1	Proses Produksi	28
3.1.2	Fasilitas Produksi PT.ADM PP.....	29
3.1.3	Hasil Produksi	30
3.2	Data Teknis Kelistrikan.....	31
3.2.1	Sistem Suplai Energi Listrik	31
3.2.2	Diagram Satu Garis Distribusi Listrik.....	33
3.2.3	Data Konsumsi Energi Listrik.....	35
3.2.4	Data Biaya Energi Listrik.....	36
3.2.5	Konsumsi Energi Spesifik.....	37
3.3	Hasil Pengukuran Besaran Listrik.....	38
3.3.1	Hasil Pengukuran di Area Gardu Distribusi PK 87	38
3.3.2	Hasil Pengukuran di Area Gardu Distribusi PK 79	42
4.	ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	46
4.1	Analisa Hasil Pengukuran	46
4.1.1	Frekuensi	46
4.1.2	Tegangan	48
4.1.3	Faktor Daya	49
4.1.4	<i>Total Harmonic Distortion Arus</i>	50
4.1.5	Daya	52
4.1.6	Potensi Konservasi Energi	53
4.2	Optimalisasi Daya Terpasang	53
4.2.1	Optimalisasi Kapasitas Gardu Distribusi PK 87	53
4.2.2	Optimalisasi Kapasitas Gardu Distribusi PK 79	56
4.3	Perbaikan Faktor Daya.....	59
4.3.1	Perbaikan Faktor Daya Gardu Distribusi PK 87 dan PK 79	59
4.3.2	Penghematan Energi dan Pengurangan Biaya.....	60
4.4	Reduksi Distorsi Harmonik Arus	63
4.4.1	Reduksi Harmonik Arus pada Area Suplai Gardu PK 87	63
4.4.2	Reduksi Harmonik Arus pada Area Suplai Gardu PK 79	66
4.5	Analisa Ekonomi Upaya Konservasi Energi Listrik	67
4.5.1	Analisa LCC pada Optimalisasi Kapasitas Daya Terpasang	67
4.5.2	Analisa LCC pada Perbaikan Faktor Daya	72
4.5.3	Analisa LCC Reduksi Distorsi Harmonik Arus	76
4.6	Resume Upaya Konservasi Energi Listrik	80
4.6.1	Penghematan Energi dan Pengurangan Biaya.....	80
4.6.2	Perubahan Konsumsi Energi Spesifik.....	80
5.	KESIMPULAN.....	82
	DAFTAR ACUAN.....	83

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Tegangan AC dengan beda fasa 120°	9
Gambar 2.2	Hubungan untuk sistem tiga fasa	10
Gambar 2.3	Jenis-jenis beban tiga fasa seimbang.....	10
Gambar 2.4	Hubungan segitiga daya pada rangkaian tiga fasa	11
Gambar 2.5	Ilustrasi <i>demand, average demand, maximum demand</i>	18
Gambar 2.6	Ilustrasi keragaman beban.....	19
Gambar 2.7	Periode studi dan periode layanan.....	21
Gambar 2.8	Periode <i>phased-in planning</i> dan <i>construction</i>	22
Gambar 3.1	<i>Layout</i> PT. Astra Daihatsu Motor – Press Plant	27
Gambar 3.2	Aliran proses produksi di PT.ADM PP.....	28
Gambar 3.3	Grafik hasil produksi PT. ADM PP berdasarkan varian kendaraan	30
Gambar 3.4	Diagram satu garis sistem distribusi yang disuplai dari PK 87.....	33
Gambar 3.5	Diagram satu garis sistem distribusi yang disuplai dari PK 79.....	34
Gambar 3.6	Grafik konsumsi energi listrik PT.ADM PP	35
Gambar 3.7	Grafik biaya energi listrik PT.ADM PP.....	36
Gambar 3.8	Grafik konsumsi energi spesifik PT.ADM PP	37
Gambar 3.9	Titik pengukuran di area gardu PK 87	38
Gambar 3.10	Titik pengukuran di area gardu PK 79	42
Gambar 4.1	Grafik frekuensi pada LVMDP 1, 2, 3, dan 4 dibandingkan dengan frekuensi nominal sistem	46
Gambar 4.2	Grafik persentase deviasi frekuensi pada LVMDP 1, 2, 3, dan 4 ...	46
Gambar 4.3	Grafik frekuensi pada LVMDP 5, 6, dan 7 dibandingkan dengan frekuensi nominal sistem	47
Gambar 4.4	Grafik persentase deviasi frekuensi pada LVMDP 5, 6, dan 7	47
Gambar 4.5	Grafik tegangan pada LVMDP 1, 2, 3, dan 4.....	48
Gambar 4.6	Grafik tegangan pada LVMDP 5, 6, dan 7.....	48
Gambar 4.7	Grafik faktor daya pada tiap LVMDP.....	50
Gambar 4.8	Grafik THD arus pada LVMDP 1, 2, 3, dan 4	51
Gambar 4.9	Grafik THD arus pada LVMDP 5, 6, dan 7	51
Gambar 4.10	Grafik hasil pengukuran daya kompleks di gardu distribusi PK 87 dan PK 79.....	52

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Hasil produksi PT.ADM PP (Oktober 2007 – September 2008).....	30
Tabel 3.2	Data transformator yang disuplai oleh gardu PK 87	31
Tabel 3.3	Data transformator yang disuplai oleh gardu PK 79	32
Tabel 3.4	Data konsumsi energi listrik PT.ADM PP	35
Tabel 3.5	Biaya energi listrik PT.ADM PP	36
Tabel 3.6	Konsumsi energi spesifik PT.ADM PP	37
Tabel 3.7	Data pengukuran parameter daya listrik di LVMDP 1, 2, 3, 4	39
Tabel 3.8	Data pengukuran parameter tegangan listrik di LVMDP 1, 2, 3, 4 ..	40
Tabel 3.9	Data pengukuran parameter arus listrik di LVMDP 1, 2, 3, 4	41
Tabel 3.10	Data pengukuran parameter daya listrik di LVMDP 5, 6, 7	43
Tabel 3.11	Data pengukuran parameter tegangan listrik di LVMDP 5, 6, 7	44
Tabel 3.12	Data pengukuran parameter arus listrik di LVMDP 5, 6, 7	45
Tabel 4.1	Perhitungan daya aktif dan daya kompleks total di LVMDP 5	49
Tabel 4.2	Hasil perhitungan faktor daya untuk seluruh LVMDP	49
Tabel 4.3	Waktu kerja harian normal PT.ADM PP	53
Tabel 4.4	Rekapitulasi daya aktif dan daya kompleks gardu distribusi PK 87 berdasarkan data rekening listrik	54
Tabel 4.5	Rekapitulasi daya aktif dan daya kompleks gardu distribusi PK 87 berdasarkan data pengukuran	55
Tabel 4.6	Perbandingan nilai daya kompleks dan <i>demand factor</i> gardu PK 87 hasil rekapitulasi rekening listrik dengan hasil pengukuran	55
Tabel 4.7	Rekapitulasi daya aktif dan daya kompleks gardu distribusi PK 79 berdasarkan data rekening listrik	57
Tabel 4.8	Rekapitulasi daya aktif dan daya kompleks gardu distribusi PK 79 berdasarkan data pengukuran	58
Tabel 4.9	Perbandingan nilai daya kompleks dan <i>demand factor</i> gardu PK 79 hasil rekapitulasi rekening listrik dengan hasil pengukuran	58
Tabel 4.10	Hasil perhitungan bank kapasitor untuk seluruh LVMDP	60
Tabel 4.11	Faktor daya untuk tiap gardu distribusi PT.ADM PP	60
Tabel 4.12	Perhitungan potensi denda kelebihan kVARH	61
Tabel 4.13	Persentase pengurangan rugi-rugi tiap LVMDP	61
Tabel 4.14	Persentase pengurangan rugi-rugi tiap gardu distribusi	61
Tabel 4.15	Perhitungan penghematan energi dan pengurangan biaya per bulan untuk tiap LVMDP	62
Tabel 4.16	Perhitungan penghematan energi dan pengurangan biaya per bulan untuk tiap gardu distribusi berdasarkan pengukuran	62
Tabel 4.17	Perhitungan penghematan energi dan pengurangan biaya per bulan untuk tiap gardu distribusi berdasarkan rekapitulasi kWh meter	63
Tabel 4.18	Titik pengukuran yang memiliki THD arus di atas 20%	63
Tabel 4.19	Data pengukuran daya aktif, daya reaktif, dan daya kompleks di titik 14 dan 15 pada LVMDP 1	64
Tabel 4.20	Data pengukuran besaran listrik pada titik 7 di LVMDP 3	65
Tabel 4.21	Penghematan energi dan pengurangan biaya melalui reduksi distorsi harmonik arus	66

Tabel 4.22	Perhitungan LCC untuk penyesuaian kapasitas daya PT.ADM PP dengan tingkat pemotongan 15% per tahun.....	68
Tabel 4.23	Perhitungan penghematan untuk penyesuaian kapasitas daya PT.ADM PP dengan tingkat pemotongan 15% per tahun	68
Tabel 4.24	Perhitungan waktu balik modal untuk penyesuaian kapasitas daya PT.ADM PP dengan tingkat pemotongan 15% per tahun	69
Tabel 4.25	Perhitungan LCC untuk penyesuaian kapasitas daya PT.ADM PP dengan tingkat pemotongan 9% per tahun.....	70
Tabel 4.26	Perhitungan penghematan untuk penyesuaian kapasitas daya PT.ADM PP dengan tingkat pemotongan 9% per tahun	70
Tabel 4.27	Perhitungan waktu balik modal untuk penyesuaian kapasitas daya PT.ADM PP dengan tingkat pemotongan 9% per tahun	71
Tabel 4.28	Perhitungan LCC untuk perbaikan faktor daya PT.ADM PP dengan tingkat pemotongan 15% per tahun.....	72
Tabel 4.29	Perhitungan penghematan untuk perbaikan faktor daya PT.ADM PP dengan tingkat pemotongan 15% per tahun.....	73
Tabel 4.30	Perhitungan waktu balik modal untuk perbaikan faktor daya PT.ADM PP dengan tingkat pemotongan 15% per tahun.....	73
Tabel 4.31	Perhitungan LCC untuk perbaikan faktor daya PT.ADM PP dengan tingkat pemotongan 9% per tahun	74
Tabel 4.32	Perhitungan penghematan untuk perbaikan faktor daya PT.ADM PP dengan tingkat pemotongan 9% per tahun.....	74
Tabel 4.33	Perhitungan waktu balik modal untuk perbaikan faktor daya PT.ADM PP dengan tingkat pemotongan 9% per tahun.....	75
Tabel 4.34	Perhitungan LCC untuk reduksi THD arus di PT.ADM PP dengan tingkat pemotongan 15% per tahun.....	76
Tabel 4.35	Perhitungan penghematan untuk reduksi THD arus di PT.ADM PP dengan tingkat pemotongan 15% per tahun.....	76
Tabel 4.36	Perhitungan waktu balik modal untuk reduksi THD arus di PT.ADM PP dengan tingkat pemotongan 15% per tahun.....	77
Tabel 4.37	Perhitungan LCC untuk reduksi THD arus di PT.ADM PP dengan tingkat pemotongan 9% per tahun	78
Tabel 4.38	Perhitungan penghematan untuk reduksi THD arus di PT.ADM PP dengan tingkat pemotongan 9% per tahun.....	78
Tabel 4.39	Perhitungan waktu balik modal untuk reduksi THD arus di PT.ADM PP dengan tingkat pemotongan 9% per tahun.....	79
Tabel 4.40	Penghematan energi dan pengurangan biaya tetap	80
Tabel 4.41	Penghematan energi dan pengurangan biaya variabel	80
Tabel 4.42	Penurunan KES pasca konservasi energi listrik.....	81

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Laju pertumbuhan ekonomi dan pertambahan penduduk sangat terkait dengan konsumsi energi yang terus meningkat. Manajemen energi di tanah air selama ini lebih memberikan prioritas pada penyediaan energi atau perluasan akses terhadap energi kepada masyarakat yang diwujudkan dalam peningkatan eksploitasi bahan bakar fosil atau pembangunan listrik pedesaan. Pada sisi yang lain konsumsi energi masih dibiarkan meningkat dengan cepat bahkan lebih cepat daripada pertumbuhan ekonomi, misalnya ditunjukkan pada permintaan terhadap tenaga listrik.

Dalam rangka optimalisasi penggunaan energi, pemerintah telah mengeluarkan beberapa kebijakan umum yang berkaitan dengan pemanfaatan energi yang meliputi kebijakan diversifikasi, intensifikasi, konservasi, harga energi dan lingkungan antara lain Kebijakan Umum Bidang Energi (KUBE) tahun 1998 dan Kebijakan Energi Nasional tahun (KEN) 2004. Kebijakan-kebijakan ini diperbaiki dan diperbarui terus menerus sesuai dengan kondisi di masa mendatang.

Pemerintah juga telah mengeluarkan Instruksi Presiden No.10/2005 tentang penghematan energi menyusul terjadinya krisis pengadaan BBM pada tahun 2005. Pada tahun 2006, pemerintah melalui Peraturan Presiden No.5/2006 mengeluarkan KEN yang merupakan revisi dari KEN tahun 2004. KEN bertujuan untuk mengarahkan upaya-upaya dalam mewujudkan keamanan pasokan energi dalam negeri, mengoptimalkan produksi energi, dan melakukan konservasi energi.

Konservasi energi sebagai sebuah pilar manajemen energi nasional belum mendapat perhatian yang memadai di Indonesia. Konservasi energi bermanfaat bukan hanya untuk menekan konsumsi dan biaya konsumsi energi namun juga memberikan dampak yang lebih baik terhadap lingkungan. Faktor-faktor yang membuat konservasi energi tidak berkembang di Indonesia adalah adanya pandangan di kalangan masyarakat bahwa Indonesia adalah negara yang dianugerahi dengan kekayaan sumber daya energi yang berlimpah sehingga

penggunaan energi secara hemat tidak dianggap sebagai sebuah keharusan, kemudian biaya investasi yang tinggi, kemampuan sumber daya manusia masih rendah sehingga pengetahuan terhadap teknologi yang efisien masih sangat kurang, dan dukungan pemerintah untuk melakukan upaya konservasi energi masih kurang tidak seperti di Jepang yang telah memulai program konservasi energi sejak tahun 1973 dan saat ini telah menjadi contoh terbaik dunia untuk program konservasi energi serta Thailand sebagai contoh negara berkembang di ASEAN yang juga serius melaksanakan program ini.

Perkembangan industri di Indonesia dengan segala fenomena kemajuannya tidak dapat lepas dari pemanfaatan energi di dalam proses produksinya. Energi listrik sebagai salah satu energi utama sangat diperlukan dalam memenuhi rencana produksi sehingga industri-industri dapat memperoleh keuntungan. Industri otomotif sebagai bagian dari industri yang ada di Indonesia mengalami perkembangan dari tahun ke tahun. Seiring dengan jumlah produksi kendaraan yang bertambah, konsumsi energi sebagai faktor utama penunjang proses produksi juga semakin meningkat. Kebutuhan energi tersebut perlu dibarengi dengan konservasi energi sebagai langkah aktif penghematan energi listrik dalam skala perusahaan dan mendukung kebijakan pemerintah dalam melaksanakan manajemen energi nasional secara optimal.

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Konservasi energi dalam dunia industri otomotif belum menjadi aktivitas yang dijalankan dengan konsisten sebagai tindakan praktis dalam usaha menekan rugi-rugi dan penghematan energi listrik serta mengurangi biaya produksi. Dalam proses produksinya, pelaku sektor industri masih menggunakan energi listrik tanpa terlalu memperhatikan peluang-peluang penghematannya.

1.3 TUJUAN

Skripsi ini bertujuan untuk menghasilkan rekomendasi aktivitas-aktivitas pelaksanaan konservasi energi listrik di industri otomotif yang meliputi audit energi serta peluang penghematan energi dengan menerapkan teknologi yang lebih efisien berdasarkan pertimbangan teknis dan ekonomis.

1.4 BATASAN MASALAH

Skripsi ini membahas aktivitas konservasi energi pada industri otomotif dengan batasan meliputi hal-hal sebagai berikut:

1. Industri otomotif yang dibahas adalah pabrik pencetakan *body* dan rangka mobil.
2. Audit energi listrik yang dilakukan merupakan audit energi yang bersifat pendahuluan dan tidak melakukan modifikasi pada desain proses industri otomotif.
3. Dalam audit energi listrik diasumsikan bahwa desain proses dan aliran material dari objek penelitian tidak dapat diubah secara signifikan.
4. Parameter konsumsi energi pada industri otomotif ditinjau melalui konsumsi energi spesifik.
5. Peningkatan kualitas daya dilakukan dengan metode-metode umum yang telah ada dalam usaha perbaikannya.
6. Biaya konsumsi energi listrik dihitung berdasarkan standar perhitungan tarif PLN.

1.5 METODOLOGI PENELITIAN

Skripsi ini menggunakan tiga urutan metodologi berikut:

1.5.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk:

1. Mempelajari kebijakan pemerintah dan aktivitas pelaku dunia industri otomotif dalam usaha konservasi energi listrik.
2. Mempelajari metode audit energi listrik.
3. Mempelajari teori kelistrikan yang bermanfaat dalam peningkatan efisiensi dan kualitas daya listrik.

1.5.2 Survey Lapangan

Survey lapangan merupakan wahana untuk memperoleh data-data yang dibutuhkan dari objek penelitian. Survey lapangan dilakukan di PT. Astra Daihatsu Motor – Press Plant sebagai objek penelitian dengan mengukur

parameter kualitas daya listrik menggunakan *Power Quality Analyzer* merek Hioki tipe 3196.

1.5.3 Pengolahan Data dan Analisa

Pengolahan data dilakukan untuk memperoleh parameter-parameter yang digunakan dalam analisa teknis dan analisa ekonomis. Analisa bertujuan untuk menentukan aktivitas pelaksanaan konservasi energi listrik yang dapat dilakukan beserta perhitungan dari segi teknis maupun ekonomisnya.

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Penulisan seminar ini dibagi ke dalam beberapa bab. Bab 1 memberikan uraian tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan. Bab 2 membahas mengenai landasan teori mengenai konsep dasar konservasi energi, audit energi, daya listrik, perbaikan faktor daya, penurunan total distorsi harmonik arus, perhitungan tarif listrik serta teori analisis keuangan. Bab 3 berisi proses audit energi listrik pada industri otomotif yang meliputi tahapan proses produksi pada industri otomotif pembuatan *body* dan rangka mobil, jumlah produksi, data sistem kelistrikan, konsumsi energi berdasarkan data historisnya, biaya energi listrik, dan data pengukuran parameter kualitas daya listrik. Bab 4 berisi pengolahan data dan analisis konservasi energi listrik yang dapat dilakukan berdasarkan analisis teknis dan ekonomis. Bab 5 merupakan kesimpulan dari penelitian ini.

BAB 2

DASAR TEORI

2.1 KONSERVASI ENERGI LISTRIK

2.1.1 Pengertian

Banyak upaya yang dapat dilakukan dalam konservasi energi listrik, upaya tersebut dapat dilakukan baik di sisi penyedia listrik (*supply*) atau di sisi konsumsi listrik (*demand*). Metode untuk mencapai efisiensi konsumsi energi listrik pada sisi pemakai energi listrik lazim disebut *Demand Side Management* (DSM) di mana salah satu jenisnya adalah konservasi energi listrik.

Konservasi energi didefinisikan sebagai penggunaan energi, sumber energi dan sumber daya energi secara efisien dan rasional tanpa mengurangi penggunaan energi yang memang benar-benar diperlukan dan tidak menurunkan fungsi energi itu sendiri secara teknis namun memiliki tingkat ekonomi yang serendah-rendahnya, dapat diterima oleh masyarakat serta tidak pula mengganggu lingkungan. Sehingga konservasi energi listrik adalah penggunaan energi listrik secara efisiensi tinggi melalui langkah-langkah penurunan berbagai kehilangan (*loss*) energi listrik pada semua taraf pengelolaan, mulai dari pembangkitan, pengiriman (transmisi), sampai dengan pemanfaatan. Sederhananya dengan kata lain yang lebih sederhana, konservasi energi listrik adalah penghematan energi listrik [1], [2].

2.1.2 Audit Energi Listrik

Audit Energi Listrik adalah suatu metode untuk mengetahui dan mengevaluasi efektivitas dan efisiensi pemakaian energi listrik di suatu tempat. Audit energi listrik didefinisikan sebagai analisa dari perbandingan antara masukan dan keluaran per satuan output dalam suatu sistem pemanfaatan energi listrik. Hasil dari audit energi listrik diharapkan mampu menentukan efisiensi penggunaan energi listrik per konsumen, sekaligus langkah-langkah apa yang harus dilakukan untuk meningkatkan efisiensi. Penerapan konservasi energi antara lain melalui audit energi listrik akan mendorong efisiensi penggunaan energi

listrik, sehingga penambahan pembangkitan energi listrik tidak menjadi sesuatu yang mubazir. Audit energi biasanya dikerjakan dalam dua tingkat, yaitu audit pendahuluan (*preliminary*) dan audit rinci (*detailed*) [3].

2.1.2.1 Audit Energi Pendahuluan

Audit energi pendahuluan merupakan pengumpulan data awal, tidak menggunakan instrumentasi yang canggih dan hanya menggunakan data yang tersedia. Dengan kata lain audit energi awal merupakan pengumpulan data di mana, bagaimana, berapa, dan jenis energi apa yang dipergunakan oleh suatu fasilitas. Daya ini diperoleh dari catatan penggunaan energi pada tahun-tahun/bulan-bulan sebelumnya pada bangunan dan keseluruhan sistem kelengkapannya.

Audit energi awal mempunyai tiga tahap pelaksanaan yaitu [3]:

- a. Melakukan identifikasi berapa jumlah dan biaya energi menurut jenis energi yang dipergunakan oleh bangunan dan kelengkapannya.
- b. Melakukan identifikasi konsumsi energi per bagian/ sistem dari bangunan dan kelengkapannya.
- c. Mengoreksi masukan energi dan keluaran produksi atau biasa disebut dengan intensitas energi.

Hasil dari audit energi awal berupa langkah-langkah “*housekeeping*” yang tanpa biaya atau dengan biaya rendah, dan daftar sumber-sumber pemborosan energi yang nyata. Audit energi memberikan identifikasi tentang perlunya dilakukan audit energi rinci serta ruang lingkungannya.

2.1.2.2 Audit Energi Rinci

Audit energi rinci (*Detailed Energy Audit*) merupakan survey dengan memakai instrumen untuk menyelidiki peralatan-peralatan pemakai energi, yang selanjutnya diteruskan dengan analisa secara rinci terhadap masing-masing komponen, peralatan, grup-grup komponen yang melengkapi bangunan guna mengidentifikasi jumlah energi yang dikonsumsi oleh peralatan, komponen, bagian-bagian tertentu dari bangunan, sehingga pada akhirnya dapat disusun aliran energi keseluruhan bangunan.

Secara lengkap, prosedur audit energi rinci dapat dibagi ke dalam delapan langkah utama sebagai berikut [3]:

- a. Perencanaan – merencanakan audit secara teliti, mengidentifikasi bagian-bagian atau peralatan-peralatan utama pengguna energi dan merencanakan pemakaian waktu yang tersedia secara efisien bagi tim audit.
- b. Pengumpulan data dasar – mengumpulkan data dasar yang tersedia, meliputi penggunaan energi dan kegiatan produksi dan jadwal penggunaan gedung.
- c. Data pengujian peralatan – melakukan pengujian operasi dan mendapatkan data baru pada kondisi operasi yang sebenarnya.
- d. Analisa data – menganalisa data yang telah dikumpulkan, termasuk menggambarkan grafik energi spesifik, menghitung efisiensi peralatan dan membuat *system balance* dan *electricity balance*.
- e. Rekomendasi tanpa biaya/ dengan biaya rendah – mengidentifikasi cara-cara operasi, pemeliharaan dan *housekeeping* yang akan menghilangkan pemborosan energi atau memperbaiki efisiensi.
- f. Investasi modal – mengidentifikasi peluang penghematan energi yang memerlukan investasi.
- g. Rencana pelaksanaan – menggambarkan dengan jelas rencana pelaksanaan yang memuat semua langkah yang diperlukan oleh perusahaan untuk menerapkan rekomendasi.
- h. Laporan – menyusun laporan untuk manajemen, menyimpulkan temuan hasil audit, rekomendasi yang dibuat dan rencana pelaksanaan/ implementasi.

2.1.3 Elemen Audit Energi Listrik

Elemen-elemen dari proses audit energi listrik antara lain [1]:

- a. Diagram Proses Produksi (Pada konsumen industri)
Diagram proses produksi merupakan skema yang menggambarkan alur proses produksi. Dimulai dari bahan mentah, proses awal, hingga *finishing* atau produk yang dihasilkan.
- b. Diagram Alir Energi
Diagram alir energi menggambarkan pasokan awal energi listrik yang kemudian dikonversi menjadi bentuk energi lainnya (mekanis, panas, cahaya,

dan sebagainya). Melalui diagram energi dapat diamati proses konversi energi listrik melalui peralatan yang digunakan.

c. Analisa suplai listrik dan instalasinya

Analisa suplai listrik mencakup kapasitas suplai, *captive power* (bila ada), kapasitas transformator, besaran daya aktif (MW) dan reaktif (MVA_r), *load factor*, pembebanan pada instalasi listrik, serta parameter kualitas daya.

d. Data produksi (pada konsumen industri)

Data produksi mencakup *output* yang dihasilkan serta perhitungan biaya energi/ *output*. Melalui perhitungan ini diharapkan dapat diketahui berapa biaya energi yang dikeluarkan untuk menghasilkan satu satuan *output*.

e. Analisa konsumsi energi listrik spesifik

Analisa konsumsi energi spesifik mencakup analisa penggunaan energi listrik per jenis peralatan. Setelah diketahui total penggunaan energi listrik oleh setiap peralatan, dapat pula diketahui tingkat susut (*losses*) dari suatu sistem.

f. Rekapitulasi energi listrik

Rekapitulasi energi listrik merupakan resume dari analisa sebelumnya dengan memasukkan unsur biaya energi listrik, yang mencakup tiga aspek:

- Rekapitulasi konsumsi: merupakan rekap konsumsi energi listrik per jenis peralatan yang digambarkan pada diagram alir energi.
- Referensi: merupakan acuan yang digunakan untuk membandingkan konsumsi energi listrik oleh tiap jenis peralatan. Referensi bisa bersumber pada standar peralatan, SPLN, maupun acuan lainnya.
- Tingkat Efisiensi: merupakan perbandingan antara rekapitulasi konsumsi dan referensi. Tingkat efisiensi ini menentukan kinerja dari suatu sistem pemanfaatan energi listrik.

g. Rekomendasi Efisiensi

Rekomendasi efisiensi berisi saran dan langkah-langkah yang harus dilakukan untuk mencapai tingkat efisiensi yang lebih baik di masa mendatang. Ada tiga skenario dalam rekomendasi efisiensi:

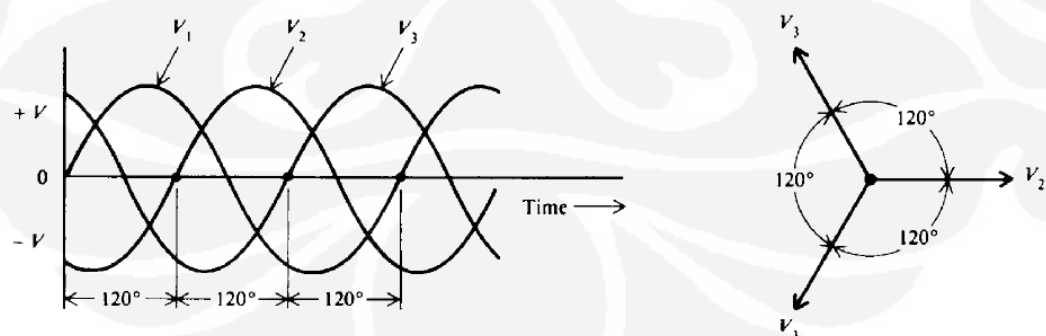
- *Low Cost*: apabila perubahan yang dilakukan bersifat pemeliharaan atau perubahan pada pola konsumsi tiap jenis peralatan.

- *Medium Cost*: apabila perubahan yang dilakukan menyangkut penggantian sebagian elemen peralatan yang dinilai kurang optimal.
- *High Cost*: apabila perubahan yang dilakukan merupakan investasi yang cukup besar, misalnya menambah peralatan atau mengubah sistem instalasi energi listrik.

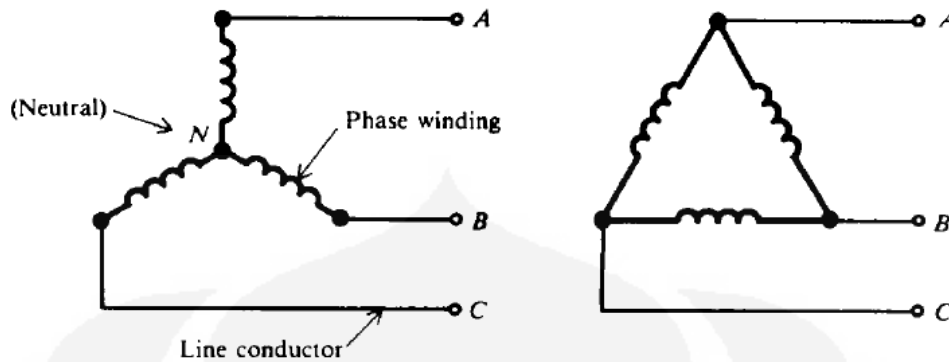
2.2 SISTEM TIGA FASA

2.2.1 Karakteristik Sistem Tiga Fasa

Sebuah sistem tiga fasa merupakan kombinasi dari tiga buah sistem satu fasa. Dalam sistem tiga fasa yang seimbang, daya bersumber dari sebuah generator AC yang menghasilkan tiga tegangan terpisah namun sama besarnya di mana saling memiliki perbedaan fasa sebesar 120° (Gambar 2.1). Meskipun rangkaian satu fasa digunakan luas dalam sistem kelistrikan, pembangkitan dan distribusi arus bolak-balik adalah menggunakan sistem tiga fasa. Rangkaian tiga fasa membutuhkan berat penghantar yang lebih sedikit dibandingkan dengan sistem satu fasa dengan *rating* daya yang sama. Sistem tiga fasa lebih fleksibel dalam pemilihan tegangan dan dapat digunakan untuk beban satu fasa. Kemudian peralatan dengan sistem tiga fasa memiliki ukuran yang lebih kecil, massa yang lebih ringan, dan lebih efisien daripada mesin satu fasa dengan kapasitas yang sama. Sistem tiga fasa dapat dihubungkan dalam hubungan bintang (*Y-connected*) maupun hubungan segitiga (*delta-connected*) seperti pada Gambar 2.2 [4].



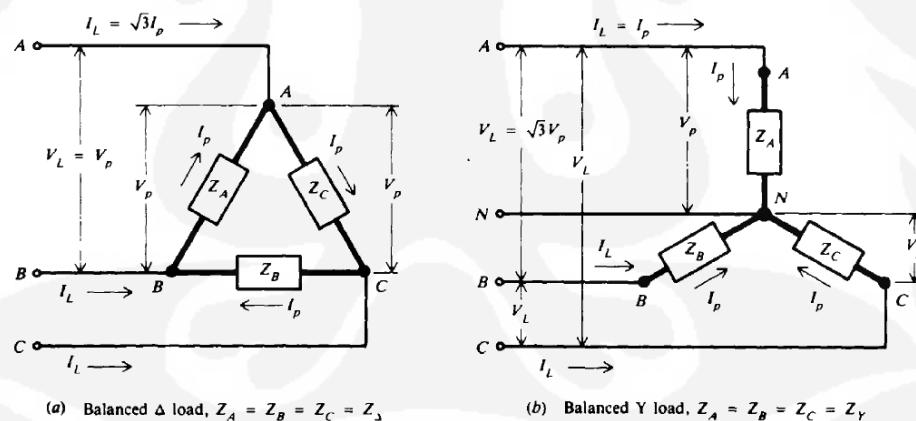
Gambar 2.1 Tegangan AC dengan beda fasa 120°



Gambar 2.2 Hubungan untuk sistem tiga fasa

2.2.2 Daya Pada Sistem Tiga Fasa

Sebuah beban seimbang memiliki impedansi yang identik pada tiap kumpulan sekundernya (Gambar 2.3). Impedansi dari tiap kumpulan beban delta ditunjukkan sebanding dengan Z_{Δ} dan pada beban bintang sama dengan Z_Y . Untuk kedua hubungan tersebut jala-jala A, B, dan C menyediakan sistem tegangan tiga fasa. Titik netral N pada hubungan bintang merupakan konduktor keempat dari sistem tiga fasa empat kawat [4].



Gambar 2.3 Jenis-jenis beban tiga fasa seimbang

Pada beban delta seimbang, tegangan *line* V_L dan tegangan fasa V_p adalah sama, dan arus *line* I_L adalah $\sqrt{3}$ kali arus fasa I_p ditunjukkan dengan persamaan berikut:

$$V_L = V_p \quad (2.1)$$

$$I_L = \sqrt{3}I_p \quad (2.2)$$

Untuk beban bintang seimbang, arus line I_L memiliki nilai yang sama dengan arus fasa I_p , arus netral I_N sama dengan nol, dan tegangan line V_L sama dengan $\sqrt{3}$ kali tegangan fasa V_p ditunjukkan dalam persamaan berikut:

$$I_L = I_p \quad (2.3)$$

$$I_N = 0 \quad (2.4)$$

$$V_L = \sqrt{3}V_p \quad (2.5)$$

Karena impedansi fasa dari beban bintang atau delta seimbang memiliki besar arus yang sama, daya tiap kumparan besarnya sepertiga dari daya total. Daya pada tiap kumparan P_p adalah:

$$P_p = V_p I_p \cos \theta \quad (2.6)$$

Dan daya total P_T adalah:

$$P_T = 3V_p I_p \cos \theta \quad (2.7)$$

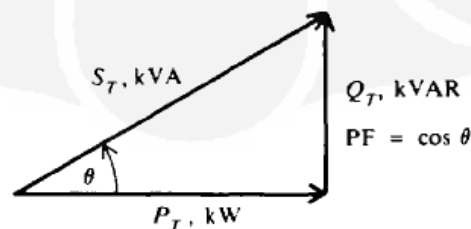
Pada beban delta seimbang di mana $V_L = V_p$ dan $I_p = \sqrt{3}I_L/3$, daya totalnya adalah:

$$P_T = \sqrt{3}V_L I_L \cos \theta \quad (2.8)$$

Pada beban bintang seimbang di mana $I_L = I_p$ dan $V_p = \sqrt{3}V_L/3$, jika disubstitusikan ke persamaan 2.7 akan diperoleh daya total :

$$P_T = \sqrt{3}V_L I_L \cos \theta \quad (2.8)$$

Jadi persamaan daya total untuk hubungan bintang maupun delta adalah identik. θ merupakan sudut fasa antara tegangan dan arus pada impedansi beban sehingga $\cos \theta$ merupakan faktor daya dari beban.



Gambar 2.4 Hubungan segitiga daya pada rangkaian tiga fasa

Total daya kompleks S_T dinyatakan dalam voltampere dan total daya reaktif Q_T dinyatakan dalam Voltampere reaktif memiliki hubungan dengan daya nyata P_T yang dinyatakan dalam Watt seperti pada gambar 2.4. Oleh karena itu, beban tiga fasa seimbang memiliki daya nyata, daya kompleks, dan daya reaktif yang dinyatakan dengan persamaan:

$$P_T = \sqrt{3}V_L I_L \cos \theta \quad (2.9)$$

$$S_T = \sqrt{3}V_L I_L \quad (2.10)$$

$$Q_T = \sqrt{3}V_L I_L \sin \theta \quad (2.11)$$

dengan:

P_T = Daya nyata total, W

S_T = Daya kompleks total, VA

Q_T = Daya reaktif total, VAR

V_L = Tegangan *line*, V

I_L = Arus *line*, A

θ = Sudut fasa

$\sqrt{3} = 1,73$, konstanta

2.3 PERBAIKAN FAKTOR DAYA

Faktor daya yang tinggi sangat diperlukan dalam konsumsi daya yang besar, semakin tinggi nilai faktor dayanya maka semakin baik alasannya adalah bahwa arus yang diperlukan untuk mengantarkan daya ke beban berbanding terbalik dengan terhadap faktor daya beban sebagaimana dibuktikan melalui persamaan berikut [5]:

$$P = VI \cos \theta \quad (2.12)$$

$$I = \frac{P}{V \cos \theta} = \frac{P}{V \times PF} \quad (2.13)$$

Sehingga untuk tiap daya P yang diserap dan tegangan V yang digunakan, semakin kecil faktor daya yang digunakan maka akan semakin besar arus I ke beban. Arus yang lebih tinggi dari yang diperlukan sangat tidak diinginkan karena

semakin besar pula rugi-rugi tegangan dan rugi-rugi daya I^2R pada saluran dan peralatan distribusi listrik yang lain.

Dalam kenyataannya, faktor daya yang rendah selalu merupakan akibat dari beban induktif karena hampir seluruh beban bersifat induktif. Dari segitiga daya dapat dilihat bahwa nilai VAR yang dikonsumsi beban membuat sisi vertikal dari segitiga daya menjadi tinggi dan juga sudut θ yang besar. Hasilnya adalah $\cos\theta$ atau faktor daya yang kecil. Perbaikan faktor daya pada beban membutuhkan penambahan kapasitor untuk menyediakan nilai VAR yang dikonsumsi oleh beban induktif. Dari sudut pandang yang lain, kapasitor ini memulai arus ke beban di mana apabila tanpa kapasitor, arus ini akan berasal dari sumber tenaga listrik.

Untuk mendapatkan kapasitansi minimum yang diperlukan untuk memperbaiki faktor daya menjadi nilai yang diinginkan, prosedur umum pertamanya adalah menghitung nilai VAR awal Q_i yang dikonsumsi beban. Hal ini diperoleh dengan

$$Q_i = P \tan \theta_i \quad (2.14)$$

yang mana rumus ini diperoleh dari segitiga daya pada gambar 2.4. Kemudian menentukan sudut impedansi akhir θ_f dari nilai faktor daya yang diinginkan:

$$\theta_f = \cos^{-1} PF_f \quad (2.15)$$

Sudut ini digunakan pada

$$Q_f = P \tan \theta_f \quad (2.16)$$

untuk menentukan nilai total VAR Q_f untuk dikombinasikan dengan beban. Yang terakhir adalah mencari nilai VAR ΔQ dari kapasitor yang harus disediakan.

$$\Delta Q = Q_i - Q_f \quad (2.17)$$

$$\Delta Q = P[\tan(\cos^{-1} PF_i) - \tan(\cos^{-1} PF_f)] \quad (2.18)$$

2.4 METODE PERBAIKAN FAKTOR DAYA

2.4.1 Kompensasi Global

Pada kompensasi global, bank kapasitor dipasang paralel pada panel utama. Metode ini mudah dan sederhana. Tetapi masih ada arus reaktif yang mengalir di

semua penghantar dari tempat pemasangan kapasitor hingga ke beban. Dengan demikian rugi-rugi daya pada penghantar tersebut tidak dapat ditekan.

2.4.2 Kompensasi Sektoral

Pada kompensasi sektoral, kapasitor dipasang pada panel cabang. Kelebihan metode ini dibandingkan kompensasi global adalah ukuran kabel dari transformator hingga tempat pemasangan kapasitor dapat diperkecil, atau dengan ukuran kabel yang sama dapat menyalurkan daya aktif lebih besar dan dimungkinkan penambahan beban pada sisi sekunder transformator.

2.4.3 Kompensasi Individual

Pada kompensasi individual, kapasitor dipasang langsung pada terminal beban induktif. Metode ini paling bagus dibandingkan dengan dua metode lainnya. Rugi-rugi daya pada semua penghantar berkurang dan dapat dilakukan penambahan beban pada sisi sekunder transformator. Tetapi perlu dilakukan penyetelan ulang pada sistem proteksinya karena arus yang mengalir pada sistem proteksinya menjadi lebih kecil.

2.5 DISTORSI HARMONIK

Harmonik adalah gangguan yang terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik akibat terjadinya distorsi gelombang arus dan tegangan. Pada dasarnya, harmonik adalah gejala pembentukan gelombang-gelombang dengan frekuensi berbeda yang merupakan perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya. Hal ini disebut frekuensi harmonik yang timbul pada bentuk gelombang aslinya sedangkan bilangan bulat pengali frekuensi dasar disebut angka urutan harmonik [6]. Persamaan frekuensi harmonik adalah:

$$h = n \times F \quad (2.19)$$

dengan:

h = frekuensi harmonic orde ke- n

F = frekuensi fundamental sistem (50 Hz atau 60 Hz)

n = orde harmonic

Total harmonic distortion (THD) dari sebuah sinyal merupakan pengukuran distorsi harmonik yang ada dan didefinisikan sebagai rasio dari jumlah daya dari seluruh komponen harmonik terhadap daya frekuensi dasar. THD dapat dinyatakan sebagai berikut dengan M dapat berupa arus atau tegangan:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h>1}^{h \rightarrow \infty} M_h^2}}{M_1} \quad (2.20)$$

Persentase THD tidak boleh melebihi batas ketentuan yang direkomendasikan dalam standardisasi harmonisa IEEE-159 tahun 1992 yang menetapkan besar THD arus maksimum di jala-jala sistem atau di PCC (*point of common coupling*) sebesar 20% [7].

Banyaknya aplikasi beban nonlinier pada sistem distribusi tenaga listrik seperti konverter statis yang berbasis elektronika daya telah membuat arus sistem menjadi sangat terdistorsi dengan persentase kandungan harmonisa arus THD yang sangat tinggi. Tingginya persentase THD pada suatu sistem tenaga listrik dapat menyebabkan timbulnya beberapa persoalan harmonisa yang serius pada sistem tersebut dan lingkungannya, seperti terjadinya resonansi pada sistem yang merusak kapasitor kompensasi faktor daya, membuat faktor daya sistem menjadi lebih buruk, menimbulkan interferensi terhadap sistem telekomunikasi, meningkatkan rugi-rugi sistem, menimbulkan berbagai macam kerusakan pada peralatan listrik yang sensitif, yang semuanya menyebabkan penggunaan energi listrik menjadi tidak efektif [8], [9]. Seperti diketahui bahwa adanya distorsi harmonik dapat meningkatkan nilai rms dari tegangan dan arus sesuai dengan rumus berikut:

$$rms = \sqrt{\sum_{h>1}^{h \rightarrow \infty} M_h^2} = M_1 \sqrt{1 + THD^2} \quad (2.21)$$

Sehingga apabila nilai tegangan dan arus rms terukur mengalami peningkatan maka otomatis konsumsi energi dalam hal ini kWh juga mengalami peningkatan, sesuai rumus:

$$kWH = |V| \cdot |I| \cdot \cos \theta \cdot t \quad (2.22)$$

Nilai rms terukur pada gelombang yang terdistorsi harmonik terdiri dari nilai rms fundamental dan nilai rms harmonik, sesuai rumus berikut :

$$RMS_{terukur} = RMS_{Fundamental} + RMS_{THD} \quad (2.23)$$

Sehingga jelas terlihat bahwa dengan meredam harmonik maka rms terukur yang terukur hanya terdiri dari rms fundamental sistem, maka pengurangan konsumsi energi dapat berkurang setelah peredaman filter harmonik.

Beberapa metode minimisasi harmonik arus pada sistem tenaga listrik yaitu :

- Penggunaan filter pasif L-C
- Penggunaan filter daya aktif
- Penggunaan autotrafo penggeser fasa

2.6 TARIF LISTRIK

Biaya listrik dikenakan kepada pelanggan yang menggunakan listrik yang bersumber dari Perusahaan Listrik Negara (PLN). Biaya listrik terdiri dari dua komponen yaitu biaya awal dan biaya bulanan, penjelasan untuk kedua biaya tersebut adalah sebagai berikut:

2.6.1 Biaya Awal

Biaya awal merupakan biaya yang harus dikeluarkan oleh konsumen listrik untuk mendapatkan suplai listrik dari penyedia listrik pada waktu awal.

Biaya awal terdiri dari dua jenis yaitu:

1. Biaya Penyambungan
2. Biaya Jaminan Listrik

2.6.2 Biaya Bulanan

Rekening listrik, seperti diketahui, merupakan biaya yang wajib dibayar pelanggan setiap bulan. Ada beberapa komponen dalam menghitung rekening listrik:

1. Biaya Beban

Adalah biaya yang besarnya tetap, dihitung berdasarkan daya kontrak. Khusus untuk golongan tarif H-3, I-4 untuk tanur busur dan I-5 Biaya Beban dihitung berdasarkan pembacaan kVA Max.

2. Biaya Pemakaian (kWH)

Adalah biaya pemakaian energi, dihitung berdasarkan jumlah pemakaian energi yang diukur dalam kWH. Untuk golongan tarif tertentu, pemakaian energi ini dipilih menjadi dua bagian yaitu:

- a. Pemakaian WBP dan pemakaian LWBP.
- b. Untuk golongan tarif R-2 Biaya Pemakaian dihitung berdasarkan sistem blok.

3. Biaya Kelebihan Pemakaian (kVARh)

Adalah biaya yang dikenakan untuk pelanggan golongan tarif S-3, B-3, I-2, I-3, I-4, P-2, apabila jumlah pemakaian kVARh yang tercatat dalam 1 (satu) bulan lebih tinggi dari $0.62 \times$ jumlah kWH bulan yang bersangkutan, sehingga faktor daya ($\cos\theta$) rata-rata kurang dari 0,85.

4. Biaya Pemakaian Trafo

Adalah biaya yang dikenakan untuk pelanggan tertentu, yang tidak dapat menyediakan trafo sendiri.

5. Biaya Pajak Penerangan Jalan Umum

Adalah pajak yang dipungut oleh Pemerintah Daerah (Pemda) berdasarkan Peraturan Daerah (Perda). Besarnya pajak juga ditentukan oleh Perda. Komponen ini disetorkan ke Kas Pemda, dan masuk sebagai Pendapatan Asli Daerah (PAD).

6. Biaya Materai

2.7 INTERAKSI PERTIMBANGAN TEKNIS DAN EKONOMI

2.7.1 Faktor Kebutuhan

Demand atau kebutuhan daya atau permintaan daya adalah penggunaan beban (dalam kW atau kVA) yang dirata-ratakan dalam interval waktu tertentu yang pendek, dan *average demand* adalah kebutuhan daya rata-rata dalam periode tertentu (biasanya selama satu bulan atau satu tahun). Sedangkan *maximum demand* didefinisikan sebagai nilai terbesar dari seluruh kebutuhan daya yang terjadi selama periode waktu yang ditentukan. Harus dimengerti dengan jelas bahwa nilai kebutuhan daya maksimum bukanlah nilai seketika (*instantaneous*)

akan tetapi merupakan nilai daya rata-rata maksimum yang terjadi pada suatu periode tertentu.

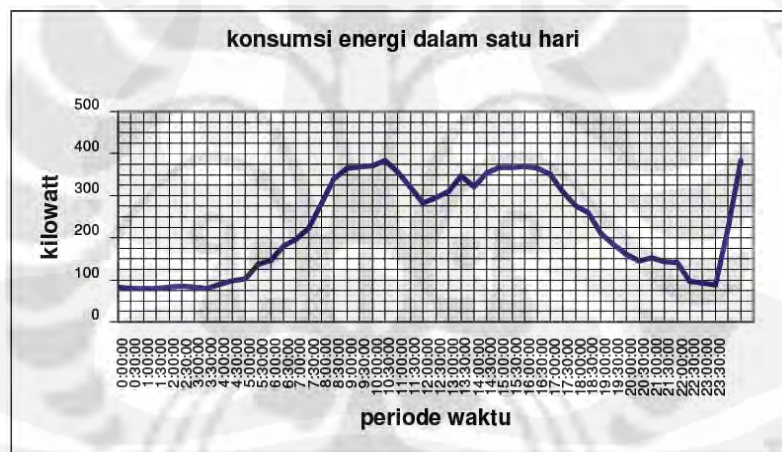
Sedangkan faktor kebutuhan (*demand factor*) adalah perbandingan kebutuhan maksimum yang terjadi terhadap tingkat nilai beban yang terpasang (*rating*).

$$\text{Kebutuhan rata - rata} = \frac{\text{Energi yang dikonsumsi dalam satu periode}}{\text{periode}} \quad (2.24)$$

$$\text{Faktor Kebutuhan} = \frac{\text{Kebutuhan Maksimum}}{\text{Kapasitas Terpasang}} \quad (2.25)$$

Faktor kebutuhan muncul karena pada keadaan sebenarnya nilai maksimum kebutuhan daya dari peralatan listrik atau konsumen biasanya lebih rendah dari nilai kapasitas terpasang. Hal ini dikarenakan oleh dua hal, yang pertama adalah untuk cadangan jika terjadi beban lebih dan yang kedua adalah karena jarang ada keadaan di mana seluruh peralatan listrik digunakan secara bersamaan pada satu waktu.

Untuk lebih mempermudah pengertian di atas, dapat dilihat ilustrasi berikut:



Gambar 2.5 Ilustrasi *demand*, *average demand*, *maximum demand*

2.7.2 Faktor Keragaman Beban

Faktor keragaman beban muncul karena pada kebanyakan kasus, pengguna energi listrik memiliki karakteristik penggunaan daya maksimum yang bervariasi terhadap waktu penggunaan. Misalnya, penerangan pada perumahan memiliki

nilai maksimum pada malam hari sedangkan ada beberapa industri yang menggunakan energi rendah pada malam hari namun tinggi pada siang hari.

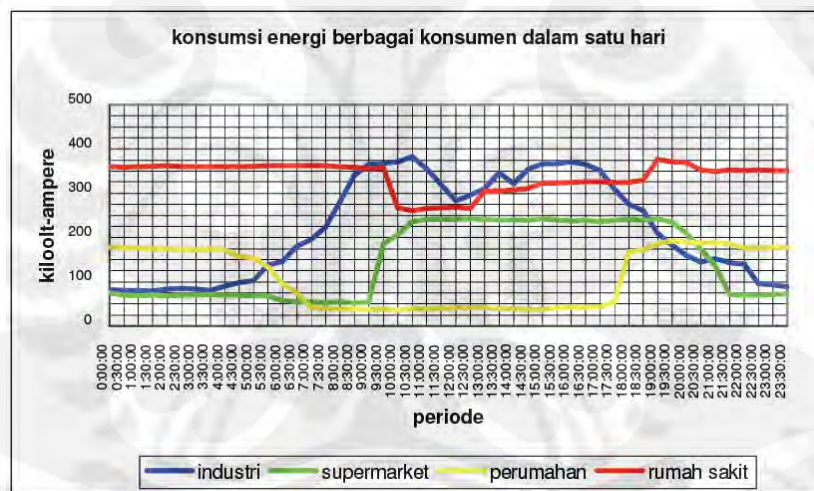
Faktor keragaman beban (*diversity factor*) didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah kebutuhan daya maksimum individual dari berbagai jenis konsumen selama periode waktu tertentu terhadap kebutuhan daya maksimum yang terjadi secara serentak pada konsumen-konsumen tersebut pada periode waktu yang sama.

$$\text{Faktor Keragaman Beban} = \frac{\sum \text{Penggunaan daya maksimum}}{\text{Penggunaan daya maksimum pada waktu tertentu}} \quad (2.26)$$

Dalam aplikasinya, kadangkala digunakan faktor utilitas beban yang merupakan resiprok dari nilai faktor keragaman beban.

$$\text{Faktor Utilitas Beban} = \frac{\text{Penggunaan daya maksimum pada waktu tertentu}}{\sum \text{Penggunaan daya maksimu}} \quad (2.27)$$

Ilustrasi dari penjelasan diatas dapat dilihat pada gambar dan keterangan berikut:



Gambar 2.6 Ilustrasi keragaman beban

Kebutuhan daya maksimum pada industri dalam satu hari adalah 383 kW, pada supermarket adalah 243 kW, pada perumahan adalah 192 kW, pada rumah sakit adalah 376 kW. Jika saja nilai maksimum kebutuhan ini terjadi pada waktu yang sama maka kebutuhan maksimum yang ditanggung oleh penyedia listrik

adalah 1.194 kW. Dengan memperhitungkan faktor keragaman beban selama satu hari

$$\text{Faktor Keragaman Beban} = \frac{1194}{1015} = 1,18 ; \text{Faktor Utilitas Beban} = \frac{1}{1,18} = 0,85$$

Maka besar penghematan yang dapat dilakukan dalam pemenuhan kebutuhan daya seperti di atas adalah $1 - 0,85 = 0,15$; atau dengan kata lain dengan memperhitungkan faktor keragaman beban maka dapat dilakukan penghematan investasi sebesar 15%.

2.7.3 Faktor Beban

Faktor beban (*load factor*) didefinisikan sebagai perbandingan antara daya rata-rata terhadap kebutuhan daya maksimum. Faktor beban dapat dinyatakan secara harian, mingguan, bulanan, atau tahunan. Faktor beban juga dapat dilihat dari sisi penyedia listrik (pembangkitan) sebagai daya listrik yang dihasilkan ataupun dari sisi pengguna listrik sebagai daya yang dikonsumsi.

$$\text{Faktor Beban} = \frac{\text{Daya Rata - rata}}{\text{Kebutuhan Daya Maksimum}} \quad (2.28)$$

Daya rata-rata diperoleh dengan menjumlahkan seluruh daya pada rentang waktu yang ditentukan lalu dibagi dengan total periodenya. Ilustrasi mengenai faktor beban dapat dilihat pada Gambar 2.6. Pada gambar tersebut, daya rata-rata adalah 220,65 kilowatt, sedangkan daya maksimum adalah 383 kilowatt, sehingga faktor beban hariannya adalah 0,58 atau 58%. Pada aplikasinya, faktor beban adalah indeks proporsi antara kerja suatu sistem pada seluruh periode terhadap kapasitas maksimumnya. Dengan faktor beban ini maka akan diketahui nilai maksimum yang harus ditanggung oleh penyedia listrik walaupun nilai tersebut tidak berlangsung pada keseluruhan waktu.

2.8 LIFE-CYCLE COST ANALYSIS

Life-Cycle Cost Analysis (LCCA) adalah suatu metode ekonomi untuk mengevaluasi suatu proyek atau usaha yang mana semua biaya dalam kepemilikan (*owning*), pengoperasian (*operating*), pemeliharaan (*maintaining*) dan pada akhirnya penjualan (*disposing*) dari proyek tersebut dipertimbangkan untuk

kepentingan pada keputusan mengenai proyek tersebut [10]. LCCA dapat digunakan pada keputusan investasi modal di mana biaya awal yang lebih tinggi dibelanjakan untuk mengurangi biaya wajib yang harus dikeluarkan di masa depan. Konservasi energi merupakan contoh yang sangat tepat untuk aplikasi LCCA.

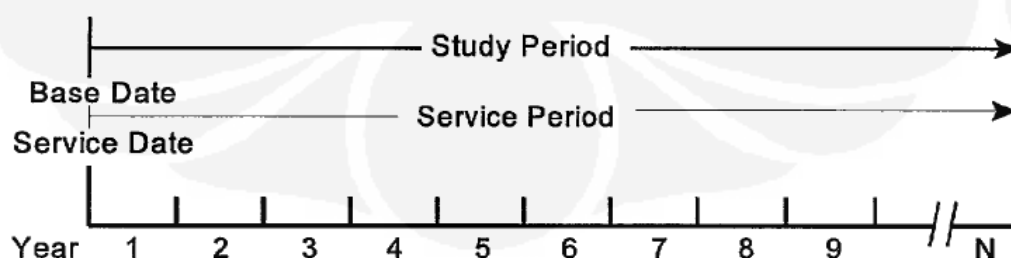
LCCA dapat menentukan apakah suatu proyek dapat dinilai layak secara ekonomis dari sudut pandang investor berdasarkan penurunan biaya energi dan implikasi biaya lain selama umur proyek atau masa depan investor.

2.8.1 Penentuan Periode Studi

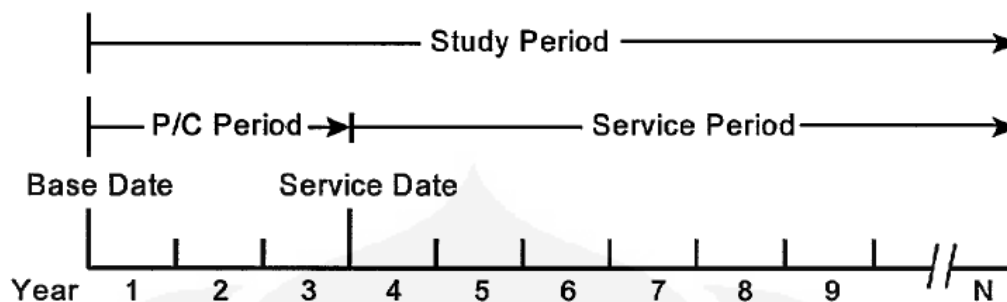
Periode studi untuk LCCA adalah waktu yang dilalui di mana biaya dan keuntungan yang terkait dengan keputusan penanaman modal merupakan kepentingan dari investor.

Tanggal dasar adalah titik pada satu waktu di mana semua biaya yang terkait dengan proyek dipotong dalam LCCA. Periode studi dimulai dengan tanggal dasar dan termasuk periode perencanaan/ konstruksi (P/C) dan periode layanan (*service*). Dalam analisa LCC biaya sebelum periode studi atau *sunk cost* tidak dimasukkan.

Tanggal *service* atau tanggal layanan adalah tanggal di mana proyek diperkirakan akan diimplementasikan; biaya operasi dan perawatan (termasuk biaya yang terkait dengan energi dan air) secara umum terjadi setelah tanggal tersebut, bukan sebelumnya. Ketika terdapat *delay* antara awal periode studi dan tanggal *service*, waktu yang menundanya dinamakan periode perencanaan/ konstruksi (P/C periode). Periode P/C digambarkan pada Gambar 2.7 dan 2.8.



Gambar 2.7 Periode studi dan periode layanan



Gambar 2.8 Periode *phased-in planning* dan *construction*

Jadi periode studi dimulai dengan tanggal dasar dan termasuk periode P/C dan periode *service* yang relevan untuk proyek. Periode *service* dimulai dengan tanggal *service* dan sampai ke akhir periode studi.

2.8.2 Perkiraan Biaya pada LCCA

Hanya biaya yang relevan dengan keputusan dan jumlah yang signifikan yang dibutuhkan untuk membuat keputusan investasi yang sah. Biaya relevan dengan keputusan apabila biaya berubah dari alternatif ke alternatif. Biaya yang kira-kira sama untuk tiap alternatif bukan faktor penentu dalam pemilihan alternatif dan oleh karena itu dapat diabaikan dari perhitungan LCC. Biaya yang signifikan adalah ketika cukup besar untuk membuat perbedaan dalam LCC dari alternatif proyek.

Biaya investasi awal mungkin kesulitan terakhir dari perkiraan proyek, karena investasi awal secara relatif tertutup (berakhir) untuk masa sekarang. Jumlah dan waktu dari penggantian modal tergantung pada perkiraan umur sistem dan panjang periode layanan (*service*). Nilai residual (sisa) dari sistem adalah nilai sisa pada akhir periode studi, atau pada waktu terjadi pergantian selama periode studi. Nilai residual dapat didasarkan pada nilai di tempat, nilai penjualan kembali, nilai *salvage* atau nilai sisa, keuntungan bersih dari beberapa penjualan, konversi, atau biaya pembuangan.

2.8.3 Perhitungan Nilai Uang terhadap Waktu Sekarang

2.8.3.1 *Single Present Value (SPV)*

SPV digunakan untuk menentukan nilai uang yang diketahui pada akhir tahun t pada masa sekarang.

$$P = C_t \left[\frac{1}{(1+d)^t} \right] \quad (2.29)$$

2.8.3.2 *Uniform Present Value (UPV)*

UPV digunakan untuk menentukan nilai uang yang diketahui pada waktu rutin konstan (annual) pada masa sekarang.

$$P = A_0 \left[\frac{(1+d)^t - 1}{d(1+d)^t} \right] \quad (2.30)$$

dengan:

P = Nilai uang pada masa sekarang

C_t = Nilai uang pada akhir periode

A_0 = Nilai uang pada waktu rutin

d = Tingkat pemotongan

t = Periode

2.8.4 *Life-Cycle Cost Analysis*

Analisa LCC mencakup dua hal yaitu metode perhitungan biaya usia pakai (LCC) dan perhitungan parameter-parameter tambahan (suplementer).

2.8.4.1 *Perhitungan Life-Cycle Cost*

Metode *Life-Cycle Cost* adalah suatu metode perhitungan biaya masa depan dan biaya sekarang dari suatu proyek selama siklus pakainya dalam menggunakan metode LCC dibutuhkan dua buah atau lebih pilihan yang akan dibandingkan untuk kemudian dipilih satu yang akan diimplementasikan. Penentuan keefektifan biaya relatif dari masing-masing pilihan alternatif dapat dilihat dari LCC terendah. Metode LCC dapat dilakukan dengan catatan pada asumsi ekonomi dan periode studi (tanggal dasar dan tanggal layanan) yang sama.

Data-data yang dibutuhkan dalam menghitung LCC dari suatu proyek adalah biaya yang diukur berdasarkan waktunya masing-masing, tingkat pemotongan, dan periode studi. Persamaan dari LCC adalah:

$$LCC = I + R_{cpl} - R_{es} + E + OM \& R \quad (2.31)$$

dengan:

LCC = LCC total dalam nilai uang sekarang

I = Biaya investasi nilai sekarang

R_{cpl} = Biaya penggantian modal nilai sekarang

R_{es} = Biaya sisa nilai sekarang

E = Biaya energi nilai sekarang

OM&R = Biaya operasi, pemeliharaan, dan perbaikan nilai sekarang

2.8.4.2 Perhitungan Parameter Suplementer

1. *Net Saving* (NS)

Net Saving atau penghematan bersih adalah variasi dari perhitungan penghematan dari sisi ekonomi suatu proyek yang memperkirakan perbedaan yang muncul antara penghematan nilai sekarang terhadap biaya sekarang untuk investasi selama periode studi. Penghematan bersih ada karena pengurangan biaya operasional masa depan. NS dapat digunakan secara linier dengan LCC. Persamaan NS adalah sebagai berikut:

$$NS_{A:BC} = (\Delta E + \Delta W + \Delta OM \& R) - (\Delta I_0 + \Delta R_{cpl} - \Delta R_{es}) \quad (2.32)$$

dengan:

$NS_{A:BC}$ = *Net Saving* nilai sekarang dari alternatif A terhadap kondisi dasar

ΔE = $(E_{BC} - E_A)$ = Penghematan biaya energi

$\Delta OM \& R$ = $(OM \& R_{BC} - OM \& R_A)$
= Penghematan biaya operasi, pemeliharaan, dan perbaikan

ΔI_0 = $(I_A - I_{BC})$
= Investasi awal yang ditambahkan pada pilihan kondisi awal

ΔR_{cpl} = $(R_{cpl_A} - R_{cpl_{BC}})$ = Biaya penggantian modal tambahan

ΔR_{es} = $(E_{BC} - E_A)$ = Nilai sisa tambahan

Semua nilai direpresentasikan dalam nilai sekarang.

2. *Saving to Investment Ratio (SIR)*

SIR adalah ukuran ekonomi dari suatu pilihan proyek yang menggambarkan hubungan antara penghematan dan kenaikan biaya investasi dalam bentuk perbandingan. Persamaannya adalah sebagai berikut:

$$SIR_{A:BC} = \frac{\Delta E + \Delta OM \& R}{\Delta I_0 + \Delta R_{cpl} - \Delta R_{es}} \quad (2.33)$$

SIR tidak menggambarkan suatu kelayakan ekonomi yang linier dengan LCC. Nilai SIR yang semakin besar bukan berarti memberikan keterangan semakin layaknya suatu pilihan proyek dari segi ekonomi.

3. *Adjusted Internal Rate of Return (AIRR)*

AIRR adalah ukuran ekonomi dari persentase rutin yang dihasilkan dari investasi proyek pada periode studi. AIRR dibandingkan dengan MARR (*Minimum Acceptable Rate of Return*), atau sama dengan tingkat pemotongan pada analisa LCC. Apabila AIRR lebih besar dari MARR maka pilihan proyek dapat diterima secara ekonomi, sedangkan apabila AIRR lebih kecil dari MARR maka pilihan proyek tidak layak secara ekonomi. Dan apabila AIRR sama dengan MARR maka pilihan proyek sama dengan kondisi awal dari segi ekonominya. Suatu pilihan dengan AIRR yang besar bukan berarti suatu pilihan dengan LCC yang terendah. Persamaan AIRR adalah sebagai berikut:

$$AIRR = (1 + r)(SIR)^{\frac{1}{N}} - 1 \quad (2.34)$$

4. *Simple Payback Period (SPB) dan Discounted Payback (DPB)*

Periode pengembalian atau *payback period* adalah suatu angka yang mengindikasikan waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan modal investasi awal. Biasanya dinyatakan dalam satuan tahun atau bulan. Perbedaan antara SPB dengan DPB terletak pada metode perhitungan nilainya terhadap waktu. DPB memperhitungkan pemotongan setiap tahunnya, sedangkan SPB tidak. Oleh karena itu, penggunaan DPB memiliki keunggulan daripada SPB. Angka tersebut dicari dengan menentukan nilai y yang memenuhi persamaan berikut:

$$\sum_{t=1}^y \frac{[\Delta E_t + \Delta OM \& R_t - \Delta R_{cpl_t} + \Delta R_{es_t}]}{(1 + d)^t} \geq \Delta I_0 \quad (2.35)$$

2.8.5 Keputusan Berdasarkan LCCA

Dalam rangka menentukan dan menggambarkan keperluan analisa ekonomi, itu sangat membantu untuk mengetahui tipe keperluan investasi yang dibuat untuk proyek. Dalam penentuan pilihan menggunakan analisa LCC digunakan kriteria sebagai berikut, dengan menganggap kondisi eksisting adalah kondisi awal:

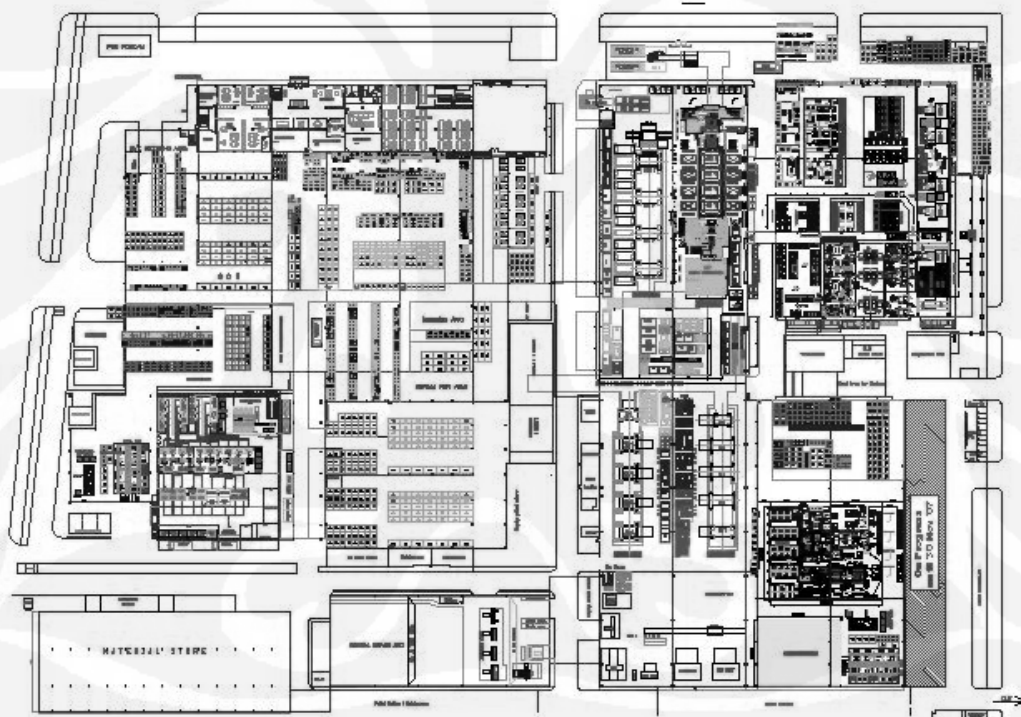
- LCC pilihan < LCC kondisi eksisting
- NS pilihan > 0
- SIR > 1
- AIRR > tingkat pemotongan

BAB 3

AUDIT ENERGI LISTRIK

3.1 PT. ASTRA DAIHATSU MOTOR PRESS PLANT

PT.ADM PP merupakan bagian dari PT. Astra Daihatsu Motor yang memproduksi komponen *body* kendaraan bermotor dengan merek dagang Daihatsu. Pabrik ini didirikan pada tahun 1978 di Sunter, Jakarta Utara sebagai PT.Daihatsu Indonesia sebelum dilakukan merger dan menjadi bagian dari PT.Astra Daihatsu Motor.

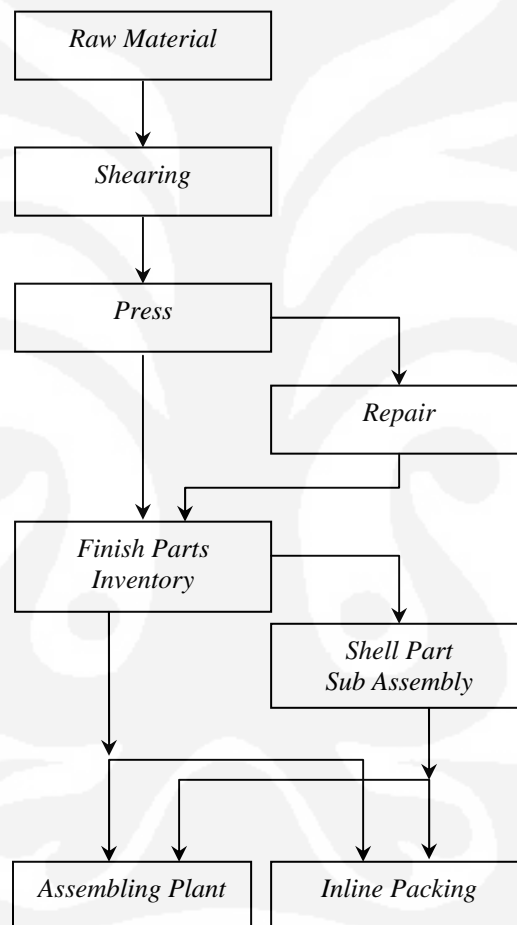


Gambar 3.1 Layout PT. Astra Daihatsu Motor – Press Plant

PT.ADM PP memiliki *press shop* dan *welding sub-assembly shop* di mana proses press dilakukan untuk memproduksi komponen-komponen *body* mobil. Komponen *body* mobil hampir semuanya dibuat dengan menggunakan proses press, dari bagian luar seperti pintu, kap mesin, *body* samping, atap sampai dengan bagian dalam dan bawah dari *body* mobil.

3.1.1 Proses Produksi

Proses produksi di PT.ADM PP menghasilkan produk berupa komponen *body* mobil yang siap dikirim ke pabrik perakitan (*assembling plant*) dan juga diekspor dengan sebelumnya dikemas di *inline packing*. Komponen-komponen siap kirim tersebut dihasilkan melalui beberapa proses yang ditunjukkan oleh Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Aliran proses produksi di PT.ADM PP

Proses-proses pada Gambar 3.2 dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. *Shearing*

Shearing adalah proses pemotongan material mentah yang berupa *coil* (gulungan baja) atau lembaran logam dengan ukuran aslinya menjadi plat-plat yang ukurannya sesuai dengan standar proses berikutnya yakni proses *press*.

2. *Press*

Press adalah proses pembuatan komponen kendaraan dengan cara mencetak lempengan-lempengan baja dengan menggunakan cetakan (*dies*) menjadi bagian-bagian dari *body* kendaraan.

3. *Shell Part Sub Assembly*

Proses *shell part sub assembly* adalah proses penyambungan/ pengelasan dari komponen satuan hasil proses *press* menjadi bagian-bagian *body* kendaraan yang utuh seperti pintu dan kap mesin.

4. *Repair*

Proses *repair* atau disebut juga *metal finish* adalah proses untuk memperbaiki hasil proses *press* atau *shell part sub assembly* agar dapat melalui uji kualitas sebelum dikirim ke pabrik perakitan *body*.

3.1.2 Fasilitas Produksi PT. ADM PP

PT.ADM PP memiliki fasilitas-fasilitas utama produksi sebagai berikut:

1. *Shearing line* yang terdiri dari mesin-mesin potong digunakan untuk memotong plat-plat sebagai bahan mentah.
2. *Press Line* yang terdiri dari 4 jalur press (2A, 3B, 4A, dan 5A).
3. *Welding Line* yang terdiri dari jalur *sub assembly shell part* D16D, D99B, dan D40D.
4. *Die Maintenance Facility* yang berfungsi sebagai bagian perawatan cetakan mesin press.
5. *Finish Parts Warehouse* sebagai tempat penyimpanan komponen yang siap dikirim ke pabrik perakitan (*assy plant*).
6. *In Line Packing* sebagai tempat persiapan pengiriman komponen yang akan diekspor dalam bentuk pretelan atau *knock down*.

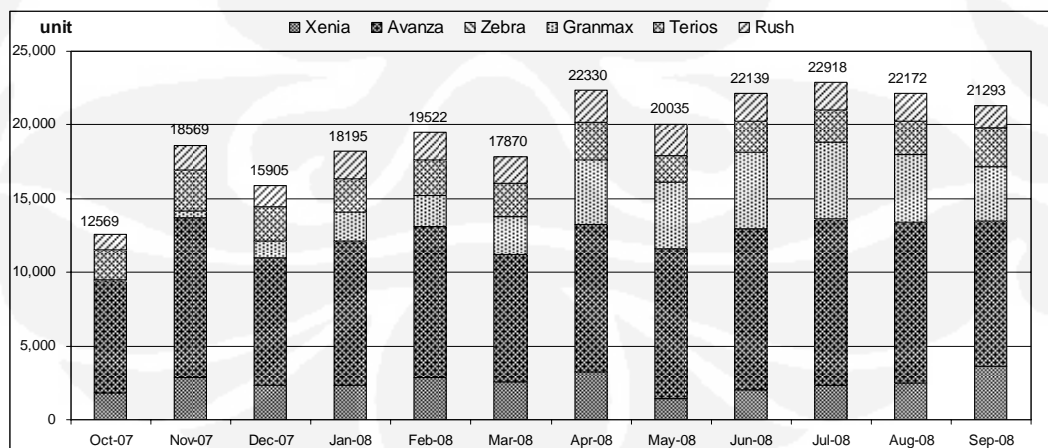
3.1.3 Hasil Produksi

Hasil produksi PT.ADM PP dalam kurun waktu antara bulan Oktober 2007 sampai dengan September 2008 dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan Gambar 3.3 berikut:

Tabel 3.1 Hasil produksi PT.ADM PP (Oktober 2007 – September 2008)

No.	Bulan	Hasil Produksi (Unit)
1	Oktober 2007	12.569
2	November 2007	18.569
3	Desember 2007	15.905
4	Januari 2008	18.195
5	Februari 2008	19.522
6	Maret 2008	17.870
7	April 2008	22.330
8	Mei 2008	20.035
9	Juni 2008	22.139
10	Juli 2008	22.918
11	Agustus 2008	22.172
12	September 2008	21.293
Total		233.517

Sumber: PT.ADM PP Jakarta



Gambar 3.3 Grafik hasil produksi PT. ADM PP berdasarkan varian kendaraan.

3.2 DATA TEKNIS KELISTRIKAN

3.2.1 Sistem Suplai Energi Listrik

Kebutuhan energi listrik PT.ADM PP sebagai sumber utama disuplai oleh PLN dan disalurkan melalui dua gardu distribusi yakni PK 87 dan PK 79. Sebagai suplai cadangan ada dua buah genset diesel berkapasitas 1000 kVA dan 500 kVA. Data dari sumber-sumber tenaga listrik PT.ADM PP adalah:

1. Gardu Distribusi PK 87

PK 87 memiliki daya terpasang 3895 kVA dengan golongan tarif I-3, 3 fasa, 20kV, 50Hz. Keseluruhan daya terpasang pada gardu PK 87 disalurkan melalui empat buah transformator 3 fasa yakni dua transformator 1000 kVA dan dua transformator 1250 kVA. Distribusi listrik kemudian dilakukan dengan membagi daya terpasang ke empat buah LVMDP yakni LVMDP 1, LVMDP 2, LVMDP 3, dan LVMDP 4.

Tabel 3.2 Data transformator yang disuplai oleh gardu PK 87

Transformator		Trafo 1	Trafo 2	Trafo 3	Trafo 4	
<i>Phase</i>		3	3	3	3	
<i>Frequency</i>	Hz	50	50	50	50	
<i>kVA</i>		1.000	1.250	1.250	1.000	
<i>Volt</i>	HV	20.000	20.000	20.000	20.000	
	LV	400	400	400	400	
<i>Ampere</i>	HV	28,86		36,08	28,8	
	LV	1443,37		1.899,17	1.443	
<i>Impedance</i>	%	5,0		5,5	5,51	
<i>Insulation Class</i>		A				
<i>B IL (kV)</i>	HV	LI 125 AC 50 / LI – AC 3	Data tidak diperoleh karena posisi name plate trafo sulit dijangkau	LI 125 AC 50 / LI - AC 3	-	
<i>Order No.</i>		04-382		STK	-	
<i>Serial No.</i>		4231345		9732443	AU24079T601	
<i>Year of manufacture</i>		2004		1997	1983	
<i>Standard</i>		SPLN 50/97		IEC 76	IEC 76	
<i>Type of cooling</i>		ONAN		ONAN	ONAN	
<i>Vector group</i>		Dyn 5		Dyn 5		
<i>Temp, Rise Oil/Winding</i>	°C	50/55			55	
<i>Transformer oil</i>	Liter	890			965	1.230
<i>Transformer weight</i>		3.000			3.080	3.100

Sumber: PT.ADM PP Jakarta

2. Gardu Distribusi PK 79

PK 79 memiliki daya terpasang 3895 kVA dengan golongan tarif I-3, 3 fasa, 20kV, 50Hz. Keseluruhan daya terpasang pada gardu PK 79 disalurkan melalui tiga buah transformator 3 fasa berkapasitas masing-masing 2500 kVA, 1600 kVA, dan 1000 kVA. Distribusi listrik kemudian dilakukan dengan membagi daya terpasang ke tiga buah LVMDP yakni LVMDP 5, LVMDP 6, dan LVMDP 7.

Tabel 3.3 Data transformator yang disuplai oleh gardu PK 79

Transformator		Trafo 5	Trafo 6	Trafo 7
<i>Phase</i>		3	3	3
<i>Frequency</i>	Hz	50	50	50
<i>kVA</i>		2500	1000	1600
<i>Volt</i>	HV	20000	20000	20000
	LV	400	400	400
<i>Ampere</i>	HV	72,17	28,86	46,18
	LV	3608,44	1443,37	2309
<i>Impedance</i>	%	7,0	5,0	6
<i>Insulation Class</i>		A	A	A
<i>B IL (kV)</i>	HV	LI 125 AC 50	LI 125 AC 50	125
		/LI – AC 3	/LI – AC 3	
<i>Order No.</i>		07-0331	04-020	STK.579/94
<i>Serial No.</i>		07331099	04230688	9431563
<i>Year of manufacture</i>		2007	2004	1994
<i>Standard</i>		IEC 60076	IEC-76	IEC-76
<i>Type of cooling</i>		ONAN	ONAN	ONAN
<i>Vector group</i>		Dyn 5	Dyn 5	Dyn-5
<i>Temp, Rise Oil/Winding</i>	°C	60 / 65	55 / 65	
<i>Transformer oil</i>	Liter	1519	810	1225
<i>Transformer weight</i>	Kg	5200	2940	4725

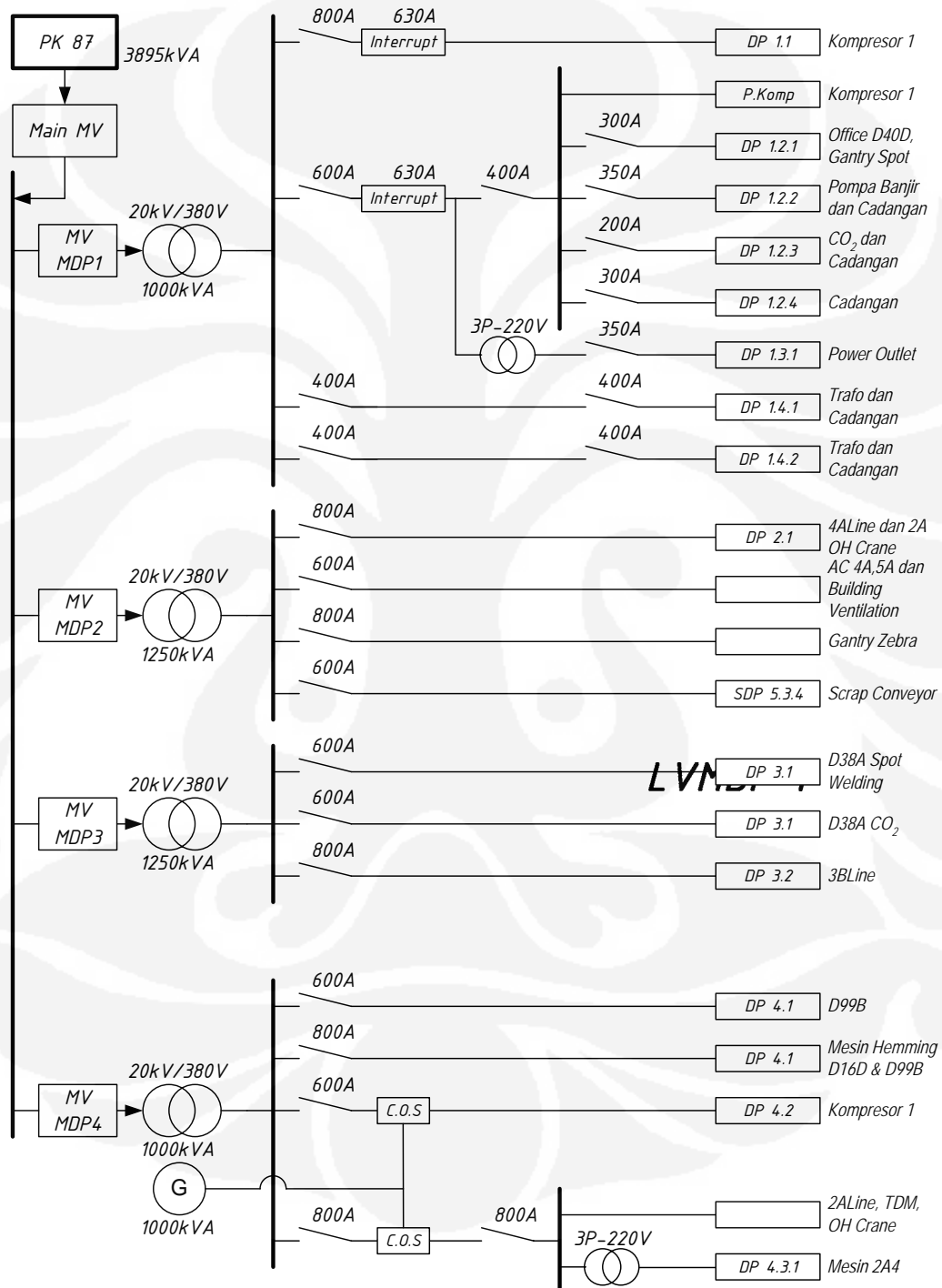
Sumber: PT.ADM PP Jakarta

3. Genset 1000 kVA dan 500 kVA

Genset 1000 kVA menyediakan energi listrik cadangan bagi DP 4.2 yang menyuplai sebagian kompresor di ruang kompresor 1 dan jalur press 2A melalui panel DP 4.3 sedangkan genset 500 kVA menjadi sumber listrik cadangan untuk kantor PT.ADM PP melalui DP 6.1 serta menyuplai pompa banjir melalui DP 6.3.

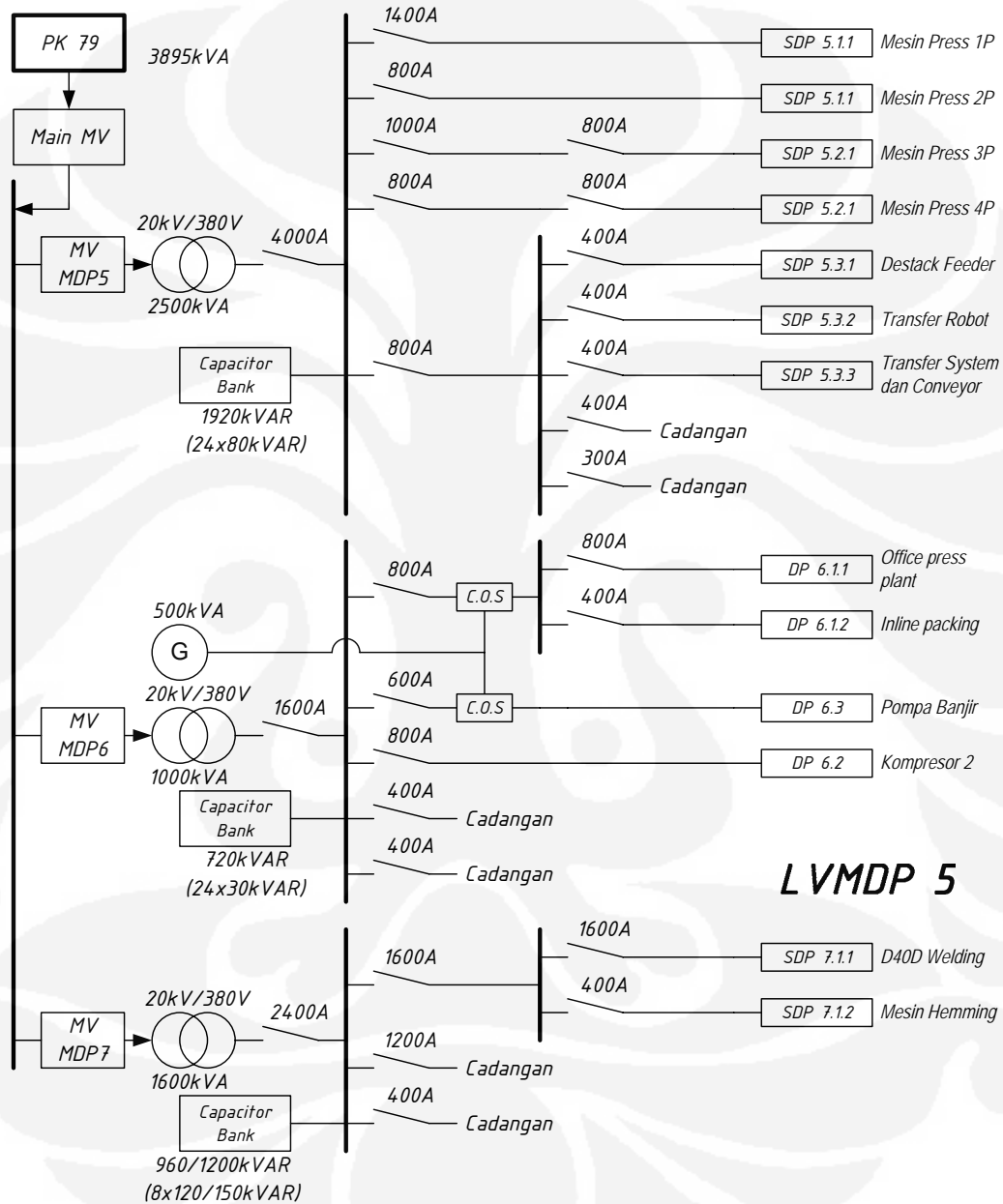
3.2.2 Diagram Satu Garis Distribusi Listrik

Diagram satu garis dari sistem distribusi listrik di PT.ADM PP yang bersumber utama pada gardu distribusi PK 87 ditunjukkan pada Gambar 3.4 berikut:



Gambar 3.4 Diagram satu garis sistem distribusi listrik yang disuplai dari PK 87

Diagram satu garis dari sistem distribusi listrik di PT.ADM PP yang bersumber utama pada gardu distribusi PK 79 ditunjukkan pada Gambar 3.5 berikut:



Gambar 3.5 Diagram satu garis sistem distribusi listrik yang disuplai dari PK79

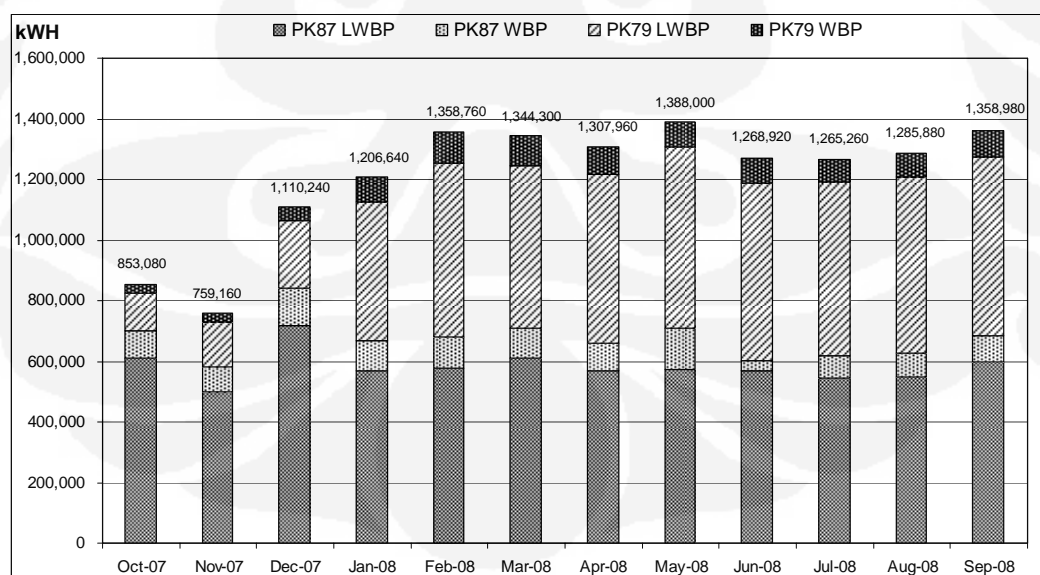
3.2.3 Data Konsumsi Energi Listrik

Penggunaan energi listrik PT.ADM PP dari hasil pencatatan kWh meter di Gardu PK 79 dan PK 87 sepanjang bulan Oktober 2007 sampai dengan September 2008 adalah sebagai berikut:

Tabel 3.4 Data konsumsi energi listrik PT.ADM PP

No.	Bulan	PK 87		PK 79		Total/ bulan (kWh)
		LWBP	WBP	LWBP	WBP	
1	Oktober 2007	610.080	90.360	125.760	26.880	853.080
2	November 2007	498.960	82.440	147.520	30.240	759.160
3	Desember 2007	718.020	123.900	223.040	45.280	1.110.240
4	Januari 2008	567.120	102.720	456.800	80.000	1.206.640
5	Februari 2008	575.580	106.380	571.840	104.960	1.358.760
6	Maret 2008	609.000	101.700	535.840	97.760	1.344.300
7	April 2008	567.840	93.240	555.200	91.680	1.307.960
8	Mei 2008	573.240	135.240	599.040	80.480	1.388.000
9	Juni 2008	570.000	32.040	583.840	83.040	1.268.920
10	Juli 2008	544.980	74.040	571.040	75.200	1.265.260
11	Agustus 2008	547.380	78.180	581.760	78.560	1.285.880
12	September 2008	596.340	89.040	590.400	83.200	1.358.980
TOTAL						14.507.180

Sumber: PT.ADM PP Jakarta



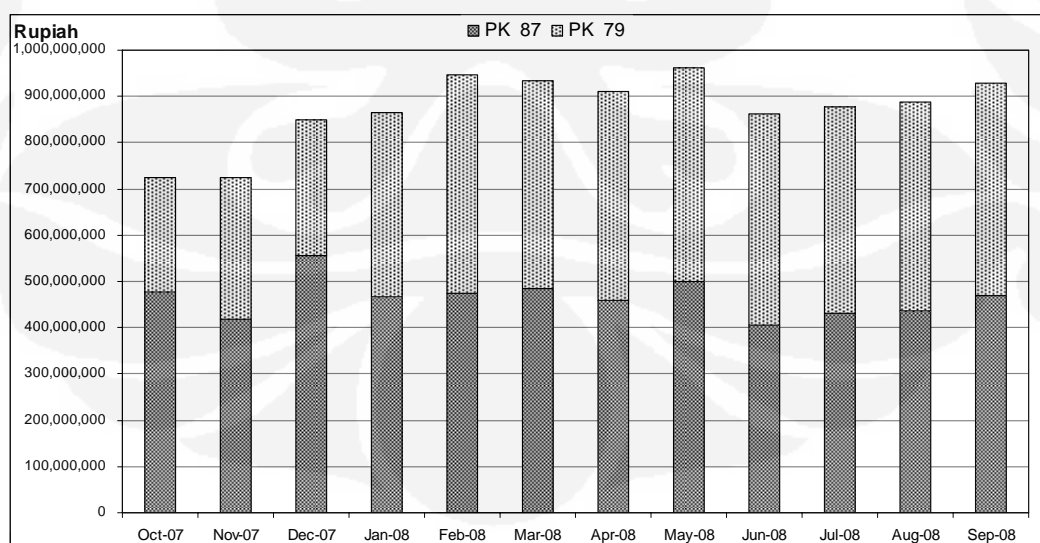
Gambar 3.6 Grafik konsumsi energi listrik PT.ADM PP

3.2.4 Data Biaya Energi Listrik

Biaya energi listrik yang dikeluarkan oleh PT.ADM PP diperoleh berdasarkan perhitungan data konsumsi energi listrik dengan menggunakan perhitungan standar yang dipergunakan oleh PLN dan ditunjukkan pada Tabel 3.5. Asumsi yang digunakan untuk perhitungan adalah biaya beban = Rp.29.500/ kVA, LWBP = Rp.439/ kWh, dan WBP = Rp.878/ kWh.

Tabel 3.5 Biaya energi listrik PT.ADM PP

No.	Bulan	Biaya listrik PK 87	Biaya listrik PK 79	Tagihan Per bulan
1	Oktober 2007	Rp 475.931.611	Rp 248,655,776	Rp 724,587,387
2	November 2007	Rp 418.524.108	Rp 305,905,562	Rp 724,429,670
3	Desember 2007	Rp 555.070.404	Rp 295,499,141	Rp 850,569,546
4	Januari 2008	Rp 467.684.030	Rp 397,254,031	Rp 864,938,061
5	Februari 2008	Rp 474.819.273	Rp 471,843,994	Rp 946,663,267
6	Maret 2008	Rp 485.698.483	Rp 449,054,626	Rp 934,753,109
7	April 2008	Rp 459.436.449	Rp 452,310,250	Rp 911,746,700
8	Mei 2008	Rp 499.860.447	Rp 462,004,775	Rp 961,865,222
9	Juni 2008	Rp 405.067.529	Rp 457,446,901	Rp 862,514,430
10	Juli 2008	Rp 431.736.515	Rp 444,569,100	Rp 876,305,615
11	Agustus 2008	Rp 436.565.691	Rp 452,454,945	Rp 889,020,635
12	September 2008	Rp 468.525.066	Rp 460,557,831	Rp 929,082,897
TOTAL				Rp 10.476.476.540



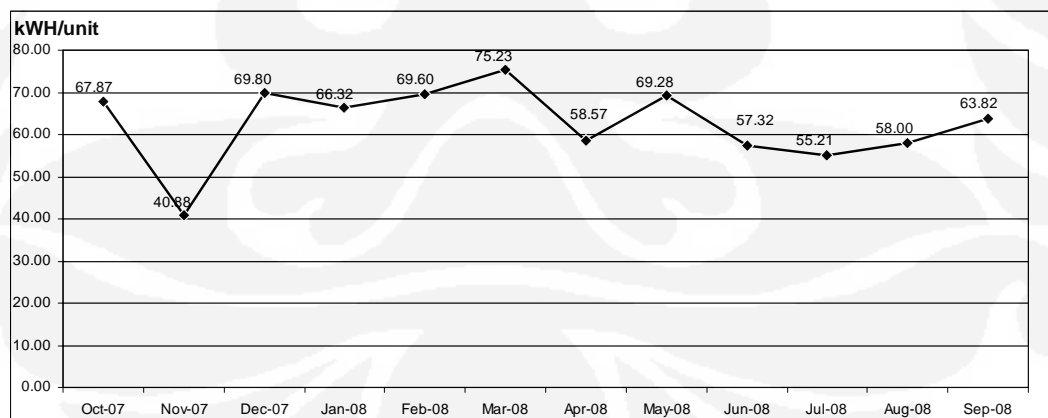
Gambar 3.7 Grafik biaya energi listrik PT.ADM PP

3.2.5 Konsumsi Energi Spesifik

Konsumsi energi listrik spesifik PT.ADM PP dari bulan Oktober 2007 sampai dengan September 2008 dapat dilihat pada Tabel 3.6 dan Gambar 3.8 berikut:

Tabel 3.6 Konsumsi energi spesifik PT.ADM PP

No.	Bulan	Energi Listrik (kWH)	Produksi (Unit)	KES (kWH/Unit)
1	Oktober 2007	853.080	12.569	67,87
2	November 2007	759.160	18.569	40,88
3	Desember 2007	1.110.240	15.905	69,80
4	Januari 2008	1.206.640	18.195	66,32
5	Februari 2008	1.358.760	19.522	69,60
6	Maret 2008	1.344.300	17.870	75,23
7	April 2008	1.307.960	22.330	58,57
8	Mei 2008	1.388.000	20.035	69,28
9	Juni 2008	1.268.920	22.139	57,32
10	Juli 2008	1.265.260	22.918	55,21
11	Agustus 2008	1.285.880	22.172	58,00
12	September 2008	1.358.980	21.293	63,82
TOTAL		14.507.180	233.517	62,12

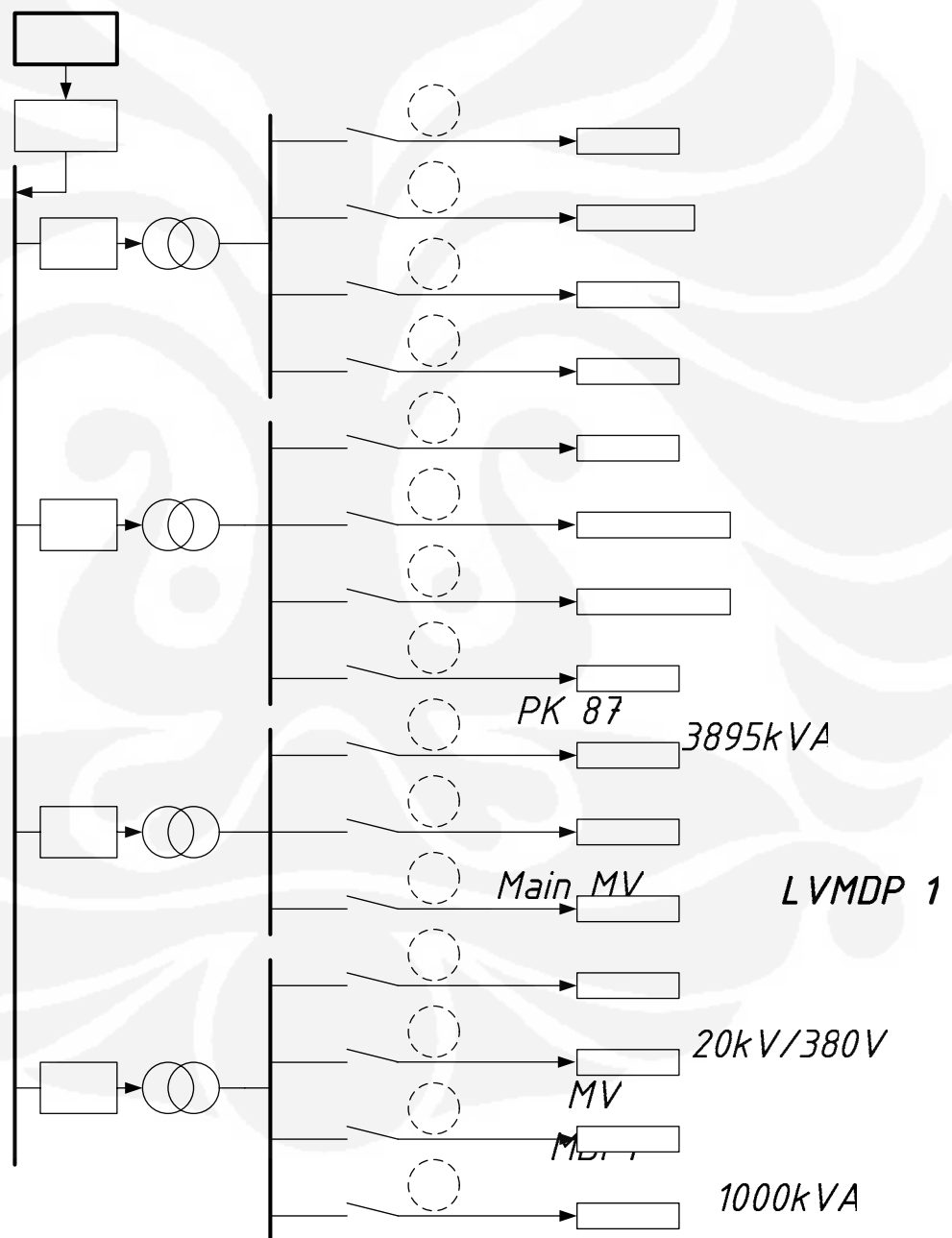


Gambar 3.8 Grafik konsumsi energi spesifik PT.ADM PP

3.3 HASIL PENGUKURAN BESARAN LISTRIK

Pengukuran parameter-parameter kelistrikan dalam audit energi listrik dilakukan menggunakan *Power Quality Analyzer* merek Hioki tipe 3196 di area gardu distribusi PK 87 pada siang hari tanggal 29 November 2008 dan di area gardu distribusi PK 79 pada malam hari tanggal 1 – 2 Desember 2008.

3.3.1 Hasil Pengukuran di Area Gardu Distribusi PK 87



Gambar 3.9 Titik pengukuran di area gardu PK 87

Tabel 3.7 Data pengukuran parameter daya listrik di LVMDP 1, 2, 3, dan 4

	Titik Pengukuran															Unit
	LVMDP 1				LVMDP 2				LVMDP 3			LVMDP 4				
	12	13	14	15	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Freq	49,885	50,066	50,115	50,153	49,984	50,002	49,833	49,799	49,947	50,030	50,043	50,071	50,204	49,805	49,841	Hz
P1	51.800	30.300	0	0	21.140	3.260	90.500	0	51.500	2.600	80.500	21.100	60.700	30.400	28.000	W
P2	45.000	38.900	0	0	19.570	3.040	85.200	0	51.700	7.400	23.800	25.400	59.200	31.300	23.800	W
P3	49.000	28.100	0	0	18.080	2.580	78.000	0	49.300	4.400	14.200	20.300	53.300	27.500	21.200	W
Psum	146.000	97.000	0	0	58.800	8.900	254.000	0	153.000	14.000	119.000	67.000	173.000	89.000	73.000	W
S1	62.000	39.900	0	0	30.240	6.110	122.400	2.000	99.300	6.300	89.000	34.400	62.300	35.100	37.500	VA
S2	76.200	40.200	1.700	1.800	30.710	6.590	121.000	2.600	101.100	8.900	95.700	36.600	62.000	38.400	39.400	VA
S3	71.700	29.900	1.700	1.800	29.070	5.910	113.700	2.900	99.800	6.800	16.000	36.300	57.500	33.900	30.800	VA
Ssum	210.000	110.000	3.000	4.000	90.000	18.600	357.000	8.000	300.000	22.000	201.000	107.000	182.000	107.000	108.000	VA
Q1	34.000	25.900	0	0	21.620	5.170	82.500	2.000	84.900	5.700	37.900	27.100	14.100	17.600	24.900	var
Q2	61.400	10.500	1.700	1.800	23.660	5.850	85.900	2.600	86.800	4.900	92.700	26.400	18.300	22.200	31.400	var
Q3	52.300	10.300	-1.700	-1.800	22.770	5.310	82.700	2.900	86.700	5.300	-7.200	30.100	21.400	19.800	22.300	var
Qsum	148.000	47.000	0	0	68.100	16.300	251.000	8.000	258.000	16.000	123.000	84.000	54.000	60.000	79.000	var
PF1	0,8361	0,7609	-1,0000	-1,0000	0,6991	0,5333	0,7390	0,0000	0,5186	0,4168	0,9047	0,6141	0,9741	0,8652	0,7476	
PF2	0,5912	0,9655	0,0000	0,0000	0,6373	0,4611	0,7041	0,0000	0,5116	0,8334	0,2490	0,6933	0,9555	0,8161	0,6028	
PF3	0,6836	0,9393	0,0000	0,0000	0,6218	0,4373	0,6861	0,0000	0,4946	0,6400	-0,8918	0,5591	0,9278	0,8117	0,6899	
PFsum	0,6951	0,8843	0,0000	0,0000	0,6530	0,4773	0,7103	0,0000	0,5083	0,6549	0,5909	0,6225	0,9531	0,8308	0,6781	

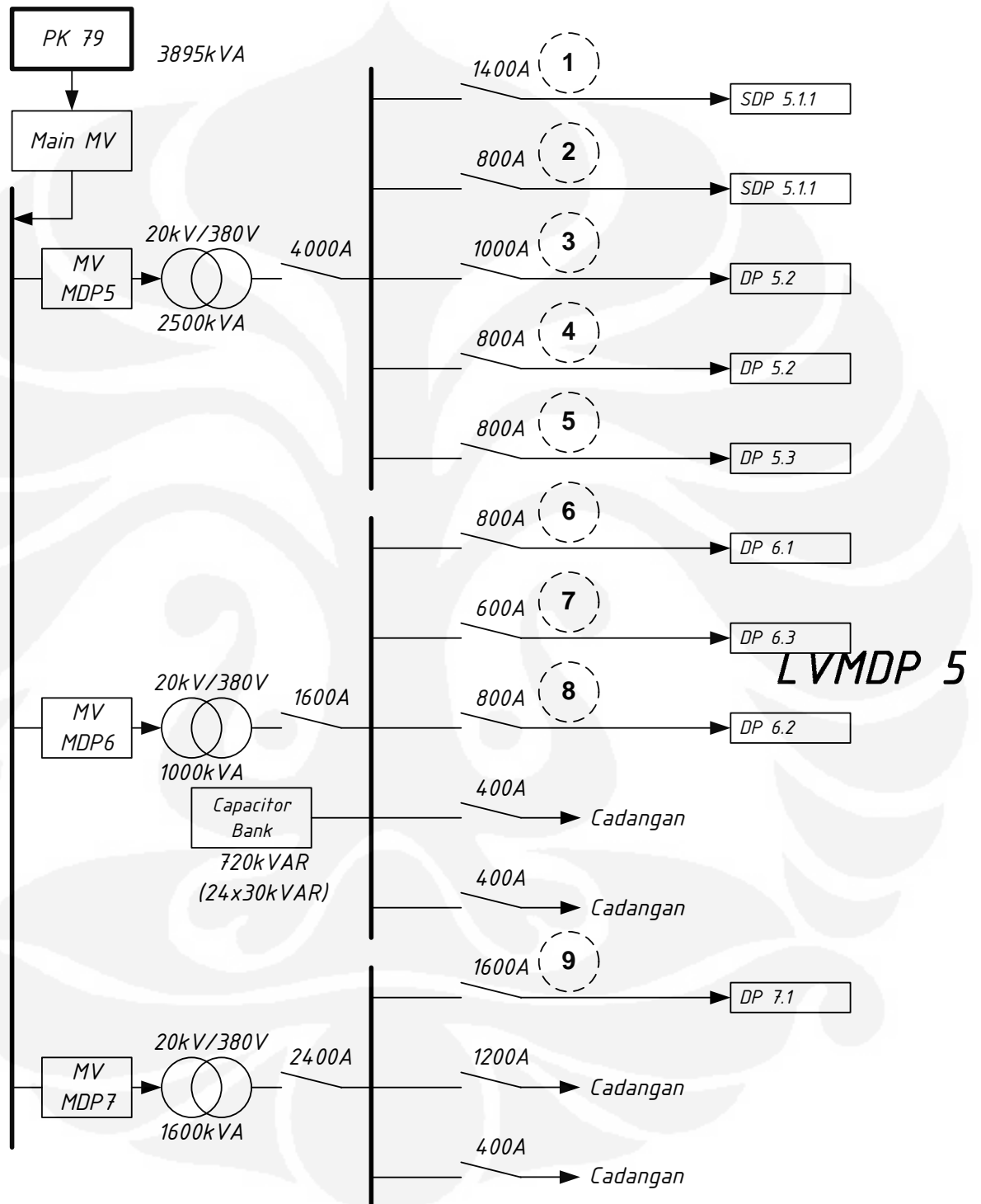
Tabel 3.8 Data pengukuran parameter tegangan listrik di LVMDP 1, 2, 3, dan 4

	Titik Pengukuran															Unit
	LVMDP 1				LVMDP 2				LVMDP 3			LVMDP 4				
	12	13	14	15	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
U1	391,30	393,73	388,05	390,52	393,17	394,44	392,52	393,84	375,08	376,65	370,11	382,74	381,74	375,54	384,06	V
U2	391,20	393,92	388,14	390,43	393,69	395,41	393,30	394,40	374,99	376,42	374,84	382,95	382,01	378,28	384,94	V
U3	389,15	392,04	385,87	388,65	391,12	393,24	391,23	392,08	373,93	375,76	377,05	380,96	379,62	372,08	382,86	V
THD-U1	1,58	1,64	1,60	1,66	3,12	2,49	2,89	2,33	1,36	1,31	1,89	1,94	2,21	1,87	2,24	%
THD-U2	1,61	1,63	1,57	1,70	3,07	2,40	2,74	2,31	1,40	1,39	1,82	2,04	2,29	2,31	2,27	%
THD-U3	1,58	1,62	1,54	1,60	3,00	2,38	2,85	2,25	1,33	1,34	1,21	1,82	2,30	2,33	2,19	%
Upk+1	563,80	566,10	559,70	561,20	572,10	573,40	572,70	572,20	543,10	540,90	534,00	553,90	553,90	544,40	556,70	V
Upk+2	563,80	568,70	559,80	564,10	571,60	574,10	574,50	572,70	541,70	542,00	547,70	550,60	555,30	549,10	558,40	V
Upk+3	561,70	565,00	557,40	560,50	570,60	573,10	574,30	571,70	540,70	543,90	543,70	548,60	551,20	545,20	552,30	V
Upk-1	-562,70	-566,00	-558,40	-560,70	-569,40	-572,30	-570,90	-570,80	-541,20	-539,50	-533,10	-549,70	-550,80	-544,20	-554,40	V
Upk-2	-562,50	-568,00	-559,30	-562,80	-571,20	-573,40	-574,60	-572,30	-541,40	-541,00	-545,60	-551,80	-556,50	-548,60	-554,90	V
Upk-3	-561,00	-563,70	-556,10	-559,70	-570,10	-570,50	-571,90	-570,80	-539,60	-540,60	-542,10	-547,80	-550,80	-545,30	-551,50	V
Uave	390,55	393,23	387,35	389,87	392,66	394,36	392,35	393,44	374,67	376,28	374,00	382,22	381,12	375,30	383,95	V
Uunb	0,36	0,30	0,39	0,32	0,39	0,31	0,30	0,34	0,20	0,18	1,08	0,33	0,40	0,95	0,31	%

Tabel 3.9 Data pengukuran parameter arus listrik di LVMDP 1, 2, 3, dan 4

	Titik Pengukuran															Unit
	LVMDP 1				LVMDP 2				LVMDP 3			LVMDP 4				
	12	13	14	15	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
I1	275,50	175,90	0,00	0,00	133,70	26,90	541,90	8,90	459,60	28,90	413,10	156,00	283,70	163,40	169,60	A
I2	336,50	176,70	7,60	7,90	134,90	28,90	532,60	11,60	466,30	41,10	447,00	165,20	280,40	175,50	177,20	A
I3	318,80	131,90	7,50	7,80	128,40	26,00	502,20	12,80	461,80	31,50	73,20	164,70	261,60	156,50	138,90	A
THD-I1	2,30	3,41	42,72	37,67	7,20	6,60	17,11	25,41	5,19	9,10	21,29	4,38	9,13	3,49	4,54	%
THD-I2	2,07	3,12	42,22	36,11	6,86	5,76	18,21	42,04	5,01	7,69	21,07	4,80	8,26	3,44	4,12	%
THD-I3	2,03	4,30	39,59	47,18	7,27	6,57	18,60	10,16	4,56	8,44	16,39	4,42	10,75	5,21	5,54	%
Ipk+1	410,00	272,00	17,00	18,00	212,40	42,40	810,00	21,00	726,00	64,00	843,00	251,00	470,00	271,00	266,00	A
Ipk+2	502,00	258,00	17,00	18,00	213,00	45,40	803,00	31,00	741,00	79,00	894,00	260,00	525,00	287,00	278,00	A
Ipk+3	482,00	193,00	17,00	17,00	201,30	41,00	764,00	31,00	728,00	63,00	145,00	261,00	463,00	246,00	223,00	A
Ipk-1	-391,00	-257,00	-3,00	-3,00	-208,10	-39,00	-799,00	-4,00	-703,00	-45,00	-806,00	-231,00	-469,00	-251,00	-250,00	A
Ipk-2	-491,00	-243,00	-4,00	-4,00	-207,40	-42,00	-804,00	-17,00	-739,00	-66,00	-899,00	-245,00	-488,00	-264,00	-261,00	A
Ipk-3	-462,00	-179,00	-3,00	-3,00	-196,40	-36,90	-806,00	-15,00	-711,00	-50,00	-128,00	-246,00	-450,00	-235,00	-218,00	A
KF1	1,02	1,03	53,23	63,67	1,15	1,12	1,92	14,21	1,05	1,30	1,54	1,05	1,45	1,03	1,05	
KF2	1,01	1,03	23,11	21,48	1,14	1,10	2,04	3,03	1,05	1,16	1,52	1,06	1,31	1,03	1,05	
KF3	1,01	1,04	38,88	45,44	1,15	1,11	2,03	1,38	1,05	1,25	1,34	1,05	1,64	1,05	1,07	
Iave	310,20	161,50	5,10	5,20	132,40	27,20	525,50	11,10	462,50	33,80	311,10	162,00	275,20	165,10	161,90	A
Iunb	11,20	6,46	52,63	14,11	4,74	6,67	4,01	28,75	1,39	20,61	89,53	7,05	6,76	6,87	13,11	%

3.3.2 Hasil Pengukuran di Area Gardu Distribusi PK 79



Gambar 3.10 Titik pengukuran di area gardu PK 79

Tabel 3.10 Data pengukuran parameter daya listrik di LVMDP 5, 6, dan 7

	Titik Pengukuran									Unit
	LVMDP 5					LVMDP 6			LVMDP 7	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Freq	50,120	49,862	49,848	49,935	50,052	49,792	49,879	50,086	49,926	Hz
P1	78.900	26.900	18.200	65.000	15.000	63.000	51.000	7.300	26.100	W
P2	73.800	28.900	21.200	66.800	12.400	67.000	39.600	3.600	903.600	W
P3	76.800	28.500	20.900	67.300	14.500	59.000	44.600	2.700	12.100	W
Psum	229.000	84.000	60.000	199.000	42.000	189.000	135.000	14.000	942.000	W
S1	111.100	32.500	25.000	69.500	19.400	71.900	63.600	9.900	47.900	VA
S2	109.300	34.900	29.000	71.400	17.700	78.900	49.100	6.000	1.190.200	VA
S3	111.300	35.000	29.100	71.500	18.100	72.000	60.500	3.900	113.600	VA
Ssum	332.000	102.000	83.000	212.000	55.000	223.000	173.000	20.000	1.352.000	VA
Q1	78.300	18.300	17.300	24.700	12.300	34.600	38.000	6.700	40.100	var
Q2	80.600	19.500	19.800	25.000	12.600	41.500	29.000	4.800	774.800	var
Q3	80.600	20.300	20.300	23.900	10.900	41.200	40.900	2.800	113.000	var
Qsum	240.000	58.000	57.000	74.000	36.000	117.000	108.000	14.000	928.000	var
PF1	0,7100	0,8272	0,7248	0,9347	0,7744	0,8762	0,8023	0,7369	0,5452	
PF2	0,6752	0,8282	0,7295	0,9365	0,7004	0,8499	0,8069	0,5944	0,7591	
PF3	0,6895	0,8147	0,7157	0,9423	0,7972	0,8198	0,7373	0,6946	0,1066	
PFsum	0,6916	0,8233	0,7233	0,9378	0,7582	0,8487	0,7809	0,6853	0,6967	

Tabel 3.11 Data pengukuran parameter tegangan listrik di LVMDP 5, 6, dan 7

	Titik Pengukuran									Unit
	LVMDP 5					LVMDP 6			LVMDP 7	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
U1	406,82	397,83	401,82	411,73	402,70	401,59	401,40	403,62	409,90	V
U2	406,91	398,76	403,72	411,19	403,05	402,73	402,68	404,89	404,89	V
U3	404,70	396,28	399,76	409,31	401,05	399,30	399,38	401,99	407,52	V
THD-U1	6,52	3,93	1,71	9,33	10,11	1,91	1,54	1,60	1,27	%
THD-U2	6,42	4,15	1,75	9,19	10,16	1,86	1,46	1,50	1,50	%
THD-U3	6,44	4,07	1,75	9,40	10,33	2,00	1,52	1,64	1,14	%
Upk+1	571,50	552,80	568,00	566,50	642,80	578,40	576,60	580,20	587,20	V
Upk+2	571,70	553,70	571,30	565,50	648,50	582,10	580,70	582,10	589,20	V
Upk+3	560,00	554,20	565,10	565,20	641,30	576,80	575,30	579,30	588,00	V
Upk-1	-566,50	-555,10	-566,40	-563,60	-668,30	-580,10	-576,00	-579,90	-586,10	V
Upk-2	-564,70	-557,70	-566,60	-562,70	-648,60	-581,80	-577,60	-581,60	-588,80	V
Upk-3	-573,00	-550,60	-568,60	-562,70	-628,90	-578,50	-574,20	-580,40	-587,00	V
Uave	406,14	397,63	401,77	410,74	402,26	401,21	401,15	403,50	407,44	V
Uunb	0,39	0,35	0,56	0,36	0,40	0,50	0,47	0,41	0,74	%

Tabel 3.12 Data pengukuran parameter arus listrik di LVMDP 5, 6, dan 7

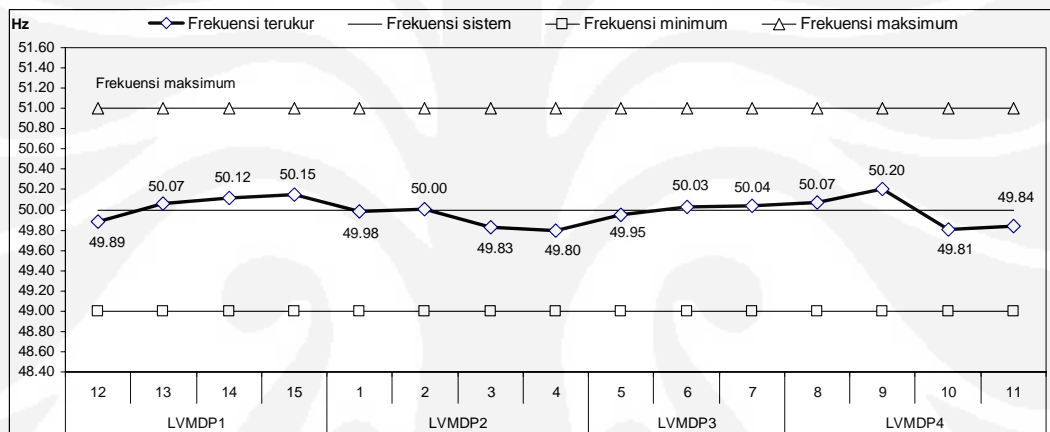
	Titik Pengukuran									Unit
	LVMDP 5					LVMDP 6			LVMDP 7	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
I1	474,90	142,00	108,50	293,30	83,70	311,50	275,70	42,40	202,20	A
I2	464,40	151,40	124,40	299,90	75,80	338,70	211,00	25,60	5.060,40	A
I3	475,80	152,40	125,60	302,20	78,20	311,00	261,60	16,90	486,10	A
THD-I1	38,31	46,98	71,44	31,56	14,83	3,94	7,09	5,12	10,33	%
THD-I2	39,28	47,97	73,23	31,21	19,76	3,45	5,32	6,92	19,79	%
THD-I3	38,57	47,60	70,37	28,69	20,13	4,06	7,84	8,50	20,68	%
Ipk+1	1.238,00	334,00	322,00	511,00	214,00	453,00	403,00	79,00	354,00	A
Ipk+2	1.035,00	385,00	366,00	563,00	194,00	493,00	302,00	50,00	9.268,00	A
Ipk+3	1.203,00	414,00	388,00	547,00	218,00	470,00	393,00	35,00	913,00	A
Ipk-1	-897,00	-355,00	-338,00	-525,00	-217,00	-445,00	-392,00	-62,00	-316,00	A
Ipk-2	-1.240,00	-374,00	-341,00	-520,00	-210,00	-487,00	-289,00	-36,00	-9.325,00	A
Ipk-3	-1.175,00	-395,00	-375,00	-582,00	-186,00	-461,00	-376,00	-22,00	-887,00	A
KF1	9,04	7,96	14,45	11,40	4,45	1,04	1,07	1,04	1,18	
KF2	9,14	7,87	14,36	10,28	6,02	1,03	1,12	1,09	1,55	
KF3	8,76	7,61	12,91	9,78	4,30	1,04	1,09	1,44	1,61	
Iave	471,70	148,60	119,50	298,50	79,20	320,40	249,40	28,30	1.916,20	A
Iunb	4,77	4,76	10,15	1,48	8,01	6,22	4,21	34,83	91,54	%

BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN

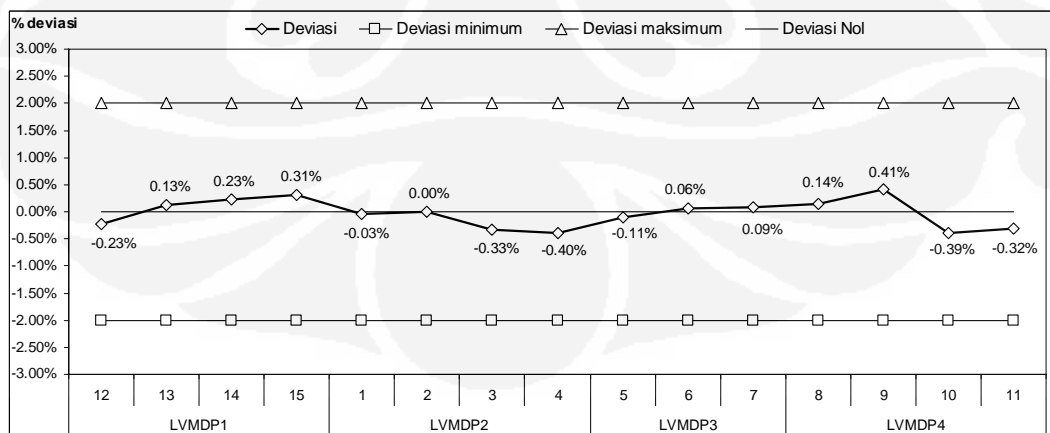
4.1 ANALISA HASIL PENGUKURAN

4.1.1 Frekuensi

Berdasarkan hasil pengukuran pada seluruh titik keluaran LVMDP yang disuplai oleh gardu distribusi PK 87, diperoleh data frekuensi sistem seperti yang ditunjukkan oleh gambar-gambar berikut:



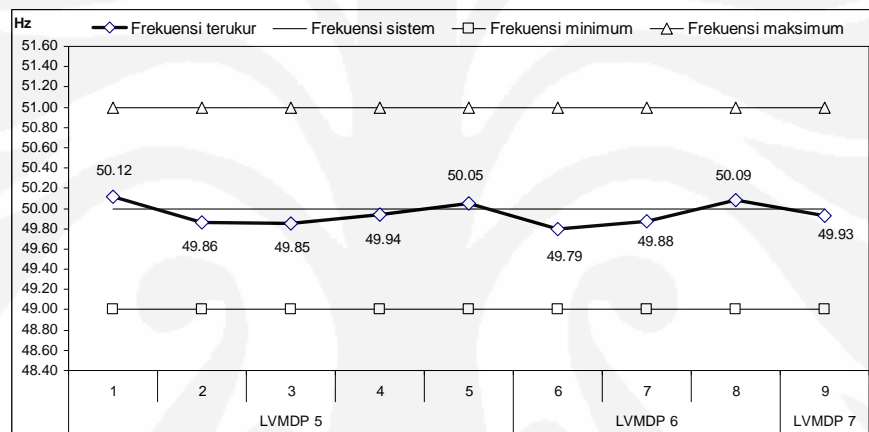
Gambar 4.1 Grafik frekuensi pada LVMDP 1, 2, 3, dan 4 dibandingkan dengan frekuensi nominal sistem



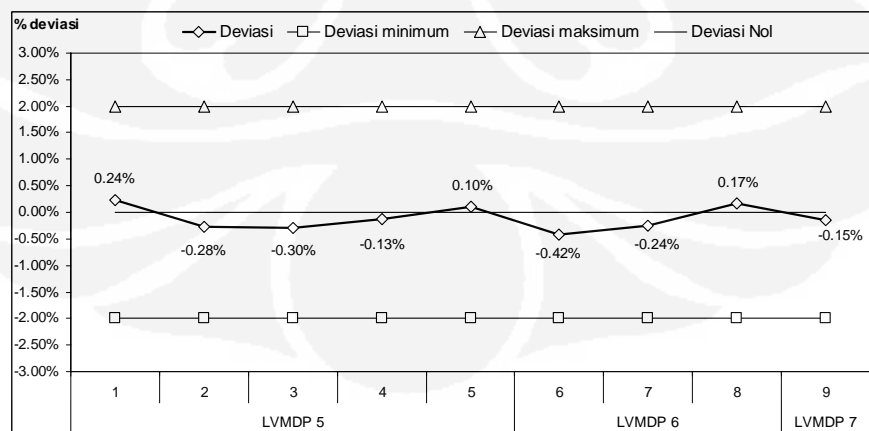
Gambar 4.2 Grafik persentase deviasi frekuensi pada LVMDP 1, 2, 3, dan 4

Data pengukuran frekuensi pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 menunjukkan nilai frekuensi minimum sebesar 49,80 Hz (deviasi -0,40%) yakni pada titik pengukuran 4 di LVMDP 2 dan frekuensi maksimum sebesar 50,20 Hz (deviasi +0,41%) pada titik pengukuran 9 di LVMDP 4. Dengan rentang nilai frekuensi minimum dan maksimum tersebut, frekuensi sistem distribusi yang disuplai oleh gardu distribusi PK 87 masih dalam batas toleransi yang diperbolehkan dan tidak berpotensi untuk menimbulkan gangguan dan inefisiensi pada sistem kelistrikan.

Sedangkan data frekuensi sistem yang diperoleh dari hasil pengukuran frekuensi pada titik-titik keluaran LVMDP yang disuplai oleh gardu distribusi PK 79 ditunjukkan oleh gambar-gambar berikut:



Gambar 4.3 Grafik frekuensi pada LVMDP 5, 6, dan 7 dibandingkan dengan frekuensi nominal sistem

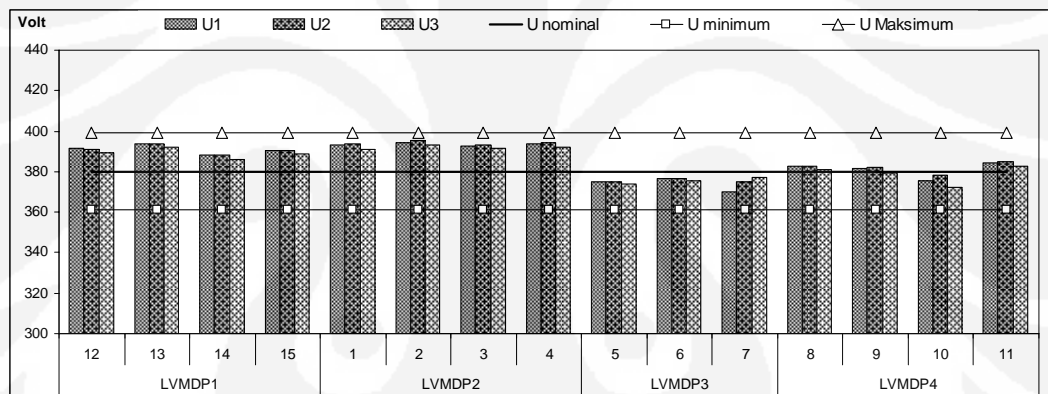


Gambar 4.4 Grafik persentase deviasi frekuensi pada LVMDP 5, 6, dan 7

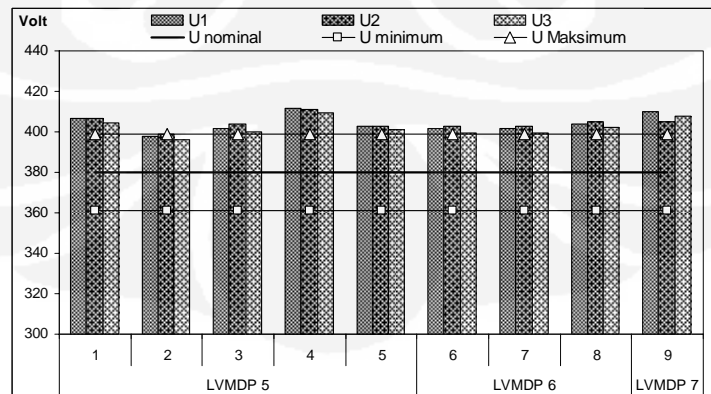
Data pengukuran frekuensi pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 menunjukkan nilai frekuensi minimum sebesar 49,79 Hz (deviasi -0,42%) yakni pada titik pengukuran 6 di LVMDP 6 dan frekuensi maksimum sebesar 50,12 Hz (deviasi +0,24%) pada titik pengukuran 1 di LVMDP 5. Frekuensi pada sistem distribusi yang disuplai oleh gardu distribusi PK 79 tersebut juga masih dalam batas toleransi.

4.1.2 Tegangan

Berdasarkan hasil pengukuran pada seluruh titik keluaran LVMDP yang disuplai oleh gardu distribusi PK 87 dan PK 79 diperoleh data-data tegangan sistem seperti yang ditunjukkan oleh gambar-gambar berikut:



Gambar 4.5 Grafik tegangan pada LVMDP 1, 2, 3, dan 4



Gambar 4.6 Grafik tegangan pada LVMDP 5, 6, dan 7

Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 berisi nilai tegangan terukur dari seluruh titik pengukuran di LVMDP 1 sampai dengan LVMDP 7. Nilai tegangan di atas atau di bawah tegangan nominal berkaitan dengan pengaturan *step* pada transformator yang menyuplai masing-masing LVMDP.

4.1.3 Faktor Daya

Faktor daya dari sistem kelistrikan PT.ADM PP diperoleh dari titik pengukuran di masing-masing saluran keluaran LVMDP namun data tersebut harus dihitung kembali untuk mendapatkan faktor daya untuk tiap LVMDP. Adapun faktor daya tiap LVMDP diperoleh berdasarkan perhitungan total daya aktif dan total daya kompleks terukur pada tiap titik, misalnya perhitungan faktor daya pada LVMDP 5 berikut:

Tabel 4.1 Perhitungan daya aktif dan daya kompleks total di LVMDP 5

LVMDP 5	P [W]	S [VA]
Titik 1	229.500	331.700
Titik 2	84.300	102.400
Titik 3	60.300	83.100
Titik 4	199.100	212.400
Titik 5	41.900	55.200
TOTAL	615.100	784.800

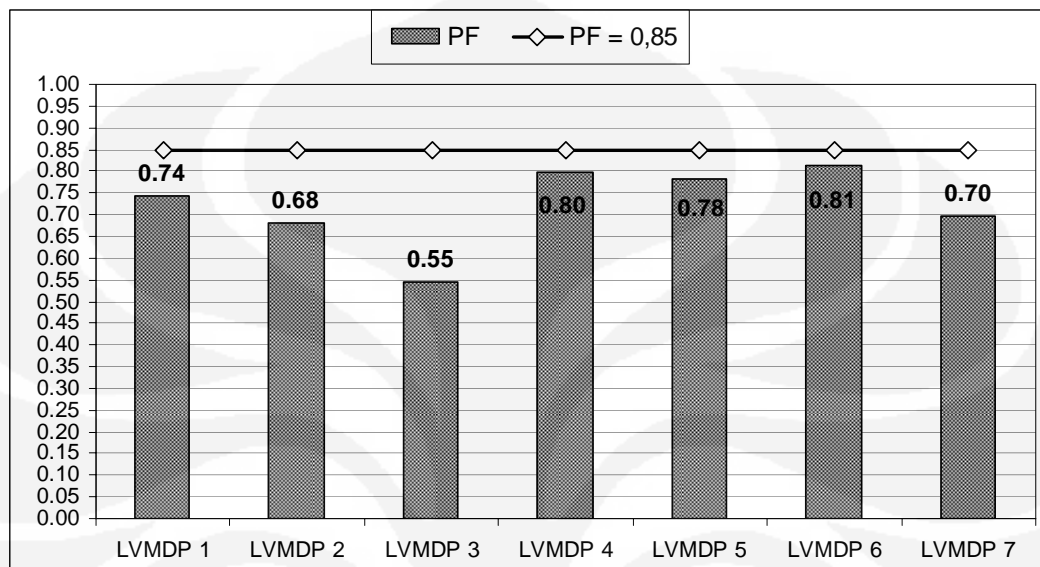
$$\text{Faktor daya LVMDP 5} = \frac{P \text{ total LVMDP 5}}{S \text{ total LVMDP 5}} = \frac{615.100 \text{ W}}{784.800 \text{ VA}} = 0,78$$

Dengan cara perhitungan yang sama, diperoleh juga faktor daya seluruh LVMDP yang ada di PT.ADM PP sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.2:

Tabel 4.2 Hasil perhitungan faktor daya untuk seluruh LVMDP

	LVMDP						
	1	2	3	4	5	6	7
P total [W]	243.100	321.370	285.400	402.200	615.100	337.800	941.800
S total [VA]	326.900	473.230	522.900	504.200	784.800	415.800	1.351.700
PF	0,74	0,68	0,55	0,80	0,78	0,81	0,70

Melalui perhitungan faktor daya untuk tiap LVMDP diperoleh penggambaran faktor daya yang dibandingkan dengan faktor daya minimum yang ditetapkan PLN sebagaimana pada Gambar 4.7 berikut:

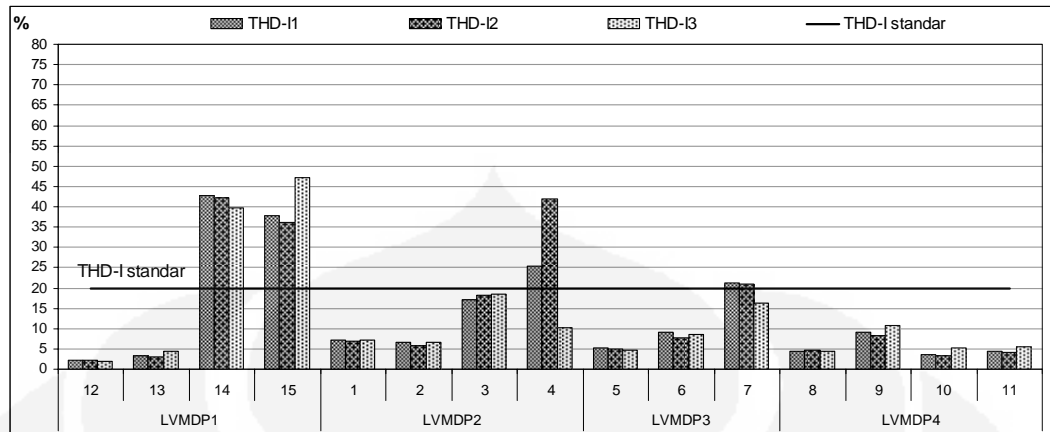


Gambar 4.7 Grafik faktor daya pada tiap LVMDP

Data perhitungan menunjukkan faktor daya di masing-masing LVMDP pada saat dilakukan pengukuran. LVMDP 3 memiliki faktor daya terendah dengan nilai 0,55 dan LVMDP 6 memiliki faktor daya tertinggi yakni 0,81. Nilai faktor daya di seluruh LVMDP tersebut masih bernilai di bawah faktor daya disyaratkan oleh PLN yakni 0,85.

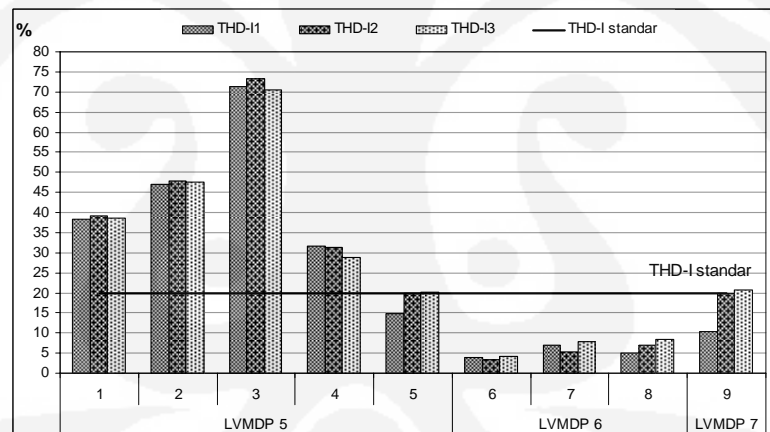
4.1.4 Total Harmonic Distortion Arus

Parameter kualitas daya listrik juga ditunjukkan dengan nilai *total harmonic distortion* untuk arus. Hasil pengukuran distorsi harmonik arus pada LVMDP yang suplai listriknya berasal dari gardu distribusi PK 87 ditunjukkan pada Gambar 4.8. Dari pengukuran terlihat bahwa nilai THD arus pada titik 14 dan 15 di LVMDP 1, titik 4 di LVMDP 2, serta titik 7 di LVMDP 3 memiliki nilai yang melampaui nilai THD arus maksimum yang dianjurkan.



Gambar 4.8 Grafik THD arus pada LVMDP 1, 2, 3, dan 4

Hasil pengukuran THD arus pada LVMDP yang disuplai oleh gardu distribusi PK 79 ditunjukkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Grafik THD arus pada LVMDP 5, 6, dan 7

Gambar 4.9 menunjukkan bahwa nilai THD arus di seluruh titik pengukuran pada LVMDP 5 serta LVMDP 7 memiliki nilai THD arus yang melampaui 20%.

Dari pengukuran THD arus maka diperlukan usaha perbaikan sistem di beberapa LVMDP baik yang disuplai oleh gardu PK 87 maupun PK 79 untuk menurunkan nilai THD arus tersebut ke nilai yang direkomendasikan.

4.1.5 Daya

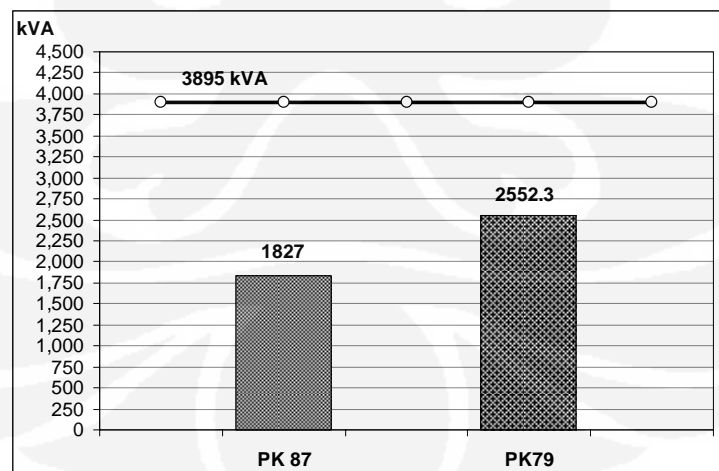
Pengukuran parameter daya listrik pada Bab 3 menunjukkan nilai daya aktif, daya kompleks, dan daya reaktif yang ada pada sistem kelistrikan PT.ADM PP. Daya kompleks diperoleh melalui pengukuran di masing-masing LVMDP sehingga perlu dihitung dulu jumlah keseluruhan daya kompleks terukur pada satu gardu distribusi dan kemudian dibandingkan dengan kapasitas daya listrik terpasang dari PT.ADM PP sebagaimana perhitungan berikut:

$$\begin{aligned} S \text{ total PK 87} &= \text{Stotal LVMDP 1} + \text{Stotal LVMDP 2} + \text{Stotal LVMDP 3} + \text{Stotal LVMDP 4} \\ &= 326.900\text{VA} + 473.230\text{VA} + 522.900\text{VA} + 504.200\text{VA} \\ &= 1.827.230 \text{ VA} \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan serupa diperoleh jumlah daya kompleks untuk PK 79 sebesar:

$$S \text{ total PK 79} = 2.552.300 \text{ VA}$$

Penggambaran antara nilai daya kompleks pada saat pengukuran dengan kapasitas daya listrik terpasang baik pada gardu distribusi PK 87 maupun PK 79 ditunjukkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Grafik hasil pengukuran daya kompleks di gardu distribusi PK 87 dan PK 79

4.1.6 Potensi Konservasi Energi

Berdasarkan analisa terhadap parameter kualitas daya listrik yang diperoleh dari hasil pengukuran dan kondisi kelistrikan yang diperoleh melalui audit energi terdapat potensi konservasi energi listrik sebagai berikut:

1. Optimalisasi kapasitas daya listrik terpasang
2. Perbaiki faktor daya
3. Reduksi distorsi harmonik arus

Potensi konservasi energi listrik lain memerlukan data beban listrik secara rinci dari setiap peralatan yang ada di dalam sistem kelistrikan dan belum diperoleh pada waktu studi ini dilakukan.

4.2 OPTIMALISASI DAYA TERPASANG

Kondisi sistem kelistrikan diperhitungkan untuk menentukan peluang konservasi energi yang dapat dilakukan di PT.ADM PP. Waktu kerja diasumsikan berdasarkan jam kerja normal harian PT.ADM PP yakni:

Tabel 4.3 Waktu kerja harian normal PT.ADM PP

Shift	Waktu kerja gross		Total Istirahat	Netto [menit]	Lembur [menit]	N + L [menit]	N + L [jam]
	Mulai	Selesai					
Siang	7:15	16:00	1:10	455	90	545	9,08
Malam	21:00	4:30	0:55	395	90	485	8,08
Total waktu kerja per hari				850	180	1030	17,17
Total hari kerja per bulan				24 Hari			
Total bulan kerja per tahun				12 Bulan			

4.2.1 Optimalisasi Kapasitas Gardu Distribusi PK 87

Data konsumsi energi PT. ADM PP digunakan untuk menghitung kebutuhan kapasitas daya terpasang yang optimal. Dengan menggunakan kondisi jam kerja PT.ADM PP, daya aktif rata-rata yang dibutuhkan oleh PT.ADM PP melalui gardu distribusi PK 87 adalah:

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan daya aktif rata - rata} &= \frac{\text{Energi rata - rata per bulan}}{\text{Total jam kerja per bulan}} \\ &= \frac{8.087.820 \text{ kWh} / 12 \text{ bulan}}{24 \text{ hari/bulan} \times 17,17 \text{ jam/hari}} \end{aligned}$$

$$= 1.635,89 \text{ kW}$$

dan kebutuhan daya aktif maksimum adalah:

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan daya aktif maksimum} &= \frac{\text{Energi maksimum per bulan}}{\text{Total jam kerja per bulan}} \\ &= \frac{841.920 \text{ kWh/bulan}}{24 \text{ hari/bulan} \times 17,17 \text{ jam/hari}} \\ &= 2.043,50 \text{ kW} \end{aligned}$$

sehingga diperoleh faktor beban tahunan gardu distribusi PK 87 sebesar:

$$\text{Faktor beban tahunan} = \frac{1.635,89 \text{ kW}}{2.043,50 \text{ kW}} \times 100\% = 80,05 \%$$

Dari data rekening listrik PLN, PT.ADM selama bulan Oktober 2007 hingga September 2008, PT.ADM tidak pernah ditagih biaya kelebihan kVARH, oleh karena itu diasumsikan bahwa selama periode tersebut faktor daya pada gardu distribusi PK 87 secara rata-rata tidak lebih rendah dari 0,85 sehingga apabila nilai faktor daya tersebut digunakan untuk menghitung daya kompleks dari gardu distribusi PK 87 akan diperoleh nilai kVA sebagai berikut:

Tabel 4.4 Rekapitulasi daya aktif dan daya kompleks gardu distribusi PK 87 berdasarkan data rekening listrik

No.	Bulan	P [kW]	S [kVA]
1	Oktober 2007	1.700,10	2.000,11
2	Nopember 2007	1.411,17	1.660,19
3	Desember 2007	2.043,50	2.404,11
4	Januari 2008	1.625,83	1.912,74
5	Februari 2008	1.655,24	1.947,34
6	Maret 2008	1.725,00	2.029,41
7	April 2008	1.604,56	1.887,72
8	Mei 2008	1.719,61	2.023,07
9	Juni 2008	1.461,26	1.719,13
10	Juli 2008	1.502,48	1.767,62
11	Agustus 2008	1.518,35	1.786,29
12	September 2008	1.663,54	1.957,11

Persentase antara kVA maksimum selama periode Oktober 2007 – September 2008 dibandingkan dengan kapasitas daya terpasang gardu distribusi PK 87 sebesar 3895 kVA adalah:

$$\text{Demand factor} = \frac{\text{kVA maksimum}}{\text{kVA terpasang}} = \frac{2.404,11 \text{ kVA}}{3.895 \text{ kVA}} = 61,72\%$$

Sedangkan berdasarkan hasil pengukuran tanggal 29 November 2008 dengan PQA, daya aktif dan daya kompleks untuk gardu distribusi PK 87 adalah sebagai berikut:

Tabel 4.5 Rekapitulasi daya aktif dan daya kompleks gardu distribusi PK 87 berdasarkan data pengukuran

	P [kW]	S [kVA]
LVMDP 1	243,10	326,90
LVMDP 2	321,37	473,23
LVMDP 3	285,40	522,90
LVMDP 4	402,20	504,20
TOTAL	1.252,07	1.827,23

Dari hasil pengukuran, *demand factor* untuk gardu distribusi PK 87 adalah:

$$\text{Demand factor} = \frac{\text{kVA maksimum}}{\text{kVA terpasang}} = \frac{1.827,23 \text{ kVA}}{3.895 \text{ kVA}} = 46,91\%$$

Demand factor yang diperoleh berdasarkan pada data konsumsi energi listrik yang dinyatakan dalam rekening listrik memiliki perbedaan dengan *demand factor* yang dihitung dari hasil pengukuran, hal ini mungkin saja terjadi karena hasil rekapitulasi rekening merupakan data yang terakumulasi selama periode tertentu dan bukan menunjukkan nilai daya sesaat sehingga dapat diasumsikan bahwa selama Oktober 2007 sampai dengan September 2008 *demand factor* adalah 61,72%, nilai ini merupakan *demand factor* rata-rata setahun. *Demand factor* dan daya kompleks antara rekapitulasi data kWh meter dengan hasil pengukuran adalah sebagai berikut:

Tabel 4.6 Perbandingan nilai daya kompleks dan *demand factor* gardu PK 87 hasil rekapitulasi rekening listrik dengan hasil pengukuran

	S [kVA]	<i>Demand factor</i>
kWH meter	2.404,11	61,72%
PQA	1.827,23	46,91%

Penentuan optimalisasi daya listrik terpasang dilakukan dengan mempertimbangkan data pada Tabel 4.6 yakni dengan memilih nilai kVA yang

paling tinggi yakni berdasarkan pada rekapitulasi kWh meter sebesar 2404,11 kVA.

Pemanfaatan daya terpasang diasumsikan pada keadaan normal adalah sebesar 90% dari kapasitas daya yang disediakan PLN. Selain itu pula dipertimbangkan pula faktor pengembangan di masa depan yang akan membutuhkan peningkatan daya terpasang. Agar tidak terjadi kekurangan daya terpasang di masa mendatang, faktor pengembangan kebutuhan daya sampai dengan 10 tahun mendatang diasumsikan maksimum 30%. Kapasitas daya yang optimal untuk gardu distribusi PK 87 adalah:

$$\text{kVA maksimum} = 2.404,11 \text{ kVA}$$

$$\text{Faktor kebutuhan} = 90\%$$

$$\text{Faktor pengembangan} = 30\%$$

$$\text{Daya terpasang} = \frac{\text{kVA} \times (1 + \text{Faktor pengembangan})}{\text{Faktor kebutuhan}}$$

$$= \frac{2.404,11 \text{ kVA} \times (1 + 30\%)}{90\%}$$

$$= 3.472,61 \text{ kVA}$$

Dengan biaya beban sebesar Rp.29.500/kVA, penghematan biaya yang dapat diperoleh apabila kapasitas daya gardu distribusi PK 87 disesuaikan menjadi 3500 kVA adalah:

$$\text{Selisih kapasitas berlangganan} = 3.895 \text{ kVA} - 3.500 \text{ kVA} = 395 \text{ kVA}$$

$$\text{Penghematan biaya} = 395 \text{ kVA} \times \text{Rp.29.500/kVA} = \text{Rp.11.652.500/bulan}$$

4.2.2 Optimalisasi Kapasitas Gardu Distribusi PK 79

Gardu distribusi PK 79 mengalami penambahan daya pada September 2007. Pembebanannya pada empat bulan pertama pasca September 2007 naik secara gradual sampai dengan kondisi beban normal pada bulan kelima yakni di Februari 2008 sehingga untuk memperoleh nilai daya aktif maupun daya kompleks rata-rata, diambil rata-rata dari Februari 2008 – September 2008 bukan dari Oktober 2007 – September 2008.

$$\text{Kebutuhan daya aktif rata - rata} = \frac{\text{Energi rata - rata per bulan (Feb 08 - Sep 08)}}{\text{Total jam kerja per bulan}}$$

$$= \frac{5.283.840 \text{ kWh} / 8 \text{ bulan}}{24 \text{ hari/bulan} \times 17,17 \text{ jam/hari}}$$

$$= 1.603,11 \text{ kW}$$

Dan kebutuhan daya aktif maksimum adalah:

$$\text{Kebutuhan daya aktif maksimum} = \frac{\text{Energi maksimum per bulan}}{\text{Total jam kerja per bulan}}$$

$$= \frac{679.520 \text{ kWh/bulan}}{24 \text{ hari/bulan} \times 17,17 \text{ jam/hari}}$$

$$= 1.649,32 \text{ kW}$$

sehingga diperoleh faktor beban tahunan gardu distribusi PK 79 sebesar:

$$\text{Faktor beban tahunan} = \frac{1.603,11 \text{ kW}}{1.649,32 \text{ kW}} \times 100\% = 97,2 \%$$

Dengan asumsi yang sama mengenai jam kerja, diperoleh daya aktif dari Oktober 2007 – September 2008 dan dengan menggunakan faktor daya 0,85, didapat pula nilai daya kompleks PT.ADM PP melalui gardu distribusi PK 79 sebagai berikut:

Tabel 4.7 Rekapitulasi daya aktif dan daya kompleks gardu distribusi PK 79 berdasarkan data rekening listrik

No.	Bulan	P [kW]	S [kVA]
1	Oktober 2007	370,49	435,87
2	Nopember 2007	431,46	507,60
3	Desember 2007	651,26	766,19
4	Januari 2008	1.302,91	1.532,84
5	Februari 2008	1.642,72	1.932,61
6	Maret 2008	1.537,86	1.809,25
7	April 2008	1.570,10	1.847,17
8	Mei 2008	1.649,32	1.940,38
9	Juni 2008	1.618,64	1.904,28
10	Juli 2008	1.568,54	1.845,35
11	Agustus 2008	1.602,72	1.885,55
12	September 2008	1.634,95	1.923,47

Persentase kVA maksimum dibandingkan daya listrik terpasang di gardu distribusi PK 79 adalah:

$$\text{Demand factor} = \frac{\text{kVA maksimum}}{\text{kVA terpasang}} = \frac{1.940,38 \text{ kVA}}{3.895 \text{ kVA}} = 49,82\%$$

Berdasarkan hasil pengukuran tanggal 29 November 2008 dengan PQA, daya aktif dan daya kompleks untuk gardu distribusi PK 79 adalah sebagai berikut:

Tabel 4.8 Rekapitulasi daya aktif dan daya kompleks gardu distribusi PK 79 berdasarkan data pengukuran

	P [kW]	S [kVA]
LVMDP 5	615,10	784,80
LVMDP 6	337,80	415,80
LVMDP 7	941,80	1.351,70
TOTAL	1.894,70	2.552,30

Dari hasil pengukuran, *demand factor* untuk gardu distribusi PK 79 adalah:

$$\text{Demand factor} = \frac{\text{kVA maksimum}}{\text{kVA terpasang}} = \frac{2.552,30 \text{ kVA}}{3.895 \text{ kVA}} = 65,53\%$$

Demand factor dan daya kompleks antara rekapitulasi data kWh meter dengan hasil pengukuran adalah sebagai berikut:

Tabel 4.9 Perbandingan nilai daya kompleks dan *demand factor* gardu PK 79 hasil rekapitulasi rekening listrik dengan hasil pengukuran

	S [kVA]	<i>Demand factor</i>
kWH meter	1.940,38	49,82%
PQA	2.552,30	65,53%

Karena terjadi perbedaan antara *demand factor* olah data rekening listrik dengan *demand factor* berdasarkan hasil pengukuran, penentuan optimalisasi daya terpasang dilakukan dengan nilai kVA tertinggi yakni hasil pengukuran sebesar 2552,30 kVA.

Dengan asumsi yang sama pada penentuan kapasitas daya terpasang di gardu distribusi PK 87 yakni faktor kebutuhan sebesar 90% dan faktor pengembangan sebesar 30%, kapasitas daya optimal pada gardu distribusi PK 79 adalah:

$$\text{kVA maksimum} = 2.552,30 \text{ kVA}$$

$$\text{Faktor kebutuhan} = 90\%$$

$$\text{Faktor pengembangan} = 30\%$$

$$\begin{aligned} \text{Daya terpasang} &= \frac{\text{kVA} \times (1 + \text{Faktor pengembangan})}{\text{Faktor kebutuhan}} \\ &= \frac{2.552,30 \text{ kVA} \times (1 + 30\%)}{90\%} \\ &= 3.686,66 \text{ kVA} \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas apabila kapasitas daya gardu distribusi PK 79 disesuaikan menjadi 3700 kVA, penghematan biaya yang dapat diperoleh dengan biaya beban sebesar Rp. 29.500/kVA adalah:

$$\text{Selisih kapasitas berlangganan} = 3.895 - 3.700 \text{ kVA} = 195 \text{ kVA}$$

$$\text{Penghematan biaya} = 195 \text{ kVA} \times \text{Rp.}29.500/\text{kVA} = \text{Rp.}5.752.500/\text{bulan}$$

4.3 PERBAIKAN FAKTOR DAYA

4.3.1 Perbaikan Faktor Daya Gardu Distribusi PK 87 dan PK 79

Perhitungan untuk memperoleh faktor daya pada tiap LVMDP ditunjukkan pada Sub Bab 4.1.3 dan hasilnya tercantum pada Tabel 4.2. Semua faktor daya di masing-masing LVMDP bernilai kurang dari yang disyaratkan PLN agar tidak terkena kelebihan biaya kVARH yakni 0,85. Berdasarkan data dari rekening listrik PT.ADM PP, selama Oktober 2007 – September 2008, denda karena kelebihan kVARH memang tidak pernah ada, namun hal ini akan berpengaruh pada optimalisasi daya terpasang yang ada karena faktor daya yang rendah juga akan menurunkan potensi kapasitas daya listrik terpasang yang akan diubah menjadi energi. Oleh karena alasan tersebut, faktor daya di tiap LVMDP harus ditingkatkan dan juga sebagai upaya untuk menghindari kemungkinan denda karena kelebihan kVARH.

Untuk meningkatkan faktor daya pada LVMDP 5 dari 0,78 menjadi 0,95, perbaikan yang perlu dilakukan adalah dengan melakukan pemasangan kapasitor bank sebagai kompensator daya reaktif dengan nilai Q_c yang perhitungannya sebagai berikut:

$$P \text{ total LVMDP 5} = 615,1 \text{ kW}$$

$$\text{PF awal} = 0,74$$

$$\text{PF akhir} = 0,95$$

$$Q_c = P \times [\tan(\cos^{-1}\text{PF awal}) - \tan(\cos^{-1}\text{PF akhir})]$$

$$\begin{aligned}
 &= 615,1 \text{ kW} \times [\tan(\cos^{-1} 0,74) - \tan(\cos^{-1} 0,95)] \\
 &= 615,1 \text{ kW} \times [0,792 - 0,329] \\
 &= 285,23 \text{ kVAR}
 \end{aligned}$$

Metode perhitungan nilai bank kapasitor serupa diaplikasikan pada semua LVMDP dan menghasilkan nilai ukuran bank kapasitor sebagai berikut:

Tabel 4.10 Hasil perhitungan bank kapasitor untuk seluruh LVMDP

	LVMDP						
	1	2	3	4	5	6	7
P total [kW]	243,1	321,37	285,4	402,2	615,1	337,8	941,8
PF awal	0,74	0,68	0,55	0,80	0,78	0,81	0,70
PF akhir	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Qc [kVAR]	138,65	241,74	344,34	171,86	285,23	131,42	660,04

4.3.2 Penghematan Energi dan Pengurangan Biaya

Alat ukur konsumsi energi yakni kWh meter dipasang pada tiap gardu distribusi, oleh karena itu faktor daya tiap gardu perlu dihitung. Berdasarkan rekapitulasi hasil pengukuran pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.8, daya aktif, daya kompleks dan faktor daya untuk tiap gardu distribusi adalah sebagai berikut:

Tabel 4.11 Faktor daya untuk tiap gardu distribusi PT.ADM PP

	PK 87	PK 79
P [kW]	1.252,07	1.894,7
S [kVA]	1.827,23	2.552,3
PF	0,69	0,74

Setelah faktor daya pada gardu distribusi PK 87 dan PK 79 diketahui, perhitungan denda kelebihan kVARH akibat faktor daya yang tidak diperbaiki ditunjukkan pada Tabel 4.12 dengan asumsi denda kelebihan kVARH = Rp.571/kVARH.

Tabel 4.12 Perhitungan potensi denda kelebihan kVARH

		PK 87	PK 79
Energi rata-rata bulanan	[kWH]	673.985	660.480
PF minimum oleh PLN		0,85	0,85
PF aktual		0,69	0,74
Daya reaktif <i>threshold</i> (a)	[kVARH]	417.698	409.328
Daya reaktif tanpa perbaikan (b)	[kVARH]	716.378	596.120
Potensi kelebihan kVARH (b-a)	[kVARH]	298.679	186.791
Potensi denda per bulan	Rp	170.545.794	106.657.802
Potensi denda per tahun	Rp	2.046.549.533	1.279.893.619

Apabila faktor daya hasil pengukuran pada LVMDP 5 ditingkatkan menjadi 0,95 akan diperoleh persentase pengurangan rugi-rugi sebesar:

$$\% \text{ Loss}_{\text{reduction}} = \left[1 - \left(\frac{\text{PF awal}}{\text{PF akhir}} \right)^2 \right] \times 100\% = \left[1 - \left(\frac{0,78}{0,95} \right)^2 \right] \times 100\% = 31,93\%$$

Perhitungan pengurangan rugi-rugi di atas menghasilkan nilai persentase pengurangan pada masing-masing LVMDP sebesar:

Tabel 4.13 Persentase pengurangan rugi-rugi tiap LVMDP

	LVMDP						
	1	2	3	4	5	6	7
PF awal	0,74	0,68	0,55	0,80	0,78	0,81	0,70
PF akhir	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Loss reduction	38,72%	48,90%	66,99%	29,49%	31,93%	26,87%	46,21%

Dan pengurangan rugi-rugi untuk masing-masing gardu distribusi adalah sebesar:

Tabel 4.14 Persentase pengurangan rugi-rugi tiap gardu distribusi

	PK 87	PK 79
PF awal	0,69	0,74
PF akhir	0,95	0,95
Loss reduction	47,97%	38,94%

Dari persentase di atas dapat dihitung besar pengurangan penghematan energi dan pengurangan biaya pada LVMDP 5, dengan asumsi rugi-rugi energi sebesar 5% dan biaya listrik = Rp.878/kWH, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P \text{ total LVMDP 5} &= 615,1 \text{ kW} \\
 \text{Rugi - rugi daya (P loss)} &= 5\% \times 615,1 \text{ kW} = 30,76 \text{ kW} \\
 \text{Rugi - rugi energi (W loss)} &= 30,76 \text{ kW} \times 24 \text{ hari/bulan} \times 17,17 \text{ jam/hari} \\
 &= 12.671 \text{ kWh/bulan} \\
 \text{Penghematan energi} &= 31,93\% \times 12.671 \text{ kWh/bulan} = 4.046 \text{ kWh/bulan} \\
 \text{Reduksi biaya} &= 4.046 \text{ kWh/bulan} \times \text{Rp.878/kWh} \\
 &= \text{Rp.3.552.788} / \text{bulan}
 \end{aligned}$$

Dengan perhitungan yang sama, diperoleh pula perhitungan rugi-rugi daya, rugi-rugi energi, penghematan energi dan reduksi biaya untuk seluruh LVMDP sebagai berikut:

Tabel 4.15 Perhitungan penghematan energi dan pengurangan biaya per bulan untuk tiap LVMDP

	LVMDP						
	1	2	3	4	5	6	7
<i>Power loss</i> [kW]	12,16	16,07	14,27	20,11	30,76	16,89	47,09
<i>Energy loss</i> [kWh]	5.008	6.620	5.879	8.285	12.671	6.959	19.401
<i>Energy Saving</i> [kWh]	1.939	3.237	3.939	2.444	4.046	1.870	8.965
<i>Cost Reduction</i> [Rp]	1.702.641	2.842.353	3.458.092	2.145.483	3.552.788	1.641.605	7.871.311

Penghematan energi dan reduksi biaya yang diperoleh bila perhitungan dilakukan berdasarkan daya nyata hasil pengukuran di gardu distribusi PK 87 adalah:

$$\begin{aligned}
 P \text{ total gardu PK 87} &= 1.252,07 \text{ kW} \\
 \text{Rugi - rugi daya (P loss)} &= 5\% \times 1.252,07 \text{ kW} = 62,60 \text{ kW} \\
 \text{Rugi - rugi energi (W loss)} &= 62,60 \text{ kW} \times 24 \text{ hari/bulan} \times 17,17 \text{ jam/hari} \\
 &= 25.793 \text{ kWh/bulan} \\
 \text{Penghematan energi} &= 47,97\% \times 25.973 \text{ kWh/bulan} = 12.374 \text{ kWh/bulan} \\
 \text{Reduksi biaya} &= 12.374 \text{ kWh/bulan} \times \text{Rp.878/kWh} \\
 &= \text{Rp.10.864.078} / \text{bulan}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.16 Perhitungan penghematan energi dan pengurangan biaya per bulan untuk tiap gardu distribusi berdasarkan pengukuran

	PK 87	PK 79
<i>Power loss</i> [kW]	62,60	94,74
<i>Energy loss</i> [kWh]	25.793	39.031
<i>Energy Saving</i> [kWh]	12.374	15.198
<i>Cost Reduction</i> [Rp]	10.864.078	13.343.723

Sedangkan penghematan energi dan pengurangan biaya pada gardu PK 87 yang didasarkan pada rekapitulasi konsumsi energi pada kWh meter adalah:

$$\begin{aligned} \text{Energi rata - rata} &= 673.985 \text{ kWh} \\ \text{Rugi - rugi energi (W loss)} &= 5\% \times 673.985 \text{ kWh} = 33.699 \text{ kWh} \\ \text{Penghematan energi} &= 47,97\% \times 33.699 \text{ kWh/bulan} = 16.167 \text{ kWh/bulan} \\ \text{Reduksi biaya} &= 16.167 \text{ kWh/bulan} \times \text{Rp.878/kWh} \\ &= \text{Rp.14.194.408 / bulan} \end{aligned}$$

Tabel 4.17 Perhitungan penghematan energi dan pengurangan biaya per bulan untuk tiap gardu distribusi berdasarkan rekapitulasi kWh meter

	PK 87	PK 79
<i>Energy loss</i> [kWh]	33.699	33.024
<i>Energy Saving</i> [kWh]	16.167	12.859
<i>Cost Reduction</i> [Rp]	14.194.408	11.290.132

4.4 REDUKSI DISTORSI HARMONIK ARUS

Data pengukuran menunjukkan nilai THD arus pada seluruh LVMDP dan hasilnya menunjukkan bahwa pada beberapa titik memiliki nilai THD arus melebihi persentase yang direkomendasikan. Titik yang memiliki THD arus berlebih antara lain tercantum pada Tabel 4.18 yakni:

Tabel 4.18 Titik pengukuran yang memiliki THD arus di atas 20%

Gardu	LVMDP	Titik Pengukuran	Beban
PK 87	LVMDP 1	Titik 14	Trafo 150KVA dan cadangan
		Titik 15	Trafo 150KVA dan cadangan
	LVMDP 2	Titik 4	Zebra <i>Sub Assy Welding</i>
	LVMDP 3	Titik 7	D38A <i>Sub Assy Welding</i>
PK 79	LVMDP 5	Titik 1	5A Line, Mesin 1P
		Titik 2	5A Line, Mesin 2P
		Titik 3	5A Line, Mesin 3P
		Titik 4	5A Line, Mesin 4P

4.4.1 Reduksi Harmonik Arus pada Area Suplai Gardu PK 87

Pada titik 14 terdapat nilai THD arus sebesar 42,72% dan titik 15 nilai THD arus 47,18%. Kedua titik ini menyuplai trafo yang pada keadaan normal tidak digunakan lagi, hal ini dibuktikan pada hasil pengukuran berikut:

Tabel 4.19 Data pengukuran daya aktif, daya reaktif, dan daya kompleks di titik 14 dan 15 pada LVMDP 1

		Titik 14	Titik 15
P1	[W]	0	0
P2	[W]	0	0
P3	[W]	0	0
S1	[VA]	0	0
S2	[VA]	1.700	1.800
S3	[VA]	1.700	1.800
Q1	[var]	0	0
Q2	[var]	1.700	1.800
Q3	[var]	-1.700	-1.800

Daya aktif untuk setiap fasa bernilai nol sedangkan untuk daya reaktif pada Q2 bernilai 1700 var dan Q3 bernilai -1700 var, hal ini kemungkinan karena rugi-rugi tanpa beban yang ada pada trafo dengan komponen induktif dan kapasitif yang sama besar dan saling meniadakan. Hal tersebut mengakibatkan nilai THD arus yang tinggi meskipun tidak ada beban normal yang beroperasi.

Untuk mengatasi THD arus yang tinggi padahal pada trafo tidak ada beban yang terhubung adalah dengan melepas atau membuka posisi *circuit breaker* pada saat trafo atau titik 14 dan 15 tidak digunakan sehingga seolah-olah trafo 150 kV yang menjadi beban pada kedua titik tersebut terpisah dari sistem, hal ini akan menjadikan kedua titik menjadi tanpa beban sama sekali.

Pada titik 4 LVMDP 2 juga sudah tidak aktif lagi digunakan karena produksi zebra sudah tidak ada kecuali untuk waktu tertentu bila ada pesanan untuk suku cadang varian zebra, jadi sama halnya dengan titik 14 dan 15 sebaiknya pada saat tidak digunakan *circuit breaker* yang menyuplai ke jalur zebra diposisikan terbuka sehingga memisahkan sistem kelistrikan dari sistem kelistrikan LVMDP 2. *Circuit breaker* sebaiknya dalam posisi ON jika jalur *sub assy welding* zebra hendak digunakan dengan begitu kerugian karena THD arus dapat diminimalisasi.

Titik 7 di LVMDP 3 yang menyuplai jalur *sub assy welding* D38A juga menunjukkan nilai THD arus sebesar 21,29% hal ini sepertinya merupakan karakteristik umum yang dimiliki oleh peralatan las listrik. Oleh karena itu perlu diupayakan penurunan nilai THD arus dengan menggunakan filter harmonik.

Perhitungan penghematan energi dan penurunan biaya yang diperoleh dengan melakukan penurunan distorsi harmonik arus pada titik 7 di LVMDP 3 adalah sebagai berikut:

Tabel 4.20 Data pengukuran besaran listrik pada titik 7 di LVMDP 3

	P [kW]	U [V]	I [A]	PF	THD-I [%]
1	80,5	370,11	413,10	0,90	21,29
2	23,8	374,84	447,00	0,25	21,07
3	14,2	377,05	73,20	0,89	16,39

$$P \text{ total awal} = 80,5 \text{ kW} + 23,8 \text{ kW} + 14,2 \text{ kW} = 118,5 \text{ kW}$$

$$I_1 \text{ fundamental} = \frac{I_1}{\sqrt{1 + (\text{THD} - I_1)^2}} = \frac{413,10 \text{ A}}{\sqrt{1 + (21,29\%)^2}} = 404,04 \text{ A}$$

$$I_2 \text{ fundamental} = \frac{I_2}{\sqrt{1 + (\text{THD} - I_2)^2}} = \frac{447 \text{ A}}{\sqrt{1 + (21,07\%)^2}} = 437,40 \text{ A}$$

$$I_3 \text{ fundamental} = \frac{I_3}{\sqrt{1 + (\text{THD} - I_3)^2}} = \frac{73,20 \text{ A}}{\sqrt{1 + (16,39\%)^2}} = 72,24 \text{ A}$$

Kemudian dari nilai THD arus awal diturunkan menjadi 2,5% sehingga memperoleh arus masing-masing fasa sebesar:

$$I_1 \text{ akhir} = I_1 \text{ fundamental} \times \sqrt{1 + (\text{THD} - I_{\text{akhir}})^2} = 404,04 \text{ A} \times \sqrt{1 + (2,5\%)^2} = 404,17 \text{ A}$$

$$I_2 \text{ akhir} = I_2 \text{ fundamental} \times \sqrt{1 + (\text{THD} - I_{\text{akhir}})^2} = 437,40 \text{ A} \times \sqrt{1 + (2,5\%)^2} = 437,53 \text{ A}$$

$$I_3 \text{ akhir} = I_3 \text{ fundamental} \times \sqrt{1 + (\text{THD} - I_{\text{akhir}})^2} = 73,20 \text{ A} \times \sqrt{1 + (2,5\%)^2} = 72,26 \text{ A}$$

Dari nilai arus listrik sesudah penurunan distorsi harmonik, diperoleh nilai daya aktif dan energi sebesar:

$$P_1 \text{ akhir} = U_1 \times \frac{I_1}{\sqrt{3}} \times \text{PF}_1 = 370,11 \text{ V} \times \frac{404,17 \text{ A}}{\sqrt{3}} \times 0,90 = 78.134 \text{ W} = 78,13 \text{ kW}$$

$$P_2 \text{ akhir} = U_2 \times \frac{I_2}{\sqrt{3}} \times \text{PF}_2 = 374,84 \text{ V} \times \frac{437,53 \text{ A}}{\sqrt{3}} \times 0,25 = 23.577 \text{ W} = 23,58 \text{ kW}$$

$$P_3 \text{ akhir} = U_3 \times \frac{I_3}{\sqrt{3}} \times \text{PF}_3 = 377,05 \text{ V} \times \frac{72,26 \text{ A}}{\sqrt{3}} \times 0,89 = 14.028 \text{ W} = 14,03 \text{ kW}$$

$$P \text{ total akhir} = 78,13 \text{ kW} + 23,58 \text{ kW} + 14,03 \text{ kW} = 115,74 \text{ kW}$$

$$\text{Penghematan energi} = (P_{\text{total awal}} - P_{\text{total akhir}}) \times t$$

$$= (118,50 \text{ kW} - 115,74 \text{ kW}) \times 24 \text{ hari/bulan} \times 17,17 \text{ jam/hari}$$

$$= 1.137,4 \text{ kWh/bulan}$$

$$\text{Pengurangan biaya} = \text{Penghematan energi} \times \text{biaya energi}$$

$$= 1.137,4 \text{ kWh/bulan} \times \text{Rp.878/kWh}$$

$$= \text{Rp. 998.634 / bulan}$$

$$= \text{Rp. 11.983.602 / tahun}$$

4.4.2 Reduksi Harmonik Arus pada Area Suplai Gardu PK 79

LVMDP 5 memberikan suplai listrik kepada jalur press 5A di mana pada jalur tersebut terdapat empat mesin press dengan penggerak motor servo beserta robot transfer dan mesin *sheet feeder*. Mesin servo ini didukung peralatan kendali yang lebih banyak bergantung pada sistem elektronik sehingga menimbulkan distorsi harmonik yang tinggi pada sistem kelistrikkannya.

Dengan menggunakan cara perhitungan yang sama seperti dilakukan untuk titik 7 di LVMDP 3, penurunan nilai THD arus menjadi 2,5% akan memperoleh penghematan energi dan pengurangan biaya di seluruh LVMDP sebagai berikut:

Tabel 4.21 Penghematan energi dan pengurangan biaya melalui penurunan distorsi harmonik arus

	LVMDP 3	LVMDP 5			
	7	1	2	3	4
P1 awal	80,5	78,9	26,9	18,2	65,0
P2 awal	23,8	73,8	28,9	21,2	66,8
P3 awal	14,2	76,8	28,5	20,9	67,3
U1	370,11	406,82	397,83	401,82	411,73
U2	374,84	406,91	398,76	403,72	411,19
U3	377,05	404,70	396,28	399,76	409,31
I1 awal	413,1	474,90	142,00	108,50	293,30
I2 awal	447,0	464,40	151,40	124,40	299,90
I3 awal	73,2	475,80	152,40	125,60	302,20
PF1	0,90	0,71	0,83	0,72	0,93
PF2	0,25	0,68	0,83	0,73	0,94
PF3	0,89	0,69	0,81	0,72	0,94
THD-I1 awal	21,29%	38,31%	46,98%	71,44%	31,56%
THD-I2 awal	21,07%	39,28%	47,97%	73,23%	31,21%
THD-I3 awal	16,39%	38,57%	47,60%	70,37%	28,69%
I1 FUND	404,04	443,47	128,52	88,29	279,70
I2 FUND	437,40	432,25	136,51	100,37	286,28
I3 FUND	72,24	443,92	137,61	102,72	290,48

Tabel 4.21 Penghematan energi dan pengurangan biaya melalui reduksi distorsi harmonik arus (sambungan)

	LVMDP 3	LVMDP 5			
	7	1	2	3	4
THD-I akhir	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%
I1 akhir	404,17	443,61	128,56	88,31	279,79
I2 akhir	437,53	432,38	136,55	100,40	286,37
I3 akhir	72,26	444,06	137,65	102,75	290,57
P1 akhir	78,13	74,0	24,4	14,8	62,2
P2 akhir	23,58	68,6	26,0	17,1	63,7
P3 akhir	14,03	71,5	25,7	17,0	64,7
<i>Energy saving</i>	1.137,40	6.342,81	3.370,09	4.699,51	3.527,45
<i>Reduced Rp/M</i>	998.634	5.568.991	2.958.939	4.126.168	3.097.099
<i>Reduced Rp/Y</i>	11.983.602	66.827.897	35.507.267	49.514.010	37.165.184

4.5 ANALISA EKONOMI UPAYA KONSERVASI ENERGI LISTRIK

4.5.1 Analisa LCC pada Optimalisasi Kapasitas Daya Terpasang

Analisa LCC digunakan untuk menentukan kelayakan implementasi suatu proyek ditinjau dari sisi ekonomi. Parameter-parameter yang digunakan dalam analisa LCC ini adalah:

1. Penghematan sebesar Rp.17.405.000/ bulan.
2. Investasi untuk optimalisasi kapasitas langganan dengan perincian sebagai berikut:
 - a. Pengembalian langganan PK 87 dan PK 79
 $= 2 \times 3895 \text{ kVA} \times \text{Rp. } 55.000 / \text{ kVA} = \text{Rp. } 428.450.000$
 - b. Pemasangan langganan PK 87
 $= 3500 \text{ kVA} \times \text{Rp. } 117.000 / \text{ kVA} = \text{Rp. } 409.500.000$
 - c. Pemasangan langganan PK 79
 $= 3700 \text{ kVA} \times \text{Rp. } 117.000 / \text{ kVA} = \text{Rp. } 432.900.000$
 - d. Investasi = $\text{Rp. } 409.500 + \text{Rp. } 43.900.000 - \text{Rp. } 428.450.000$
 $= \text{Rp. } 413.950.000$
3. Tingkat pemotongan sebesar 15% per tahun dan 9% per tahun.
4. Kapasitas langganan pasca penyesuaian daya terpasang dapat digunakan sampai 10 tahun sejak implementasi.

Perhitungan LCC untuk tingkat pemotongan 15% per tahun adalah sebagai berikut:

Tabel 4.22 Perhitungan LCC untuk penyesuaian kapasitas daya PT.ADM PP dengan tingkat pemotongan 15% per tahun

Daftar Biaya (1)	Biaya tanggal dasar (2)	Periode (bulan) (3)	Faktor Pemotongan (4)	Present Value (5=2x4)
Investasi	413.950.000	120	1	413.950.000
Biaya Operasi, Pemeliharaan, Perbaikan	-		61,98	-
Biaya Energi Tambahan	-		61,98	-
Nilai Sisa	-		0,23	-
Biaya Pergantian Modal	-		0,23	-
Biaya selama penggunaan (LCC)				413.950.000

Investasi yang harus dikeluarkan PT.ADM PP dalam jangka waktu 10 tahun adalah dalam menurunkan kapasitas daya terpasang dari PLN adalah Rp.413.950.000. Biaya ini dikeluarkan hanya sekali dalam 10 tahun sehingga faktor pemotongan adalah satu.

Tabel 4.23 Perhitungan penghematan untuk penyesuaian kapasitas daya PT.ADM PP dengan tingkat pemotongan 15% per tahun

Daftar Biaya (1)	Tanpa Pemasangan (2)	Dengan Pemasangan (3)	Selisih (4=2-3)	Faktor Pemotongan (5)	Present Value (6=4 x 5)
Penghematan Operasional					
Biaya yang harus dikeluarkan	17.405.000	-	17.405.000	61,98	1.078.761.900
Biaya Operasi, Pemeliharaan, Perbaikan	-	-	-	61,98	-
Total Penghematan					1.078.761.900
Biaya Investasi					
Investasi	-	413.950.000	(413.950.000)	1	(413.950.000)
Biaya Pergantian Modal	-	-	-	0,23	-
Nilai Sisa	-	-	-	0,23	-
Biaya selama penggunaan (LCC)					(413.950.000)
<i>Net Saving (NS)</i>					664.811.900
<i>Saving to Investment Ratio (SIR)</i>					2,61
<i>Adjustment Investment Rate of Return (AIRR)</i>					0.134

Apabila peluang penghematan biaya listrik dengan penurunan langganan ini tidak dilakukan, biaya yang harus dikeluarkan PT.ADM PP adalah Rp.17.405.000 per bulan. Dengan tingkat pemotongan 15% per tahun, biaya yang harus dikeluarkan dalam jangka waktu 10 tahun adalah Rp.1.078.761.900. Sedangkan apabila peluang ini dilaksanakan, biaya tersebut dapat dihemat. Selain itu, tidak dibutuhkan biaya operasional dalam melakukan peluang penghematan ini.

Dengan investasi sebesar Rp.413.950.000, penghematan yang diperoleh PT.ADM PP dalam jangka 10 tahun adalah Rp.1.078.761.900 – Rp.413.950.000 = Rp.664.811.900. SIR bernilai 2,61 dan memberikan arti bahwa setiap Rp.1 yang

diinvestasikan, perolehan keuntungannya adalah sebesar Rp.2,61. Tingkat kenaikan keuntungan (AIRR) bernilai 0,134.

Tabel 4.24 Perhitungan waktu balik modal untuk penyesuaian kapasitas daya PT.ADM PP dengan tingkat pemotongan 15% per tahun

Bulan	Pemasukan Penghematan	Biaya Operasi, pemeliharaan, dan perbaikan	Penghematan	Faktor pemotongan Per tahun	Penghematan PV	Penghematan Kumulatif	Investasi	Net Saving
(1)	(2)	(3)	(4=2-3)	(5)	(6=4x5)	(7=Σ6)	(8)	(9=7-8)
1	17.405.000	0	17.405.000	0,988285	17.201.102	17.201.102	413.950.000	(396.748.898)
2	17.405.000	0	17.405.000	0,976707	16.999.592	34.200.694	413.950.000	(379.749.306)
3	17.405.000	0	17.405.000	0,965265	16.800.444	51.001.138	413.950.000	(362.948.862)
4	17.405.000	0	17.405.000	0,953957	16.603.628	67.604.766	413.950.000	(346.345.234)
5	17.405.000	0	17.405.000	0,942782	16.409.118	84.013.883	413.950.000	(329.936.117)
6	17.405.000	0	17.405.000	0,931737	16.216.886	100.230.769	413.950.000	(313.719.231)
7	17.405.000	0	17.405.000	0,920822	16.026.907	116.257.676	413.950.000	(297.692.324)
8	17.405.000	0	17.405.000	0,910035	15.839.153	132.096.829	413.950.000	(281.853.171)
9	17.405.000	0	17.405.000	0,899374	15.653.598	147.750.428	413.950.000	(266.199.572)
10	17.405.000	0	17.405.000	0,888838	15.470.218	163.220.645	413.950.000	(250.729.355)
11	17.405.000	0	17.405.000	0,878425	15.288.986	178.509.631	413.950.000	(235.440.369)
12	17.405.000	0	17.405.000	0,868134	15.109.876	193.619.507	413.950.000	(220.330.493)
13	17.405.000	0	17.405.000	0,857964	14.932.865	208.552.373	413.950.000	(205.397.627)
14	17.405.000	0	17.405.000	0,847913	14.757.928	223.310.301	413.950.000	(190.639.699)
15	17.405.000	0	17.405.000	0,837980	14.585.040	237.895.341	413.950.000	(176.054.659)
16	17.405.000	0	17.405.000	0,828163	14.414.178	252.309.519	413.950.000	(161.640.481)
17	17.405.000	0	17.405.000	0,818461	14.245.317	266.554.836	413.950.000	(147.395.164)
18	17.405.000	0	17.405.000	0,808873	14.078.434	280.633.270	413.950.000	(133.316.730)
19	17.405.000	0	17.405.000	0,799397	13.913.506	294.546.776	413.950.000	(119.403.224)
20	17.405.000	0	17.405.000	0,790032	13.750.511	308.297.287	413.950.000	(105.652.713)
21	17.405.000	0	17.405.000	0,780777	13.589.425	321.886.712	413.950.000	(92.063.288)
22	17.405.000	0	17.405.000	0,771630	13.430.226	335.316.938	413.950.000	(78.633.062)
23	17.405.000	0	17.405.000	0,762591	13.272.892	348.589.830	413.950.000	(65.360.170)
24	17.405.000	0	17.405.000	0,753657	13.117.401	361.707.230	413.950.000	(52.242.770)
25	17.405.000	0	17.405.000	0,744828	12.963.732	374.670.962	413.950.000	(39.279.038)
26	17.405.000	0	17.405.000	0,736102	12.811.863	387.482.825	413.950.000	(26.467.175)
27	17.405.000	0	17.405.000	0,727479	12.661.773	400.144.598	413.950.000	(13.805.402)
28	17.405.000	0	17.405.000	0,718957	12.513.441	412.658.039	413.950.000	(1.291.961)
29	17.405.000	0	17.405.000	0,710534	12.366.847	425.024.886	413.950.000	11.074.886
30	17.405.000	0	17.405.000	0,702210	12.221.971	437.246.857	413.950.000	23.296.857
<i>Pay Back Period</i>				29	Bulan			

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa jangka waktu untuk pengembalian modal adalah 29 bulan.

Dengan melihat perhitungan LCC di atas diperoleh:

- LCC = Rp.413.950.000
- NS > 0
- SIR > 1
- AIRR > 0,0125
- Waktu pengembalian modal 29 bulan

Maka usaha konservasi energi listrik dengan optimalisasi kapasitas terpasang pada PT.ADM PP dapat dilaksanakan dari segi ekonomi untuk tingkat pemotongan 15% per tahun.

Sedangkan perhitungan LCC untuk bunga 9% per tahun adalah sebagai berikut:

Tabel 4.25 Perhitungan LCC untuk penyesuaian kapasitas daya PT.ADM PP dengan tingkat pemotongan 9% per tahun

Daftar Biaya (1)	Biaya tanggal dasar (2)	Periode (bulan) (3)	Faktor Pemotongan (4)	<i>Present Value</i> (5=2x4)
Investasi	413.950.000	120	1	413.950.000
Biaya Operasi, Pemeliharaan, Perbaikan	-		78,94	-
Biaya Energi Tambahan	-		78,94	-
Nilai Sisa	-		0,41	-
Biaya Pergantian Modal	-		0,41	-
Biaya selama penggunaan (LCC)				413.950.000

Investasi yang harus dikeluarkan PT.ADM PP dalam jangka waktu 10 tahun adalah dalam menurunkan kapasitas daya terpasang dari PLN adalah Rp.413.950.000. Biaya ini dikeluarkan hanya sekali dalam 10 tahun sehingga faktor pemotongan adalah satu.

Tabel 4.26 Perhitungan penghematan untuk penyesuaian kapasitas daya PT.ADM PP dengan tingkat pemotongan 9% per tahun

Daftar Biaya (1)	Tanpa Pemasangan (2)	Dengan Pemasangan (3)	Selisih (4=2-3)	Faktor Pemotongan (5)	<i>Present Value</i> (6=4 x 5)
Penghematan Operasional					
Biaya yang harus dikeluarkan	17.405.000	-	17.405.000	78,94	1.373.950.700
Biaya Operasi, Pemeliharaan, Perbaikan	-	-	-	78,94	-
Total Penghematan					1.373.950.700
Biaya Investasi					
Investasi	-	413.950.000	(413.950.000)	1	(413.950.000)
Biaya Pergantian Modal	-	-	-	0,41	-
Nilai Sisa	-	-	-	0,41	-
Biaya selama penggunaan (LCC)					(413.950.000)
<i>Net Saving (NS)</i>					960.000.700
<i>Saving to Investment Ratio (SIR)</i>					3,32
<i>Adjustment Investment Rate of Return (AIRR)</i>					0,161

Apabila peluang penghematan biaya listrik dengan penurunan langganan ini tidak dilakukan, biaya yang harus dikeluarkan PT.ADM PP adalah Rp.17.405.000 per bulan. Dengan tingkat pemotongan 9% per tahun, biaya yang harus dikeluarkan dalam jangka waktu 10 tahun adalah Rp.1.373.950.700. Peluang ini memberikan penghematan serta tidak membutuhkan biaya operasional dalam implementasinya.

Dengan investasi sebesar Rp.413.950.000, penghematan yang diperoleh PT.ADM PP dalam jangka 10 tahun adalah Rp.1.373.950.700 – Rp.413.950.000 = Rp. 960.000,700. SIR bernilai 3,32 dan memberikan arti bahwa setiap Rp.1 yang diinvestasikan, perolehan keuntungannya adalah sebesar Rp.3,32. Tingkat kenaikan keuntungan (AIRR) bernilai 0,161.

Tabel 4.27 Perhitungan waktu balik modal untuk penyesuaian kapasitas daya PT.ADM PP dengan tingkat pemotongan 9% per tahun

Bulan	Pemasukan Penghematan	Biaya Operasi, pemeliharaan, Dan perbaikan	Penghematan	Faktor Pemotongan Per tahun	Penghematan PV	Penghematan Kumulatif	Investasi	Net Saving
(1)	(2)	(3)	(4=2-3)	(5)	(6=4x5)	(7=Σ6)	(8)	(9=7-8)
1	17.405.000	0	17.405.000	0,992793	17.279.557	17.279.557	413.950.000	(396.670.443)
2	17.405.000	0	17.405.000	0,985637	17.155.017	34.434.574	413.950.000	(379.515.426)
3	17.405.000	0	17.405.000	0,978533	17.031.375	51.465.949	413.950.000	(362.484.051)
4	17.405.000	0	17.405.000	0,971481	16.908.625	68.374.574	413.950.000	(345.575.426)
5	17.405.000	0	17.405.000	0,964479	16.786.759	85.161.333	413.950.000	(328.788.667)
6	17.405.000	0	17.405.000	0,957528	16.665.771	101.827.104	413.950.000	(312.122.896)
7	17.405.000	0	17.405.000	0,950627	16.545.656	118.372.760	413.950.000	(295.577.240)
8	17.405.000	0	17.405.000	0,943775	16.426.406	134.799.166	413.950.000	(279.150.834)
9	17.405.000	0	17.405.000	0,936973	16.308.015	151.107.181	413.950.000	(262.842.819)
10	17.405.000	0	17.405.000	0,930220	16.190.478	167.297.659	413.950.000	(246.652.341)
11	17.405.000	0	17.405.000	0,923516	16.073.788	183.371.447	413.950.000	(230.578.553)
12	17.405.000	0	17.405.000	0,916859	15.957.939	199.329.387	413.950.000	(214.620.613)
13	17.405.000	0	17.405.000	0,910251	15.842.925	215.172.312	413.950.000	(198.777.688)
14	17.405.000	0	17.405.000	0,903691	15.728.740	230.901.052	413.950.000	(183.048.948)
15	17.405.000	0	17.405.000	0,897178	15.615.378	246.516.430	413.950.000	(167.433.570)
16	17.405.000	0	17.405.000	0,890711	15.502.833	262.019.263	413.950.000	(151.930.737)
17	17.405.000	0	17.405.000	0,884292	15.391.099	277.410.362	413.950.000	(136.539.638)
18	17.405.000	0	17.405.000	0,877918	15.280.170	292.690.532	413.950.000	(121.259.468)
19	17.405.000	0	17.405.000	0,871591	15.170.041	307.860.573	413.950.000	(106.089.427)
20	17.405.000	0	17.405.000	0,865309	15.060.706	322.921.279	413.950.000	(91.028.721)
21	17.405.000	0	17.405.000	0,859073	14.952.158	337.873.438	413.950.000	(76.076.562)
22	17.405.000	0	17.405.000	0,852881	14.844.393	352.717.831	413.950.000	(61.232.169)
23	17.405.000	0	17.405.000	0,846734	14.737.405	367.455.236	413.950.000	(46.494.764)
24	17.405.000	0	17.405.000	0,840631	14.631.188	382.086.424	413.950.000	(31.863.576)
25	17.405.000	0	17.405.000	0,834573	14.525.736	396.612.160	413.950.000	(17.337.840)
26	17.405.000	0	17.405.000	0,828558	14.421.044	411.033.205	413.950.000	(2.916.795)
27	17.405.000	0	17.405.000	0,822586	14.317.107	425.350.312	413.950.000	11.400.312
28	17.405.000	0	17.405.000	0,816657	14.213.919	439.564.231	413.950.000	25.614.231
29	17.405.000	0	17.405.000	0,810771	14.111.475	453.675.706	413.950.000	39.725.706
30	17.405.000	0	17.405.000	0,804928	14.009.769	467.685.475	413.950.000	53.735.475
Pay Back Period				27 Bulan				

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa jangka waktu untuk pengembalian modal adalah 27 bulan.

Dengan melihat perhitungan LCC di atas diperoleh:

- LCC = Rp.413.950.000
- NS > 0
- SIR > 1
- AIRR > 0,0125

- Waktu pengembalian modal 27 bulan

Maka usaha konservasi energi dengan optimalisasi kapasitas terpasang pada PT.ADM PP dapat dilaksanakan dari segi ekonomi untuk tingkat pemotongan 9% per tahun.

Dari perhitungan di atas terlihat bahwa dengan mempertimbangkan tingkat pemotongan yang lebih kecil per tahun, waktu pengembalian modal akan lebih singkat karena tingkat penurunan harga yang tidak terlalu jauh setiap bulannya sehingga jumlah biaya yang dapat dihemat jadi lebih besar.

4.5.2 Analisa LCC pada Perbaikan Faktor Daya

Parameter-parameter yang digunakan dalam analisa LCC dalam perbaikan faktor daya adalah:

1. Penghematan per bulan yang diperoleh dari penghematan rugi-rugi jaringan dan menghindari denda kelebihan kVARH adalah:
 - a. Potensi denda kelebihan kVARH pada gardu PK 87 = Rp.170.545.794
 - b. Potensi denda kelebihan kVARH pada gardu PK 79 = Rp.106.657.802
 - c. Rugi-rugi jaringan dari suplai gardu PK 87 = Rp.14.194.408
 - d. Rugi-rugi jaringan dari suplai gardu PK 79 = Rp.11.290.132
2. Investasi untuk perbaikan faktor daya dengan perincian sebagai berikut:
 - a. Harga bank kapasitor berikut instalasinya = Rp.897.649.239
 - b. Biaya pemeliharaan = Rp.250.000/ bulan.
Umur pakai bank kapasitor adalah sampai dengan 10 tahun sejak dipasang
3. Tingkat pemotongan sebesar 15% per tahun dan 9% per tahun.

Perhitungan LCC untuk tingkat pemotongan 15% per tahun adalah sebagai berikut:

Tabel 4.28 Perhitungan LCC untuk perbaikan faktor daya PT.ADM PP dengan tingkat pemotongan 15% per tahun

Daftar Biaya (1)	Biaya tanggal dasar (2)	Periode (bulan) (3)	Faktor Pemotongan (4)	Present Value (5=2x4)
Investasi	897.646.329	120	1	897.646.329
Biaya Operasi, Pemeliharaan, Perbaikan	250.000	120	61,98	15.495.000
Biaya Energi Tambahan	-	-	61,98	-
Nilai Sisa	-	-	0,23	-
Biaya Pergantian Modal	-	-	0,47	-
Biaya selama penggunaan (LCC)				913.141.329

Investasi yang harus dikeluarkan PT.ADM PP dalam jangka waktu 10 tahun adalah untuk memperbaiki faktor daya di seluruh sistem kelistrikan adalah Rp.913.141.329. Biaya ini dikeluarkan hanya sekali dalam 10 tahun sehingga faktor pemotongan adalah satu.

Tabel 4.29 Perhitungan penghematan untuk perbaikan faktor daya PT.ADM PP dengan tingkat pemotongan 15% per tahun

Daftar Biaya (1)	Tanpa Pemasangan (2)	Dengan Pemasangan (3)	Selisih (4=2-3)	Faktor Pemotongan (5)	Present Value (6=4 x 5)
Penghematan Operasional					
Biaya yang harus dikeluarkan	302.688.136	-	302.688.136	61,98	18.760.610.679
Biaya Operasi, Pemeliharaan, Perbaikan	-	250.000	(250.000)	61,98	(15.495.000)
Total Penghematan					18.745.115.679
Biaya Investasi					
Investasi	-	897.646.329	(897.646.329)	1	(897.646.329)
Biaya Pergantian Modal	-	-	-	0,23	-
Nilai Sisa	-	-	-	0,47	-
Biaya selama penggunaan (LCC)					(897.646.329)
<i>Net Saving (NS)</i>					17.847.469.349
<i>Saving to Investment Ratio (SIR)</i>					20,88
<i>Adjustment Investment Rate of Return (AIRR)</i>					0,396

Apabila perbaikan faktor daya ini tidak dilakukan, biaya yang harus dikeluarkan PT.ADM PP adalah Rp.302.688.136 per bulan. Dengan tingkat pemotongan 15% per tahun, biaya yang harus dikeluarkan dalam jangka waktu 10 tahun adalah Rp.18.745.115.679 karena perbaikan faktor daya membutuhkan biaya operasional sebesar Rp.250.000 per bulan.

Dengan investasi sebesar Rp.897.646.329, penghematan yang diperoleh PT.ADM PP dalam jangka 10 tahun adalah Rp.18.745.115.679 – Rp.897.646.329 = Rp.17.847.469.349. SIR bernilai 20,88 dan memberikan arti bahwa setiap Rp.1 yang diinvestasikan akan memperoleh keuntungan sebesar Rp.20,88. Tingkat kenaikan keuntungan (AIRR) bernilai 0,396.

Tabel 4.30 Perhitungan waktu balik modal untuk perbaikan faktor daya PT.ADM PP dengan tingkat pemotongan 15% per tahun

Bulan (1)	Pemasukan Penghematan (2)	Biaya Operasi, pemeliharaan, dan perbaikan (3)	Penghematan (4=2-3)	Faktor pemotongan Per tahun (5)	Penghematan PV (6=4x5)	Penghematan Kumulatif (7=Σ6)	Investasi (8)	Net Saving (9=7-8)
1	302.688.136	250.000	302.438.136	0,988285	298.895.099	298.895.099	897.646.329	(598.751.231)
2	302.688.136	250.000	302.438.136	0,976707	295.393.567	594.288.666	897.646.329	(303.357.664)
3	302.688.136	250.000	302.438.136	0,965265	291.933.056	886.221.722	897.646.329	(11.424.608)
4	302.688.136	250.000	302.438.136	0,953957	288.513.085	1.174.734.807	897.646.329	277.088.477
5	302.688.136	250.000	302.438.136	0,942782	285.133.178	1.459.867.984	897.646.329	562.221.655
<i>Pay Back Period</i>				4	<i>Bulan</i>			

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa jangka waktu untuk pengembalian modal adalah 4 bulan.

Dengan melihat perhitungan LCC di atas diperoleh:

- LCC = Rp.913.141.329
- NS > 0
- SIR > 1
- AIRR > 0,0125
- Waktu pengembalian modal 4 bulan

Maka usaha konservasi energi dengan perbaikan faktor daya pada PT.ADM PP dapat dilaksanakan dari segi ekonomi untuk tingkat pemotongan 15% per tahun.

Sedangkan perhitungan LCC untuk tingkat pemotongan 9% per tahun adalah sebagai berikut:

Tabel 4.31 Perhitungan LCC untuk perbaikan faktor daya PT.ADM PP dengan tingkat pemotongan 9% per tahun

Daftar Biaya (1)	Biaya tanggal dasar (2)	Periode (bulan) (3)	Faktor Pemotongan (4)	Present Value (5=2x4)
Investasi	897.646.329	120	1	897.646.329
Biaya Operasi, Pemeliharaan, Perbaikan	250.000	120	78,94	19.735.000
Biaya Energi Tambahan	-		78,94	-
Nilai Sisa	-		0,41	-
Biaya Pergantian Modal	-		0,64	-
Biaya selama penggunaan (LCC)				917.381.329

Investasi yang harus dikeluarkan PT.ADM PP dalam jangka waktu 10 tahun untuk memperbaiki faktor daya di seluruh sistem kelistrikan adalah Rp.917.381.329. Biaya ini dikeluarkan hanya sekali dalam 10 tahun sehingga faktor pemotongan adalah satu.

Tabel 4.32 Perhitungan penghematan untuk perbaikan faktor daya PT.ADM PP dengan tingkat pemotongan 9% per tahun

Daftar Biaya (1)	Tanpa Pemasangan (2)	Dengan Pemasangan (3)	Selisih (4=2-3)	Faktor Pemotongan (5)	Present Value (6=4 x 5)
Penghematan Operasional					
Biaya yang harus dikeluarkan	302.688.136	-	302.688.136	78,94	23.894.201.468
Biaya Operasi, Pemeliharaan, Perbaikan	-	250.000	(250.000)	78,94	(19.735.000)
Total Penghematan					23.874.466.468
Biaya Investasi					
Investasi	-	897.646.329	(897.646.329)	1	(897.646.329)
Biaya Pergantian Modal	-	-	-	0,41	-
Nilai Sisa	-	-	-	0,64	-
Biaya selama penggunaan (LCC)					(897.646.329)

Tabel 4.32 Perhitungan penghematan untuk perbaikan faktor daya PT.ADM PP dengan tingkat pemotongan 9% per tahun (sambungan)

<i>Net Saving (NS)</i>	22.976.820.138
<i>Saving to Investment Ratio (SIR)</i>	26,60
<i>Adjustment Investment Rate of Return (AIRR)</i>	0,43

Apabila perbaikan faktor daya ini tidak dilakukan, biaya yang harus dikeluarkan PT.ADM PP adalah Rp.302.688.136 per bulan. Dengan tingkat pemotongan 9% per tahun, biaya yang harus dikeluarkan dalam jangka waktu 10 tahun adalah Rp.23.874.466.468. Upaya ini juga membutuhkan biaya operasional sebesar Rp.250.000 per bulan.

Dengan investasi sebesar Rp.897.646.329, penghematan yang diperoleh PT.ADM PP dalam jangka 10 tahun adalah Rp.23.874.466.468 – Rp.897.646.329 = Rp.22.976.820.138. SIR bernilai 26,60 dan memberikan arti bahwa setiap Rp.1 yang diinvestasikan akan memperoleh keuntungan sebesar Rp.26,60. Tingkat kenaikan keuntungan (AIRR) bernilai 0,43.

Tabel 4.33 Perhitungan waktu balik modal untuk perbaikan faktor daya PT.ADM PP dengan tingkat pemotongan 9% per tahun

Bulan	Pemasukan Penghematan	Biaya Operasi, pemeliharaan, Dan perbaikan	Penghematan	Faktor pemotongan Per tahun	Penghematan PV	Penghematan Kumulatif	Investasi	<i>Net Saving</i>
(1)	(2)	(3)	(4=2-3)	(5)	(6=4x5)	(7=Σ6)	(8)	(9=7-8)
1	302.688.136	250.000	302.438.136	0,992793	300.258.367	300,258,367	897.646.329	(597.387,963)
2	302.688.136	250.000	302.438.136	0,985637	298.094.308	598.352.674	897.646.329	(299.293,655)
3	302.688.136	250.000	302.438.136	0,978533	295.945.846	894.298.520	897.646.329	(3.347,810)
4	302.688.136	250.000	302.438.136	0,971481	293.812.868	1,188,111,388	897.646.329	290,465,059
5	302.688.136	250.000	302.438.136	0,964479	291.695.264	1,479,806,652	897.646.329	582,160,322
<i>Pay Back Period</i>				4 Bulan				

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa jangka waktu untuk pengembalian modal adalah 4 bulan.

Dengan melihat perhitungan LCC di atas diperoleh:

- LCC = Rp.917.381.329
- NS > 0
- SIR > 1
- AIRR > 0,0125
- Waktu pengembalian modal 4 bulan

Maka usaha konservasi energi dengan perbaikan faktor daya pada PT.ADM PP dapat dilaksanakan dari segi ekonomi untuk tingkat pemotongan 9% per tahun.

4.5.3 Analisa LCC pada Reduksi Distorsi Harmonik Arus

Parameter-parameter yang digunakan dalam analisa LCC dalam reduksi distorsi harmonik arus adalah:

1. Penghematan per bulan yang diperoleh dari reduksi distorsi harmonik arus untuk mengurangi rugi-rugi jaringan adalah Rp.16.749.830
2. Investasi untuk reduksi distorsi harmonik arus dengan perincian sebagai berikut:
 - a. Harga filter harmonik berikut instalasinya = Rp.100.000.000.
 - b. Biaya pemeliharaan = Rp.250.000/ bulan
 Umur pakai filter harmonik adalah sampai dengan 10 tahun sejak diinstalasi.
3. Tingkat pemotongan sebesar 15% per tahun dan 9% per tahun

Perhitungan LCC untuk tingkat pemotongan 15% per tahun adalah sebagai berikut:

Tabel 4.34 Perhitungan LCC untuk reduksi THD arus di PT.ADM PP dengan tingkat pemotongan 15% per tahun

Daftar Biaya (1)	Biaya tanggal dasar (2)	Periode (bulan) (3)	Faktor Pemotongan (4)	Present Value (5=2x4)
Investasi	100.000.000	120	1	100.000.000
Biaya Operasi, Pemeliharaan, Perbaikan	250.000	120	61,98	15.495.000
Biaya Energi Tambahan	-	-	61,98	-
Nilai Sisa	-	-	0,23	-
Biaya Pergantian Modal	-	-	0,47	-
Biaya selama penggunaan (LCC)				115.495.000

Investasi yang harus dikeluarkan PT.ADM PP dalam jangka waktu 10 tahun adalah untuk reduksi distorsi harmonik arus di seluruh sistem kelistrikan adalah Rp.115.495.000. Biaya ini dikeluarkan hanya sekali dalam 10 tahun sehingga faktor pemotongan adalah satu.

Tabel 4.35 Perhitungan penghematan untuk reduksi THD arus di PT.ADM PP dengan tingkat pemotongan 15% per tahun

Daftar Biaya (1)	Tanpa Pemasangan (2)	Dengan Pemasangan (3)	Selisih (4=2-3)	Faktor Pemotongan (5)	Present Value (6=4 x 5)
Penghematan Operasional					
Biaya yang harus dikeluarkan	16.749.830	-	16.749.830	61,98	1.038.154.467
Biaya Operasi, Pemeliharaan, Perbaikan	-	250.000	(250.000)	61,98	(15.495.000)
Total Penghematan					1.022.659.467
Biaya Investasi					
Investasi	-	100.000.000	(100.000.000)	1	(100.000.000)
Biaya Pergantian Modal	-	-	-	0,23	-
Nilai Sisa	-	-	-	0,47	-
Biaya selama penggunaan (LCC)					(100.000.000)

Tabel 4.35 Perhitungan penghematan untuk reduksi THD arus di PT.ADM PP dengan tingkat pemotongan 15% per tahun (sambungan)

<i>Net Saving (NS)</i>	922.659.467
<i>Saving to Investment Ratio (SIR)</i>	10,23
<i>Adjustment Investment Rate of Return (AIRR)</i>	0,30

Apabila reduksi distorsi harmonik arus ini tidak dilakukan, biaya yang harus dikeluarkan PT.ADM PP adalah Rp.16.749.830 per bulan. Dengan tingkat pemotongan 15% per tahun, biaya yang harus dikeluarkan dalam jangka waktu 10 tahun adalah Rp.1.022.659.467. Upaya ini membutuhkan biaya operasional sebesar Rp.250.000 per bulan.

Dengan investasi sebesar Rp.100.000.000, penghematan yang diperoleh PT.ADM PP dalam jangka 10 tahun adalah Rp.1.022.659.467 – Rp.100.000.000 = Rp.922.659.467. SIR bernilai 10,23 dan memberikan arti bahwa setiap Rp.1 yang diinvestasikan akan memperoleh keuntungan sebesar Rp.10,23. Tingkat kenaikan keuntungan (AIRR) bernilai 0,30.

Tabel 4.36 Perhitungan waktu balik modal untuk reduksi THD arus di PT.ADM PP dengan tingkat pemotongan 15% per tahun

Bulan	Pemasukan Penghematan	Biaya Operasi, pemeliharaan, dan perbaikan	Penghematan	Faktor pemotongan Per tahun	Penghematan PV	Penghematan Kumulatif	Investasi	<i>Net Saving</i>
(1)	(2)	(3)	(4=2-3)	(5)	(6=4x5)	(7=Σ6)	(8)	(9=7-8)
1	16.749.830	250.000	16.499.830	0,988285	16.306.536	16.306.536	100.000.000	(83.693.464)
2	16.749.830	250.000	16.499.830	0,976707	16.115.506	32.422.042	100.000.000	(67.577.958)
3	16.749.830	250.000	16.499.830	0,965265	15.926.714	48.348.757	100.000.000	(51.651.243)
4	16.749.830	250.000	16.499.830	0,953957	15.740.134	64.088.891	100.000.000	(35.911.109)
5	16.749.830	250.000	16.499.830	0,942782	15.555.740	79.644.631	100.000.000	(20.355.369)
6	16.749.830	250.000	16.499.830	0,931737	15.373.506	95.018.136	100.000.000	(4.981.864)
7	16.749.830	250.000	16.499.830	0,920822	15.193.406	110.211.543	100.000.000	10.211.543
8	16.749.830	250.000	16.499.830	0,910035	15.015.417	125.226.960	100.000.000	25.226.960
9	16.749.830	250.000	16.499.830	0,899374	14.839.512	140.066.472	100.000.000	40.066.472
10	16.749.830	250.000	16.499.830	0,888838	14.665.669	154.732.141	100.000.000	54.732.141
<i>Pay Back Period</i>				7 Bulan				

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa jangka waktu untuk pengembalian modal adalah 7 bulan.

Dengan melihat perhitungan LCC di atas diperoleh:

- LCC = Rp.115.495.000
- NS > 0
- SIR > 1
- AIRR > 0,0125
- Waktu pengembalian modal 7 bulan

Maka usaha konservasi energi dengan reduksi distorsi harmonik arus pada PT.ADM PP dapat dilaksanakan dari segi ekonomi untuk tingkat pemotongan 15% per tahun.

Sedangkan perhitungan LCC untuk tingkat pemotongan 9% per tahun adalah sebagai berikut:

Tabel 4.37 Perhitungan LCC untuk reduksi THD arus di PT.ADM PP dengan tingkat pemotongan 9% per tahun

Daftar Biaya (1)	Biaya tanggal dasar (2)	Periode (bulan) (3)	Faktor Pemotongan (4)	Present Value (5=2x4)
Investasi	100.000.000	120	1	100.000.000
Biaya Operasi, Pemeliharaan, Perbaikan	250.000	120	78,94	19.735.000
Biaya Energi Tambahan	-		78,94	-
Nilai Sisa	-		0,41	-
Biaya Pergantian Modal	-		0,64	-
Biaya selama penggunaan (LCC)				119.735.000

Investasi yang harus dikeluarkan PT.ADM PP dalam jangka waktu 10 tahun adalah untuk reduksi distorsi harmonik arus di seluruh sistem kelistrikan adalah Rp.115.495.000. Biaya ini dikeluarkan hanya sekali dalam 10 tahun sehingga faktor pemotongan adalah satu.

Tabel 4.38 Perhitungan penghematan untuk reduksi THD arus di PT.ADM PP dengan tingkat pemotongan 9% per tahun

Daftar Biaya (1)	Tanpa Pemasangan (2)	Dengan Pemasangan (3)	Selisih (4=2-3)	Faktor Pemotongan (5)	Present Value (6=4 x 5)
Penghematan Operasional					
Biaya yang harus dikeluarkan	16.749.830	-	16.749.830	78,94	1.322.231.585
Biaya Operasi, Pemeliharaan, Perbaikan	-	250.000	(250.000)	78,94	(19.735.000)
Total Penghematan					1.302.496.585
Biaya Investasi					
Investasi	-	100.000.000	(100.000.000)	1	(100.000.000)
Biaya Pergantian Modal	-		-	0,41	-
Nilai Sisa	-		-	0,64	-
Biaya selama penggunaan (LCC)					(100.000.000)
<i>Net Saving (NS)</i>					1.202.496.585
<i>Saving to Investment Ratio (SIR)</i>					13,02
<i>Adjustment Investment Rate of Return (AIRR)</i>					0.331

Apabila reduksi distorsi harmonik arus ini tidak dilakukan, biaya yang harus dikeluarkan PT.ADM PP adalah Rp.16.749.830 per bulan. Dengan tingkat pemotongan 9% per tahun, biaya yang harus dikeluarkan dalam jangka waktu 10

tahun adalah Rp.1.302.496.585. Upaya ini juga membutuhkan biaya operasional sebesar Rp.250.000 per bulan.

Dengan investasi sebesar Rp.100.000.000, penghematan yang diperoleh PT.ADM PP dalam jangka 10 tahun adalah Rp.1.302.496.585 – Rp.100.000.000 = Rp.1.302.496.585. SIR bernilai 13,02 dan memberikan arti bahwa setiap Rp.1 yang diinvestasikan akan memperoleh keuntungan sebesar Rp.13,02. Tingkat kenaikan keuntungan (AIRR) bernilai 0,331.

Tabel 4.39 Perhitungan waktu balik modal untuk reduksi THD arus di PT.ADM PP dengan tingkat pemotongan 9% per tahun

Bulan (1)	Pemasukan Penghematan (2)	Biaya Operasi, pemeliharaan, Dan perbaikan (3)	Penghematan (4=2-3)	Faktor pemotongan Per tahun (5)	Penghematan PV (6=4x5)	Penghematan Kumulatif (7=Σ6)	Investasi (8)	Net Saving (9=7-8)
1	16.749.830	250.000	16.499.830	0,992793	16.380.910	16.380.910	100.000.000	(83.619.090)
2	16.749.830	250.000	16.499.830	0,985637	16.262.848	32.643.758	100.000.000	(67.356.242)
3	16.749.830	250.000	16.499.830	0,978533	16.145.636	48.789.395	100.000.000	(51.210.605)
4	16.749.830	250.000	16.499.830	0,971481	16.029.270	64.818.664	100.000.000	(35.181.336)
5	16.749.830	250.000	16.499.830	0,964479	15.913.741	80.732.406	100.000.000	(19.267.594)
6	16.749.830	250.000	16.499.830	0,957528	15.799.046	96.531.451	100.000.000	(3.468.549)
7	16.749.830	250.000	16.499.830	0,950627	15.685.177	112.216.629	100.000.000	12.216.629
8	16.749.830	250.000	16.499.830	0,943775	15.572.129	127.788.757	100.000.000	27.788.757
9	16.749.830	250.000	16.499.830	0,936973	15.459.896	143.248.653	100.000.000	43.248.653
10	16.749.830	250.000	16.499.830	0,930220	15.348.471	158.597.124	100.000.000	58.597.124
<i>Pay Back Period</i>				7 Bulan				

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa jangka waktu untuk pengembalian modal adalah 7 bulan.

Dengan melihat perhitungan LCC di atas diperoleh:

- LCC = Rp.115.495.000
- NS > 0
- SIR > 1
- AIRR > 0,0125
- Waktu pengembalian modal 7 bulan

Maka usaha konservasi energi dengan reduksi distorsi harmonik arus pada PT.ADM PP dapat dilaksanakan dari segi ekonomi untuk tingkat pemotongan 9% per tahun.

4.6 RESUME UPAYA KONSERVASI ENERGI LISTRIK

4.6.1 Penghematan Energi dan Pengurangan Biaya

Dari upaya konservasi energi listrik yang telah dijelaskan di atas, diperoleh ikhtisar mengenai penghematan energi listrik dan pengurangan biaya pada PT.ADM PP sebagai berikut:

Tabel 4.40 Penghematan energi dan pengurangan biaya tetap

No.	Konservasi Energi	Penghematan Energi per bulan		Pengurangan Biaya per bulan Rp.	Investasi Rp.	Waktu Balik Modal	
		kWH	%			d=15%/tahun Bulan	d=9%/tahun Bulan
		1	Penurunan langganan	-	-	17.405.000	413.950.000
TOTAL		-	-	17.405.000	413.950.000	29	27

Tabel 4.41 Penghematan energi dan pengurangan biaya variabel

No.	Konservasi Energi	Penghematan Energi per bulan		Pengurangan Biaya per bulan Rp.	Investasi Rp.	Waktu Balik Modal	
		kWH	%			d=15%/tahun Bulan	d=9%/tahun Bulan
		1	Perbaikan faktor daya	29.025,67	2,40	25.484.540	897.649.239
2	Pengurangan THD arus	19.077,26	1,58	16.749.830	100.000.000	7	7
TOTAL		48.102,93	3,98	42.234.370	997.649.239	4 – 7	4 – 7

4.6.2 Perubahan Konsumsi Energi Spesifik

Konsumsi energi spesifik yang dicapai pasca pelaksanaan konservasi energi dapat diperhitungkan sebagai berikut:

Konsumsi energi awal = 14.507.180,00 kWh/ tahun

Konsumsi energi spesifik awal = 14.507.180,00 kWh : 233.517 unit
= 62,12 kWh/ unit

Penghematan energi = 12 x 48.103 kWh = 577.235,13 kWh/ tahun

Konsumsi energi akhir = 14.507.180,00 kWh/ tahun – 577.235,13 kWh/ tahun
= 13.929.944,87 kWh/ tahun

Konsumsi energi spesifik akhir = 13.929.944,87 kWh : 233.517 unit
= 59,65 kWh/ unit

Tabel 4.42 Penurunan konsumsi energi spesifik pasca konservasi energi listrik

Produksi/ Tahun [unit]	Sebelum konservasi energi listrik		Setelah konservasi energi listrik		Reduksi KES [%]
	Energi [kWH/tahun]	KES [kWH/unit]	Energi [kWH/tahun]	KES [kWH/unit]	
233.517	14.507.180,00	62,12	13.929.944,87	59,65	3,98

BAB 5

KESIMPULAN

Dari penulisan skripsi ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil audit energi listrik pendahuluan di PT.ADM PP menunjukkan bahwa hasil pengukuran frekuensi menunjukkan nilai antara 49,79 Hz – 50,2 Hz dan tegangan bernilai 370,11 V – 411,73 V.
2. Faktor daya pada tiap LVMDP 1 sampai dengan LVMDP 7 bernilai antara 0,55 – 0,81 dan distorsi harmonik arus pada LVMDP 1, LVMDP 2, LVMDP 3, dan LVMDP 7 bernilai di atas 20%.
3. Pemakaian daya terpasang berdasarkan pengukuran di gardu distribusi PK 87 adalah 1827 kVA dan di gardu distribusi PK 79 sebesar 2552,3 kVA.
4. Konservasi energi melalui penyesuaian kapasitas daya terpasang dilakukan dengan menurunkan kapasitas gardu distribusi PK 87 dari 3895 kVA menjadi 3500 kVA dan kapasitas gardu PK 79 dari 3895 kVA menjadi 3700 kVA. Pengurangan biaya energi yang diperoleh adalah Rp.17.405.000 per bulan dengan investasi sebesar Rp.413.950.000 dan waktu balik modalnya mulai 27 sampai dengan 29 bulan.
5. Konservasi energi dengan perbaikan faktor daya dilakukan dengan pemasangan bank kapasitor sehingga meningkatkan faktor daya gardu PK 87 dari 0,69 menjadi 0,95 dan faktor daya gardu PK 79 dari 0,74 menjadi 0,95. Penghematan energi yang diperoleh adalah sebesar 2,4% per bulan dengan investasi sebesar Rp.897.649.239 dan waktu balik modalnya 4 bulan.
6. Konservasi energi melalui reduksi distorsi harmonik arus dilakukan menggunakan filter harmonik sehingga menurunkan distorsi harmonik arus dari di atas 20% menjadi 2,5%. Penghematan energi yang diperoleh adalah sebesar 1,58% per bulan dengan investasi sebesar Rp.100.000.000 dan waktu balik modalnya 7 bulan.
7. Konsumsi energi spesifik pasca konservasi energi listrik turun sebesar 3,98% dari nilai awal 62,12 kWh/unit menjadi 59,65 kWh/unit.

DAFTAR ACUAN

- [1] Rizky, M., “Audit Energi Listrik: Upaya Melakukan Konservasi Energi Listrik”,
http://222.124.140.107/berita/berita_peristiwa.asp?do=view&id=2717&idm=5&idSM=2, 19.09.08
- [2] Fauzan, H. J. , “Konservasi Energi Listrik pada Industri Baja dengan Meningkatkan Efisiensi dan Kualitas Daya Listrik”, Skripsi, Departemen Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia, 2008
- [3] Totok, Z., “Audit Energi di Fakultas Hukum Universitas Indonesia”, Seminar, Departemen Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia, 1999
- [4] Gussow, M., “*Schaum’s Outline of Theory and Problems of Basic Electricity*”, The McGraw-Hill Companies, Inc., 1983
- [5] O’Malley. J., “*Schaum’s Outline of Theory and Problems of Basic Circuit Analysis*”, The McGraw-Hill Companies, Inc., 1992
- [6] Nanan, T., Wanhar, ”Pengaruh Harmonik pada Transformator Distribusi”,
www.elektroindonesia.com/elektro/index.html, 19.09.08
- [7] IEEE Industry Applications Society, "*IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power System*", USA, 1993
- [8] Rice, David E., "Adjustable Speed Drive and Power Rectifier Harmonics - Their Effect on Power Systems Component", *IEEE Trans. Ind. Appl. IA-22*, hal.161-177, 1986
- [9] Stratford, Ray P., "Rectifier Harmonics in Power System", *IEEE Trans. Ind. Appl. 29*, 528-535, 1980
- [10] Fuller, S. K., Petersen, S. R., “*LIFE-CYCLE COSTING MANUAL for the Federal Energy Management Program*”, US Department of Commerce, 1995