

**KONSERVASI ENERGI LISTRIK
PADA INDUSTRI BAJA
DENGAN MENINGKATKAN EFISIENSI
DAN KUALITAS DAYA LISTRIK**

SKRIPSI

OLEH

FAUZAN HANIF JUFRI

04 03 03 038 1



**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
GASAL 2007/2008**

**KONSERVASI ENERGI LISTRIK
PADA INDUSTRI BAJA
DENGAN MENINGKATKAN EFISIENSI
DAN KUALITAS DAYA LISTRIK**

SKRIPSI

OLEH

FAUZAN HANIF JUFRI

04 03 03 038 1



**SKRIPSI INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI SEBAGIAN
PERSYARATAN MENJADI SARJANA TEKNIK**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
GASAL 2007/2008**

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

KONSERVASI ENERGI LISTRIK PADA INDUSTRI BAJA DENGAN MENINGKATKAN EFISIENSI DAN KUALITAS DAYA LISTRIK

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Depok, 12 Desember 2007

Penulis

Fauzan Hanif Jufri

04 03 03 0381

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul :

**KONSERVASI ENERGI LISTRIK PADA INDUSTRI BAJA
DENGAN MENINGKATKAN EFISIENSI
DAN KUALITAS DAYA LISTRIK**

dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Skripsi ini telah diujikan pada ujian sidang skripsi pada tanggal 4 Januari 2008 dan dinyatakan memenuhi syarat/sah sebagai skripsi pada departemen Teknik Elektro fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Depok, 7 januari 2008

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Iwa Garniwa MK, MT

NIP 131 845 377

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

Dr. Ir. Iwa Garniwa MK, MT

selaku dosen pembimbing utama, serta kepada **Budi Sudiarto, ST, MT** dan **Aji Nur Widyanto, ST** selaku dosen pembimbing lapangan, yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi dan bimbingan serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik.

Fauzan Hanif Jufri 04 03 03 038 1 Departemen Teknik Elektro	Dosen Pembimbing Dr. Ir. Iwa Garniwa MK, MT.
KONSERVASI ENERGI LISTRIK PADA INDUSTRI BAJA DENGAN MENINGKATKAN EFISIENSI DAN KUALITAS DAYA LISTRIK	
<p>ABSTRAK</p> <p>Konservasi energi listrik adalah penggunaan energi listrik dengan efisiensi tinggi melalui langkah-langkah penurunan berbagai kehilangan (<i>loss</i>) energi listrik pada semua taraf pengelolaan, mulai dari pembangkitan, pengiriman (transmisi), sampai dengan pemanfaatan.</p> <p>Di Indonesia, bidang industri termasuk industri baja merupakan konsumen energi listrik yang besar karena menggunakan lebih kurang 30% energi listrik yang dibangkitkan. Oleh karena jumlah sektor industri yang relatif sedikit, konservasi energi listrik pada sektor industri lebih mudah dilakukan dan memberikan peran yang cukup signifikan sebagai usaha penghematan energi. Efisiensi penggunaan energi pada industri baja dapat dilihat dari nilai Konsumsi Energi Spesifik (KES) untuk energi listrik, yaitu perbandingan antara konsumsi energi listrik per hasil produksi.</p> <p>Skripsi ini meneliti peluang-peluang konservasi energi listrik pada sisi konsumen (industri baja). Data-data pada skripsi ini diperoleh dari survey lapangan pada tiga pabrik baja yang ada di Indonesia, yaitu, PT X, PT Y dan PT Z. Kemudian dilakukan analisa untuk mencari peluang-peluang peningkatan efisiensi dan peningkatan kualitas daya listrik sebagai usaha konservasi energi listrik. Peluang-peluang yang dihasilkan disertai dengan studi kelayakan dari segi ekonomi dengan menggunakan <i>Life-Cycle Costing Analysis</i> sehingga konservasi yang membutuhkan biaya tinggi atau investasi dapat diketahui waktu balik modalnya. Dengan melakukan konservasi energi listrik, maka dapat dihasilkan penurunan KES sekitar 7%-13%.</p>	
<p>Kata Kunci : Konservasi, Energi Listrik, Pabrik Baja, Efisiensi, Kualitas Daya Listrik</p>	

Fauzan Hanif Jufri 04 03 03 038 1 Electrical Engineering Department	Counsellor Dr. Ir. Iwa Garniwa MK, MT.
ELECTRICAL ENERGY CONSERVATION ON STEEL INDUSTRY BY INCREASING EFFICIENCY AND ELECTRICAL POWER QUALITY	
<p>ABSTRACT</p> <p>Electrical energy conservation is electric energy usage with high efficiency by minimize losses at all production process, start from generation, transmission, distribution, and consumption.</p> <p>In Indonesia, industry sectors included steel industries are large electrical energy consumers because use about 30% electrical energy generated. Because of industry sectors consist of with a small number, electrical energy conservation easier to do and give a significant role to thrift electrical energy. Electrical energy efficiency on steel industries is showed by Specific Energy Consumption (SEC) for electrical energy, which meant ratio between electrical energy consumption to total product yield.</p> <p>This paper did some research for electrical energy conservation on demand side, focused on steel industries. The data get from survey at three steel industries, that is PT X, PT Y, and PT Z. Then, the data were analyzed to find some opportunity for increasing efficiency and electrical power quality as the efforts to conserve electrical energy. The opportunities obtained were followed by feasibility study from economical side using <i>Life-Cycle Costing Analysis</i> so that pay back period from conservation with high investment could be known. The result is that SEC can be decreased about 7%-13% by doing electrical energy conservation.</p>	
<p>Key Words : Conservation, Electrical Energy, Steel Industry, Efficiency, Electrical Power Quality</p>	

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH	2
1.3 TUJUAN PENELITIAN	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 PENELITIAN	4
BAB II DASAR TEORI	5
2.1 KONSERVASI ENERGI LISTRIK	5
2.1.1 Pengertian	5
2.1.2 Audit Energi Listrik	5
2.2 ENERGI LISTRIK, BEBAN LISTRIK, DAN BIAYA LISTRIK	6
2.2.1 Energi Listrik, Daya Listrik, dan Beban Listrik	6
2.2.2 Tarif Listrik	7
2.3 PENGARUH KUALITAS DAYA LISTRIK DAN EFISIENSI MESIN- MESIN LISTRIK TERHADAP KONSUMSI ENERGI LISTRIK	8
2.3.1 Pengaruh Kualitas Daya Listrik	8

2.3.1.1	<i>Faktor Daya</i>	8
2.3.1.2	<i>Distorsi harmonik</i>	9
2.3.2	Motor Listrik	10
2.3.2.1	<i>Efisiensi</i>	10
2.3.2.2	<i>Pembebanan Motor</i>	10
2.4	INTERAKSI PERTIMBANGAN TEKNIS DAN EKONOMI	11
2.4.1	Faktor Kebutuhan	11
2.4.2	Faktor Keragaman Beban	12
2.4.3	Faktor Beban	14
2.5	LIFE-CYCLE COST ANALYSIS	14
2.5.1	Penentuan Periode Analisis	15
2.5.2	Perkiraan Biaya pada LCCA	16
2.5.3	Perhitungan Nilai Uang terhadap Waktu Sekarang	16
2.5.3.1	<i>Single Present Value (SPV)</i>	16
2.5.3.2	<i>Uniform Present Value (UPV)</i>	16
2.5.4	<i>Life-Cycle Cost Analysis</i>	17
2.5.4.1	<i>Perhitungan Life-Cycle Cost</i>	17
2.5.4.2	<i>Perhitungan parameter suplementer</i>	18
2.5.5	Keputusan Berdasarkan LCCA	19
 BAB III PROSES PRODUKSI DAN KONSUMSI ENERGI PADA INDUSTRI BAJA		 21
3.1	PT X	21
3.1.1	Produksi	21
3.1.1.1	<i>Proses Produksi</i>	21
3.1.1.2	<i>Hasil Produksi</i>	22
3.1.2	Sistem Kelistrikan	23
3.1.2.1	<i>Diagram Satu Garis</i>	23
3.1.2.2	<i>Penggunaan Energi Listrik</i>	24
3.1.3	Biaya Energi Listrik	25
3.1.4	Konsumsi Energi Spesifik	26
3.1.5	Hasil Pengukuran Besaran Listrik	27
3.1.5.1	<i>Arus dan Tegangan</i>	27
3.1.5.2	<i>Faktor Daya</i>	28

3.1.5.3	<i>Distorsi Harmonik</i>	28
3.1.5.4	<i>Daya</i>	29
3.1.5.5	<i>Pembebanan Motor</i>	30
3.2	PT Y	31
3.2.1	Produksi	31
3.2.1.1	<i>Proses Produksi</i>	31
3.2.1.2	<i>Hasil Produksi</i>	34
3.2.2	Sistem Kelistrikan	35
3.2.2.1	<i>Diagram Satu Garis</i>	35
3.2.2.2	<i>Penggunaan Energi Listrik</i>	35
3.2.3	Biaya Energi Listrik	36
3.2.4	Konsumsi Energi Spesifik	37
3.2.5	Hasil Pengukuran Besaran Listrik	38
3.2.5.1	<i>Arus dan Tegangan</i>	38
3.2.5.2	<i>Faktor Daya</i>	39
3.2.5.3	<i>Distorsi Harmonik</i>	39
3.2.5.4	<i>Daya</i>	40
3.2.5.5	<i>Pembebanan Motor</i>	41
3.3	PT Z	42
3.3.1	Produksi	43
3.3.1.1	<i>Proses Produksi</i>	43
3.3.1.2	<i>Hasil Produksi</i>	44
3.3.2	Sistem Kelistrikan	44
3.3.2.1	<i>Diagram Satu Garis</i>	45
3.3.2.2	<i>Penggunaan Energi Listrik</i>	45
3.3.3	Biaya Energi Listrik	46
3.3.4	Konsumsi Energi Spesifik	47
3.3.5	Hasil Pengukuran Besaran Listrik	48
3.3.5.1	<i>Arus dan Tegangan</i>	48
3.3.5.2	<i>Faktor Daya</i>	49
3.3.5.3	<i>Distorsi Harmonik</i>	51
3.3.5.4	<i>Daya</i>	52
3.3.5.5	<i>Pembebanan Motor</i>	55

BAB IV KONSERVASI ENERGI LISTRIK	56
4.1 PT X	56
4.1.1 ANALISA KONDISI SISTEM KELISTRIKAN	56
4.1.2 OPTIMALISASI KAPASITAS DAYA TERPASANG	56
4.1.2.1 <i>Analisa Kondisi Eksisting</i>	57
4.1.2.2 <i>Bentuk Konservasi</i>	57
4.1.2.3 <i>Analisa LCC</i>	58
4.1.3 PERBAIKAN FAKTOR DAYA	62
4.1.3.1 <i>Analisa Kondisi Eksisting</i>	62
4.1.3.2 <i>Bentuk Konservasi</i>	63
4.1.3.3 <i>Analisa LCC</i>	63
4.1.4 PEMASANGAN VARIABLE-SPEED DRIVE	68
4.1.4.1 <i>Analisa kondisi eksisting dan bentuk konservasi</i>	68
4.1.4.2 <i>Analisa LCC</i>	69
4.1.5 RESUME KONSERVASI PADA PT X	74
4.2 PT Y	75
4.2.1 ANALISA KONDISI SISTEM KELISTRIKAN	75
4.2.2 PERBAIKAN FAKTOR DAYA	75
4.2.2.1 <i>Analisa Kondisi Eksisting</i>	75
4.2.2.2 <i>Bentuk Konservasi</i>	76
4.2.2.3 <i>Analisa LCC</i>	76
4.2.3 PERBAIKAN DISTORSI HARMONIK	82
4.2.3.1 <i>Analisa Kondisi Eksisting</i>	82
4.2.3.2 <i>Bentuk Konservasi</i>	83
4.2.3.3 <i>Analisa LCC</i>	83
4.2.4 RESUME KONSERVASI PADA PT Y	89
4.3 PT Z	89
4.3.1 DIVISI STEEL MELTING STATION (SMS)	89
4.3.1.1 <i>Analisa Sistem Kelistrikan Eksisting</i>	89
4.3.1.2 <i>Perbaikan Faktor Daya</i>	90
4.3.1.3 <i>Preheating Script</i>	95
4.3.2 ROLLING MILL DIVISION	102
4.3.2.1 <i>Analisa Sistem Kelistrikan Eksisting</i>	102
4.3.2.2 <i>Perbaikan Faktor Daya</i>	103

4.3.2.3 Perbaikan Distorsi Harmonik	109
4.3.3 RESUME KONSERVASI PADA PT Z	115
4.4 RESUME PERUBAHAN KONSUMSI ENERGI SPESIFIK	116
BAB V KESIMPULAN	117
DAFTAR ACUAN	118
DAFTAR PUSTAKA	119
LAMPIRAN	121

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram Fasor Daya	7
Gambar 2.2	Upaya peningkatan faktor daya dengan pemasangan kapasitor	8
Gambar 2.3	Pembentukan gelombang terdistorsi harmonik	9
Gambar 2.4	Ilustrasi demand, average demand, maximum demand	12
Gambar 2.5	Ilustrasi keragaman beban	13
Gambar 2.6	Ilustrasi periode studi LCC	15
Gambar 3.1	Diagram Alir Proses Produksi PT X	22
Gambar 3.2	Grafik Produksi PT X tahun 2006 – 2007	23
Gambar 3.3	Diagram satu garis pada PT X	24
Gambar 3.4	Gambar titik pengukuran pada PT X	24
Gambar 3.5	Grafik penggunaan energi listrik pada PT X tahun 2006 – 2007	25
Gambar 3.6	Grafik tagihan listrik PT X tahun 2006 – 2007	26
Gambar 3.7	Grafik KES PT X tahun 2006 – 2007	27
Gambar 3.8	Diagram Alir Proses Produksi PT Y	32
Gambar 3.9	Grafik hasil produksi PT Y	34
Gambar 3.10	Diagram satu garis PT Y	35
Gambar 3.11	Gambar titik pengukuran pada PT Y	35
Gambar 3.12	Grafik konsumsi energi listrik PT Y	36
Gambar 3.13	Grafik tagihan listrik PT Y	37
Gambar 3.14	Grafik KES PT Y	38
Gambar 3.15	Diagram Alir Proses Produksi PT Z	43
Gambar 3.16	Grafik Produksi PT Z tahun 2006	44
Gambar 3.17	Diagram satu garis PT Z	45
Gambar 3.18	Gambar titik pengukuran pada PT Z	45
Gambar 3.19	Grafik konsumsi energi listrik PT Z	46
Gambar 3.20	Grafik tagihan listrik PT Z	47
Gambar 3.21	Grafik KES PT Z	47
Gambar 4.1	Aliran energi pada EAF	96

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Hasil produksi PT X	22
Tabel 3.2	Penggunaan energi listrik PT X	24
Tabel 3.3	Biaya energi listrik PT X	25
Tabel 3.4	Konsumsi energi spesifik PT X	26
Tabel 3.5	Data pengukuran arus pada titik 1 di PT X	27
Tabel 3.6	Data pengukuran tegangan pada titik 1 di PT X	27
Tabel 3.7	Data pengukuran arus pada titik 2 di PT X	27
Tabel 3.8	Data pengukuran arus pada titik 2 di PT X	28
Tabel 3.9	Data pengukuran faktor daya pada titik 1 di PT X	28
Tabel 3.10	Data pengukuran faktor daya pada titik 2 di PT X	28
Tabel 3.11	Data pengukuran THD arus pada titik 1 di PT X	29
Tabel 3.12	Data pengukuran THD arus pada titik 2 di PT X	29
Tabel 3.13	Data pengukuran daya kompleks pada titik 1 di PT X	29
Tabel 3.14	Data pengukuran daya aktif pada titik 1 di PT X	29
Tabel 3.15	Data pengukuran daya reaktif pada titik 1 di PT X	30
Tabel 3.16	Data pengukuran daya kompleks pada titik 2 di PT X	30
Tabel 3.17	Data pengukuran daya aktif pada titik 2 di PT X	30
Tabel 3.18	Data pengukuran daya reaktif pada titik 2 di PT X	30
Tabel 3.19	Konsumsi daya motor-motor produksi pada PT X	31
Tabel 3.20	Hasil produksi Y	34
Tabel 3.21	Penggunaan energi listrik PT Y	36
Tabel 3.22	Biaya energi listrik PT Y	36
Tabel 3.23	Konsumsi energi spesifik PT Y	37
Tabel 3.24	Data pengukuran arus pada titik 1 di PT Y	38
Tabel 3.25	Data pengukuran tegangan pada titik 1 di PT Y	38
Tabel 3.26	Data pengukuran arus pada titik 2 di PT Y	38
Tabel 3.27	Data pengukuran tegangan pada titik 2 di PT Y	39
Tabel 3.28	Data pengukuran faktor daya pada titik 1 di PT Y	39
Tabel 3.29	Data pengukuran faktor daya pada titik 2 di PT Y	39
Tabel 3.30	Data pengukuran THD arus pada titik 1 di PT Y	40

Tabel 3.31	Data pengukuran THD arus pada titik 2 di PT Y	40
Tabel 3.32	Data pengukuran daya kompleks pada titik 1 di PT Y	40
Tabel 3.33	Data pengukuran daya aktif pada titik 1 di PT Y	40
Tabel 3.34	Data pengukuran daya reaktif pada titik 1 di PT Y	41
Tabel 3.35	Data pengukuran daya kompleks pada titik 2 di PT Y	41
Tabel 3.36	Data pengukuran daya aktif pada titik 2 di PT Y	41
Tabel 3.37	Data pengukuran daya reaktif pada titik 2 di PT Y	41
Tabel 3.38	Konsumsi daya motor-motor produksi pada PT Y	421
Tabel 3.39	Hasil produksi PT Z tahun 2006	44
Tabel 3.40	Penggunaan energi listrik PT Z	45
Tabel 3.41	Biaya energi listrik PT Z	46
Tabel 3.42	Konsumsi energi spesifik PT Z	47
Tabel 3.43	Data pengukuran arus pada titik 1 di PT Z	48
Tabel 3.44	Data pengukuran tegangan pada titik 1 di PT Z	48
Tabel 3.45	Data pengukuran arus pada titik 2 di PT Z	48
Tabel 3.46	Data pengukuran tegangan pada titik 2 di PT Z	48
Tabel 3.47	Data pengukuran arus pada titik 3 di PT Z	49
Tabel 3.48	Data pengukuran tegangan pada titik 3 di PT Z	49
Tabel 3.49	Data pengukuran arus pada titik 4 di PT Z	49
Tabel 3.50	Data pengukuran tegangan pada titik 4 di PT Z	49
Tabel 3.51	Data pengukuran faktor daya pada titik 1 di PT Z	50
Tabel 3.52	Data pengukuran faktor daya pada titik 2 di PT Z	50
Tabel 3.53	Data pengukuran faktor daya pada titik 3 di PT Z	50
Tabel 3.54	Data pengukuran faktor daya pada titik 4 di PT Z	50
Tabel 3.55	Data pengukuran THD arus pada titik 1 di PT Z	51
Tabel 3.56	Data pengukuran THD arus pada titik 2 di PT Z	51
Tabel 3.57	Data pengukuran THD arus pada titik 3 di PT Z	51
Tabel 3.58	Data pengukuran THD arus pada titik 4 di PT Z	52
Tabel 3.59	Data pengukuran daya kompleks pada titik 1 di PT Z	52
Tabel 3.60	Data pengukuran daya aktif pada titik 1 di PT Z	52
Tabel 3.61	Data pengukuran daya reaktif pada titik 1 di PT Z	53
Tabel 3.62	Data pengukuran daya kompleks pada titik 2 di PT Z	53

Tabel 3.63	Data pengukuran daya aktif pada titik 2 di PT Z	53
Tabel 3.64	Data pengukuran daya reaktif pada titik 2 di PT Z	53
Tabel 3.65	Data pengukuran daya kompleks pada titik 3 di PT Z	53
Tabel 3.66	Data pengukuran daya aktif pada titik 3 di PT Z	54
Tabel 3.67	Data pengukuran daya reaktif pada titik 3 di PT Z	54
Tabel 3.68	Data pengukuran daya kompleks pada titik 4 di PT Z	54
Tabel 3. 69	Data pengukuran daya aktif pada titik 4 di PT Z	54
Tabel 3.70	Data pengukuran daya reaktif pada titik 4 di PT Z	55
Tabel 3.71	Konsumsi daya motor-motor produksi pada PT Z	55
Tabel 4.1	Perhitungan LCC untuk penurunan langganan pada PT X, tingkat pemotongan 15% per tahun	58
Tabel 4.2	Perhitungan penghematan untuk penurunan langganan pada PT X, tingkat pemotongan 15% per tahun	59
Tabel 4.3	Perhitungan waktu balik modal untuk penurunan langganan pada PT X, tingkat pemotongan 15% per tahun	59
Tabel 4.4	Perhitungan LCC untuk penurunan langganan pada PT X, tingkat pemotongan 9% per tahun	60
Tabel 4.5	Perhitungan penghematan untuk penurunan langganan pada PT X, tingkat pemotongan 9% per tahun	61
Tabel 4.6	Perhitungan waktu balik modal untuk penurunan langganan pada PT X, tingkat pemotongan 9% per tahun	61
Tabel 4.7	Perhitungan LCC (biaya selama pemakaian) pemasangan kapasitor bank pada PT X, tingkat pemotongan 15% per tahun	83
Tabel 4.8	Perhitungan penghematan pemasangan kapasitor bank pada PT X, tingkat pemotongan 15% per tahun	64
Tabel 4.9	Perhitungan waktu balik modal pemasangan kapasitor bank pada PT X, tingkat pemotongan 15% per tahun	65
Tabel 4.10	Perhitungan LCC (biaya selama pemakaian) pemasangan kapasitor bank pada PT X, tingkat pemotongan 9% per tahun	66
Tabel 4.11	Perhitungan penghematan pemasangan kapasitor bank pada PT X, tingkat pemotongan 9% per tahun	66

Tabel 4.12	Perhitungan waktu balik modal pemasangan kapasitor bank pada PT X, tingkat pemotongan 9% per tahun	67
Tabel 4.13	Pemakaian daya kompleks dan daya aktif motor-motor pada PT X	69
Tabel 4.14	Perhitungan LCC pemasangan VSD pada PT X, tingkat pemotongan 15% per tahun	69
Tabel 4.15	Perhitungan penghematan pemasangan VSD/ASD pada PT X, tingkat pemotongan 15% per tahun	70
Tabel 4.16	Perhitungan waktu balik modal pemasangan VSD pada PT X, tingkat pemotongan 15% per tahun	71
Tabel 4.18	Perhitungan penghematan pemasangan VSD/ASD pada PT X, tingkat pemotongan 9% per tahun	72
Tabel 4.19	Perhitungan waktu balik modal pemasangan VSD pada PT X, tingkat pemotongan 9% per tahun	73
Tabel 4. 20	Resume konservasi energi listrik pada PT X	74
Tabel 4.21	Perhitungan LCC (biaya selama pemakaian) pemasangan kapasitor bank pada PT Y, tingkat pemotongan 15% per tahun	77
Tabel 4.22	Perhitungan penghematan pemasangan kapasitor bank pada PT Y, tingkat pemotongan 15% per tahun	78
Tabel 4.22	Perhitungan waktu balik modal pemasangan kapasitor bank pada PT Y, tingkat pemotongan 15% per tahun	79
Tabel 4.21	Perhitungan LCC (biaya selama pemakaian) pemasangan kapasitor bank pada PT Y, tingkat pemotongan 9% per tahun	80
Tabel 4.22	Perhitungan penghematan pemasangan kapasitor bank pada PT Y, tingkat pemotongan 9% per tahun	80
Tabel 4.22	Perhitungan waktu balik modal pemasangan kapasitor bank pada PT Y, tingkat pemotongan 9% per tahun	81
Tabel 4.23	Perhitungan LCC pemasangan filter harmonik pada PT Y, tingkat pemotongan 15% per tahun	84
Tabel 4.24	Perhitungan penghematan pemasangan filter harmonik pada PT Y, tingkat pemotongan 15% per tahun	84
Tabel 4.25	Perhitungan waktu balik modal pemasangan filter harmonik pada PT Y, tingkat pemotongan 15% per tahun	85

Tabel 4.26	Perhitungan LCC pemasangan filter harmonik pada PT Y, tingkat pemotongan 9% per tahun	86
Tabel 4.27	Perhitungan penghematan pemasangan filter harmonik pada PT Y, tingkat pemotongan 9% per tahun	87
Tabel 4.28	Perhitungan waktu balik modal pemasangan filter harmonik pada PT Y, tingkat pemotongan 9% per tahun	88
Tabel 4.29	Resume konservasi energi listrik pada PT Y	89
Tabel 4.30	Perhitungan LCC pemasangan kapasitor bank pada SMSD PT Z, tingkat pemotongan 15% per tahun	91
Tabel 4.31	Perhitungan penghematan pemasangan kapasitor bank pada SMSD PT Z, tingkat pemotongan 15% per tahun	92
Tabel 4.32	Perhitungan waktu balik modal pemasangan kapasitor bank pada SMSD PT Z, tingkat pemotongan 15% per tahun	93
Tabel 4.33	Perhitungan LCC pemasangan kapasitor bank pada SMSD PT Z, tingkat pemotongan 9% per tahun	93
Tabel 4.34	Perhitungan penghematan pemasangan kapasitor bank pada SMSD PT Z, tingkat pemotongan 9% per tahun	94
Tabel 4.35	Perhitungan waktu balik modal pemasangan kapasitor bank pada SMSD PT Z, tingkat pemotongan 9% per tahun	95
Tabel 4.36	Penggunaan energi dalam peleburan <i>scrap</i>	97
Tabel 4.37	Perhitungan LCC pembangunan sistem <i>preheating scrap</i> pada PT Z, tingkat pemotongan 15% per tahun	97
Tabel 4.38	Perhitungan penghematan pembangunan sistem <i>preheating scrap</i> pada PT Z, tingkat pemotongan 15% per tahun	98
Tabel 4.39	Perhitungan waktu balik modal pembangunan sistem <i>preheating scrap</i> pada PT Z, tingkat pemotongan 15% per tahun	99
Tabel 4.40	Perhitungan LCC pembangunan sistem <i>preheating scrap</i> pada PT Z, tingkat pemotongan 9% per tahun	100
Tabel 4.41	Perhitungan penghematan pembangunan sistem <i>preheating scrap</i> pada PT Z, tingkat pemotongan 9% per tahun	100
Tabel 4.42	Perhitungan waktu balik modal pembangunan sistem <i>preheating scrap</i> pada PT Z, tingkat pemotongan 9% per tahun	101

Tabel 4.43	Perhitungan LCC pemasangan kapasitor bank pada RMD PT Z, tingkat pemotongan 15% per tahun	104
Tabel 4.44	Perhitungan penghematan pemasangan kapasitor bank pada RMD PT Z, tingkat pemotongan 15% per tahun	105
Tabel 4.45	Perhitungan waktu balik modal pemasangan kapasitor bank pada RMD PT Z, tingkat pemotongan 15% per tahun	106
Tabel 4.46	Perhitungan LCC pemasangan kapasitor bank pada RMD PT Z, tingkat pemotongan 9% per tahun	106
Tabel 4.47	Perhitungan penghematan pemasangan kapasitor bank pada RMD PT Z, tingkat pemotongan 9% per tahun	107
Tabel 4.48	Perhitungan waktu balik modal pemasangan kapasitor bank pada RMD PT Z, tingkat pemotongan 9% per tahun	108
Tabel 4.49	Perhitungan LCC pemasangan filter harmonik pada RMD PT Z, untuk tingkat pemotongan 15% per tahun	110
Tabel 4.50	Perhitungan penghematan pemasangan filter harmonik pada RMD PT Z, untuk tingkat pemotongan 15% per tahun	111
Tabel 4.51	Perhitungan waktu balik modal pemasangan filter harmonik pada RMD PT Z, untuk tingkat pemotongan 15% per tahun	112
Tabel 4.52	Perhitungan LCC pemasangan filter harmonik pada RMD PT Z, untuk tingkat pemotongan 9% per tahun	112
Tabel 4.53	Perhitungan penghematan pemasangan filter harmonik pada RMD PT Z, untuk tingkat pemotongan 9% per tahun	113
Tabel 4.54	Perhitungan waktu balik modal pemasangan filter harmonik pada RMD PT Z, untuk tingkat pemotongan 9% per tahun	114
Tabel 4. 55	Resume konservasi energi listrik pada SMSD PT Z	115
Tabel 4. 56	Resume konservasi energi listrik pada RMD PT Z	115
Tabel 4. 57	Penurunan nilai KES setelah konservasi energi listrik	116

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Contoh Perhitungan rugi-rugi jaringan pada konduktor	121
Lampiran 2	Prinsip Kerja Preheating Script	122



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Pertumbuhan ekonomi suatu negara tidak bisa lepas dari penggunaan energi negara tersebut. Namun bukan berarti negara yang banyak menggunakan energi merupakan negara yang memiliki tingkat perekonomian yang maju. Pada tahun 50-an sampai dengan tahun 60-an pemakaian energi meningkat dengan pesat untuk mendorong proses industrialisasi dan efisiensi penggunaan energi tidak menjadi masalah yang begitu dipersoalkan, hal ini dikarenakan harga energi yang mayoritas didominasi oleh minyak bumi relatif murah. Namun, pada tahun 1973 terjadi “Kemelut Energi” di dunia yang mengubah jalan pikiran bahwa energi akan senantiasa mudah didapat dengan harga murah, karena ketersediaan energi bukan tanpa batas. Sejak era energi mahal tersebut, banyak negara berupaya untuk memanfaatkan energi yang diperlukan untuk daya guna yang lebih tinggi. Oleh karena itu, mulai digalakkan konservasi energi di berbagai negara. [1]

Tingkat efisiensi pemakaian energi suatu negara dapat digambarkan dengan indeks pemakaian energi atau elastisitas energi, yang merupakan perbandingan antara pemakaian atau konsumsi energi terhadap hasil yang diperoleh dari pemakaian energi tersebut. Pemakaian energi di Indonesia tergolong boros karena elastisitasnya masih tinggi.

Di Indonesia, konservasi energi mulai dicanangkan secara nasional pada tahun 1981, dan merupakan salah satu kebijakan umum di bidang energi yang diterapkan pemerintah di Indonesia sampai sekarang. Pada tahun 2005, Presiden mengeluarkan Inpres no 10/2005 yang memerintahkan agar dilakukan penghematan energi di instansi-instansi pemerintah pusat maupun daerah, serta dilakukan sosialisasi kepada masyarakat mengenai program-program penghematan energi.

Bidang industri merupakan konsumen energi yang besar karena sektor industri memakai lebih kurang 30% dari seluruh keperluan energi primer. Hal ini berarti, konservasi energi pada sektor industri cukup berarti dalam usaha

penghematan energi listrik. Selain itu, sektor industri terdiri atas konsumen yang besar-besar dengan jumlah yang relatif sedikit sehingga penanganan konservasi energi menjadi lebih mudah. Sektor industri dapat dibagi menurut konsumsi energinya, yaitu industri yang padat energi dan industri yang tidak padat energi. Industri yang padat energi contohnya adalah pabrik besi dan baja, pabrik semen, pabrik pulp dan kertas dan peleburan aluminium. Sedangkan industri yang tidak padat energi contohnya adalah industri makanan, tekstil, dan industri lain selain yang diatas. Pada umumnya industri besar telah memiliki suatu badan yang mengelola pemakaian energinya, sedangkan industri kecil dan menengah belum memiliki badan semacam ini.

Konservasi energi dapat dilakukan baik di sisi penyedia listrik (*supply*) ataupun di sisi permintaan daya listrik (*demand*). Skripsi ini melakukan penelitian peluang-peluang usaha konservasi energi pada sisi permintaan daya (*demand*), khususnya sektor industri padat energi, yang mengambil studi kasus pada industri manufaktur baja.

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Pada skripsi ini, masalah yang diangkat adalah peluang-peluang penghematan energi listrik pada sisi permintaan daya listrik (*demand*) khususnya yang digunakan industri manufaktur baja untuk keperluan proses produksinya. Dengan meneliti setiap tahapan proses produksi dalam jangka waktu tertentu diperoleh data-data penggunaan energi yang akan dibandingkan dengan data hasil produksi dari pabrik baja tersebut dalam satu kurun waktu. Efisiensi penggunaan energi dapat dilihat dari data ini, yang kemudian akan dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mencari peluang-peluang penghematan energi listrik. Dari peluang-peluang yang dikemukakan akan diajukan rekomendasi-rekomendasi sebagai upaya aktif dan nyata dalam melakukan penghematan energi listrik. Rekomendasi-rekomendasi yang diberikan akan disertai dengan studi kelayakan dari segi teknis dan dari segi ekonomi dengan menggunakan *Life-Cycle Cost Analysis*.

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah memberikan beberapa rekomendasi pelaksanaan konservasi energi listrik pada industri manufaktur baja, dengan pertimbangan dari sisi teknis dan dari sisi ekonomi.

1.4 BATASAN MASALAH

Pembahasan skripsi ini hanya meliputi hal-hal sebagai berikut :

1. Konservasi energi listrik dilakukan melalui proses audit energi listrik.
2. Pola penggunaan energi pada industri manufaktur baja dengan tinjauan konsumsi energi spesifik (KES).
3. Proses produksi pada industri baja, hanya dibahas secara garis besar berkenaan dengan pemakaian energi listrik
4. Masalah kualitas daya dan metode-metode umum yang telah ada dalam meningkatkannya.
5. Motor listrik, sebatas pemakaian energi dan kapasitas ratingnya. Masalah rugi-rugi daya secara mikro tidak dibahas.
6. Harga listrik dari PLN dan harga energi pembangkitan sendiri.
7. Stabilitas sistem tidak dibahas.
8. Metode analisis kelayakan dari sudut pandang ekonomi menggunakan acuan *“Life-Cycle Costing Manual, for The Federal Energy Management Program”*

1.5 METODOLOGI PENELITIAN

1.5.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk :

1. Mempelajari tahapan-tahapan dalam proses produksi industri manufaktur baja yang menggunakan energi listrik.
2. Mempelajari kebijakan-kebijakan yang telah dilakukan oleh industri dan pemerintah dalam usaha konservasi energi listrik.
3. Mempelajari metoda *Life-Cycle Cost Analysis*

1.5.2 Survey Lapangan

Survey lapangan dilakukan untuk memperoleh data-data yang dibutuhkan. Data-data tersebut diperoleh dari hasil survey PSTIK UI (Pusat Studi Teknologi dan Informasi Ketenagalistrikan Universitas Indonesia). Pada skripsi ini digunakan data-data dari perusahaan-perusahaan sebagai berikut :

1. PT X, Makassar
2. PT Y, Surabaya
3. PT Z, Sidoarjo

1.5.3 Pengolahan Data dan Analisa

Pengolahan data dilakukan untuk memperoleh parameter-parameter yang digunakan dalam analisa teknis dan analisa ekonomis. Sedangkan analisa berisikan peluang-peluang yang dapat dilakukan sebagai usaha konservasi energi serta studi kelayakannya.

1.6 SISTEMATIKA PENELITIAN

Penulisan skripsi ini dibagi kedalam beberapa bab. Bab I memberikan uraian tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penelitian. Bab II membahas mengenai dasar-dasar teori yaitu pembahasan konservasi energi listrik, pembahasan tentang energi listrik dan metoda *Life-Cycle Cost Analysis*. Bab III berisikan tahapan proses produksi pada industri manufaktur baja dan penggunaan energinya. Bab IV berisikan pengolahan data dan analisa konservasi energi listrik yang dapat dilakukan dari segi teknis dan kelayakan dari segi ekonomis. Sedangkan bab V merupakan kesimpulan dari skripsi ini.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 KONSERVASI ENERGI LISTRIK

2.1.1 Pengertian

Menurut bahasa konservasi berarti pengawetan, perlindungan, pengawetan, atau pekekalan. Konservasi energi berarti menggunakan energi secara efisien dengan 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 dengan efisiensi tinggi melalui langkah-langkah penurunan berbagai kehilangan (*loss*) energi listrik pada semua taraf pengelolaan, mulai dari pembangkitan, pengiriman (*transmisi*), sampai dengan pemanfaatan. Dengan kata lain yang lebih sederhana, konservasi energi listrik adalah penghematan energi listrik.

Banyak upaya-upaya yang dapat dilakukan dalam konservasi energi listrik, upaya tersebut dapat dilakukan baik di sisi penyedia listrik (*supply*) ataupun di sisi kebutuhan daya listrik (*demand*). Dalam skripsi ini usaha konservasi energi listrik yang dibahas adalah pada sisi konsumen (*demand*) dan salah satu teknik konservasi energi listrik adalah *auditing* atau pemeriksaan tingkat penggunaan energi untuk menghasilkan suatu produk.

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.

Tahapan audit energi adalah sebagai berikut [2] :

- Survey data lapangan dan pengukuran
- Analisis peluang penghematan
- Analisis keuangan
- Implementasi proyek audit
- Evaluasi dan perkembangan proyek

2.2 ENERGI LISTRIK, BEBAN LISTRIK, DAN BIAYA LISTRIK

2.2.1 Energi Listrik, Daya Listrik, dan Beban Listrik

Daya listrik pada sistem tenaga listrik bolak-balik tiga fasa terdiri dari tiga komponen, yaitu daya kompleks, daya aktif, dan daya reaktif. Yang dimaksud dengan daya kompleks adalah jumlah tegangan dan arus yang digunakan untuk diubah energi listrik per satuan waktu. Daya kompleks mengandung komponen real dan imajiner dari daya yang diberikan.

$$S = 3 \cdot V_{RMS} \cdot I_{RMS}^* \dots\dots\dots (2.1)$$

$$S = P + jQ \dots\dots\dots (2.2)$$

$$S = S \cos \varphi + jS \sin \varphi \dots\dots\dots (2.3)$$

$$E = P \cdot t \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana,

V_{RMS} = Tegangan RMS

I_{RMS} = Arus RMS

S = daya kompleks

P = daya real

Q = daya imajiner

j = operator imajiner

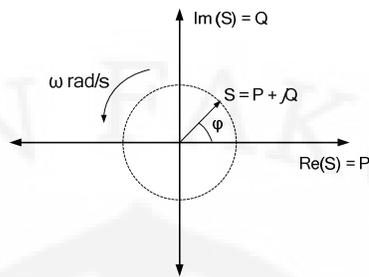
E = Energi Listrik

t = waktu atau periode

φ = Perbedaan sudut fasa antara tegangan dan arus

Daya aktif disebut juga daya real, sedangkan daya reaktif adalah daya imajiner. Daya aktif adalah daya yang bekerja, sedangkan daya reaktif adalah daya yang timbul akibat penggunaan beban – beban reaktif seperti induktor dan kapasitor. Daya reaktif muncul karena adanya pergeseran fasa antara tegangan dan arus yang dihasilkannya sehingga menyebabkan adanya daya yang berlawanan arah dengan daya yang disuplai.

Diagram fasor dari komponen daya adalah sebagai berikut :



Gambar 2.1 Diagram Fasor Daya

2.2.2 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 Perbulan, penjelasan untuk kedua biaya tersebut adalah sebagai berikut :

a. 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

b. Biaya Perbulan (pemakaian)

Biaya perbulan merupakan biaya yang harus dikeluarkan setiap bulan, biaya ini terdiri dari beberapa komponen yaitu :

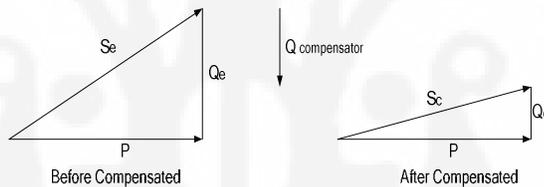
1. Biaya Beban (Abonemen)
2. Biaya Pemakaian (kWh)
3. Biaya kelebihan Pemakaian kVArh
4. Biaya Pemakaian Trafo, jika ada
5. Biaya lain-lain
 - a. Biaya Pajak Penerangan Jalan
 - b. Biaya Materai
 - c. Biaya Pajak Pertambahan Nilai

2.3 PENGARUH KUALITAS DAYA LISTRIK DAN EFISIENSI MESIN- MESIN LISTRIK TERHADAP KONSUMSI ENERGI LISTRIK

2.3.1 Pengaruh Kualitas Daya Listrik

2.3.1.1 Faktor Daya

Daya reaktif akan dikirim dari sumber ke beban, walaupun tidak akan didata pada alat ukur energi seperti layaknya daya aktif. Magnitude dari daya reaktif ini meningkat seiring dengan menurunnya faktor daya. Adanya energi yang terbuang karena adanya daya reaktif ini menyebabkan beberapa penyuplai listrik memberikan penalti berupa denda kepada konsumen yang memiliki faktor daya relatif rendah. Selain itu, keadaan ini akan meningkatkan rugi-rugi pada jaringan listrik karena meningkatnya arus yang dikirimkan. Oleh karena itu, penghematan energi yang cukup signifikan dapat dilakukan dengan meningkatkan faktor daya. Peningkatan factor daya dapat dilakukan dengan pemasangan kapasitor parallel pada sisi beban. Perbaikan tersebut dapat dijelaskan pada gambar berikut :



Gambar 2.2 Upaya peningkatan faktor daya dengan pemasangan kapasitor

Faktor daya dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Faktor Daya (Power Factor)} = \cos \varphi = \frac{P}{S} \dots\dots\dots (2.5)$$

Ukuran dari kapasitor yang digunakan untuk mengkompensasi faktor daya dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$Q_C = P \left(\tan \left[\cos^{-1} PF_{ex} \right] - \tan \left[\cos^{-1} PF_{comp} \right] \right) \dots\dots\dots (2.6)$$

Penghematan rugi-rugi jaringan yang dapat direduksi dengan peningkatan factor daya ditentukan dengan persamaan berikut :[3]

$$\% \text{ Loss}_{reduction} = \left[1 - \left(\frac{PF_{ex}}{PF_{comp}} \right)^2 \right] \times 100 \% \dots\dots\dots (2.7)$$

Di Indonesia, PLN mengenakan biaya kelebihan daya reaktif kepada para konsumen yang mempunyai faktor daya kurang dari 85%. Hal ini karena penyedia listrik (PLN) harus mengirimkan daya kompleks (kVA) yang lebih besar untuk memenuhi kebutuhan energi listrik atau daya aktif (kW) yang tetap apabila faktor dayanya buruk.

2.3.1.2 Distorsi harmonik

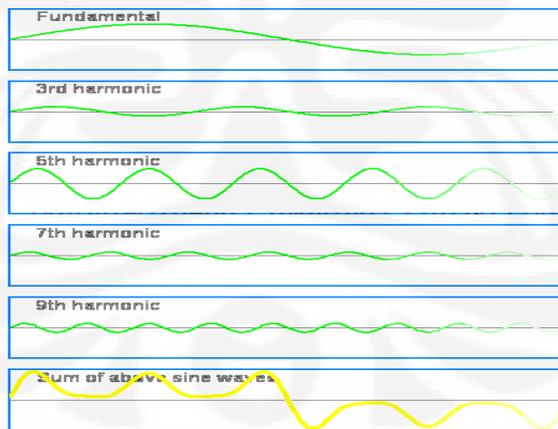
Distorsi gelombang (berdasarkan IEC 702-07-43) adalah perubahan bentuk sebuah sinyal yang tidak disengaja dan umumnya tidak disadari dengan referensi sinyal fundamental 50/60 Hz. Distorsi gelombang yang utama antara lain harmonik, interharmonik dan komponen DC.

Komponen harmonik atau biasa disebut harmonik adalah gelombang yang mempunyai frekuensi kelipatan bilangan asli terhadap frekuensi dasar. Persamaan frekuensi harmonik adalah :

$$h = n \times F \dots\dots\dots (2.8)$$

dengan :

- h : frekuensi harmonik orde ke- n
- F : frekuensi fundamental sistem (50 Hz atau 60 Hz)
- n : orde harmonik



Gambar 2.3 Pembentukan gelombang terdistorsi harmonik

Parameter dalam pengukuran harmonik yang paling umum digunakan adalah Total harmonic Distortion (THD), yang dapat dinyatakan sebagai berikut [4] :

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h>1}^{h \rightarrow \infty} M_h^2}}{M_1} \dots\dots\dots (2.9)$$

dengan M dapat berupa arus atau tegangan.

Nilai RMS besaran yang terdistorsi dapat dinyatakan dengan [4]

$$\text{Nilai RMS} = \sqrt{\sum_{h>1}^{h \rightarrow \infty} M_h^2} = M_1 \sqrt{1 + THD^2} \dots\dots\dots (2.10)$$

Distorsi harmonik dapat dikurangi dengan menggunakan filter harmonik.

2.3.2 Motor Listrik

2.3.2.1 Efisiensi

Motor induksi merupakan motor yang umum digunakan pada sektor industri. Motor induksi memiliki karakteristik induktif sebagai akibat dari penggunaan kumparan pada konstruksinya yang menghasilkan medan magnet yang memutar rotor. Salah satu parameter yang penting untuk mengidentifikasi motor listrik selama pembebanan penuh adalah efisiensi konversi dari motor (η). Efisiensi konversi adalah perbandingan antara daya mekanis terhadap daya aktif elektrik yang dikonsumsi oleh motor.

$$\eta = \frac{P_{mechanical}}{P_{electrical}} \dots\dots\dots (2.11)$$

Oleh karena adanya rugi-rugi daya pada motor (seperti friksi dan rugi inti), efisiensi motor memiliki nilai yang berbeda-beda untuk setiap jenis motor, berkisar antara 75% - 95% , dan bergantung dari ukuran motor.

Peningkatan efisiensi dari motor dapat dilakukan dengan merancang motor dengan material yang lebih baik. Jenis motor ini dikenal dengan nama motor efisiensi tinggi atau motor premium. Namun, harga motor premium lebih mahal sekitar 10% - 30 % daripada motor listrik biasa.

2.3.2.2 Pembebanan Motor

Kebanyakan motor yang digunakan pada industri mendapat pembebanan yang bervariasi. Apabila motor bekerja dalam keadaan terbeban penuh, maka efisiensi konversi motor akan tinggi, namun apabila motor bekerja tanpa beban,

efisiensi motor akan rendah. Hal ini dikarenakan motor akan tetap menyerap daya aktif listrik yang sama sehingga terjadi pemborosan energi. Untuk itu dapat digunakan pengendali pada motor agar daya input motor dapat disesuaikan dengan kebutuhan daya output atau daya mekanisnya. Keuntungan dari penggunaan pengendali motor antara lain adalah mengurangi rugi-rugi daya pada saat keadaan tanpa beban, mengurangi rugi-rugi daya akibat panas, mengurangi tegangan dan arus awal motor, dan meningkatkan efisiensi konversi antara daya mekanis terhadap daya elektris.

Pengendali yang umum digunakan adalah *Adjustable-Speed Driver* (ASD). Penggunaan ASD memberikan beberapa keuntungan dalam mengatur efisiensi sistem, terutama efisiensi konversi motor listrik. ASD dapat memberikan efisiensi yang lebih tinggi, biaya operasi yang rendah, kemudahan dalam mengendalikan motor, dan tidak membutuhkan tingkat pemeliharaan yang tinggi. ASD dapat meningkatkan efisiensi penggunaan motor sampai dengan 30%, sedangkan untuk dapur listrik, ASD dapat memberikan penghematan sampai dengan 50%.

2.4 INTERAKSI PERTIMBANGAN TEKNIS DAN EKONOMI

2.4.1 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 waktu 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 bukan lah nilai seketika (*instantaneous*), akan tetapi adalah nilai daya rata-rata maksimum yang terjadi pada suatu periode tertentu.

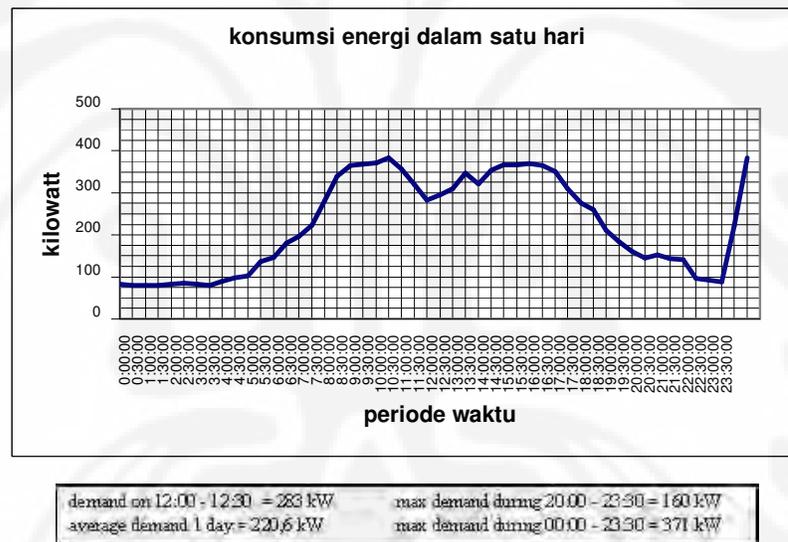
Sedangkan faktor kebutuhan (*demand factor*) adalah perbandingan kebutuhan maksimum yang terjadi terhadap tingkat nilai beban yang terpasang (*rating*).

$$\text{Kebutuhan Rata-Rata} = \frac{\text{Energi yang dikonsumsi dalam satu periode}}{\text{periode}} \quad (2.12)$$

$$\text{Faktor Kebutuhan} = \frac{\text{Kebutuhan Maksimum}}{\text{Kapasitas Terpasang}} \quad (2.13)$$

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 dimana seluruh peralatan listrik digunakan secara bersamaan pada satu waktu.

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



Gambar 2.4 Ilustrasi demand, average demand, maximum demand

2.4.2 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

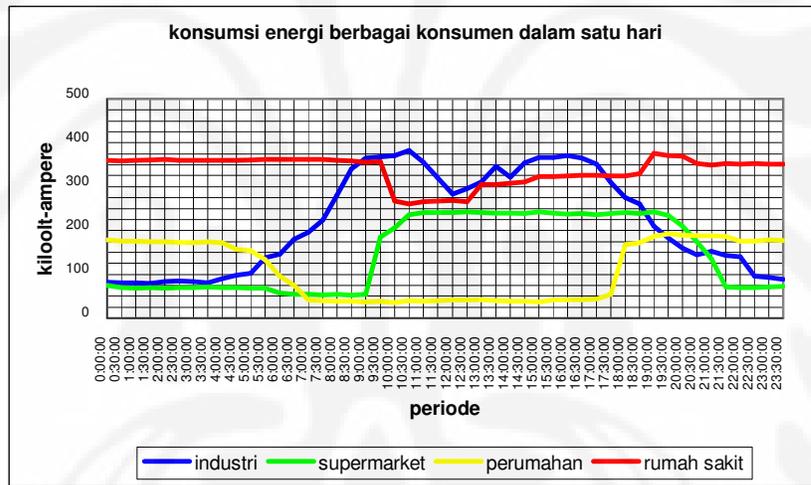
jenis konsumen selama periode tertentu terhadap kebutuhan daya maksimum yang terjadi secara serentak pada konsumen-konsumen tersebut pada periode waktu yang sama.

$$\text{Faktor Keragaman Beban} = \frac{\sum \text{Penggunaan daya maksimum}}{\text{Penggunaan daya maksimum pada waktu tertentu}} \dots\dots\dots (2.14)$$

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

$$\text{Faktor Utilitas Beban} = \frac{\text{Penggunaan daya maksimum pada waktu tertentu}}{\sum \text{Penggunaan daya maksimum}} \dots\dots\dots (2.15)$$

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



Gambar 2.5 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 para penyedia listrik adalah 1.194 kW. Dengan memperhitungkan faktor keragaman beban selama satu hari,

$$\text{Faktor Keragaman Beban} = \frac{1.194}{1.015} = 1,18 \quad ; \quad \text{Faktor utilitas beban} = \frac{1}{1,18} = 0,85$$

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

2.4.3 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.

$$\text{Faktor Beban} = \frac{\text{Daya Rata-Rata}}{\text{Kebutuhan Daya Maksimum}} \dots\dots\dots (2.16)$$

Daya rata-rata diperoleh dengan menjumlahkan seluruh pada rentang waktu yang ditentukan lalu dibagi dengan total periodenya. Ilustrasi mengenai faktor beban dapat dilihat pada gambar 2.4. 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 suatu walaupun nilai tersebut tidak berlangsung pada keseluruhan waktu.

2.5 LIFE-CYCLE COST ANALYSIS

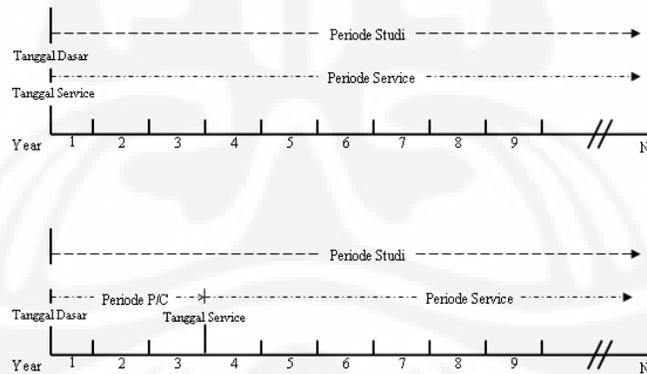
Life-Cycle Cost Analysis (LCCA) adalah suatu metode ekonomi untuk mengevaluasi suatu proyek atau usaha yang mana semua biaya dalam kepemilikan (*owning*), pengoperasian (*operating*), pemeliharaan (*maintaining*), dan pada akhirnya penjualan (*disposing*) dari proyek tersebut dipertimbangkan untuk kepentingan pada keputusan mengenai proyek tersebut. LCCA dapat digunakan untuk keputusan investasi modal dengan biaya awal yang tinggi diperdagangkan untuk mengurangi biaya wajib masa akan datang. Konservasi energi merupakan contoh yang sangat tepat untuk aplikasi LCCA.

Waktu yang tepat untuk menggunakan LCCA adalah seawal mungkin yang dapat dilakukan. Hal ini karena banyaknya pertimbangan yang harus diperhitungkan dalam menentukan kelayakan suatu proyek.

2.5.1 Penentuan Periode Analisis

Periode studi untuk LCCA adalah waktu yang dilalui yang mana harga dan keuntungan yang berhubungan dengan keputusan investasi modal adalah menarik untuk investor.

Tanggal dasar adalah titik pada waktu untuk yang mana semua biaya proyek terkait 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 dimana proyek diharapkan diimplementasikan; biaya operasi dan perawatan (termasuk biaya energi dan air yang berhubungan) secara umum diadakan setelah tanggal tersebut, bukan sebelum. Ketika terdapat delay anatar awal periode studi dan tanggal service, waktu yang menundanya dinamakan periode perencanaan/konstruksi (P/C periode). Periode P/ C digambarkan pada gambar 2.



Gambar 2.6 Ilustrasi periode studi LCC

Periode studi untuk LCCA adalah waktu berakhir dimana biaya dan keuntungan yang berhubungan dengan keputusan investasi modal menarik perhatian dalam pembuatan keputusan. 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 dari periode studi.

2.5.2 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 biaya 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 ditempat, nilai penjualan kembali, nilai *salvage* atau nilai sisa, keuntungan bersih dari beberapa penjualan, konversi, atau biaya pembuangan.

2.5.3 Perhitungan Nilai Uang terhadap Waktu Sekarang

2.5.3.1 Single Present Value (SPV)

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

$$P = C_t \left[\frac{1}{(1+d)^t} \right] \dots\dots\dots (2.17)$$

2.5.3.2 Uniform Present Value (UPV)

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

$$P = A_0 \left[\frac{(1+d)^t - 1}{d(1+d)^t} \right] \dots\dots\dots (2.18)$$

dimana :

- P : Nilai uang pada masa sekarang
- Ct : Nilai uang pada akhir periode
- A₀ : Nilai uang pada waktu rutin
- d : Tingkat pemotongan
- t : periode

2.5.4 *Life-Cycle Cost Analysis*

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

2.5.4.1 *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 :

$$LCC = I + R_{cpl} - R_{es} + E + OM\&R \dots\dots\dots (2.19)$$

dimana :

- 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

2.5.4.2 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 :

$$NS_{A:BC} = [\Delta E + \Delta W + \Delta OM\&R] - [\Delta I_0 + \Delta R_{cpl} - \Delta R_{es}] \dots\dots\dots (2.20)$$

dimana :

$NS_{A:BC}$ = *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 dari kondisi awal

ΔR_{cpl} = $(R_{cplA} - R_{cplBC})$ = Biaya pergantian 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 :

$$SIR_{A:BC} = \frac{\Delta E + \Delta OM\&R}{\Delta I_0 + \Delta R_{cpl} - \Delta R_{es}} \dots\dots\dots (2.21)$$

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 :

$$\text{AIRR} = (1 + r) \left(\text{SIR} \right)^{\frac{1}{N}} - 1 \dots\dots\dots (2.22)$$

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

Periode pengembalian atau *payback periode* 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 :

$$\sum_{t=1}^y \left[\frac{\Delta E_t + \Delta \text{OM\&R}_t - \Delta R_{\text{cpl}_t} + \Delta R_{\text{es}_t}}{(1 + d)^t} \right] \geq \Delta I_0 \dots\dots\dots (2.23)$$

2.5.5 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 III

PROSES PRODUKSI DAN KONSUMSI ENERGI PADA INDUSTRI BAJA

3.1 PT X

PT. X adalah salah satu industri manufaktur baja di Indonesia. PT X didirikan pada tanggal 12 Agustus 1969 dan mulai dioperasikan secara komersial pada tahun 1970 dan bertempat di Makasar. Dimana hasil utamanya adalah seng (Galvanized Iron Sheet), baik yang flat/rata ataupun yang bergelombang.

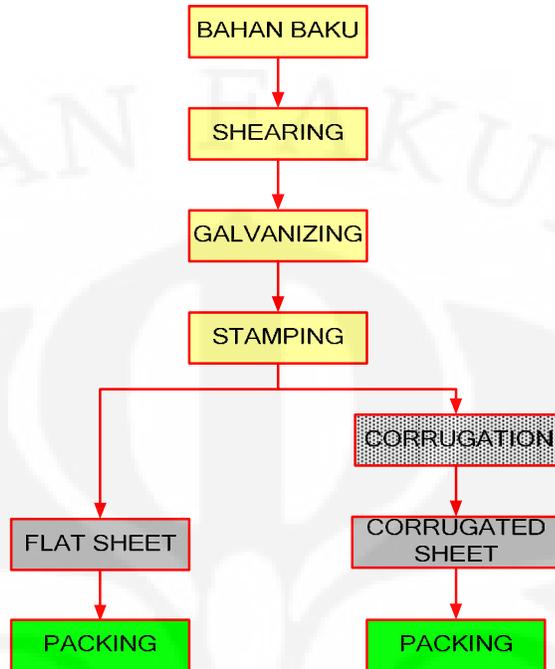
3.1.1 Produksi

3.1.1.1 Proses Produksi

Bahan baku untuk membuat seng diperoleh dari coil yard PT KRAKATAU STEEL. Urutan proses produksi dari pembuatan seng ini adalah Shearing Line, Galvanizing Line, Stamping Line, dan Corrugation Line.

Shearing line adalah proses pemotongan coil yard sesuai dengan ukuran dan ketebalan yang diinginkan. Proses ini menggunakan suatu alat pemotong besar yang menyerupai gunting besar. Output dari proses ini adalah pelat –pelat baja. Pelat-pelat baja ini kemudian diproses ke dalam galvanizing line, yang bertujuan untuk memberikan lapisan anti karat pada pelat-pelat baja ini. Setelah itu, diberikan tanda produsen “Cap Rusa” pada seng melalui proses stamping line.

Setelah proses stamping line, proses selanjtnya terbagi menjadi dua. Untuk seng flat, proses telah selesai dan siap untuk dipak dan dipasarkan, sedangkan untuk seng bergelombang dibutuhkan proses selanjtnya yang dinamakan corrugation line. Setelah itu, seng tersebut siap dipak dan dipasarkan.



Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Produksi PT X

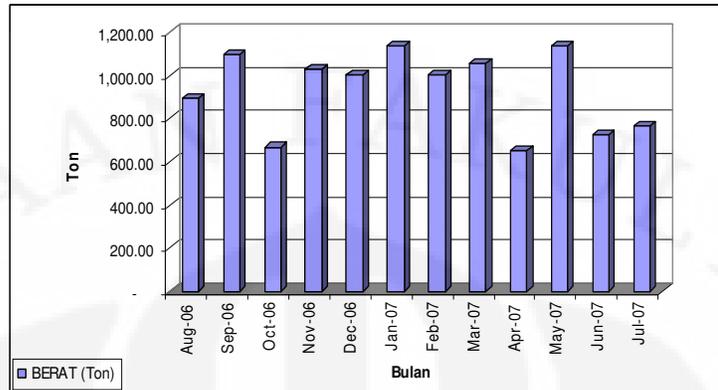
3.1.1.2 Hasil Produksi

Hasil produksi dalam satu tahun terakhir dari PT X dapat dilihat pada tabel dan gambar berikut :

Tabel 3.1 Hasil produksi PT X

BULAN	BERAT (Ton)
Agustus 2006	892,4
September 2006	1.094,3
Oktober 2006	667,3
November 2006	1.027,2
Desember 2006	998,7
Januari 2007	1.135,6
Februari 2007	998,5
Maret 2007	1.053,2
April 2007	647,9
Mei 2007	1.135,8
Juni 2007	722,9
Juli 2007	766,2
Rata-rata	928,33

Sumber : PT X, Makassar



Gambar 3.2 Grafik Produksi PT X tahun 2006 – 2007

Dari gambar 3.2 terlihat bahwa hasil produksi tertinggi adalah pada bulan Mei 2007, yaitu sebesar 1.135,8 Ton. Sedangkan produksi terendah terjadi pada bulan Agustus 2007 yaitu sebesar 417,6 Ton.

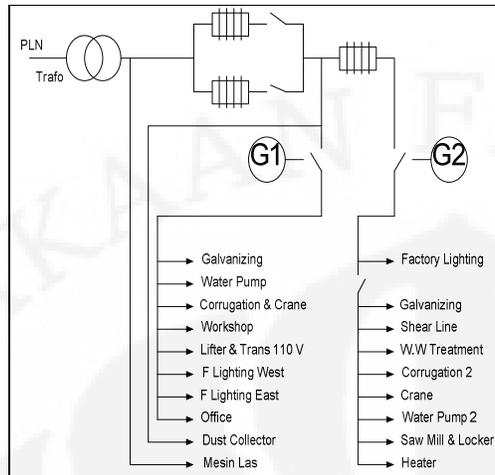
3.1.2 Sistem Kelistrikan

Sumber energi listrik PLN merupakan feeder utama, dimana pada keadaan operasi normal maka feeder PLN yang beroperasi. Spesifikasi Sumber PLN adalah sebagai berikut :

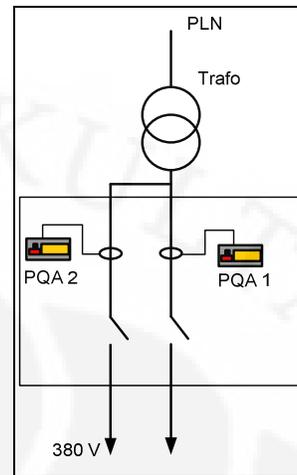
Sistem tegangan jaringan	: Jaringan Tegangan Menengah, 20 kV
Sistem tegangan internal	: 110 V – 200 V
Kapasitas Langganan	: 555 kVA
Frekuensi Kerja	: 50 Hz

3.1.2.1 Diagram Satu Garis

Diagram satu garis dan titik pengukuran pada gardu distribusi dari PT X dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 3.3 Diagram satu garis pada PT X



Gambar 3.4 Gambar titik pengukuran pada PT X

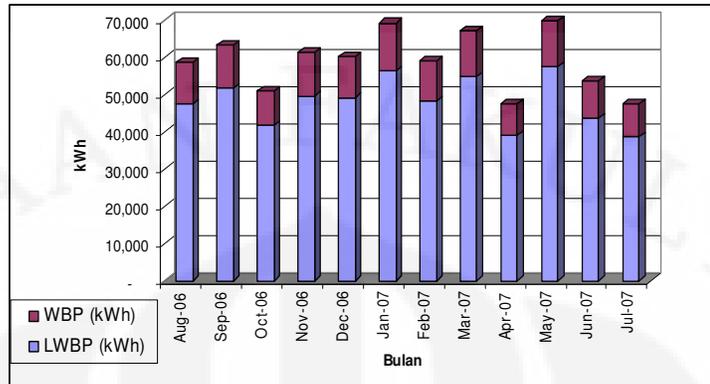
3.1.2.2 Penggunaan Energi Listrik

Penggunaan energi listrik dalam satu tahun terakhir dari PT X dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 3.2 Penggunaan energi listrik PT X

Bulan	LWBP (kWh)	WBP (kWh)	Total (kWh)
Agustus 2006	47.500	11.100	58.600
September 2006	51.600	11.800	63.400
Oktober 2006	41.700	9.200	50.900
November 2006	49.600	11.800	61.400
Desember 2006	49.200	11.100	60.300
Januari 2007	56.400	12.800	69.200
Februari 2007	48.300	10.700	59.000
Maret 2007	54.800	12.300	67.100
April 2007	39.100	8.300	47.400
Mei 2007	57.400	12.500	69.900
Juni 2007	43.700	9.900	53.600
Juli 2007	36.800	8.800	47.400
Rata-rata	48.158,3	10.858,3	59.016,7

Sumber : PT X, Makassar



Gambar 3.5 Grafik penggunaan energi listrik pada PT X tahun 2006 – 2007

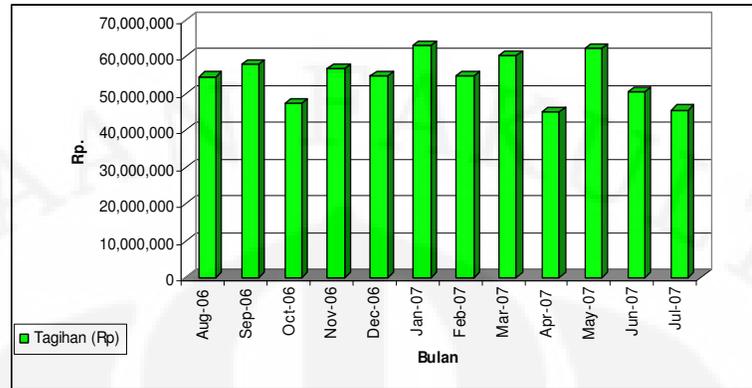
3.1.3 Biaya Energi Listrik

Biaya energi listrik dalam satu tahun terakhir dari PT X dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 3.3 Biaya energi listrik PT X

Bulan	Tagihan (Rp)
Agustus 2006	54,685,320
September 2006	57,855,765
Oktober 2006	47,460,785
November 2006	56,688,025
Desember 2006	54,937,370
Januari 2007	62,989,895
Februari 2007	54,964,245
Maret 2007	60,520,080
April 2007	45,157,620
Mei 2007	62,184,655
Juni 2007	50,472,965
Juli 2007	45,587,905
Rata-rata	54.458.719

Sumber : PT X, Makassar



Gambar 3.6 Grafik tagihan listrik PT X tahun 2006 – 2007

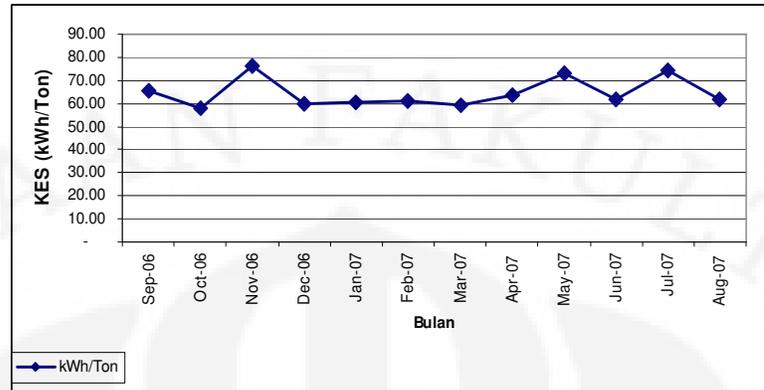
3.1.4 Konsumsi Energi Spesifik

Konsumsi energi listrik spesifik untuk dalam satu tahun terakhir dari PT X dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 3.4 Konsumsi energi spesifik PT X

Bulan	kWh	Ton	KES (kWh/Ton)
Agustus 2006	58.600	892,4	65,67
September 2006	63.400	1.094,3	57,94
Oktober 2006	50.900	667,3	76,28
November 2006	61.400	1.027,2	59,78
Desember 2006	60.300	998,7	60,38
Januari 2007	69.200	1.135,6	60,94
Februari 2007	59.000	998,5	59,09
Maret 2007	67.100	1.053,2	63,71
April 2007	47.400	647,9	73,16
Mei 2007	69.900	1.135,8	61,54
Juni 2007	53.600	722,9	74,15
Juli 2007	47.400	766,2	61,86
Rata-rata	59.016,7	928,33	64,54

Sumber : PT X, Makassar dan perhitungan



Gambar 3.7 Grafik KES PT X tahun 2006 – 2007

3.1.5 Hasil Pengukuran Besaran Listrik

3.1.5.1 Arus dan Tegangan

a. Pada titik 1

Data pengukuran arus untuk tiap fasa adalah sebagai berikut :

Tabel 3.5 Data pengukuran arus pada titik 1 di PT X

	I_R (Amp)	I_S (Amp)	I_T (Amp)	I_N (Amp)
Rata-rata	251,16	302,13	265,94	2,05
Maksimum	448,64	493,64	485,18	5,59
Minimum	151,77	182,86	163,91	1,09

Data pengukuran tegangan untuk tiap fasa adalah sebagai berikut :

Tabel 3.6 Data pengukuran tegangan pada titik 1 di PT X

	V_R (Volt)	V_S (Volt)	V_T (Volt)
Rata-rata	133,12	133,09	133,34
Maksimum	135,07	135,03	135,34
Minimum	129,75	129,86	129,91

b. Pada titik 2

Data pengukuran arus untuk tiap fasa adalah sebagai berikut :

Tabel 3.7 Data pengukuran arus pada titik 2 di PT X

	I_R (Amp)	I_S (Amp)	I_T (Amp)	I_N (Amp)
Rata-rata	2,5	3,61	3,45	5,44
Maksimum	2,6	3,82	3,68	5,59
Minimum	2,05	2,87	2,73	5,18

Data pengukuran tegangan untuk tiap fasa adalah sebagai berikut :

Tabel 3.8 Data pengukuran arus pada titik 2 di PT X

	V_R (Volt)	V_S (Volt)	V_T (Volt)
Rata-rata	228,4269	228,5141	228,5741
Maksimum	228,641	228,709	228,777
Minimum	228,041	228,15	228,164

3.1.5.2 Faktor Daya

a. Pada titik 1

Data pengukuran karakteristik faktor daya untuk tiap fasa adalah sebagai berikut :

Tabel 3.9 Data pengukuran faktor daya pada titik 1 di PT X

	PF_R	PF_S	PF_T	PF_{TOTAL}
Rata-rata	0.88	0.88	0.80	0,85
Maksimum	0.95	0.93	0.86	0,76
Minimum	0.73	0.78	0.68	0,87

b. Pada titik 2

Data pengukuran karakteristik faktor daya untuk tiap fasa adalah sebagai berikut:

Tabel 3.10 Data pengukuran faktor daya pada titik 2 di PT X

	PF_R	PF_S	PF_T	PF_{TOTAL}
Rata-rata	0,12	0,21	0,34	0,14
Maksimum	0,29	0,23	0,57	0,16
Minimum	0,05	0,19	0,11	0,17

Dengan memperhatikan faktor daya diatas, maka dapat dilakukan konservasi energi dengan penambahan kapasitor bank untuk mengurangi rugi-rugi daya pada jaringan listrik.

3.1.5.3 Distorsi Harmonik

a. Pada titik 1

Data pengukuran harmonik arus untuk tiap fasa adalah sebagai berikut :

Tabel 3.11 Data pengukuran THD arus pada titik 1 di PT X

	THD I_R (%)	THD I_S (%)	THD I_T (%)
Rata-rata	2,29	2,25	2,45
Maksimum	3,86	3,69	3,54
Minimum	1,67	1,32	1,67

b. Pada titik 2

Data pengukuran harmonik arus untuk tiap fasa adalah sebagai berikut :

Tabel 3.12 Data pengukuran THD arus pada titik 2 di PT X

	THD I_R (%)	THD I_S (%)	THD I_T (%)
Rata-rata	27,53	33,63	3,97
Maksimum	81,94	95,3	8,15
Minimum	7,72	7,64	0

Dengan melihat data THD arus total (titik1) diatas, maka rugi-rugi daya di jaringan akibat distorsi harmonik adalah kecil.

3.1.5.4 Daya

a. Pada titik 1

Data pengukuran daya kompleks untuk tiap fasa adalah :

Tabel 3.13 Data pengukuran daya kompleks pada titik 1 di PT X

	Fasa R (VA)	Fasa S (VA)	Fasa T (VA)
Rata-rata	33.410,53	40.188,47	35.434,37
Maksimum	59.792,73	65.552,73	64.701,82
Minimum	20.192,73	24.349,09	22.025,46

Data pengukuran daya aktif untuk tiap fasa adalah :

Tabel 3.14 Data pengukuran daya aktif pada titik 1 di PT X

	Fasa R (W)	Fasa S (W)	Fasa T (W)
Rata-rata	29.215,27	35.162,37	28.203,81
Maksimum	45.098,18	52.363,64	47.192,73
Minimum	17.574,55	22.418,18	18.458,18

Data pengukuran daya reaktif untuk tiap fasa adalah :

Tabel 3.15 Data pengukuran daya reaktif pada titik 1 di PT X

	Fasa R (VAr)	Fasa S (VAr)	Fasa T (VAr)
Rata-rata	15.621,72	19.150,09	21.314,87
Maksimum	40.581,82	40.221,82	44.607,27
Minimum	79.85,455	94.90,909	12.043,64

b. Pada titik 2

Data pengukuran daya kompleks untuk tiap fasa adalah :

Tabel 3.16 Data pengukuran daya kompleks pada titik 2 di PT X

	Fasa R (VA)	Fasa S (VA)	Fasa T (VA)
Rata-rata	566,18	834,55	795,28
Maksimum	589,09	883,64	850,91
Minimum	458,18	654,55	621,82

Data pengukuran daya aktif untuk tiap fasa adalah :

Tabel 3.17 Data pengukuran daya aktif pada titik 2 di PT X

	Fasa R (W)	Fasa S (W)	Fasa T (W)
Rata-rata	29,45	176,73	-111,28
Maksimum	32,73	196,36	-98,18
Minimum	0	130,91	-130,91

Data pengukuran daya reaktif untuk tiap fasa adalah :

Tabel 3.18 Data pengukuran daya reaktif pada titik 2 di PT X

	Fasa R (VAr)	Fasa S (VAr)	Fasa T (VAr)
Rata-rata	572,73	850,91	824,73
Maksimum	621,82	883,64	883,64
Minimum	392,73	621,82	589,09

3.1.5.5 Pembebanan Motor

Pembebanan motor dapat dilihat dari data pengukuran daya kompleks yang dikonsumsi motor. Faktor daya motor-motor adalah 0,8. Hasil pengukuran sesaat motor-motor adalah :

Tabel 3.19 Konsumsi daya motor-motor produksi pada PT X

Motor	Daya Kompleks (kVA)
Dust Collector	39,79
Share Line 1	28,98
Galvanizing	34,14
Waste Water Treatment	0,77
Crane	19,08
Corrugation	19,69
Workshop	12,02
Gergaji Kayu	4,68
Total	159,15

Sumber :Pengukuran pada PT X, Makassar

3.2 PT Y

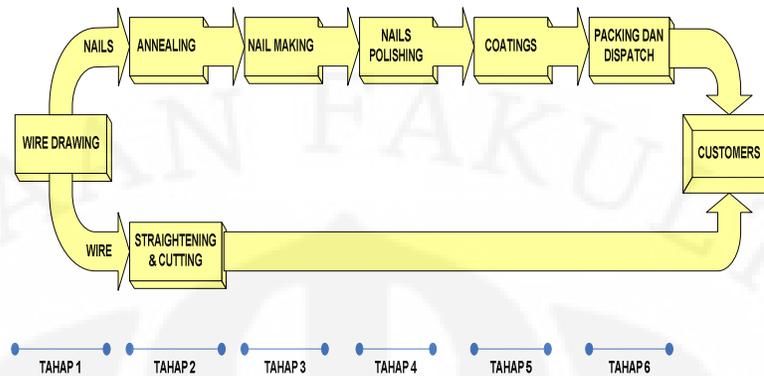
PT Y merupakan industri dalam unit bisnis produksi kawat dan paku dengan berbagai jenis dan ukuran. PT Y berdiri pada tahun 1974 yang merupakan kerja sama antara perusahaan asal jepang (MARUBENI), DJAWA INDAH, dan SURABAYA MEKABOX. Pada tahun 1985, keseluruhan manajemen perusahaan diambil alih oleh DJAWA INDAH. PT Y berlokasi di jalan Raya Bambe 88 kec, Driyorejo, Surabaya.

Produk yang dihasilkan oleh PT Y terbagi menjadi dua bagian yaitu kawat (wire) yang berkisar dari gauge 2 sampai gauge 22 dan paku (nails) yang berkisar dari 2d sampai 60d (untuk pasar Amerika), dari 1,0x15 sampai dengan 6,5x160 (untuk pasar Eropa), serta dari ¾”xBWG 18 sampai dengan 6”xBWG 6 (untuk pasar Indonesia).

3.2.1 Produksi

3.2.1.1 Proses Produksi

Proses produksi PT Y terdiri dari 6 tahapan untuk produksi paku dan 2 tahapan produksi kawat (wire) seperti pada gambar berikut :



Gambar 3.8 Diagram Alir Proses Produksi PT Y

Tahapan pertama untuk kedua jenis produksi adalah sama yaitu Wire Drawing dimana *wire rod* dibersihkan menggunakan proses *pickling* atau proses *descaling* tergantung dari aplikasinya. Kemudian *wire rod* dilapisi dengan *lubricant carriers* khusus dan kemudian didinginkan pada *multiple die system*, dimana ukuran *wire rod* dikurangi secara bertahap sampai diameter akhir yang diinginkan tercapai. Pemeriksaan dilakukan untuk menjaga bahwa ukuran sesuai dengan toleransi dan terhindar dari cacat produksi. Kawat (*wire*) yang telah selesai dalam bentuk koil kemudian ditransfer ke bagian pembuatan paku (*nails manufacturing section*) untuk produksi paku atau dikirim langsung ke pelanggan melalui proses *straightening* dan *cutting* untuk produksi kawat (*wire*) tergantung dari kebutuhan.

Untuk produksi paku, tahapan produksi berikutnya adalah proses Annealing. Pada tahapan ini, kawat (*wire*) dipanaskan pada ruang hampa sampai $\pm 700^{\circ}C$, dan akan didinginkan secara perlahan sampai pada suhu ruangan untuk mengurangi kekuatan tensil (*tensile strength*). Setiap siklus pemanasan membutuhkan waktu 18 jam. Untuk memastikan *annealed wire* dengan kualitas yang baik, distribusi panas harus merata pada seluruh ruang dan pewaktuan juga merupakan hal yang penting.

Tahapan ketiga adalah proses pembuatan paku atau *Nails Making*. Pada tahapan ini, kawat yang berupa koil dimasukkan ke dalam mesin paku (*nail machines*) yang mana secara bersamaan juga membuat kepala paku, titik ujung paku (*point*), dan memotongnya sesuai dengan panjang yang dibutuhkan. PT Y berjalan dengan mesin yang menggunakan *tungsten carbide* untuk *dies* dan *cutters*

(pemotong) yang mana dapat menjamin hasil paku yang tajam dan akurat. Peralatan-peralatan TC ini tahan lama dan juga dapat meminimalisasi bahaya penurunan kualitas paku. Perawatan preventif terhadap mesin-mesin dan bagian-bagiannya dilakukan secara ketat untuk memastikan hanya paku berkualitas yang dihasilkan oleh mesin.

Tahap keempat adalah Nails Polishing atau penghalusan/pemolesan paku. Tahapan ini bertujuan untuk memastikan hasil paku yang halus, licin, dan bebas dari kerusakan. Pada tahap ini, paku dimasukkan ke dalam mesin *polishing* dimana paku-paku tersebut digulingkan dengan serbuk gergaji (*sawdust*) atau sekam padi (*rice husk*). Tahapan ini dibutuhkan khususnya untuk paku-paku yang dikirim ke Amerika dimana tingkat akurasi tinggi dan bentuk yang baik dibutuhkan.

Tahapan selanjutnya adalah pelapisan (*coating*). Untuk menyesuaikan dengan persyaratan untuk pasar Amerika, paku-paku dilapisi dengan *green vinyl* atau *resin* yang dinamakan "*cement*". Pelapisan *green vinyl* merupakan pelapisan pencegahan terhadap karat dan pelapisan dengan *cement* digunakan sebagai alat pengikat yang mana *cement* tersebut akan mencair akibat dari panas yang ditimbulkan ketika paku dimasukkan ke dalam kayu, dan membentuk ikatan kuat antara paku dan kayu yang mencegah pelepasan paku kembali.

Tahapan keenam untuk produksi paku adalah *packing* dan *dispatch*. Pada tahapan ini, paku-paku ditimbang menggunakan mesin timbangan digital untuk memastikan akurasi berat dan kemudian di-pak ke dalam kardus. Semua pekerja yang berhubungan dengan proses pengepakan menggunakan sarung tangan untuk menghindari korosi. Untuk ekspor, kardus-kardus tersebut dimasukkan ke dalam peti kayu di dalam tas PVC dan terakhir di segel. Sebuah peti normal akan membawa paku-paku seberat 1 MT.

Untuk produksi kawat (*wire*) setelah dari tahap *wire drawing* dan sebelum dikirim ke pelanggan, *wire rod* masuk ke tahap *straightening* dan *cutting*. Untuk penggunaan batang penguatan, *wire rod* ditarik, diluruskan, dan dipotong sesuai permintaan pelanggan. Sebelum kawat dimasukkan ke dalam mesin, diameter dari setiap koil diukur untuk memastikan hanya material yang tepat saja yang masuk ke dalam mesin. Pengukuran dilakukan secara acak untuk panjang batang serta

pengukuran tarik setiap 20 buah untuk memastikan akurasi panjang. Panjang kawat tertarik dapat bervariasi dari 0,2 m sampai 12 m dan diameternya dapat bervariasi dari 1,5 mm sampai 12 mm.

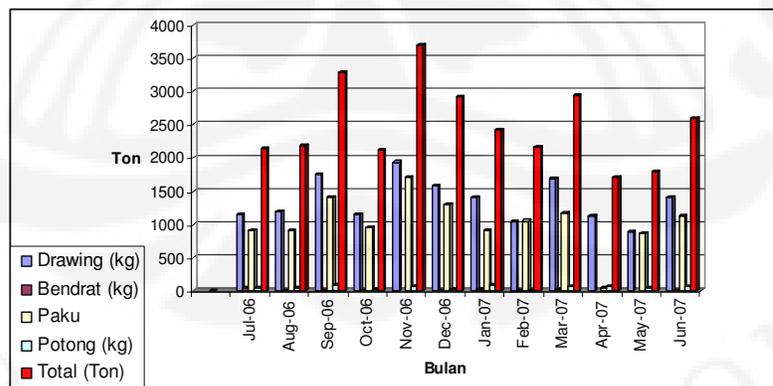
3.2.1.2 Hasil Produksi

Hasil produksi dalam satu tahun terakhir dari PT Y dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 3.20 Hasil produksi Y

Bulan	Drawing (kg)	Bendrat (kg)	Paku (kg)	Potong (kg)	Total
Juli 2007	1.146,57	40,11	909,18	51,78	2.147,64
Agustus 2006	1.186,39	0,33	915,35	53,25	2.187,69
September 2006	1.751,49	3,49	1.410,09	90,55	3.286,99
Oktober 2006	1.137,71	0,16	950,67	24,13	2.128,31
November 2006	1.935,33		1.710,22	58,44	3.703,99
Desember 2006	1.572,80	2,28	1.300,19	33,63	2.908,89
Januari 2007	1.409,91	16,33	910,14	81,45	2.417,83
Februari 2007	1.042,83	0,05	1.050,47	6,06	2.158,41
Maret 2007	1.693,05	18,48	1.170,05	59,89	2.941,46
April 2007	1.131,23		52,52	58,22	1.714,67
Mei 2007	888,09		857,93	44,35	1.790,36
Juni 2007	1.401,51	1,33	1.121,33	69,82	2.593,99
Rata-rata	1.358,07	9,17	1.029,85	52,63	2.498,45

Sumber : PT Y, Surabaya



Gambar 3.9 Grafik hasil produksi PT Y

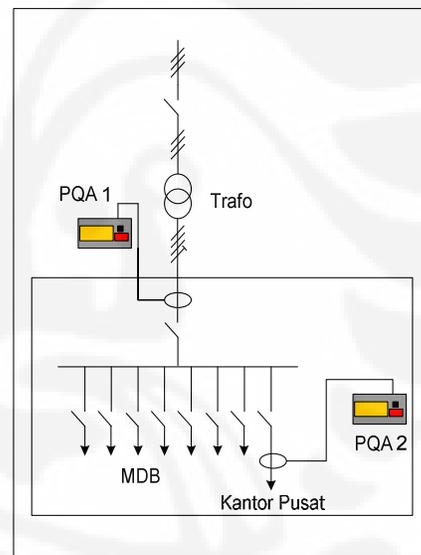
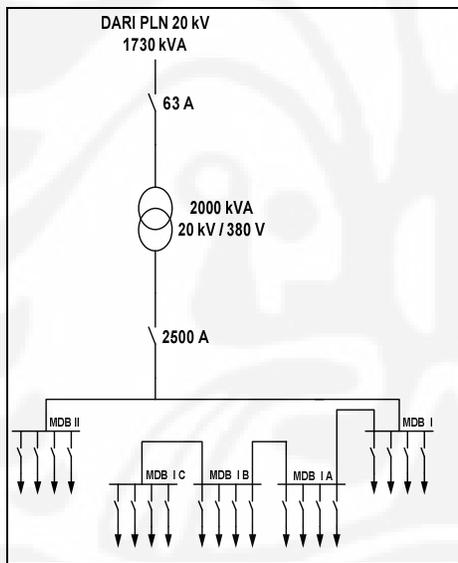
3.2.2 Sistem Kelistrikan

Sumber energi listrik PLN merupakan feeder utama, dimana pada keadaan operasi normal maka feeder PLN yang beroperasi. Spesifikasi Sumber PLN adalah sebagai berikut :

Sistem tegangan jaringan	: Jaringan Tegangan Menengah, 20 kV
Sistem tegangan internal	: 220 V – 380 V
Kapasitas Langgan	: 1730 kVA
Frekuensi Kerja	: 50 Hz

3.2.2.1 Diagram Satu Garis

Diagram satu garis dan titik pengukuran pada gardu distribusi dari PT Y dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 3.10 Diagram satu garis PT Y **Gambar 3.11** Gambar titik pengukuran pada PT Y

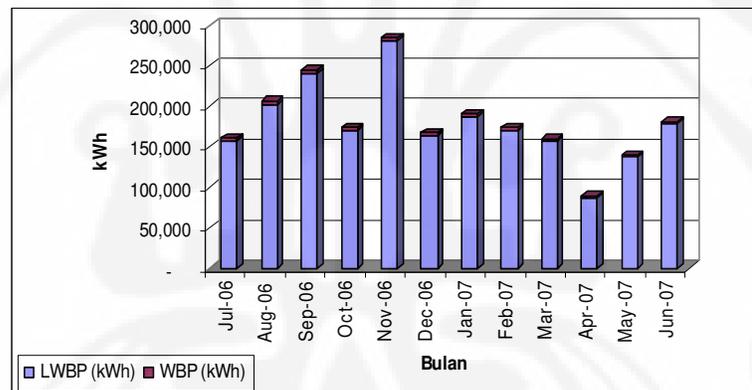
3.2.2.2 Penggunaan Energi Listrik

Penggunaan energi listrik dalam satu tahun terakhir dari PT Y dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 3.21 Penggunaan energi listrik PT Y

Bulan	LWBP (kWh)	WBP (kWh)	Total (kWh)
Juli 2007	157.500	3.000	160.500
Agustus 2006	202.800	3.300	206.100
September 2006	240.600	3.900	244.500
Oktober 2006	170.880	2.910	173.790
November 2006	281.430	3.510	284.940
Desember 2006	164.400	2.640	167.040
Januari 2007	188.040	2.910	190.950
Februari 2007	170.610	2.610	173.220
Maret 2007	156.990	2.700	159.690
April 2007	86.430	2.190	88.620
Mei 2007	136.920	2.190	139.110
Juni 2007	179.130	2.430	181.560
Rata-rata	177.978	2.858	180.835

Sumber : PT Y, Surabaya



Gambar 3.12 Grafik konsumsi energi listrik PT Y

3.2.3 Biaya Energi Listrik

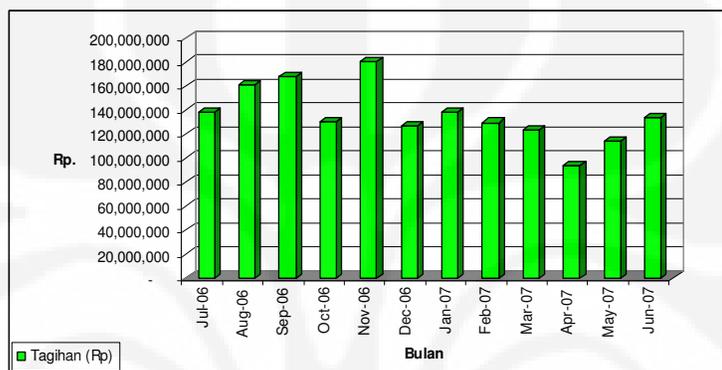
Biaya energi listrik dalam satu tahun terakhir dari PT Y dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 3.22 Biaya energi listrik PT Y

Bulan	Tagihan (Rp)
Juli 2006	137.872.345
Agustus 2006	160.931.698
September 2006	168.083.482
Oktober 2006	130.078.249

November 2006	180.743.897
Desember 2006	126.842.973
Januari 2007	137.837.485
Februari 2007	129.617.035
Maret 2007	123.560.218
April 2007	93.635.608
Mei 2007	113.908.650
Juni 2007	133.266.047
Rata-rata	136.364.807

Sumber : PT Y, Surabaya



Gambar 3.13 Grafik tagihan listrik PT Y

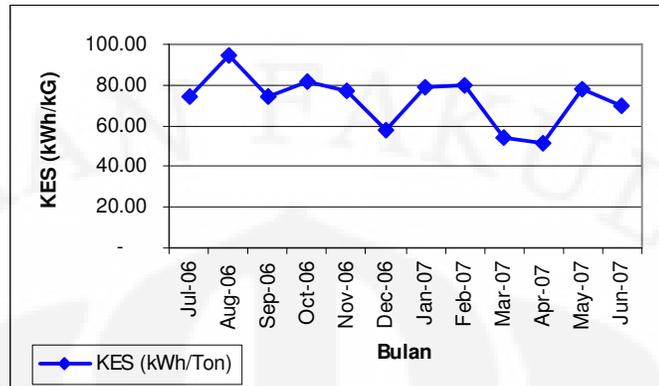
3.2.4 Konsumsi Energi Spesifik

Konsumsi energi listrik spesifik dalam satu tahun terakhir dari PT Y dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 3.23 Konsumsi energi spesifik PT Y

Bulan	kWh	Ton	KES (kWh/Ton)
Agustus 2006	160.500	2.147,64	74,73
September 2006	206.100	2.187,69	94,21
Oktober 2006	244.500	3.286,99	74,38
November 2006	173.790	2.128,31	81,66
Desember 2006	284.940	3.703,99	76,93
Januari 2007	167.040	2.908,89	57,42
Februari 2007	190.950	2.417,83	78,98
Maret 2007	173.220	2.158,41	80,25
April 2007	159.690	2.941,46	54,29
Mei 2007	88.620	1.714,67	51,68
Juni 2007	139.110	1.790,36	77,70
Juli 2007	181.560	2.593,99	69,99
Rata-rata	180.835	2.498,35	72,69

Sumber : PT Y, Surabaya



Gambar 3.14 Grafik KES PT Y

3.2.5 Hasil Pengukuran Besaran Listrik

3.2.5.1 Arus dan Tegangan

a. Pada titik 1

Data pengukuran arus untuk tiap fasa adalah sebagai berikut :

Tabel 3.24 Data pengukuran arus pada titik 1 di PT Y

	I_R (Amp)	I_S (Amp)	I_T (Amp)
Rata-rata	745,3	738,2	759,4
Maksimum	1825,4	1803,6	1831,4
Minimum	10,2	0	0

Data pengukuran tegangan untuk tiap fasa adalah sebagai berikut :

Tabel 3.25 Data pengukuran tegangan pada titik 1 di PT Y

	V_R (Volt)	V_S (Volt)	V_T (Volt)
Rata-rata	227,14	227,74	227,39
Maksimum	234,45	234,61	234,04
Minimum	217,83	219,03	218,40

b. Pada titik 2

Data pengukuran arus untuk tiap fasa adalah sebagai berikut :

Tabel 3.26 Data pengukuran arus pada titik 2 di PT Y

	I_R (Amp)	I_S (Amp)	I_T (Amp)
Rata-rata	17,1	3,2	14,1
Maksimum	68,3	18,2	39,9
Minimum	0	0	0

Data pengukuran tegangan untuk tiap fasa adalah sebagai berikut :

Tabel 3.27 Data pengukuran tegangan pada titik 2 di PT Y

	V_R (Volt)	V_S (Volt)	V_T (Volt)
Rata-rata	227,58	227,99	227,47
Maksimum	235,14	235,24	235,27
Minimum	218,85	220,37	220,42

3.2.5.2 Faktor Daya

a. Pada titik 1

Data pengukuran karakteristik faktor daya untuk tiap fasa adalah sebagai berikut :

Tabel 3.28 Data pengukuran faktor daya pada titik 1 di PT Y

	PF_R	PF_S	PF_T	PF_{TOTAL}
Rata-rata	0,94	0,89	0,87	0,83
Maksimum	1	1	1	0,99
Minimum	0,61	0,37	0,4	0,57

b. Pada titik 2

Data pengukuran karakteristik faktor daya untuk tiap fasa adalah sebagai berikut :

Tabel 3.29 Data pengukuran faktor daya pada titik 2 di PT Y

	PF_R	PF_S	PF_T	PF_{TOTAL}
Rata-rata	0,98	0,98	1,00	0,81
Maksimum	0,99	1,00	0,99	0,99
Minimum	0,97	0,94	0,99	0,59

Dengan memperhatikan faktor daya diatas, maka dapat dilakukan konservasi energi dengan penambahan kapasitor bank untuk mengurangi rugi-rugi daya pada jaringan listrik.

3.2.5.3 Distorsi Harmonik

a. Pada titik 1

Data pengukuran karakteristik harmonik arus untuk tiap fasa adalah sebagai berikut :

Tabel 3.30 Data pengukuran THD arus pada titik 1 di PT Y

	THD I_R (%)	THD I_S (%)	THD I_T (%)
Rata-rata	21,92	20,81	20,25
Maksimum	42,31	66,65	56,64
Minimum	3,18	2,49	1,34

b. Pada titik 2

Data pengukuran karakteristik harmonik arus untuk tiap fasa adalah sebagai berikut :

Tabel 3.31 Data pengukuran THD arus pada titik 2 di PT Y

	THD I_R (%)	THD I_S (%)	THD I_T (%)
Rata-rata	46,80	30,80	17,67
Maksimum	66,28	73,75	55,23
Minimum	0	0	0

Dengan melihat data THD arus total (titik1) diatas, maka rugi-rugi daya di jaringan akibat distorsi harmonik tinggi. Oleh karena itu dapat dilakukan konservasi energi dengan menggunakan filter harmonik.

3.2.5.4 Daya

a. Pada titik 1

Data pengukuran daya kompleks untuk tiap fasa adalah :

Tabel 3.32 Data pengukuran daya kompleks pada titik 1 di PT Y

	Fasa R (kVA)	Fasa S (kVA)	Fasa T (kVA)
Rata-rata	162,56	161,42	165,99
Maksimum	389,33	385,47	390,52
Minimum	2,17	0	0

Data pengukuran daya aktif untuk tiap fasa adalah :

Tabel 3.33 Data pengukuran daya aktif pada titik 1 di PT Y

	Fasa R (kW)	Fasa S (kW)	Fasa T (kW)
Rata-rata	160,27	158,33	161,13
Maksimum	383,54	376,77	380,30
Minimum	2,16	0	0

Data pengukuran daya reaktif untuk tiap fasa adalah :

Tabel 3.34 Data pengukuran daya reaktif pada titik 1 di PT Y

	Fasa R (kVAr)	Fasa S (kVAr)	Fasa T (kVAr)
Rata-rata	24,86	28,81	35,27
Maksimum	113,57	124,19	143,55
Minimum	-22,6	-19,41	-12,33

b. Pada titik 2

Data pengukuran daya kompleks untuk tiap fasa adalah :

Tabel 3.35 Data pengukuran daya kompleks pada titik 2 di PT Y

	Fasa R (kVA)	Fasa S (kVA)	Fasa T (kVA)
Rata-rata	3,63	0,66	3,16
Maksimum	15,13	3,8	8,83
Minimum	0	0	0

Data pengukuran daya aktif untuk tiap fasa adalah :

Tabel 3.36 Data pengukuran daya aktif pada titik 2 di PT Y

	Fasa R (kW)	Fasa S (kW)	Fasa T (kW)
Rata-rata	3,51	0,66	2,51
Maksimum	14,96	3,75	8,76
Minimum	0	0	0

Data pengukuran daya reaktif untuk tiap fasa adalah :

Tabel 3.37 Data pengukuran daya reaktif pada titik 2 di PT Y

	Fasa R (kVAr)	Fasa S (kVAr)	Fasa T (kVAr)
Rata-rata	0,84	0,12	1,45
Maksimum	2,51	0,99	2,44
Minimum	0	0	-0,14

3.2.5.5 Pembebanan Motor

Data konsumsi daya pada motor-motor yang digunakan oleh PT Y dapat dilihat pada gambar berikut :

Tabel 3.38 Konsumsi daya motor-motor produksi pada PT Y

BEBAN	DAYA (kW)
Wire Drawings	784.45
Nails	326.86
Polishing	130.74

Sumber :Pengukuran pada PT Y, Surabaya

3.3 PT Z

PT Z merupakan industri peleburan baja terbesar di Jawa Timur dengan hasil produksi berupa *billet* dan *wire rod* sebagai produk akhir. Perusahaan ini beroperasi pada tahun 1976 dengan berlokasi di Desa Kedungturi, Taman Sepanjang, Sidoarjo. Divisi-divisi yang ada pada perusahaan ini adalah :

1) *Steel Melting Stations (SMS) Division sebagai penghasil Billet*

Produk dari *Steel Melting Shop* adalah *billet*, dengan bahan dasar *scrap*. Hasil produksi bervariasi dengan ukuran : 125 mm, 150 mm, 160 mm dengan panjang 9,2 m, dan 4,5 m, yang mana produksi tersebut sebagian di konsumsi sendiri untuk diproses di *rolling mill* dan sebagian dipasarkan/dijual. Peralatan yang terdapat pad divisi SMS adalah :

1. *Electric Arc Furnace (EAF)*
2. *Ladle Metallurgy / LRF (Ladle Refinishing Furnace)*
3. *Billet Caster / CCM (Continuous Casting Machine)*

2) *Rolling Mill Division Sebagai penghasil Wire-Rod*

Rolling mill memproduksi bahan dasar *billet* menjadi *wire rod coil* dan *deformed bar*, adapun ukuran yang mampu dihasilkan : 5,4 mm-17 mm untuk *wire rod*, dan 16 mm – 29 mm untuk *deformed bar*. *Rolling mill* mempunyai 2 saluran produksi :

- a. Saluran A, dengan peralatan :
 - *Walking Hearth Furnace / BRH (Billet Reheating Furnace)*
 - *Horizontal vertical ESS*
 - *100 mtr/sec No twist 10 stand block mill*
 - *Cooling Conveyor* untuk mendistribusikan *coil* ke *Finishing Area*
 - *Insulating Hoods for retarded cooling*

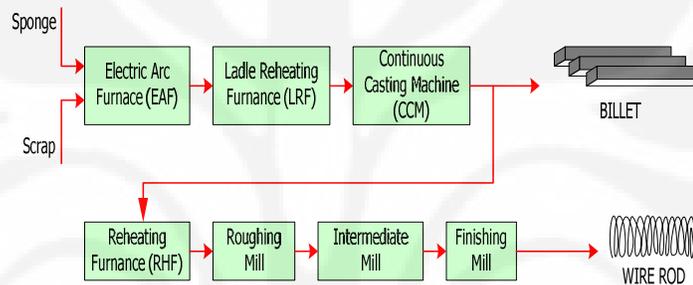
b. Saluran B, dengan peralatan:

- *Furnace type pusher / BRF (Billet Reheating Furnace)*
- *Cross Country Mill*
- *65mtr/sec No Twist 8 stand Block Mill*
- *Cooling Conveyor*

3.3.1 Produksi

3.3.1.1 Proses Produksi

Proses produksi dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 3.15 Diagram Alir Proses Produksi PT Z

Pada divisi *Steel Melting Stations (SMS)* sebagai penghasil *Billet*, *scrap* dan *sponge* sebagai material dasar dipanaskan hingga mencair menggunakan *Electric Arc Furnace*, kemudian cairan panas tersebut dimasukan kedalam proses *Ladle Reheating Furnace* untuk membentuk komposisi material sesuai dengan kebutuhan, kemudian material yang telah sesuai komposisinya masuk kedalam proses *Continuous Casting Machine* untuk dicetak menjadi *billet* sesuai dengan dimensi yang telah ditentukan.

Pada divisi *Rolling Mill* sebagai penghasil *wire rod*, *billet* sebagai bahan dasar masuk kedalam *Reheating Furnace* untuk dipanaskan kembali hingga mudah untuk dibentuk, kemudian dilanjutkan kedalam proses *Roughing Mill* untuk dilakukan penarikan bahan dasar yang telah dipanaskan tersebut. Setelah ditarik bahan tersebut masuk kedalam proses *Intermediate Mill* untuk dibentuk sesuai dengan dimensi kawat yang diinginkan, kemudian setelah dibentuk sesuai dengan dimensi yang diinginkan wire tersebut masuk kedalam proses *Finishing*

Mill untuk dilapisi, digulung dan dipotong membentuk *wire rod* sesuai dengan permintaan,

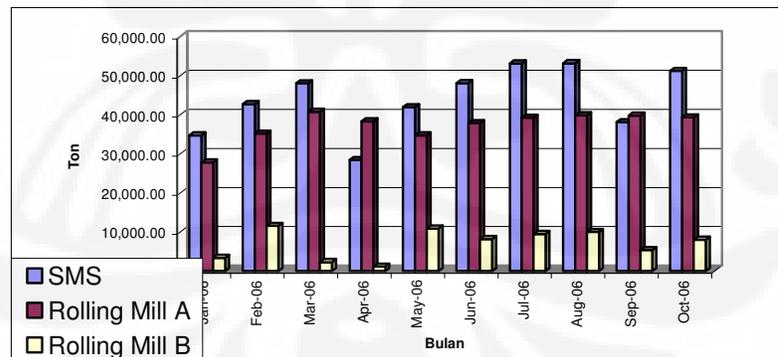
3.3.1.2 Hasil Produksi

Hasil produksi dalam satu tahun terakhir dari PT Z dapat dilihat pada tabel dan gambar berikut :

Tabel 3.39 Hasil produksi PT Z tahun 2006

Bulan (2006)	Produksi				Total (Ton)
	SMS (Ton)	Rolling Mill (Ton)			
		A	B	Total	
Januari	34,746.56	27,767.24	3,382.60	31,149.84	65,896.40
Februari	42,711.93	35,192.82	11,517.90	46,710.72	89,422.65
Maret	47,985.65	40,750.82	2,269.09	43,019.91	91,005.56
April	28,380.25	38,336.97	1,139.48	39,476.45	67,856.70
Mei	41,925.77	34,751.79	10,893.42	45,645.21	87,570.98
Juni	48,093.30	37,842.34	8,184.97	46,027.31	94,120.61
Juli	53,133.69	39,258.77	9,495.51	48,754.28	101,887.97
Agustus	53,167.23	39,841.39	10,015.00	49,856.39	103,023.62
September	38,078.38	39,761.89	5,346.91	45,108.80	83,187.18
Oktober	51,236.01	39,334.05	8,044.18	47,378.23	98,614.24
Rata-rata	43,945.88	37,283.81	7,028.91	44,312.71	88,258.59

Sumber : PT Z, Sidoarjo



Gambar 3.16 Grafik Produksi PT Z tahun 2006

3.3.2 Sistem Kelistrikan

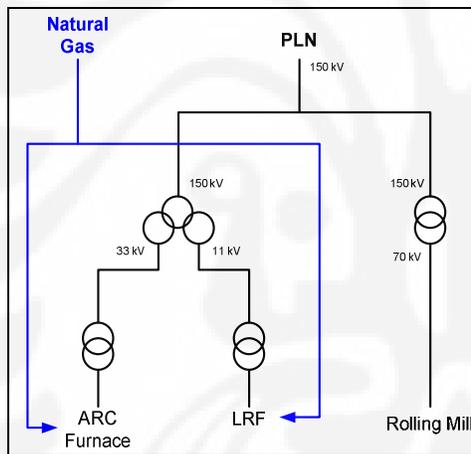
Energi listrik digunakan pada peralatan produksi utama serta peralatan penunjang seperti : *Electric Arc Furnace (EAF)*, *Ladle Refining Furnace (LRF)*, *Reheating Furnace*, motor-motor yang menggerakkan *rolling mill*, *conveyor*, *pump*,

fan, air conditioning, kompresor, begitu pula untuk oxygen plant, penerangan dan lainnya. Penggunaan energi listrik pada proses produksi merupakan konsumsi energi terbesar dari seluruh proses produksi di PT Z.

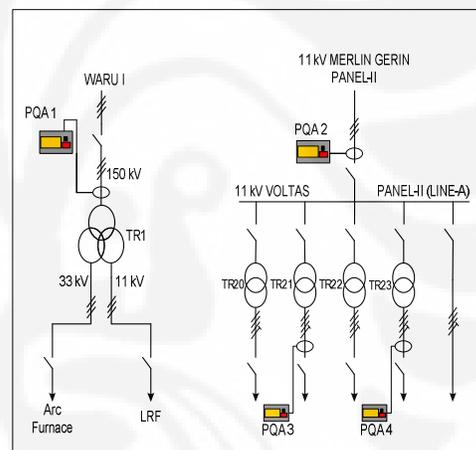
Energi listrik yang digunakan pada proses produksi dan peralatan penunjang diperoleh dari sumber listrik PLN pada golongan tarif I3 dengan kapasitas langganan daya sebesar 99 MVA. Kondisi saat ini proses produksi di PT Z yang menggunakan energi listrik dilakukan selama 24 jam kecuali pada periode jam 18:00 hingga jam 22:00 produksi yang menggunakan energi listrik berhenti beroperasi.

3.3.2.1 Diagram Satu Garis

Diagram satu garis dan titik pengukuran pada gardu distribusi dari PT Z dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 3.17 Diagram satu garis PT Z



Gambar 3.18 Gambar titik pengukuran pada PT Z

3.3.2.2 Penggunaan Energi Listrik

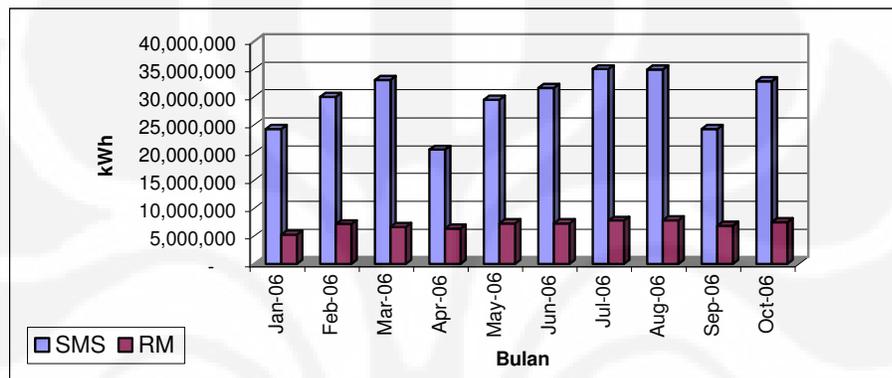
Penggunaan energi listrik dalam satu tahun terakhir dari PT Z dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 3.40 Penggunaan energi listrik PT Z

Bulan	SMS	RM	Total
Januari	24.214.396	5.273.782	53.702.574
Februari	30.048.384	7.123.703	67.220.471

Maret	33.023.851	6.622.040	72.669.742
April	20.547.740	6.344.143	47.439.623
Mei	29.518.332	7.305.263	66.341.927
Juni	31.647.363	7.319.387	70.614.113
Juli	35.012.402	7.785.511	77.810.315
Agustus	34.934.198	7.863.364	77.731.760
September	24.248.496	6.847.798	55.344.790
Oktober	32.825.259	7.520.893	73.171.411
Rata-rata	29.602.042	7.000.588	66.204.673

Sumber : Rekening listrik PT Z, Sidoarjo



Gambar 3.19 Grafik konsumsi energi listrik PT Z

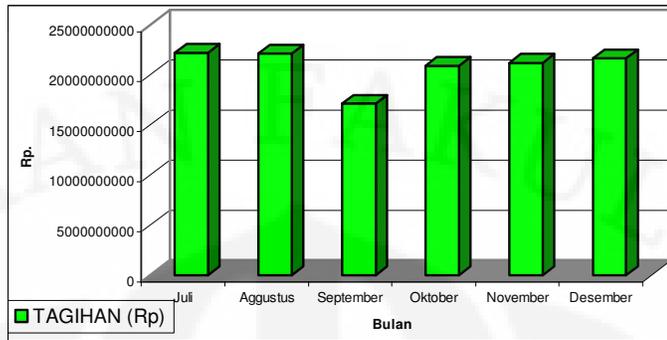
3.3.3 Biaya Energi Listrik

Biaya energi listrik dalam satu tahun terakhir dari PT Y dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 3.41 Biaya energi listrik PT Z

BULAN (2006)	TAGIHAN (Rp)
Juli	22.264.166.400
Agustus	22.171.811.200
September	17.145.744.000
Oktober	20.946.609.600
November	21.250.129.600
Desember	21.699.753.600
Rata-rata	20.913.035.733

Sumber : PT Z, Sidoarjo



Gambar 3.20 Grafik tagihan listrik PT Z

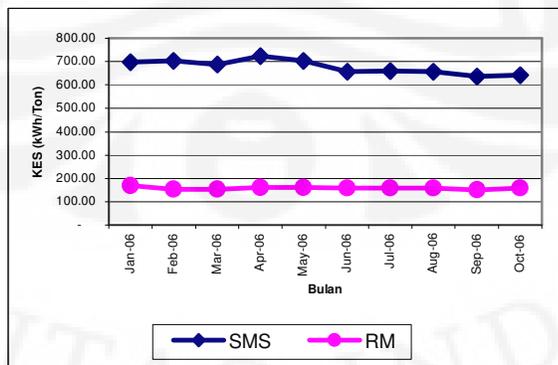
3.3.4 Konsumsi Energi Spesifik

Konsumsi energi listrik spesifik dalam satu tahun terakhir dari PT PT Z dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 3.42 Konsumsi energi spesifik PT Z

Bulan	SMS (kWh/Ton)		RM (kWh/Ton)		
	EAF	Total	Line A	Line B	Total
Januari	556,77	696,89	131,51	211,79	169,30
Februari	567,37	703,51	124,85	139,47	152,51
Maret	552,16	688,20	121,83	250,07	153,93
April	579,61	724,02	129,76	337,48	160,71
Mei	560,32	704,06	131,65	149,71	160,04
Juni	522,28	658,04	128,88	159,65	159,02
Juli	526,76	658,95	130,10	158,68	159,69
Agustus	527,25	657,06	130,29	150,63	157,72
September	503,75	636,80	122,54	180,23	151,81
Oktober	510,71	640,67	131,87	149,09	158,74
Rata-rata	540,70	676,82	128,33	188,68	158,35

Sumber : PT Z, Sidoarjo



Gambar 3.21 Grafik KES PT Z

3.3.5 Hasil Pengukuran Besaran Listrik

3.3.5.1 Arus dan Tegangan

- a. Pada titik 1

Data pengukuran arus untuk tiap fasa adalah sebagai berikut :

Tabel 3.43 Data pengukuran arus pada titik 1 di PT Z

	I_R (Amp)	I_S (Amp)	I_T (Amp)
Rata-rata	129,51	126,2	124,84
Maksimum	290,51	254,1	241,71
Minimum	50,34	49,49	49,33

Data pengukuran tegangan untuk tiap fasa adalah sebagai berikut :

Tabel 3.44 Data pengukuran tegangan pada titik 1 di PT Z

	V_R (Volt)	V_S (Volt)	V_T (Volt)
Rata-rata	81.733	89.533	88.171
Maksimum	83.470	91.460	90.040
Minimum	80.410	88.070	87.020

- b. Pada titik 2

Data pengukuran arus untuk tiap fasa adalah sebagai berikut :

Tabel 3.45 Data pengukuran arus pada titik 2 di PT Z

	I_R (Amp)	I_S (Amp)	I_T (Amp)
Rata-rata	391	394	392
Maksimum	409,2	412,1	410,3
Minimum	347,9	352,5	353,4

Data pengukuran tegangan untuk tiap fasa adalah sebagai berikut :

Tabel 3.46 Data pengukuran tegangan pada titik 2 di PT Z

	V_R (Volt)	V_S (Volt)	V_T (Volt)
Rata-rata	11.326	11.307	11.394
Maksimum	11.453	11.428	11.515
Minimum	11.164	11.150	11.245

- c. Pada titik 3

Data pengukuran arus untuk tiap fasa adalah sebagai berikut :

Tabel 3.47 Data pengukuran arus pada titik 3 di PT Z

	I_R (Amp)	I_S (Amp)	I_T (Amp)
Rata-rata	633,8	328,1	649,0
Maksimum	1234	1230,8	1256,2
Minimum	34,9	33,9	36,4

Data pengukuran tegangan untuk tiap fasa adalah sebagai berikut :

Tabel 3.48 Data pengukuran tegangan pada titik 3 di PT Z

	V_R (Volt)	V_S (Volt)	V_T (Volt)
Rata-rata	737,59	736,26	733,63
Maksimum	766,86	766,25	763,72
Minimum	707,46	706,31	704,73

d. Pada titik 4

Data pengukuran arus untuk tiap fasa adalah sebagai berikut :

Tabel 3.49 Data pengukuran arus pada titik 4 di PT Z

	I_R (Amp)	I_S (Amp)	I_T (Amp)
Rata-rata	1078,9	1066,7	1090,5
Maksimum	1239,9	1224,8	1246,9
Minimum	368,5	368,2	378,6

Data pengukuran tegangan untuk tiap fasa adalah sebagai berikut :

Tabel 3.50 Data pengukuran tegangan pada titik 4 di PT Z

	V_R (Volt)	V_S (Volt)	V_T (Volt)
Rata-rata	713,95	709,99	711,34
Maksimum	732,58	730,41	731,17
Minimum	706,31	702,08	703,3

3.3.5.2 Faktor Daya

a. Pada titik 1

Data pengukuran karakteristik faktor daya untuk tiap fasa adalah sebagai berikut :

Tabel 3.51 Data pengukuran faktor daya pada titik 1 di PT Z

	PF_R	PF_S	PF_T	PF_{TOTAL}
Rata-rata	0,86	0,86	0,86	0,86
Maksimum	0,99	0,99	1	0,99
Minimum	0,01	0,01	0,01	0,01

b. Pada titik 2

Data pengukuran karakteristik faktor daya untuk tiap fasa adalah sebagai berikut :

Tabel 3.52 Data pengukuran faktor daya pada titik 2 di PT Z

	PF_R	PF_S	PF_T	PF_{TOTAL}
Rata-rata	0,83	0,83	0,84	0,83
Maksimum	0,85	0,84	0,86	0,85
Minimum	0,75	0,75	0,76	0,75

c. Pada titik 3

Data pengukuran karakteristik faktor daya untuk tiap fasa adalah sebagai berikut :

Tabel 3.53 Data pengukuran faktor daya pada titik 3 di PT Z

	PF_R	PF_S	PF_T	PF_{TOTAL}
Rata-rata	0,56	0,5	0,52	0,53
Maksimum	0,76	0,72	0,74	0,74
Minimum	0,09	0,003	0,03	0,05

d. Pada titik 4

Data pengukuran karakteristik faktor daya untuk tiap fasa adalah sebagai berikut :

Tabel 3.54 Data pengukuran faktor daya pada titik 4 di PT Z

	PF_R	PF_S	PF_T	PF_{TOTAL}
Rata-rata	0,79	0,72	0,73	0,73
Maksimum	0,75	0,73	0,74	0,74
Minimum	0,69	0,68	0,69	0,69

Dengan memperhatikan faktor daya diatas, maka dapat dilakukan konservasi energi dengan penambahan kapasitor bank untuk mengurangi rugi-rugi daya pada jaringan listrik.

3.3.5.3 Distorsi Harmonik

a. Pada titik 1

Data pengukuran karakteristik harmonik arus untuk tiap fasa adalah sebagai berikut :

Tabel 3.55 Data pengukuran THD arus pada titik 1 di PT Z

	THD I_R (%)	THD I_S (%)	THD I_T (%)
Rata-rata	6,55	8,41	6,32
Maksimum	34,29	61,64	44,57
Minimum	0,67	0,81	0,59

b. Pada titik 2

Data pengukuran karakteristik harmonik arus untuk tiap fasa adalah sebagai berikut :

Tabel 3.56 Data pengukuran THD arus pada titik 2 di PT Z

	THD I_R (%)	THD I_S (%)	THD I_T (%)
Rata-rata	26,1	25,85	27,5
Maksimum	38,15	35,8	38,5
Minimum	8,4	13,29	12,58

c. Pada titik 3

Data pengukuran karakteristik harmonik arus untuk tiap fasa adalah sebagai berikut :

Tabel 3.57 Data pengukuran THD arus pada titik 3 di PT Z

	THD I_R (%)	THD I_S (%)	THD I_T (%)
Rata-rata	53,90	53,96	53,44
Maksimum	88,6	89,11	88,47
Minimum	32,28	32,05	31,64

d. Pada titik 4

Data pengukuran karakteristik harmonik arus untuk tiap fasa adalah sebagai berikut :

Tabel 3.58 Data pengukuran THD arus pada titik 4 di PT Z

	THD I_R (%)	THD I_S (%)	THD I_T (%)
Rata-rata	36,1	35,84	35,06
Maksimum	58,37	57,83	57,65
Minimum	32,56	32,24	31,65

Dengan melihat data THD arus total (titik1) diatas, maka rugi-rugi daya di jaringan akibat distorsi harmonik tinggi. Oleh karena itu dapat dilakukan konservasi energi dengan menggunakan filter harmonik.

3.3.5.4 Daya

a. Pada titik 1

Data pengukuran daya kompleks untuk tiap fasa adalah :

Tabel 3.59 Data pengukuran daya kompleks pada titik 1 di PT Z

	Fasa R (kVA)	Fasa S (kVA)	Fasa T (kVA)
Rata-rata	10.339	11.077	10.821
Maksimum	23.380	20.920	21.230
Minimum	4.180	4.220	4.460

Data pengukuran daya aktif untuk tiap fasa adalah :

Tabel 3.60 Data pengukuran daya aktif pada titik 1 di PT Z

	Fasa R (kW)	Fasa S (kW)	Fasa T (kW)
Rata-rata	7.831	8.601	8.063
Maksimum	14.250	17.720	14.800
Minimum	-80	-60	-90

Data pengukuran daya reaktif untuk tiap fasa adalah :

Tabel 3.61 Data pengukuran daya reaktif pada titik 1 di PT Z

	Fasa R (kVAr)	Fasa S (kVAr)	Fasa T (kVAr)
Rata-rata	2.654	2.438	2.744
Maksimum	19.400	16.130	15.230
Minimum	-4.700	-5.140	-5.150

b. Pada titik 2

Data pengukuran daya kompleks untuk tiap fasa adalah :

Tabel 3.62 Data pengukuran daya kompleks pada titik 2 di PT Z

	Fasa R (kVA)	Fasa S (kVA)	Fasa T (kVA)
Rata-rata	2479	2461	2470
Maksimum	2591	2574	2590
Minimum	2285	2271	2288

Data pengukuran daya aktif untuk tiap fasa adalah :

Tabel 3.63 Data pengukuran daya aktif pada titik 2 di PT Z

	Fasa R (kW)	Fasa S (kW)	Fasa T (kW)
Rata-rata	2057	2035	2072
Maksimum	2192	2169	2210
Minimum	1717	1704	1753

Data pengukuran daya reaktif untuk tiap fasa adalah :

Tabel 3.64 Data pengukuran daya reaktif pada titik 2 di PT Z

	Fasa R (kVAr)	Fasa S (kVAr)	Fasa T (kVAr)
Rata-rata	1380	1380	1341
Maksimum	1517	1500	1478
Minimum	1314	1328	1283

c. Pada titik 3

Data pengukuran daya kompleks untuk tiap fasa adalah :

Tabel 3.65 Data pengukuran daya kompleks pada titik 3 di PT Z

	Fasa R (kVA)	Fasa S (kVA)	Fasa T (kVA)
Rata-rata	237,31	235,59	243,12
Maksimum	479,33	480,51	491,50
Minimum	7,12	6,75	7,41

Data pengukuran daya aktif untuk tiap fasa adalah :

Tabel 3.66 Data pengukuran daya aktif pada titik 3 di PT Z

	Fasa R (kW)	Fasa S (kW)	Fasa T (kW)
Rata-rata	172,36	161,18	170,24
Maksimum	348,06	332,23	344,86
Minimum	0,8	0,03	0,23

Data pengukuran daya reaktif untuk tiap fasa adalah :

Tabel 3.67 Data pengukuran daya reaktif pada titik 3 di PT Z

	Fasa R (kVAr)	Fasa S (kVAr)	Fasa T (kVAr)
Rata-rata	160,83	169,61	171,27
Maksimum	329,57	347,15	350,21
Minimum	7,07	6,75	7,40

d. Pada titik 4

Data pengukuran daya kompleks untuk tiap fasa adalah :

Tabel 3.68 Data pengukuran daya kompleks pada titik 4 di PT Z

	Fasa R (kVA)	Fasa S (kVA)	Fasa T (kVA)
Rata-rata	411,02	405,89	414,15
Maksimum	473,36	469,55	477,31
Minimum	126,95	126,29	128,95

Data pengukuran daya aktif untuk tiap fasa adalah :

Tabel 3. 69 Data pengukuran daya aktif pada titik 4 di PT Z

	Fasa R (kW)	Fasa S (kW)	Fasa T (kW)
Rata-rata	302,76	293,88	303,41
Maksimum	349,43	340,48	348,93
Minimum	88,72	85,41	90,39

Data pengukuran daya reaktif untuk tiap fasa adalah :

Tabel 3.70 Data pengukuran daya reaktif pada titik 4 di PT Z

	Fasa R (kVAr)	Fasa S k(VAr)	Fasa T (kVAr)
Rata-rata	277,94	279,91	281,86
Maksimum	321,41	323,33	325,69
Minimum	90,80	92,79	91,97

3.3.5.5 Pembebanan Motor

Data konsumsi daya pada motor-motor yang digunakan oleh PT Z dapat dilihat pada gambar berikut :

Tabel 3.71 Konsumsi daya motor-motor produksi pada PT Z

AREA	kW
SMS EAF	29,552.60
SMS LRF	2,334.74
SMS Water System	2,656.61
SMS Air System	299.83
RM Line A	6,307.35
RM Line B	2,595.29
RM Water System	1,269.10
RM Air System	299.83
TOTAL	45.315,35

Sumber : Pengukuran pada PT Z, Sidoarjo

BAB IV

KONSERVASI ENERGI LISTRIK

4.1 PT X

4.1.1 ANALISA KONDISI SISTEM KELISTRIKAN

Kondisi sistem kelistrikan diperhitungkan untuk menentukan peluang konservasi energi yang dapat dilakukan pada PT X.

Untuk kebutuhan daya aktif rata-rata dengan waktu nyala 24 jam dan 30 hari dalam satu bulan maka diperoleh :

$$\text{Kebutuhan daya rata-rata} = \frac{708.200 \text{ kWh}}{12 \text{ bulan}} = 59.016,67 \text{ kWh/bulan} = 81,97 \text{ kW}$$

dan kebutuhan daya maksimum dari rekening listrik selama setahun adalah :

$$\text{Kebutuhan daya maksimum rata-rata} = 69.900 \text{ kWh/bulan} = 97,08 \text{ kW}$$

$$\text{Faktor beban tahunan} = \frac{81,97 \text{ kW}}{97,08 \text{ kW}} \times 100\% = 84\%$$

Dari data-data yang diperoleh seperti yang telah dijelaskan pada bab III, maka terdapat 3 buah peluang penghematan energi pada PT X, yaitu :

- Penurunan kapasitas langganan daya listrik;
- Perbaikan faktor daya untuk mereduksi rugi-rugi jaringan karena kondisi eksisting faktordaya pada sistem kelistrikan PT X adalah 0,83; dan
- Penggunaan *motor drive* sebagai upaya untuk mengoptimalkan kinerja motor induksi.

4.1.2 OPTIMALISASI KAPASITAS DAYA TERPASANG

Optimalisasi kapasitas daya terpasang secara langsung tidak memberikan penghematan energi di sisi konsumen, akan tetapi memberikan penghematan finansial. Lain halnya apabila dilihat dari sisi penyedia listrik (PLN), dengan optimalisasi yang dilakukan oleh konsumen, maka akan memberikan penghematan daya terpasang pada pembangkit listrik.

4.1.2.1 Analisa Kondisi Eksisting

Daya maksimum yang terjadi dari hasil pengukuran pada bulan Agustus adalah

$$\begin{aligned}\text{Daya maksimum terukur} &= 190.047,28 + 2.323,64 = 192.370,92 \text{ VA} \\ &\approx 193 \text{ kVA}\end{aligned}$$

Dengan daya terpasang 555 kVA, maka faktor kebutuhan :

$$\text{Faktor kebutuhan} = \frac{193 \text{ kVA}}{555 \text{ kVA}} \times 100\% = 35\%$$

Karena pengukuran dilakukan pada bulan Agustus, sedangkan pemakaian energi listrik tertinggi terjadi pada bulan Juni, maka dilakukan pendekatan hasil pengukuran dengan mengambil asumsi waktu penggunaan energi dan faktor daya seragam. Maka diperoleh :

$$\begin{aligned}\text{Beban maksimum} &= \frac{\text{Daya rata-rata bulan Juni}}{\text{Daya rata-rata bulan Agustus}} \times \text{kVA pengukuran} \\ &= \frac{97.08 \text{ kW}}{63.71 \text{ kW}} \times 193 \text{ kVA} = 294.09 \text{ kVA}\end{aligned}$$

Dan dengan memperhitungkan keperluan untuk cadangan daya listrik sebesar 25%, maka kebutuhan daya dari PT X adalah :

$$\text{Daya maksimum} = 125\% \times 294.09 \text{ kVA} = 367,6 \text{ kVA} \approx 368 \text{ kVA}$$

4.1.2.2 Bentuk Konservasi

Konservasi energi yang dapat dilakukan dalam rangka optimalisasi daya terpasang adalah dengan menurunkan langganan daya dari PLN sesuai dengan kebutuhan yang telah dihitung di atas, dan juga dengan mengoptimalkan faktor beban dengan memperhitungkan faktor keragaman beban. Akan tetapi, karena faktor beban yang diperoleh sudah baik yaitu 84%, maka bentuk konservasi energi dengan cara yang kedua tidak dilakukan.

Dari daftar langganan daya yang disediakan PLN untuk golongan I3, untuk memenuhi kebutuhan daya sebesar 368 kVA, maka dilakukan pemasangan langganan sebesar 380 kVA.

Penghematan biaya yang dapat dihasilkan adalah sebagai berikut :

$$\text{Selisih langganan daya} = 555 \text{ kVA} - 380 \text{ kVA} = 175 \text{ kVA}$$

Dengan biaya beban sebesar Rp. 29.500,- per kVA, maka penghematan biaya yang diperoleh adalah :

$$\text{Penghematan biaya} = 175 \text{ kVA} \times \text{Rp. } 29.500,- /\text{kVA} = \text{Rp. } 5.162.500,- / \text{bulan}$$

4.1.2.3 Analisa LCC

Analisa *Life-Cycle Cost* (LCC) atau analisa biaya siklus hidup digunakan untuk menentukan apakah suatu proyek layak dilaksanakan dari sisi ekonomi atau tidak. Parameter-parameter yang digunakan dalam analisa LCC ini adalah :

- a. Penghematan, yaitu sebesar Rp. 5.162.500,- /bulan
- b. Investasi pemasangan baru, dengan rincian sebagai berikut :
 - Pengembalian langganan 555 kVA = Rp. 30.525.000,-
 - Pemasangan langganan 380 kVA = 380 kVA x Rp. 117,- /VA
= Rp. 44.460.000,-
 - Investasi = Rp. 44.460.000,- – Rp. 30.525.000,- = Rp. 13.935.000,-
- c. Tingkat pemotongan 15 % per tahun dan 9% per tahun
- d. Diharapkan kapasitas langganan sebesar 380 kVA dapat digunakan sampai 10 tahun.

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

Tabel 4.1 Perhitungan LCC untuk penurunan langganan pada PT X, tingkat pemotongan 15% per tahun

Daftar Biaya (1)	Biaya tanggal dasar (2)	Periode (3)	faktor pemotongan (4)	Present Value (5 = 2 X 4)
Investasi	13,935,000.00	120 bulan	1.00	13,935,000.00
Biaya Operasi, Pemeliharaan, dan Perbaikan	-		61.98	-
Biaya Energi Tambahan	-		61.98	-
Nilai Sisa	-		0.23	-
Biaya Pergantian Modal	-		0.23	-
Biaya selama penggunaan (LCC)				13,935,000.00

Biaya yang harus dikeluarkan PT X dalam jangka waktu 10 tahun untuk biaya investasi dalam menurunkan kapasitas langganan listrik dari PLN adalah Rp. 13.935.000,-. Biaya ini hanya dikeluarkan satu kali dalam 10 tahun, sehingga faktor pemotongan adalah satu.

Tabel 4.2 Perhitungan penghematan untuk penurunan langganan pada PT X, tingkat pemotongan 15% per tahun

Daftar Biaya	Tanpa Pemasangan	Dengan Pemasangan	selisih	faktor pemotongan	Present value
(1)	(2)	(3)	(4 = 2 - 3)	(5)	(6 = 4 X 5)
Penghematan Operasional					
Biaya yang harus dikeluarkan	5.162.500,00	-	5.162.500,00	61.98	319.986.448,91
Biaya operasi, pemeliharaan, dan perbaikan	-	-	-	61.98	-
Total Penghematan					319.986.448,91
Biaya Investasi					
Investasi	-	13.935.000,00	(13.935.000,00)	1.00	(13.935.000,00)
Biaya pergantian modal	-	-	-	0.23	-
Nilai sisa	-	-	-	0.23	-
Total Investasi					(13.935.000,00)
Net Saving (NS)					306.051.448,91
Saving to Investment Ratio (SIR)					22,96
Adjusted Investment Rate of Return (AIRR)					0,039

Apabila peluang penghematan biaya listrik dengan penurunan langganan ini tidak dilakukan, maka biaya yang harus dikeluarkan PT X adalah Rp. 5.162.500,- per bulan. Dengan tingkat pemotongan 15% per tahun dan selama 10 tahun, maka biaya yang harus dikeluarkan dalam jangka waktu 10 tahun adalah Rp. 319.986.448,-. Sedangkan apabila peluang ini dilaksanakan maka biaya tersebut dapat dihemat. Selain itu, tidak dibutuhkan biaya operasional dalam melakukan peluang penghematan ini.

Dengan investasi sebesar Rp. 13.935.000,-, maka penghematan yang diperoleh PT X dalam jangka 10 tahun adalah Rp. 319.986.448,- - Rp. 13.935.000,- = Rp. 306.051.448,-. SIR bernilai 22,96, dan memberikan arti bahwa setiap Rp. 1,- yang diinvestasikan maka akan memperoleh keuntungan sebesar Rp. 22,96. Tingkat kenaikan keuntungan (AIRR) bernilai 0,0393.

Tabel 4.3 Perhitungan waktu balik modal untuk penurunan langganan pada PT X, 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 = 4 x 5)	(7 = Σ 6)	(8)	(9 = 7 - 8)
1	5.162.500,00	-	5.162.500,00	0,987654	5.098.765,43	5.098.765,43	13.935.000,00	(8.836.234,57)
2	5.162.500,00	-	5.162.500,00	0,975461	5.035.817,71	10.134.583,14	13.935.000,00	(3.800.416,86)
3	5.162.500,00	-	5.162.500,00	0,963418	4.973.647,12	15.108.230,26	13.935.000,00	1.173.230,26
4	5.162.500,00	-	5.162.500,00	0,951524	4.912.244,07	20.020.474,34	13.935.000,00	6.085.474,34
5	5.162.500,00	-	5.162.500,00	0,939777	4.851.599,08	24.872.073,42	13.935.000,00	10.937.073,42
6	5.162.500,00	-	5.162.500,00	0,928175	4.791.702,80	29.663.776,21	13.935.000,00	15.728.776,21
Pay Back Periode						3 Bulan		

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa jangka waktu pengembalian modal adalah 3 bulan.

Dengan melihat perhitungan LCC diatas, diperoleh

- ✓ LCC = Rp. 13.935.000,-
- ✓ $NS > 0$
- ✓ $SIR > 1$
- ✓ $AIRR > 0,0125$
- ✓ Waktu pengembalian modal 3 bulan

maka usaha penghematan biaya energi dengan optimalisasi kapasitas terpasang pada PT X dapat dilaksanakan dari segi ekonomi untuk tingkat pemotongan 15% per tahun.

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

Tabel 4.4 Perhitungan LCC untuk penurunan langganan pada PT X, tingkat pemotongan 9% per tahun

Daftar Biaya (1)	Biaya tanggal dasar (2)	Periode (3)	faktor pemotongan (4)	Present Value (5 = 2 X 4)
Investasi	13.935.000,00	120 bulan	1,00	13.935.000,00
Biaya Operasi, Pemeliharaan, dan Perbaikan	-		78,94	-
Biaya Energi Tambahan	-		78,94	-
Nilai Sisa	-		0,41	-
Biaya Pergantian Modal	-		0,41	-
Biaya selama penggunaan (LCC)				13.935.000,00

Biaya yang harus dikeluarkan PT X dalam jangka waktu 10 tahun untuk biaya investasi dalam menurunkan kapasitas langganan listrik dari PLN adalah Rp. 13.935.000,-. Biaya ini hanya dikeluarkan satu kali dalam 10 tahun, sehingga faktor pemotongan adalah satu.

Tabel 4.5 Perhitungan penghematan untuk penurunan langganan pada PT X, tingkat pemotongan 9% per tahun

Daftar Biaya	Tanpa Pemasangan	Dengan Pemasangan	selisih	faktor pemotongan	Present value
(1)	(2)	(3)	(4 = 2 - 3)	(5)	(6 = 4 X 5)
Penghematan Operasional					
Biaya yang harus dikeluarkan	5.162.500,00	-	5.162.500,00	78,94	407.536.488,40
Biaya operasi, pemeliharaan, dan perbaikan	-	-	-	78,94	-
Total Penghematan					407.536.488,40
Biaya Investasi					
Investasi	-	13.935.000,00	(13.935.000,00)	1,00	(13.935.000,00)
Biaya pergantian modal	-	-	-	0,41	-
Nilai sisa	-	-	-	0,41	-
Total Investasi					(13.935.000,00)
Net Saving (NS)					393.601.488,40
Saving to Investment Ratio (SIR)					29,25
Adjusted Investment Rate of Return (AIRR)					0,036

Apabila peluang penghematan biaya listrik dengan penurunan langganan ini tidak dilakukan, maka biaya yang harus dikeluarkan PT X adalah Rp. 5.162.500,- per bulan. Dengan tingkat pemotongan 9% per tahun dan selama 10 tahun, maka biaya yang harus dikeluarkan dalam jangka waktu 10 tahun adalah Rp. 407.536.488,-. Sedangkan apabila peluang ini dilaksanakan maka biaya tersebut dapat dihemat. Selain itu, tidak dibutuhkan biaya operasional dalam melakukan peluang penghematan ini.

Dengan investasi sebesar Rp. 13.935.000,-, maka penghematan yang diperoleh PT X dalam jangka 10 tahun adalah Rp. 407.536.488,- - Rp. 13.935.000,- = Rp. 393.601.488,-. SIR bernilai 29,25 yang memberikan arti bahwa setiap Rp. 1,- yang diinvestasikan maka akan memperoleh keuntungan sebesar Rp. 29,25. Tingkat kenaikan keuntungan (AIRR) bernilai 0,036.

Tabel 4.6 Perhitungan waktu balik modal untuk penurunan langganan pada PT X, 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 = 4 x 5)	(7 = Σ 6)	(8)	(9 = 7 - 8)
1	5.162.500,00	-	5.162.500,00	0,992556	5.124.069,48	5.124.069,48	13.935.000,00	(8.810.930,52)
2	5.162.500,00	-	5.162.500,00	0,985167	5.085.925,04	10.209.994,52	13.935.000,00	(3.725.005,48)
3	5.162.500,00	-	5.162.500,00	0,977833	5.048.064,56	15.258.059,08	13.935.000,00	1.323.059,08
4	5.162.500,00	-	5.162.500,00	0,970554	5.010.485,91	20.268.544,99	13.935.000,00	6.333.544,99
5	5.162.500,00	-	5.162.500,00	0,963329	4.973.187,01	25.241.732,00	13.935.000,00	11.306.732,00
6	5.162.500,00	-	5.162.500,00	0,956158	4.936.165,77	30.177.897,77	13.935.000,00	16.242.897,77
Pay Back Periode					3 Bulan			

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa jangka waktu pengembalian modal adalah 3 bulan.

Dengan melihat perhitungan LCC diatas, diperoleh

- ✓ LCC = Rp. 13.935.000,-
- ✓ NS > 0
- ✓ SIR > 1
- ✓ AIRR > 0,0075
- ✓ Waktu pengembalian modal 3 bulan

maka usaha penghematan biaya energi dengan optimalisasi kapasitas terpasang pada PT X dapat dilaksanakan dari segi ekonomi untuk tingkat pemotongan 9% per tahun.

Dari perhitungan diatas, terlihat bahwa dengan mempertimbangkan tingkat pemotongan yang lebih kecil pertahunnya, maka waktu pengembalian modal akan lebih singkat, hal ini dikarenakan tingkat penurunan harga yang tidak terlalu jauh setiap bulannya, sehingga jumlah biaya yang dapat dihemat jadi lebih besar.

4.1.3 PERBAIKAN FAKTOR DAYA

4.1.3.1 Analisa Kondisi Eksisting

Berdasarkan data yang diperoleh, faktor daya total dari sistem kelistrikan adalah 0,85. Dari segi biaya energi listrik, nilai ini memenuhi standar minimal yang diberikan PLN, namun pada bulan-bulan tertentu dimana nilai faktor daya lebih rendah dari 0,85, maka pihak konsumen akan dikenakan biaya denda daya reaktif. Sedangkan dari segi teknis, nilai faktor daya yang rendah akan menghasilkan rugi-rugi jaringan antara titik pasokan listrik PLN dengan panel utama PT X sebesar 15% dari total penggunaan energi listrik. Oleh karena itu, faktor daya harus ditingkatkan.

Konsumsi daya aktif rata-rata adalah 81,97 kW dan faktor daya adalah 0,85. Sedangkan rugi-rugi jaringan diperkirakan dengan kapasitas arus yang melewati sistem distribusi dan jenis konduktor yang digunakan [5], sebesar 15% dari daya aktif yang dikonsumsi yaitu 12,3 kW. Dengan waktu konsumsi daya selama satu bulan, maka energi yang terbuang adalah

$$12,3 \text{ kW} \times 720 \text{ jam} = 8.856 \text{ kWh per bulan}$$

Dengan meningkatkan faktor daya menjadi 0,95, maka dapat dilakukan penghematan dengan persentase :

$$\% \text{ Loss}_{\text{reduction}} = \left[1 - \left(\frac{\text{PF}_{\text{lama}}}{\text{PF}_{\text{baru}}} \right)^2 \right] \times 100\% = \left[1 - \left(\frac{0,85}{0,95} \right)^2 \right] \times 100\% = 19,9\% \approx 20\%$$

sehingga, energi listrik (kWh) yang dapat dihemat dengan perbaikan faktor daya ini adalah $20\% \times 8.856 \text{ kWh} = 1.771,2 \text{ kWh}$ per bulan .

Dengan tarif listrik Rp. 440,- per kWh, akan diperoleh penghematan biaya sebesar Rp. 779.328,- per bulan.

4.1.3.2 Bentuk Konservasi

Untuk memperbaiki nilai faktor daya maka dibutuhkan pemasangan bank kapasitor, sebagai kompensator daya reaktif. Kapasitas kapasitor yang dibutuhkan adalah :

$$Q_c = P \left(\tan(\cos^{-1} 0,85) - \tan(\cos^{-1} 0,95) \right)$$

$$Q_c = 81,97 \times 0,29$$

$$Q_c = 23,7 \text{ kVAr} \approx 25 \text{ kVAr}$$

Kompensasi kapasitor yang dibutuhkan adalah 25 kVar.

4.1.3.3 Analisa LCC

Parameter-parameter yang digunakan adalah :

- Penghematan per bulan diperoleh dari penghematan rugi-rugi jaringan dan denda daya reaktif yang terjadi, sebesar :

Rata-rata denda daya reaktif = Rp. 1.094.363,- per bulan

Biaya rugi-rugi jaringan = Rp. 779.328,- per bulan

Penghematan = Rp. 1.873.691,- per bulan

- Harga kapasitor bank adalah Rp. 35.000.000,- dengan umur pakai kapasitor bank adalah 10 tahun, dengan biaya pemeliharaan Rp. 200.000,- per bulan.
- Tingkat pemotongan 15% dan 9% per tahun

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

Tabel 4.7 Perhitungan LCC (biaya selama pemakaian) pemasangan kapasitor bank pada PT X, tingkat pemotongan 15% per tahun

Daftar Biaya (1)	Biaya tanggal dasar (2)	Periode (3)	faktor pemotongan (4)	Present Value (5 = 2 X 4)
Investasi	30,000,000.00	120 bulan	1.00	30,000,000.00
Biaya Operasi, Pemeliharaan, dan Perbaikan	200,000.00	120 bulan	61.98	12,396,569.45
Biaya Energi Tambahan	-		61.98	-
Nilai Sisa	-		0.23	-
Biaya Pergantian Modal	-		0.47	-
Biaya selama penggunaan (LCC)				42,396,569.45

Biaya yang harus dikeluarkan PT X dalam jangka waktu 10 tahun untuk pemasangan kapasitor bank adalah Rp. 42.396.596,- yang terdiri dari biaya investasi sebesar Rp. 30.000.000,- dengan faktor pemotongan adalah satu, dan biaya operasional kapasitor selama pemakaian sebesar Rp. 200.000,- per bulan yang dengan faktor pemotongan 15% per tahun memiliki nilai pada masa sekarang sebesar Rp. 12.396.569,-.

Tabel 4.8 Perhitungan penghematan pemasangan kapasitor bank pada PT X, 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	1,873,691		1,873,691	62	116,136,703
Biaya operasi, pemeliharaan, dan perbaikan		200,000	(200,000)	62	(12,396,569)
Total Penghematan					103,740,134

Biaya Investasi					
Investasi		30,000,000	(30,000,000)	1	(30,000,000)
Biaya pergantian modal		-	-	0	-
Nilai sisa		-	-	0	-
Total Investasi					(30,000,000)

Net Saving (NS)	73,740,133.59
Saving to Investment Ratio (SIR)	3.46
Adjusted Investment Rate of Return (AIRR)	0.023

Apabila peluang penghematan biaya listrik dengan pemasangan kapasitor bank tidak dilakukan, maka biaya yang harus dikeluarkan PT X adalah Rp. 1.873.691,- per bulan. Dengan tingkat pemotongan 15% per tahun dan selama 10 tahun, maka biaya yang harus dikeluarkan dalam jangka waktu 10 tahun adalah Rp. 116.136.703,-. Sedangkan apabila peluang ini dilaksanakan maka biaya

tersebut dapat dihemat. Akan tetapi, dibutuhkan biaya operasional dalam melakukan peluang penghematan ini selama 10 tahun sebesar Rp. 12.396.569,-. Sehingga total penghematan yang diperoleh dalam 10 tahun adalah Rp. 103.740.134,-.

Dengan investasi sebesar Rp. 30.000.000,-, maka penghematan yang diperoleh PT X dalam jangka 10 tahun adalah Rp. 103.740.134,- - Rp. 30.000.000,- = Rp. 73.740.133,-. SIR bernilai 3,46 yang memberikan arti bahwa setiap Rp. 1,- yang diinvestasikan maka akan memperoleh keuntungan sebesar Rp. 3,46. Tingkat kenaikan keuntungan (AIRR) bernilai 0,023.

Tabel 4.9 Perhitungan waktu balik modal pemasangan kapasitor bank pada PT X, 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 = 4 x 5)	(7 = Σ 6)	(8)	(9 = 7 - 8)
1	1.873.691.00	(200.000.00)	1.673.691.00	0.987654	1.653.028.15	1.653.028.15	30.000.000.00	(28.346.971.85)
2	1.873.691.00	(200.000.00)	1.673.691.00	0.975461	1.632.620.39	3.285.648.54	30.000.000.00	(26.714.351.46)
3	1.873.691.00	(200.000.00)	1.673.691.00	0.963418	1.612.464.59	4.898.113.13	30.000.000.00	(25.101.886.87)
4	1.873.691.00	(200.000.00)	1.673.691.00	0.951524	1.592.557.62	6.490.670.74	30.000.000.00	(23.509.329.26)
5	1.873.691.00	(200.000.00)	1.673.691.00	0.939777	1.572.896.41	8.063.567.15	30.000.000.00	(21.936.432.85)
6	1.873.691.00	(200.000.00)	1.673.691.00	0.928175	1.553.477.94	9.617.045.09	30.000.000.00	(20.382.954.91)
7	1.873.691.00	(200.000.00)	1.673.691.00	0.916716	1.534.299.20	11.151.344.29	30.000.000.00	(18.848.655.71)
8	1.873.691.00	(200.000.00)	1.673.691.00	0.905398	1.515.357.23	12.666.701.52	30.000.000.00	(17.333.298.48)
9	1.873.691.00	(200.000.00)	1.673.691.00	0.894221	1.496.649.12	14.163.350.63	30.000.000.00	(15.836.649.37)
10	1.873.691.00	(200.000.00)	1.673.691.00	0.883181	1.478.171.97	15.641.522.60	30.000.000.00	(14.358.477.40)
11	1.873.691.00	(200.000.00)	1.673.691.00	0.872277	1.459.922.93	17.101.445.53	30.000.000.00	(12.898.554.47)
12	1.873.691.00	(200.000.00)	1.673.691.00	0.861509	1.441.899.19	18.543.344.72	30.000.000.00	(11.456.655.28)
13	1.873.691.00	(200.000.00)	1.673.691.00	0.850873	1.424.097.97	19.967.442.69	30.000.000.00	(10.032.557.31)
14	1.873.691.00	(200.000.00)	1.673.691.00	0.840368	1.406.516.51	21.373.959.20	30.000.000.00	(8.626.040.80)
15	1.873.691.00	(200.000.00)	1.673.691.00	0.829993	1.389.152.11	22.763.111.31	30.000.000.00	(7.236.888.69)
16	1.873.691.00	(200.000.00)	1.673.691.00	0.819746	1.372.002.08	24.135.113.39	30.000.000.00	(5.864.886.61)
17	1.873.691.00	(200.000.00)	1.673.691.00	0.809626	1.355.063.79	25.490.177.18	30.000.000.00	(4.509.822.82)
18	1.873.691.00	(200.000.00)	1.673.691.00	0.799631	1.338.334.60	26.828.511.78	30.000.000.00	(3.171.488.22)
19	1.873.691.00	(200.000.00)	1.673.691.00	0.789759	1.321.811.95	28.150.323.73	30.000.000.00	(1.849.676.27)
20	1.873.691.00	(200.000.00)	1.673.691.00	0.780009	1.305.493.29	29.455.817.02	30.000.000.00	(544.182.98)
21	1.873.691.00	(200.000.00)	1.673.691.00	0.770379	1.289.376.09	30.745.193.11	30.000.000.00	745.193.11
22	1.873.691.00	(200.000.00)	1.673.691.00	0.760868	1.273.457.86	32.018.650.97	30.000.000.00	2.018.650.97
23	1.873.691.00	(200.000.00)	1.673.691.00	0.751475	1.257.736.16	33.276.387.13	30.000.000.00	3.276.387.13
24	1.873.691.00	(200.000.00)	1.673.691.00	0.742197	1.242.208.55	34.518.595.68	30.000.000.00	4.518.595.68
Pay Back Periode	21 Bulan							

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa jangka waktu pengembalian modal adalah 21 bulan.

Dengan melihat perhitungan LCC diatas, diperoleh

- ✓ LCC = Rp. 42.396.596,-
- ✓ NS > 0
- ✓ SIR > 1
- ✓ AIRR > 0,0125
- ✓ Waktu pengembalian modal 21 bulan

maka usaha penghematan biaya energi dengan peningkatan faktor daya pada PT X dapat dilaksanakan dari segi ekonomi untuk tingkat pemotongan 15% per tahun.

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

Tabel 4.10 Perhitungan LCC (biaya selama pemakaian) pemasangan kapasitor bank pada PT X, tingkat pemotongan 9% per tahun

Daftar Biaya (1)	Biaya tanggal dasar (2)	Periode (3)	faktor pemotongan (4)	Present Value (5 = 2 X 4)
Investasi	30.000.000,00	120 bulan	1,00	30.000.000,00
Biaya Operasi, Pemeliharaan, dan Perbaikan	200.000,00	120 bulan	78,94	15.788.338,53
Biaya Energi Tambahan	-		78,94	-
Nilai Sisa	-		0,41	-
Biaya Pergantian Modal	-		0,64	-
Biaya selama penggunaan (LCC)				45.788.338,53

Biaya yang harus dikeluarkan PT X dalam jangka waktu 10 tahun untuk pemasangan kapasitor bank adalah Rp. 45.788.338,- yang terdiri dari biaya investasi sebesar Rp. 30.000.000,- dengan faktor pemotongan adalah satu, dan biaya operasional kapasitor selama pemakaian sebesar Rp. 200.000,- per bulan yang dengan faktor pemotongan 9% per tahun memiliki nilai pada masa sekarang sebesar Rp. 15.788.338,-.

Tabel 4.11 Perhitungan penghematan pemasangan kapasitor bank pada PT X, 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	1.873.691		1.873.691	78,94	147.912.339
Biaya operasi, pemeliharaan, dan perbaikan		200.000	(200.000)	78,94	(15.788.339)
Total Penghematan					132.124.001
Biaya Investasi					
Investasi		30.000.000	(30.000.000)	1,00	(30.000.000)
Biaya pergantian modal		-	-	0,41	-
Nilai sisa		-	-	0,41	-
Total Investasi					(30.000.000)
Net Saving (NS)					102.124.000,54
Saving to Investment Ratio (SIR)					4,40
Adjusted Investment Rate of Return (AIRR)					0,020

Apabila peluang penghematan biaya listrik dengan pemasangan kapasitor bank tidak dilakukan, maka biaya yang harus dikeluarkan PT X adalah Rp. 1.873.691,- per bulan. Dengan tingkat pemotongan 9% per tahun dan selama 10 tahun, maka biaya yang harus dikeluarkan dalam jangka waktu 10 tahun adalah Rp. 147.912.339,-. Sedangkan apabila peluang ini dilaksanakan maka biaya tersebut dapat dihemat. Akan tetapi, dibutuhkan biaya operasional dalam melakukan peluang penghematan ini selama 10 tahun sebesar Rp. 15.788.339,-. Sehingga total penghematan yang diperoleh dalam 10 tahun adalah Rp. 132.124.001,-.

Dengan investasi sebesar Rp. 30.000.000,-, maka penghematan yang diperoleh PT X dalam jangka 10 tahun adalah Rp. 132.124.001,- - Rp. 30.000.000,- = Rp. 102.124.001,-. SIR bernilai 4,40 yang memberikan arti bahwa setiap Rp. 1,- yang diinvestasikan maka akan memperoleh keuntungan sebesar Rp. 4,40. Tingkat kenaikan keuntungan (AIRR) bernilai 0,020.

Tabel 4.12 Perhitungan waktu balik modal pemasangan kapasitor bank pada PT X, 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 = 4 x 5)	(7 = Σ 6)	(8)	(9 = 7 - 8)
1	1.873.691,00	(200.000,00)	1.673.691,00	0,992556	1.661.231,76	1.661.231,76	30.000.000,00	(28.338.768,24)
2	1.873.691,00	(200.000,00)	1.673.691,00	0,985167	1.648.865,27	3.310.097,03	30.000.000,00	(26.689.902,97)
3	1.873.691,00	(200.000,00)	1.673.691,00	0,977833	1.636.590,84	4.946.687,87	30.000.000,00	(25.053.312,13)
4	1.873.691,00	(200.000,00)	1.673.691,00	0,970554	1.624.407,78	6.571.095,66	30.000.000,00	(23.428.904,34)
5	1.873.691,00	(200.000,00)	1.673.691,00	0,963329	1.612.315,42	8.183.411,07	30.000.000,00	(21.816.588,93)
6	1.873.691,00	(200.000,00)	1.673.691,00	0,956158	1.600.313,07	9.783.724,14	30.000.000,00	(20.216.275,86)
7	1.873.691,00	(200.000,00)	1.673.691,00	0,949040	1.588.400,07	11.372.124,21	30.000.000,00	(18.627.875,79)
8	1.873.691,00	(200.000,00)	1.673.691,00	0,941975	1.576.575,75	12.948.699,96	30.000.000,00	(17.051.300,04)
9	1.873.691,00	(200.000,00)	1.673.691,00	0,934963	1.564.839,45	14.513.539,42	30.000.000,00	(15.486.460,58)
10	1.873.691,00	(200.000,00)	1.673.691,00	0,928003	1.553.190,53	16.066.729,94	30.000.000,00	(13.933.270,06)
11	1.873.691,00	(200.000,00)	1.673.691,00	0,921095	1.541.628,31	17.608.358,25	30.000.000,00	(12.391.641,75)
12	1.873.691,00	(200.000,00)	1.673.691,00	0,914238	1.530.152,17	19.138.510,43	30.000.000,00	(10.861.489,57)
13	1.873.691,00	(200.000,00)	1.673.691,00	0,907432	1.518.761,46	20.657.271,89	30.000.000,00	(9.342.728,11)
14	1.873.691,00	(200.000,00)	1.673.691,00	0,900677	1.507.455,54	22.164.727,43	30.000.000,00	(7.835.272,57)
15	1.873.691,00	(200.000,00)	1.673.691,00	0,893973	1.496.233,79	23.660.961,22	30.000.000,00	(6.339.038,78)
16	1.873.691,00	(200.000,00)	1.673.691,00	0,887318	1.485.095,57	25.146.056,80	30.000.000,00	(4.853.943,20)
17	1.873.691,00	(200.000,00)	1.673.691,00	0,880712	1.474.040,27	26.620.097,07	30.000.000,00	(3.379.902,93)
18	1.873.691,00	(200.000,00)	1.673.691,00	0,874156	1.463.067,27	28.083.164,34	30.000.000,00	(1.916.835,66)
19	1.873.691,00	(200.000,00)	1.673.691,00	0,867649	1.452.175,95	29.535.340,28	30.000.000,00	(464.659,72)
20	1.873.691,00	(200.000,00)	1.673.691,00	0,861190	1.441.365,71	30.976.705,99	30.000.000,00	976.705,99
21	1.873.691,00	(200.000,00)	1.673.691,00	0,854779	1.430.635,94	32.407.341,92	30.000.000,00	2.407.341,92
22	1.873.691,00	(200.000,00)	1.673.691,00	0,848416	1.419.986,04	33.827.327,96	30.000.000,00	3.827.327,96
23	1.873.691,00	(200.000,00)	1.673.691,00	0,842100	1.409.415,42	35.236.743,39	30.000.000,00	5.236.743,39
24	1.873.691,00	(200.000,00)	1.673.691,00	0,835831	1.398.923,50	36.635.666,89	30.000.000,00	6.635.666,89
Pay Back Periode		20 Bulan						

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa jangka waktu pengembalian modal adalah 20 bulan.

Dengan melihat perhitungan LCC diatas, diperoleh

- ✓ LCC = Rp. 45.788.338,-
- ✓ NS > 0
- ✓ SIR > 1
- ✓ AIRR > 0,0075
- ✓ Waktu pengembalian modal 20 bulan

maka usaha penghematan biaya energi dengan peningkatan faktor daya pada PT X dapat dilaksanakan dari segi ekonomi untuk tingkat pemotongan 9% per tahun.

Dari perhitungan diatas, terlihat bahwa dengan mempertimbangkan tingkat pemotongan yang lebih kecil pertahunnya, maka waktu pengembalian modal akan lebih singkat, hal ini dikarenakan tingkat penurunan harga yang tidak terlalu jauh setiap bulannya, sehingga jumlah biaya yang dapat dihemat jadi lebih besar.

Dengan perbaikan faktor daya pada sistem tenaga listrik PT X, maka konsumsi energi dapat dihemat sebesar 1.771,2 kWh per bulan, atau 3% dari total konsumsi energi per bulan.

4.1.4 PEMASANGAN VARIABLE-SPEED DRIVE

4.1.4.1 Analisa kondisi eksisting dan bentuk konservasi

Mesin-mesin listrik yang digunakan untuk memikul beban mekanis yang bervariasi, oleh karena itu pada saat beban penuh, efisiensi mekanis dari motor listrik tinggi, sedangkan pada saat keadaan tanpa beban efisiensi menjadi sangat rendah. Untuk itu diperlukan pengendali yang bekerja dengan cara menyesuaikan kebutuhan daya input untuk daya output yang terpasang. Pengendali yang digunakan adalah *Variable Speed Drive* (VSD). VSD bekerja dengan menyesuaikan kebutuhan daya input terhadap kebutuhan beban output, sehingga energi yang dikonsumsi pada saat beban kosong atau beban kecil dapat dikurangi apabila dibandingkan terhadap motor yang tidak menggunakan VSD.

Pemakaian daya untuk keperluan motor dengan beban mekanis yang bervariasi dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.13 Pemakaian daya kompleks dan daya aktif motor-motor pada PT X

Motor	Konsumsi Daya Kompleks (kVA)	Konsumsi Daya Aktif (kW)
Dust Collector	39,794	31,84
Share Line 1	28,980	23,18
Galvanizing	34,135	27,31
Waste Water Treatment	770	0,62
Crane	19,080	15,26
Corrugation	19,691	15,75
Workshop	12,018	9,61
Gergaji Kayu	4,683	3,75
Total	159,151	127,32

Dengan pemakaian motor-motor listrik dalam satu hari adalah 16 jam, maka : konsumsi energi rata-rata selama satu bulan adalah 16 jam x 30 hari x 127,32 kWh = 61.113,6 kWh per bulan, dengan menggunakan VSD, maka energi yang digunakan dapat direduksi sekitar 10%, yaitu 6.111,36 kWh per bulan. Dengan tarif listrik sebesar Rp. 440,- per kWh, maka diperoleh penghematan ekonomis sebesar Rp. 2.688.998,- per bulan.

4.1.4.2 Analisa LCC

Parameter-parameter yang digunakan adalah :

- Penghematan per bulan diperoleh adalah Rp. 2.688.998,- per bulan
- Total harga *Motor Driver* untuk motor-motor dengan ukuran besar adalah Rp. 35.000.000,- dengan umur pakai 20 tahun, dengan biaya pemeliharaan Rp. 250.000,- per bulan.
- Tingkat pemotongan 15% dan 9% per tahun.

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

Tabel 4.14 Perhitungan LCC pemasangan VSD pada PT X, tingkat pemotongan 15% per tahun

Daftar Biaya (1)	Biaya tanggal dasar (2)	Periode (3)	faktor pemotongan (4)	Present Value (5 = 2 X 4)
Investasi	35,000,000.00	240 bulan	1.00	35,000,000.00
Biaya Operasi, Pemeliharaan, dan Perbaikan	250,000.00	240 bulan	75.94	18,985,569.40
Biaya Energi Tambahan			75.94	-
Nilai Sisa			0.05	-
Biaya Pergantian Modal			0.05	-
Biaya selama penggunaan (LCC)				53,985,569.40

Biaya yang harus dikeluarkan PT X dalam jangka waktu 20 tahun untuk pemasangan VSD adalah Rp. 53.985.569,- yang terdiri dari biaya investasi sebesar Rp. 35.000.000,- dengan faktor pemotongan adalah satu, dan biaya operasional VSD selama pemakaian sebesar Rp. 250.000,- per bulan yang dengan faktor pemotongan 15% per tahun memiliki nilai pada masa sekarang sebesar Rp. 18.985.569,-.

Tabel 4.15 Perhitungan penghematan pemasangan VSD/ASD pada PT X, tingkat pemotongan 15% per tahun

Daftar Biaya	Tanpa Pemasangan	Dengan Pemasangan	selisih	faktor pemotongan	Present value
(1)	(2)	(3)	(4 = 2 - 3)	(5)	(6 = 4 X 5)
Penghematan Operasional					
Biaya yang harus dikeluarkan	2,688,998.00		2,688,998.00	75.94	204,208,632.54
Biaya operasi, pemeliharaan, dan perbaikan		250,000.00	(250,000.00)	75.94	(18,985,569.40)
Total Penghematan					185,223,063.14
Biaya Investasi					
Investasi		35,000,000.00	(35,000,000.00)	1.00	(35,000,000.00)
Biaya pergantian modal		-	-	0.05	-
Nilai sisa		-	-	0.05	-
Total Investasi					(35,000,000.00)
Net Saving (NS)					150,223,063.14
Saving to Investment Ratio (SIR)					5.29
Adjusted Investment Rate of Return (AIRR)					0.0196

Apabila peluang penghematan biaya listrik dengan pemasangan VSD tidak dilakukan, maka biaya yang harus dikeluarkan PT X adalah Rp. 2.688.998,- per bulan. Dengan tingkat pemotongan 15% per tahun dan selama 20 tahun, maka biaya yang harus dikeluarkan dalam jangka waktu 20 tahun adalah Rp. 204.208.632,-. Sedangkan apabila peluang ini dilaksanakan maka biaya tersebut dapat dihemat. Akan tetapi, dibutuhkan biaya operasional dalam melakukan peluang penghematan ini selama 20 tahun sebesar Rp. 18.985.569,-. Sehingga total penghematan yang diperoleh dalam 10 tahun adalah Rp. 185.223.063,-.

Dengan investasi sebesar Rp. 35.000.000,-, maka penghematan yang diperoleh PT X dalam jangka 20 tahun adalah Rp. 185.223.063,- - Rp. 35.000.000,- = Rp. 150.223.063,-. SIR bernilai 5,29 yang memberikan arti bahwa setiap Rp. 1,- yang diinvestasikan maka akan memperoleh keuntungan sebesar Rp. 5,29. Tingkat kenaikan keuntungan (AIRR) bernilai 0,0196.

Tabel 4.16 Perhitungan waktu balik modal pemasangan VSD pada PT X, 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 = 4 x 5)	(7 = Σ 6)	(8)	(9 = 7 - 8)
1	2,688,998.00	(250,000.00)	2,438,998.00	0.987654	2,408,886.91	2,408,886.91	35,000,000.00	(32,591,113.09)
2	2,688,998.00	(250,000.00)	2,438,998.00	0.975461	2,379,147.57	4,788,034.48	35,000,000.00	(30,211,965.52)
3	2,688,998.00	(250,000.00)	2,438,998.00	0.963418	2,349,775.38	7,137,809.86	35,000,000.00	(27,862,190.14)
4	2,688,998.00	(250,000.00)	2,438,998.00	0.951524	2,320,765.80	9,458,575.66	35,000,000.00	(25,541,424.34)
5	2,688,998.00	(250,000.00)	2,438,998.00	0.939777	2,292,114.37	11,750,690.04	35,000,000.00	(23,249,309.96)
6	2,688,998.00	(250,000.00)	2,438,998.00	0.928175	2,263,816.67	14,014,506.70	35,000,000.00	(20,985,493.30)
7	2,688,998.00	(250,000.00)	2,438,998.00	0.916716	2,235,868.31	16,250,375.02	35,000,000.00	(18,749,624.98)
8	2,688,998.00	(250,000.00)	2,438,998.00	0.905398	2,208,265.00	18,458,640.02	35,000,000.00	(16,541,359.98)
9	2,688,998.00	(250,000.00)	2,438,998.00	0.894221	2,181,002.47	20,639,642.49	35,000,000.00	(14,360,357.51)
10	2,688,998.00	(250,000.00)	2,438,998.00	0.883181	2,154,076.51	22,793,719.00	35,000,000.00	(12,206,281.00)
11	2,688,998.00	(250,000.00)	2,438,998.00	0.872277	2,127,482.98	24,921,201.97	35,000,000.00	(10,078,798.03)
12	2,688,998.00	(250,000.00)	2,438,998.00	0.861509	2,101,217.75	27,022,419.73	35,000,000.00	(7,977,580.27)
13	2,688,998.00	(250,000.00)	2,438,998.00	0.850873	2,075,276.79	29,097,696.52	35,000,000.00	(5,902,303.48)
14	2,688,998.00	(250,000.00)	2,438,998.00	0.840368	2,049,656.09	31,147,352.61	35,000,000.00	(3,852,647.39)
15	2,688,998.00	(250,000.00)	2,438,998.00	0.829993	2,024,351.70	33,171,704.31	35,000,000.00	(1,828,295.69)
16	2,688,998.00	(250,000.00)	2,438,998.00	0.819746	1,999,359.70	35,171,064.01	35,000,000.00	171,064.01
17	2,688,998.00	(250,000.00)	2,438,998.00	0.809626	1,974,676.25	37,145,740.26	35,000,000.00	2,145,740.26
18	2,688,998.00	(250,000.00)	2,438,998.00	0.799631	1,950,297.53	39,096,037.78	35,000,000.00	4,096,037.78
Pay Back Periode	16 Bulan							

Dari perhitungan diatas dapat diketahui bahwa jangka waktu balik modal adalah 16 bulan.

Dengan melihat perhitungan LCC diatas, diperoleh

- ✓ LCC = Rp. 53.985.569,-
- ✓ NS > 0
- ✓ SIR > 1
- ✓ AIRR > 0,0125
- ✓ Waktu pengembalian modal 16 bulan

maka usaha penghematan biaya energi dengan pemasangan *motor driver* (VSD) pada PT X dapat dilaksanakan dari segi ekonomi untuk tingkat pemotongan 15% per tahun..

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

Tabel 4.17 Perhitungan LCC pemasangan VSD pada PT X, tingkat pemotongan 9% per tahun

Daftar Biaya (1)	Biaya tanggal dasar (2)	Periode (3)	faktor pemotongan (4)	Present Value (5 = 2 X 4)
Investasi	35.000.000,00	240 bulan	1,00	35.000.000,00
Biaya Operasi, Pemeliharaan, dan Perbaikan	250.000,00	240 bulan	111,14	27.786.238,51
Biaya Energi Tambahan			111,14	-
Nilai Sisa			0,17	-
Biaya Pergantian Modal			0,17	-
Biaya selama penggunaan (LCC)				62.786.238,51

Biaya yang harus dikeluarkan PT X dalam jangka waktu 20 tahun untuk pemasangan VSD adalah Rp. 62.786.238,- yang terdiri dari biaya investasi sebesar Rp. 35.000.000,- dengan faktor pemotongan adalah satu, dan biaya operasional VSD selama pemakaian sebesar Rp. 250.000,- per bulan yang dengan faktor pemotongan 9% per tahun memiliki nilai pada masa sekarang sebesar Rp. 27.786.238,-.

Tabel 4.18 Perhitungan penghematan pemasangan VSD/ASD pada PT X, tingkat pemotongan 9% per tahun

Daftar Biaya	Tanpa Pemasangan	Dengan Pemasangan	selisih	faktor pemotongan	Present value
(1)	(2)	(3)	(4 = 2 - 3)	(5)	(6 = 4 X 5)
Penghematan Operasional					
Biaya yang harus dikeluarkan	2.688.998,00		2.688.998,00	111,14	298.868.559,09
Biaya operasi, pemeliharaan, dan perbaikan		250.000,00	(250.000,00)	111,14	(27.786.238,51)
Total Penghematan					271.082.320,58
Biaya Investasi					
Investasi		35.000.000,00	(35.000.000,00)	1,00	(35.000.000,00)
Biaya pergantian modal		-	-	0,17	-
Nilai sisa		-	-	0,17	-
Total Investasi					(35.000.000,00)
Net Saving (NS)					236.082.320,58
Saving to Investment Ratio (SIR)					7,75
Adjusted Investment Rate of Return (AIRR)					0,0161

Apabila peluang penghematan biaya listrik dengan pemasangan VSD tidak dilakukan, maka biaya yang harus dikeluarkan PT X adalah Rp. 2.688.998,- per bulan. Dengan tingkat pemotongan 9% per tahun dan selama 20 tahun, maka biaya yang harus dikeluarkan dalam jangka waktu 20 tahun adalah Rp. 298.868.559,-. Sedangkan apabila peluang ini dilaksanakan maka biaya tersebut dapat dihemat. Akan tetapi, dibutuhkan biaya operasional dalam melakukan

peluang penghematan ini selama 20 tahun sebesar Rp. 27.786.238,-. Sehingga total penghematan yang diperoleh dalam 10 tahun adalah Rp. 271.082.320,-.

Dengan investasi sebesar Rp. 35.000.000,-, maka penghematan yang diperoleh PT X dalam jangka 20 tahun adalah Rp. 271.082.320,- - Rp. 35.000.000,- = Rp. 236.082.320,-. SIR bernilai 7,76 yang memberikan arti bahwa setiap Rp. 1,- yang diinvestasikan maka akan memperoleh keuntungan sebesar Rp. 7,76. Tingkat kenaikan keuntungan (AIRR) bernilai 0,0161.

Tabel 4.19 Perhitungan waktu balik modal pemasangan VSD pada PT X, 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 = 4 x 5)	(7 = Σ 6)	(8)	(9 = 7 - 8)
1	2.688.998,00	(250.000,00)	2.438.998,00	0,992556	2.420.841,69	2.420.841,69	35.000.000,00	(32.579.158,31)
2	2.688.998,00	(250.000,00)	2.438.998,00	0,985167	2.402.820,53	4.823.662,22	35.000.000,00	(30.176.337,78)
3	2.688.998,00	(250.000,00)	2.438.998,00	0,977833	2.384.933,53	7.208.595,75	35.000.000,00	(27.791.404,25)
4	2.688.998,00	(250.000,00)	2.438.998,00	0,970554	2.367.179,68	9.575.775,44	35.000.000,00	(25.424.224,56)
5	2.688.998,00	(250.000,00)	2.438.998,00	0,963329	2.349.558,00	11.925.333,44	35.000.000,00	(23.074.666,56)
6	2.688.998,00	(250.000,00)	2.438.998,00	0,956158	2.332.067,49	14.257.400,93	35.000.000,00	(20.742.599,07)
7	2.688.998,00	(250.000,00)	2.438.998,00	0,949040	2.314.707,19	16.572.108,12	35.000.000,00	(18.427.891,88)
8	2.688.998,00	(250.000,00)	2.438.998,00	0,941975	2.297.476,12	18.869.584,24	35.000.000,00	(16.130.415,76)
9	2.688.998,00	(250.000,00)	2.438.998,00	0,934963	2.280.373,32	21.149.957,55	35.000.000,00	(13.850.042,45)
10	2.688.998,00	(250.000,00)	2.438.998,00	0,928003	2.263.397,83	23.413.355,39	35.000.000,00	(11.586.644,61)
11	2.688.998,00	(250.000,00)	2.438.998,00	0,921095	2.246.548,72	25.659.904,11	35.000.000,00	(9.340.095,89)
12	2.688.998,00	(250.000,00)	2.438.998,00	0,914238	2.229.825,03	27.889.729,14	35.000.000,00	(7.110.270,86)
13	2.688.998,00	(250.000,00)	2.438.998,00	0,907432	2.213.225,84	30.102.954,98	35.000.000,00	(4.897.045,02)
14	2.688.998,00	(250.000,00)	2.438.998,00	0,900677	2.196.750,21	32.299.705,19	35.000.000,00	(2.700.294,81)
15	2.688.998,00	(250.000,00)	2.438.998,00	0,893973	2.180.397,23	34.480.102,42	35.000.000,00	(519.897,58)
16	2.688.998,00	(250.000,00)	2.438.998,00	0,887318	2.164.165,99	36.644.268,41	35.000.000,00	1.644.268,41
17	2.688.998,00	(250.000,00)	2.438.998,00	0,880712	2.148.055,57	38.792.323,98	35.000.000,00	3.792.323,98
18	2.688.998,00	(250.000,00)	2.438.998,00	0,874156	2.132.065,08	40.924.389,06	35.000.000,00	5.924.389,06
Pay Back Periode		16 Bulan						

Dari perhitungan diatas dapat diketahui bahwa jangka waktu balik modal adalah 16 bulan.

Dengan melihat perhitungan LCC diatas, diperoleh

- ✓ LCC = Rp. 62.786.238,-
- ✓ NS > 0
- ✓ SIR > 1
- ✓ AIRR > 0,0075
- ✓ Waktu pengembalian modal 16 bulan

maka usaha penghematan biaya energi dengan pemasangan *motor driver* (VSD) pada PT X dapat dilaksanakan dari segi ekonomi untuk tingkat pemotongan 9% per tahun..

Dari perhitungan diatas, terlihat bahwa dengan mempertimbangkan tingkat pemotongan yang lebih kecil pertahunnya, maka waktu pengembalian modal akan lebih singkat, hal ini dikarenakan tingkat penurunan harga yang tidak terlalu jauh setiap bulannya, sehingga jumlah biaya yang dapat dihemat jadi lebih besar.

Dengan pemasangan *motor driver* atau VSD pada motor-motor produksi di PT X, maka konsumsi energi dapat dihemat sebesar 6.111,36 kWh per bulan, yaitu 10% dari total konsumsi energi sekarang.

4.1.5 RESUME KONSERVASI PADA PT X

Dari peluang-peluang yang telah dijelaskan di atas, maka diperoleh total penghematan enrgi listrik dan biaya energi listrik yang dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4. 20 Resume konservasi energi listrik pada PT X

	Konservasi Energi	Penghematan Energi per bulan		Penghematan Biaya per bulan (Rp.)	Invetasi (Rp)	Waktu Balik Modal d=15%/tahun (bulan)	Waktu Balik Modal d=9%/tahun (bulan)
		(kWh)	(%)				
1	Penurunan langganan	-	-	5.162.500,-	13.935.000	3	3
2	Pemasangan kapasitor bank	1.771,2	3	1.873.691,-	30.000.000	21	20
3	Pemasangan <i>motor driver</i>	6.111,36	10	2.688.998,-	35.000.000	16	16
Total		7.882,56	13	4.562.689	78.935.000	3 – 21	3 – 20

Pada tabel diatas dapat dilihat bahwa total energi yang dapat dihemat adalah 7.882,56 kWh per bulan. Dengan mempertimbangkan tingkat pemotongan sebesar 15% per tahun maka waktu balik modal berkisar 3 – 21 bulan, sedangkan apabila tingkat pemotongan yang diperhitungkan sebesar 9% per bulan maka waktu balik modal adalah 3 – 20 bulan.

4.2 PT Y

4.2.1 ANALISA KONDISI SISTEM KELISTRIKAN

Kondisi sistem kelistrikan diperhitungkan untuk menentukan peluang konservasi energi yang dapat dilakukan pada PT Y.

Untuk kebutuhan daya aktif rata-rata dengan waktu nyala 24 jam dan 30 hari dalam satu bulan maka diperoleh :

$$\text{Kebutuhan daya rata-rata} = \frac{2.170.020 \text{ kWh}}{12 \text{ bulan}} = 180.835 \text{ kWh/bulan} = 251,16 \text{ kW}$$

dan kebutuhan daya maksimum dari rekening listrik selama setahun adalah :

$$\text{Kebutuhan daya maksimum rata-rata} = 284.940 \text{ kWh/bulan} = 395,75 \text{ kW}$$

$$\text{Faktor beban tahunan} = \frac{251,16 \text{ kW}}{395,75 \text{ kW}} \times 100\% = 63\%$$

Sedangkan kebutuhan daya aktif rata-rata untuk waktu kerja 16 jam dan 26 hari dalam satu bulan (dengan mengabaikan hari libur) maka diperoleh :

$$\text{Kebutuhan daya rata-rata} = \frac{2.170.020 \text{ kWh}}{12 \text{ bulan} \times 16 \text{ jam/hari} \times 26 \text{ hari/bulan}} = 434,7 \text{ kW}$$

dan kebutuhan daya maksimum dari rekening listrik selama setahun adalah :

$$\text{Kebutuhan daya maksimum rata-rata} = 284.940 \text{ kWh/bulan} = 685 \text{ kW}$$

Akan tetapi, dari data pengukuran diperoleh data bahwa konsumsi daya untuk mesin *Nails Drawing* adalah 784,45 kW dengan faktor daya 0,85 serta konsumsi daya kompleks maksimum adalah 1.165,32 kVA.

Dari data-data yang diperoleh seperti yang telah dijelaskan pada bab III, maka terdapat 3 buah peluang penghematan energi pada PT Y, yaitu :

- Pemanfaatan faktor utilitas beban,
- Perbaikan faktor daya untuk mereduksi rugi-rugi jaringan, dan
- Penggunaan filter harmonik, melihat THD arus rata-rata adalah 21%

4.2.2 PERBAIKAN FAKTOR DAYA

4.2.2.1 Analisa Kondisi Eksisting

Berdasarkan data yang diperoleh, faktor daya total dari sistem kelistrikan adalah 0,83. Dari segi teknis, nilai faktor daya yang rendah akan menghasilkan

rugi-rugi jaringan antara titik pasokan listrik PLN dengan panel utama PT Y sebesar 15% dari total penggunaan energi listrik. Oleh karena itu, faktor daya harus ditingkatkan, walaupun pihak perusahaan tidak dikenakan biaya kelebihan kVarh.

Konsumsi daya aktif rata-rata adalah 251,16 kW dan faktor daya adalah 0,83. Sedangkan rugi-rugi jaringan diperkirakan dengan kapasitas arus yang melewati sistem distribusi dan jenis konduktor yang digunakan [5], sebesar 15% dari daya aktif yang dikonsumsi yaitu 37,67 kW. Dengan waktu konsumsi daya selama satu bulan, maka energi yang terbuang adalah $37,67 \text{ kW} \times 720 \text{ jam} = 27.122,4 \text{ kWh}$ per bulan .

Dengan meningkatkan faktor daya menjadi 0,95, maka dapat dilakukan penghematan dengan persentase :

$$\% \text{ Loss}_{\text{reduction}} = \left[1 - \left(\frac{\text{PF}_{\text{lama}}}{\text{PF}_{\text{baru}}} \right)^2 \right] \times 100\% = \left[1 - \left(\frac{0,83}{0,95} \right)^2 \right] \times 100\% = 23,67\% \approx 24\%$$

sehingga, energi listrik (kWh) yang dapat dihemat dengan perbaikan faktor daya ini adalah $24\% \times 27.122,4 \text{ kWh} = 6.507 \text{ kWh}$ per bulan .

Dengan tarif listrik Rp. 550,- per kWh, akan diperoleh penghematan biaya sebesar Rp. 3.578.850,- per bulan.

4.2.2.2 Bentuk Konservasi

Untuk memperbaiki nilai faktor daya maka dibutuhkan pemasangan bank kapasitor, sebagai kompensator daya reaktif. Kapasitas kapasitor yang dibutuhkan adalah :

$$Q_c = P \left(\tan(\cos^{-1} 0,83) - \tan(\cos^{-1} 0,95) \right)$$

$$Q_c = 251,16 \times 0,34$$

$$Q_c = 85,4 \text{ kVAr} \approx 90 \text{ kVAr}$$

Kompensasi kapasitor yang dibutuhkan adalah 90 kVar.

4.2.2.3 Analisa LCC

Parameter-parameter yang digunakan adalah :

- a. Penghematan per bulan diperoleh dari penghematan rugi-rugi jaringan dan denda daya reaktif yang terjadi, sebesar :

Biaya rugi-rugi jaringan = Rp. 3.578.850,- per bulan

- b. Harga kapasitor bank adalah Rp. 80.000.000,- dengan umur pakai kapasitor bank adalah 10 tahun, dengan biaya pemeliharaan Rp. 200.000,- per bulan.
- c. Tingkat pemotongan 15% dan 9% per tahun

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

Tabel 4.21 Perhitungan LCC (biaya selama pemakaian) pemasangan kapasitor bank pada PT Y, tingkat pemotongan 15% per tahun

Daftar Biaya (1)	Biaya tanggal dasar (2)	Periode (3)	faktor pemotongan (4)	Present Value (5 = 2 X 4)
Investasi	80.000.000.00	120 bulan	1.00	80.000.000.00
Biaya Operasi, Pemeliharaan, dan Perbaikan	200.000.00	120 bulan	61.98	12.396.569.45
Biaya Energi Tambahan			61.98	-
Nilai Sisa			0.23	-
Biaya Pergantian Modal			0.23	-
Biaya selama penggunaan (LCC)				92,396,569.45

Biaya yang harus dikeluarkan PT Y dalam jangka waktu 10 tahun untuk pemasangan kapasitor bank adalah Rp. 92.396.569,- yang terdiri dari biaya investasi sebesar Rp. 80.000.000,- dengan faktor pemotongan adalah satu, dan biaya operasional kapasitor selama pemakaian sebesar Rp. 200.000,- per bulan yang dengan faktor pemotongan 15% per tahun memiliki nilai pada masa sekarang sebesar Rp. 12.936.569,-

Tabel 4.22 Perhitungan penghematan pemasangan kapasitor bank pada PT Y, tingkat pemotongan 15% per tahun

Daftar Biaya	Tanpa Pemasangan	Dengan Pemasangan	selisih	faktor pemotongan	Present value
(1)	(2)	(3)	(4 = 2 - 3)	(5)	(6 = 4 X 5)
Penghematan Operasional					
Biaya yang harus dikeluarkan	3,578.850.00		3,578.850.00	61.98	221.827.312.87
Biaya operasi, pemeliharaan, dan perbaikan		200.000.00	(200.000.00)	61.98	(12.396.569.45)
Total Penghematan					209,430,743,42
Biaya Investasi					
Investasi		80.000.000.00	(80.000.000.00)	1.00	(80.000.000.00)
Biaya pergantian modal		-	-	0.23	-
Nilai sisa		-	-	0.23	-
Total Investasi					(80,000,000,00)
Net Saving (NS)					
					129,430,743,42
Saving to Investment Ratio (SIR)					
					2,62
Adjusted Investment Rate of Return (AIRR)					
					0,0207

Apabila peluang penghematan biaya listrik dengan pemasangan kapasitor bank tidak dilakukan, maka biaya yang harus dikeluarkan PT Y adalah Rp. 3.578.850,- per bulan. Dengan tingkat pemotongan 15% per tahun dan selama 10 tahun, maka biaya yang harus dikeluarkan dalam jangka waktu 10 tahun adalah Rp. 221.827.312,-. Sedangkan apabila peluang ini dilaksanakan maka biaya tersebut dapat dihemat. Akan tetapi, dibutuhkan biaya operasional dalam melakukan peluang penghematan ini selama 10 tahun sebesar Rp. 12.396.569,-. Sehingga total penghematan yang diperoleh dalam 10 tahun adalah Rp. 209.430.743,-.

Dengan investasi sebesar Rp. 80.000.000,-, maka penghematan yang diperoleh PT Y dalam jangka 10 tahun adalah Rp. 209.430.743,- - Rp. 80.000.000,- = Rp. 129.430.743,-. SIR bernilai 2,62 yang memberikan arti bahwa setiap Rp. 1,- yang diinvestasikan maka akan memperoleh keuntungan sebesar Rp. 2,62. Tingkat kenaikan keuntungan (AIRR) bernilai 0,0207.

Tabel 4.22 Perhitungan waktu balik modal pemasangan kapasitor bank pada PT Y, 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 = 4 x 5)	(7 = Σ 6)	(8)	(9 = 7 - 8)
1	3,578,850.00	(200,000.00)	3,378,850.00	9.88E-01	3,337,135.80	3,337,135.80	80,000,000.00	(76,662,864.20)
2	3,578,850.00	(200,000.00)	3,378,850.00	9.75E-01	3,295,936.60	6,633,072.40	80,000,000.00	(73,366,927.60)
3	3,578,850.00	(200,000.00)	3,378,850.00	9.63E-01	3,255,246.02	9,888,318.42	80,000,000.00	(70,111,681.58)
4	3,578,850.00	(200,000.00)	3,378,850.00	9.52E-01	3,215,057.80	13,103,376.21	80,000,000.00	(66,896,623.79)
5	3,578,850.00	(200,000.00)	3,378,850.00	9.40E-01	3,175,365.73	16,278,741.94	80,000,000.00	(63,721,258.06)
6	3,578,850.00	(200,000.00)	3,378,850.00	9.28E-01	3,136,163.68	19,414,905.62	80,000,000.00	(60,585,094.38)
7	3,578,850.00	(200,000.00)	3,378,850.00	9.17E-01	3,097,445.61	22,512,351.23	80,000,000.00	(57,487,648.77)
8	3,578,850.00	(200,000.00)	3,378,850.00	9.05E-01	3,059,205.54	25,571,556.77	80,000,000.00	(54,428,443.23)
9	3,578,850.00	(200,000.00)	3,378,850.00	8.94E-01	3,021,437.57	28,592,994.34	80,000,000.00	(51,407,005.66)
10	3,578,850.00	(200,000.00)	3,378,850.00	8.83E-01	2,984,135.87	31,577,130.21	80,000,000.00	(48,422,869.79)
11	3,578,850.00	(200,000.00)	3,378,850.00	8.72E-01	2,947,294.69	34,524,424.90	80,000,000.00	(45,475,575.10)
12	3,578,850.00	(200,000.00)	3,378,850.00	8.62E-01	2,910,908.33	37,435,333.24	80,000,000.00	(42,564,666.76)
13	3,578,850.00	(200,000.00)	3,378,850.00	8.51E-01	2,874,971.19	40,310,304.43	80,000,000.00	(39,689,695.57)
14	3,578,850.00	(200,000.00)	3,378,850.00	8.40E-01	2,839,477.72	43,149,782.15	80,000,000.00	(36,850,217.85)
15	3,578,850.00	(200,000.00)	3,378,850.00	8.30E-01	2,804,422.44	45,954,204.60	80,000,000.00	(34,045,795.40)
16	3,578,850.00	(200,000.00)	3,378,850.00	8.20E-01	2,769,799.94	48,724,004.54	80,000,000.00	(31,275,995.46)
17	3,578,850.00	(200,000.00)	3,378,850.00	8.10E-01	2,735,604.88	51,459,609.42	80,000,000.00	(28,540,390.58)
18	3,578,850.00	(200,000.00)	3,378,850.00	8.00E-01	2,701,831.98	54,161,441.40	80,000,000.00	(25,838,558.60)
19	3,578,850.00	(200,000.00)	3,378,850.00	7.90E-01	2,668,476.03	56,829,917.44	80,000,000.00	(23,170,082.56)
20	3,578,850.00	(200,000.00)	3,378,850.00	7.80E-01	2,635,531.88	59,465,449.32	80,000,000.00	(20,534,550.68)
21	3,578,850.00	(200,000.00)	3,378,850.00	7.70E-01	2,602,994.45	62,068,443.77	80,000,000.00	(17,931,556.23)
22	3,578,850.00	(200,000.00)	3,378,850.00	7.61E-01	2,570,858.72	64,639,302.49	80,000,000.00	(15,360,697.51)
23	3,578,850.00	(200,000.00)	3,378,850.00	7.51E-01	2,539,119.72	67,178,422.21	80,000,000.00	(12,821,577.79)
24	3,578,850.00	(200,000.00)	3,378,850.00	7.42E-01	2,507,772.57	69,686,194.78	80,000,000.00	(10,313,805.22)
25	3,578,850.00	(200,000.00)	3,378,850.00	7.33E-01	2,476,812.41	72,163,007.19	80,000,000.00	(7,836,992.81)
26	3,578,850.00	(200,000.00)	3,378,850.00	7.24E-01	2,446,234.48	74,609,241.67	80,000,000.00	(5,390,758.33)
27	3,578,850.00	(200,000.00)	3,378,850.00	7.15E-01	2,416,034.05	77,025,275.72	80,000,000.00	(2,974,724.28)
28	3,578,850.00	(200,000.00)	3,378,850.00	7.06E-01	2,386,206.47	79,411,482.19	80,000,000.00	(588,517.81)
29	3,578,850.00	(200,000.00)	3,378,850.00	6.97E-01	2,356,747.13	81,768,229.33	80,000,000.00	1,768,229.33
30	3,578,850.00	(200,000.00)	3,378,850.00	6.89E-01	2,327,651.49	84,095,880.82	80,000,000.00	4,095,880.82
Pay Back Periode	29 Bulan							

Jangka waktu pengembalian modal adalah 29 bulan.

Dengan melihat perhitungan LCC diatas, diperoleh

- ✓ LCC = Rp. 92.396.569,-
- ✓ NS > 0
- ✓ SIR > 1
- ✓ AIRR > 0,0125
- ✓ Waktu pengembalian modal 29 bulan

maka usaha penghematan biaya energi dengan peningkatan faktor daya pada PT Y dapat dilaksanakan dari segi ekonomi untuk tingkat pemotongan 15% per tahun.

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

Tabel 4.21 Perhitungan LCC (biaya selama pemakaian) pemasangan kapasitor bank pada PT Y, tingkat pemotongan 9% per tahun

Daftar Biaya (1)	Biaya tanggal dasar (2)	Periode (3)	faktor pemotongan (4)	Present Value (5 = 2 X 4)
Investasi	80.000.000,00	120 bulan	1,00	80.000.000,00
Biaya Operasi, Pemeliharaan, dan Perbaikan	200.000,00	120 bulan	78,94	15.788.338,53
Biaya Energi Tambahan			78,94	-
Nilai Sisa			0,41	-
Biaya Pergantian Modal			0,41	-
Biaya selama penggunaan (LCC)				95.788.338,53

Biaya yang harus dikeluarkan PT Y dalam jangka waktu 10 tahun untuk pemasangan kapasitor bank adalah Rp. 95.788.338,- yang terdiri dari biaya investasi sebesar Rp. 80.000.000,- dengan faktor pemotongan adalah satu, dan biaya operasional kapasitor selama pemakaian sebesar Rp. 200.000,- per bulan yang dengan faktor pemotongan 15% per tahun memiliki nilai pada masa sekarang sebesar Rp. 15.788.388,-

Tabel 4.22 Perhitungan penghematan pemasangan kapasitor bank pada PT Y, 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	3.578.850,00		3.578.850,00	78,94	282.520.476,81
Biaya operasi, pemeliharaan, dan perbaikan		200.000,00	(200.000,00)	78,94	(15.788.338,53)
Total Penghematan					266.732.138,27
Biaya Investasi					
Investasi		80.000.000,00	(80.000.000,00)	1,00	(80.000.000,00)
Biaya pergantian modal		-	-	0,41	-
Nilai sisa		-	-	0,41	-
Total Investasi					(80.000.000,00)
Net Saving (NS)					186.732.138,27
Saving to Investment Ratio (SIR)					3,33
Adjusted Investment Rate of Return (AIRR)					0,0177

Apabila peluang penghematan biaya listrik dengan pemasangan kapasitor bank tidak dilakukan, maka biaya yang harus dikeluarkan PT Y adalah Rp. 3.578.850,- per bulan. Dengan tingkat pemotongan 9% per tahun dan selama 10

tahun, maka biaya yang harus dikeluarkan dalam jangka waktu 10 tahun adalah Rp. 282.520.476,-. Sedangkan apabila peluang ini dilaksanakan maka biaya tersebut dapat dihemat. Akan tetapi, dibutuhkan biaya operasional dalam melakukan peluang penghematan ini selama 10 tahun sebesar Rp. 15.788.338,-. Sehingga total penghematan yang diperoleh dalam 10 tahun adalah Rp. 266.732.138,-

Dengan investasi sebesar Rp. 80.000.000,-, maka penghematan yang diperoleh PT Y dalam jangka 10 tahun adalah Rp. 266.732.138,- - Rp. 80.000.000,- = Rp. 186.732.138,-. SIR bernilai 3,33 yang memberikan arti bahwa setiap Rp. 1,- yang diinvestasikan maka akan memperoleh keuntungan sebesar Rp. 3,33. Tingkat kenaikan keuntungan (AIRR) bernilai 0,0177.

Tabel 4.22 Perhitungan waktu balik modal pemasangan kapasitor bank pada PT Y, 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 = 4 x 5)	(7 = Σ 6)	(8)	(9 = 7 - 8)
1	3.578.850,00	(200.000,00)	3.378.850,00	9,93E-01	3.353.697,27	3.353.697,27	80.000.000,00	(76.646.302,73)
2	3.578.850,00	(200.000,00)	3.378.850,00	9,85E-01	3.328.731,78	6.682.429,05	80.000.000,00	(73.317.570,95)
3	3.578.850,00	(200.000,00)	3.378.850,00	9,78E-01	3.303.952,14	9.986.381,19	80.000.000,00	(70.013.618,81)
4	3.578.850,00	(200.000,00)	3.378.850,00	9,71E-01	3.279.356,96	13.265.738,16	80.000.000,00	(66.734.261,84)
5	3.578.850,00	(200.000,00)	3.378.850,00	9,63E-01	3.254.944,88	16.520.683,03	80.000.000,00	(63.479.316,97)
6	3.578.850,00	(200.000,00)	3.378.850,00	9,56E-01	3.230.714,52	19.751.397,55	80.000.000,00	(60.248.602,45)
7	3.578.850,00	(200.000,00)	3.378.850,00	9,49E-01	3.206.664,53	22.958.062,09	80.000.000,00	(57.041.937,91)
8	3.578.850,00	(200.000,00)	3.378.850,00	9,42E-01	3.182.793,58	26.140.855,67	80.000.000,00	(53.859.144,33)
9	3.578.850,00	(200.000,00)	3.378.850,00	9,35E-01	3.159.100,33	29.299.956,00	80.000.000,00	(50.700.044,00)
10	3.578.850,00	(200.000,00)	3.378.850,00	9,28E-01	3.135.583,45	32.435.539,45	80.000.000,00	(47.564.460,55)
11	3.578.850,00	(200.000,00)	3.378.850,00	9,21E-01	3.112.241,64	35.547.781,10	80.000.000,00	(44.452.218,90)
12	3.578.850,00	(200.000,00)	3.378.850,00	9,14E-01	3.089.073,59	38.636.854,69	80.000.000,00	(41.363.145,31)
13	3.578.850,00	(200.000,00)	3.378.850,00	9,07E-01	3.066.078,00	41.702.932,69	80.000.000,00	(38.297.067,31)
14	3.578.850,00	(200.000,00)	3.378.850,00	9,01E-01	3.043.253,60	44.746.186,29	80.000.000,00	(35.253.813,71)
15	3.578.850,00	(200.000,00)	3.378.850,00	8,94E-01	3.020.599,11	47.766.785,40	80.000.000,00	(32.233.214,60)
16	3.578.850,00	(200.000,00)	3.378.850,00	8,87E-01	2.998.113,26	50.764.898,66	80.000.000,00	(29.235.101,34)
17	3.578.850,00	(200.000,00)	3.378.850,00	8,81E-01	2.975.794,80	53.740.693,46	80.000.000,00	(26.259.306,54)
18	3.578.850,00	(200.000,00)	3.378.850,00	8,74E-01	2.953.642,48	56.694.335,94	80.000.000,00	(23.305.664,06)
19	3.578.850,00	(200.000,00)	3.378.850,00	8,68E-01	2.931.655,07	59.625.991,01	80.000.000,00	(20.374.008,99)
20	3.578.850,00	(200.000,00)	3.378.850,00	8,61E-01	2.909.831,33	62.535.822,34	80.000.000,00	(17.464.177,66)
21	3.578.850,00	(200.000,00)	3.378.850,00	8,55E-01	2.888.170,06	65.423.992,40	80.000.000,00	(14.576.007,60)
22	3.578.850,00	(200.000,00)	3.378.850,00	8,48E-01	2.866.670,03	68.290.662,43	80.000.000,00	(11.709.337,57)
23	3.578.850,00	(200.000,00)	3.378.850,00	8,42E-01	2.845.330,06	71.135.992,49	80.000.000,00	(8.864.007,51)
24	3.578.850,00	(200.000,00)	3.378.850,00	8,36E-01	2.824.148,94	73.960.141,43	80.000.000,00	(6.039.858,57)
25	3.578.850,00	(200.000,00)	3.378.850,00	8,30E-01	2.803.125,50	76.763.266,92	80.000.000,00	(3.236.733,08)
26	3.578.850,00	(200.000,00)	3.378.850,00	8,23E-01	2.782.258,56	79.545.525,48	80.000.000,00	(454.474,52)
27	3.578.850,00	(200.000,00)	3.378.850,00	8,17E-01	2.761.546,96	82.307.072,44	80.000.000,00	2.307.072,44
28	3.578.850,00	(200.000,00)	3.378.850,00	8,11E-01	2.740.989,54	85.048.061,98	80.000.000,00	5.048.061,98
29	3.578.850,00	(200.000,00)	3.378.850,00	8,05E-01	2.720.585,15	87.768.647,12	80.000.000,00	7.768.647,12
30	3.578.850,00	(200.000,00)	3.378.850,00	7,99E-01	2.700.332,65	90.468.979,77	80.000.000,00	10.468.979,77
Pay Back Periode	27 Bulan							

Jangka waktu pengembalian modal adalah 27 bulan.

Dengan melihat perhitungan LCC diatas, diperoleh

- ✓ LCC = Rp. 95.788.338,-
- ✓ NS > 0
- ✓ SIR > 1
- ✓ AIRR > 0,0075
- ✓ Waktu pengembalian modal 27 bulan

maka usaha penghematan biaya energi dengan peningkatan faktor daya pada PT Y dapat dilaksanakan dari segi ekonomi untuk tingkat pemotongan 9% per tahun.

Dari perhitungan diatas, terlihat bahwa dengan mempertimbangkan tingkat pemotongan yang lebih kecil pertahunnya, maka waktu pengembalian modal akan lebih singkat, hal ini dikarenakan tingkat penurunan harga yang tidak terlalu jauh setiap bulannya, sehingga jumlah biaya yang dapat dihemat jadi lebih besar.

Dengan perbaikan faktor daya pada sistem tenaga listrik PT Y, maka konsumsi energi dapat dihemat sebesar 6.507 kWh per bulan, atau 4,1 % dari total konsumsi energi per bulan.

4.2.3 PERBAIKAN DISTORSI HARMONIK

4.2.3.1 Analisa Kondisi Eksisting

Distorsi harmonik yang terjadi pada sistem tenaga listrik adalah 21%. Untuk menanggulangi hal tersebut diperlukan penggunaan filter harmonik. Harmonik arus yang tinggi dapat meningkatkan konsumsi kWh (arus), rugi-rugi saluran, penurunan life time peralatan, overheating, dan neutral overloading.

Berdasarkan pengukuran dan data yang diperoleh, rata – rata distorsi harmonik arus pada PT Y adalah 21%. Sehingga daya yang dikonsumsi adalah sebagai berikut :

Tegangan rata-rata = 227,4 volt

Arus rata-rata = 747,6 Amp

Faktor daya = 0,95

Daya aktif rata-rata = $3 \times V \times I \times PF = 484,5 \text{ kW}$

THD rata-rata = 21%

Energi yang di konsumsi = $484,5 \text{ kW} \times 24 \times 30 = 348,840 \text{ kWh}$

Dengan menurunkan THD arus menjadi 2,5%, maka daya yang akan dikonsumsi adalah sebagai berikut :

THD rata-rata = 2,5%

Arus fundamental = $\frac{747,6}{\sqrt{1 + (0,21)^2}} = 731,6 \text{ Amp}$

Arus total rata-rata baru = $731,6 \sqrt{1 + (0,025)^2} = 731,8 \text{ Amp}$

Tegangan rata-rata = 227,4 volt

Daya aktif rata-rata = $3 \times 227,4 \times 731,8 \times 0,95 = 474,27 \text{ kW}$

Energi yang di konsumsi = $474,27 \text{ kW} \times 24 \times 30 = 341.474 \text{ kWh}$

Sehingga dengan memperbaiki distorsi harmonik dapat dilakukan penghematan energi sebesar $348.840 \text{ kWh} - 341.474 \text{ kWh} = 7.366 \text{ kWh}$ per bulan, atau dengan tarif listrik sebesar Rp. 550 per kWh, diperoleh penghematan finansial sebesar Rp. 4.051.300,- per bulan.

4.2.3.2 Bentuk Konservasi

Bentuk konservasi energi yang dapat dilakukan untuk perbaikan distorsi harmonik adalah dengan menggunakan filter harmonik sedekat mungkin dengan sumber harmonik.

4.2.3.3 Analisa LCC

Parameter-parameter yang digunakan adalah :

- Penghematan per bulan diperoleh dari pemasangan filter untuk mengurangi rugi-rugi jaringan adalah :

Biaya rugi-rugi jaringan = Rp. 4.051.300,- per bulan

- Harga filter harmonik adalah Rp. 90.000.000,- dengan umur pakai filter harmonik adalah 10 tahun, dengan biaya pemeliharaan Rp. 200.000,- per bulan.

- c. Tingkat pemotongan 15% dan 9% per tahun

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

Tabel 4.23 Perhitungan LCC pemasangan filter harmonik pada PT Y, tingkat pemotongan 15% per tahun

Daftar Biaya (1)	Biaya tanggal dasar (2)	Periode (3)	faktor pemotongan (4)	Present Value (5 = 2 X 4)
Investasi	90.000.000.00	120 bulan	1.00	90.000.000.00
Biaya Operasi, Pemeliharaan, dan Perbaikan	200.000.00	120 bulan	61.98	12.396.569.45
Biaya Energi Tambahan			61.98	-
Nilai Sisa			0.23	-
Biaya Pergantian Modal			0.23	-
Biaya selama penggunaan (LCC)				102,396,569.45

Biaya yang harus dikeluarkan PT Y dalam jangka waktu 10 tahun untuk pemasangan filter harmonik adalah Rp. 102.396.569,- yang terdiri dari biaya investasi sebesar Rp. 90.000.000,- dengan faktor pemotongan adalah satu, dan biaya operasional filter selama pemakaian sebesar Rp. 200.000,- per bulan yang dengan faktor pemotongan 15% per tahun memiliki nilai pada masa sekarang sebesar Rp. 12.936.569,-

Tabel 4.24 Perhitungan penghematan pemasangan filter harmonik pada PT Y, 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	4,051,300.00		4,051,300.00	61.98	251,111,109.05
Biaya operasi, pemeliharaan, dan perbaikan		200,000.00	(200,000.00)	61.98	(12,396,569.45)
Total Penghematan					238,714,539.60

Biaya Investasi					
Investasi		90,000,000.00	(90,000,000.00)	1.00	(90,000,000.00)
Biaya pergantian modal		-	-	0.23	-
Nilai sisa		-	-	0.23	-
Total Investasi					(90,000,000.00)

Net Saving (NS)	148,714,539.60
Saving to Investment Ratio (SIR)	2.65
Adjusted Investment Rate of Return (AIRR)	0.0208

Apabila peluang penghematan biaya listrik dengan pemasangan filter harmonik tidak dilakukan, maka biaya yang harus dikeluarkan PT Y adalah Rp. 4.051.300,- per bulan. Dengan tingkat pemotongan 15% per tahun dan selama 10

tahun, maka biaya yang harus dikeluarkan dalam jangka waktu 10 tahun adalah Rp. 251.111.109,-. Sedangkan apabila peluang ini dilaksanakan maka biaya tersebut dapat dihemat. Akan tetapi, dibutuhkan biaya operasional dalam melakukan peluang penghematan ini selama 10 tahun sebesar Rp. 12.396.569,-. Sehingga total penghematan yang diperoleh dalam 10 tahun adalah Rp. 238.714.539,-.

Dengan investasi sebesar Rp. 90.000.000,-, maka penghematan yang diperoleh PT Y dalam jangka 10 tahun adalah Rp. 238.714.539,- - Rp. 90.000.000,- = Rp. 148.714.539,-. SIR bernilai 2,65 yang memberikan arti bahwa setiap Rp. 1,- yang diinvestasikan maka akan memperoleh keuntungan sebesar Rp. 2,65. Tingkat kenaikan keuntungan (AIRR) bernilai 0,0208.

Tabel 4.25 Perhitungan waktu balik modal pemasangan filter harmonik pada PT Y, 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 = 4 x 5)	(7 = Σ 6)	(8)	(9 = 7 - 8)
1	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	9.88E-01	3.803.753,09	3.803.753,09	90.000.000,00	(86.196.246,91)
2	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	9.75E-01	3.756.793,17	7.560.546,26	90.000.000,00	(82.439.453,74)
3	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	9.63E-01	3.710.413,01	11.270.959,27	90.000.000,00	(78.729.040,73)
4	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	9.52E-01	3.664.605,44	14.935.564,71	90.000.000,00	(75.064.435,29)
5	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	9.40E-01	3.619.363,40	18.554.928,11	90.000.000,00	(71.445.071,89)
6	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	9.28E-01	3.574.679,90	22.129.608,01	90.000.000,00	(67.870.391,99)
7	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	9.17E-01	3.530.548,05	25.660.156,06	90.000.000,00	(64.339.843,94)
8	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	9.05E-01	3.486.961,04	29.147.117,09	90.000.000,00	(60.852.882,91)
9	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	8.94E-01	3.443.912,13	32.591.029,23	90.000.000,00	(57.408.970,77)
10	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	8.83E-01	3.401.394,70	35.992.423,93	90.000.000,00	(54.007.576,07)
11	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	8.72E-01	3.359.402,17	39.351.826,10	90.000.000,00	(50.648.173,90)
12	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	8.62E-01	3.317.928,07	42.669.754,17	90.000.000,00	(47.330.245,83)
13	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	8.51E-01	3.276.966,00	45.946.720,17	90.000.000,00	(44.053.279,83)
14	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	8.40E-01	3.236.509,63	49.183.229,80	90.000.000,00	(40.816.770,20)
15	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	8.30E-01	3.196.552,72	52.379.782,52	90.000.000,00	(37.620.217,48)
16	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	8.20E-01	3.157.089,10	55.536.871,62	90.000.000,00	(34.463.128,38)
17	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	8.10E-01	3.118.112,70	58.654.984,32	90.000.000,00	(31.345.015,68)
18	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	8.00E-01	3.079.617,48	61.734.601,80	90.000.000,00	(28.265.398,20)
19	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	7.90E-01	3.041.597,51	64.776.199,31	90.000.000,00	(25.223.800,69)
20	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	7.80E-01	3.004.046,92	67.780.246,23	90.000.000,00	(22.219.753,77)
21	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	7.70E-01	2.966.959,92	70.747.206,15	90.000.000,00	(19.252.793,85)
22	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	7.61E-01	2.930.330,79	73.677.536,94	90.000.000,00	(16.322.463,06)
23	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	7.51E-01	2.894.153,86	76.571.690,80	90.000.000,00	(13.428.309,20)
24	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	7.42E-01	2.858.423,57	79.430.114,37	90.000.000,00	(10.569.885,63)
25	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	7.33E-01	2.823.134,39	82.253.248,76	90.000.000,00	(7.746.751,24)
26	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	7.24E-01	2.788.280,88	85.041.529,64	90.000.000,00	(4.958.470,36)
27	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	7.15E-01	2.753.857,66	87.795.387,30	90.000.000,00	(2.204.612,70)
28	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	7.06E-01	2.719.859,42	90.515.246,72	90.000.000,00	515.246,72
29	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	6.97E-01	2.686.280,90	93.201.527,62	90.000.000,00	3.201.527,62
30	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	6.89E-01	2.653.116,94	95.854.644,57	90.000.000,00	5.854.644,57
Pay Back Periode		28 Bulan						

Jangka waktu pengembalian modal adalah 28 bulan.

Dengan melihat perhitungan LCC diatas, diperoleh

- ✓ LCC = Rp. 102.396.569,-
- ✓ $NS > 0$
- ✓ $SIR > 1$
- ✓ $AIRR > 0,0125$
- ✓ Waktu pengembalian modal 28 bulan

maka usaha penghematan biaya energi dengan meminimalisasi distorsi harmonik pada PT Y dapat dilaksanakan dari segi ekonomi untuk tingkat pemotongan 15% per tahun.

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

Tabel 4.26 Perhitungan LCC pemasangan filter harmonik pada PT Y, tingkat pemotongan 9% per tahun

Daftar Biaya (1)	Biaya tanggal dasar (2)	Periode (3)	faktor pemotongan (4)	Present Value (5 = 2 X 4)
Investasi	90.000.000,00	120 bulan	1,00	90.000.000,00
Biaya Operasi, Pemeliharaan, dan Perbaikan	200.000,00	120 bulan	78,94	15.788.338,53
Biaya Energi Tambahan			78,94	-
Nilai Sisa			0,41	-
Biaya Pergantian Modal			0,41	-
Biaya selama penggunaan (LCC)				105.788.338,53

Biaya yang harus dikeluarkan PT Y dalam jangka waktu 10 tahun untuk pemasangan filter harmonik adalah Rp. 105.788.338,- yang terdiri dari biaya investasi sebesar Rp. 90.000.000,- dengan faktor pemotongan adalah satu, dan biaya operasional filter selama pemakaian sebesar Rp. 200.000,- per bulan yang dengan faktor pemotongan 9% per tahun memiliki nilai pada masa sekarang sebesar Rp. 15.788.338,-

Tabel 4.27 Perhitungan penghematan pemasangan filter harmonik pada PT Y, tingkat pemotongan 9% per tahun

Daftar Biaya	Tanpa Pemasangan	Dengan Pemasangan	selisih	faktor pemotongan	Present value
(1)	(2)	(3)	(4 = 2 - 3)	(5)	(6 = 4 X 5)
Penghematan Operasional					
Biaya yang harus dikeluarkan	4.051.300,00		4.051.300,00	78,94	319.816.479,51
Biaya operasi, pemeliharaan, dan perbaikan		200.000,00	(200.000,00)	78,94	(15.788.338,53)
Total Penghematan					304.028.140,98
Biaya Investasi					
Investasi		90.000.000,00	(90.000.000,00)	1,00	(90.000.000,00)
Biaya pergantian modal		-	-	0,41	-
Nilai sisa		-	-	0,41	-
Total Investasi					(90.000.000,00)
Net Saving (NS)					214.028.140,98
Saving to Investment Ratio (SIR)					3,38
Adjusted Investment Rate of Return (AIRR)					0,0178

Apabila peluang penghematan biaya listrik dengan pemasangan filter harmonik tidak dilakukan, maka biaya yang harus dikeluarkan PT Y adalah Rp. 4.051.300,- per bulan. Dengan tingkat pemotongan 9% per tahun dan selama 10 tahun, maka biaya yang harus dikeluarkan dalam jangka waktu 10 tahun adalah Rp. 319.816.479,-. Sedangkan apabila peluang ini dilaksanakan maka biaya tersebut dapat dihemat. Akan tetapi, dibutuhkan biaya operasional dalam melakukan peluang penghematan ini selama 10 tahun sebesar Rp. 15.788.338,-. Sehingga total penghematan yang diperoleh dalam 10 tahun adalah Rp. 304.028.140,-.

Dengan investasi sebesar Rp. 90.000.000,-, maka penghematan yang diperoleh PT Y dalam jangka 10 tahun adalah Rp. 304.028.140,- - Rp. 90.000.000,- = Rp. 214.028.140,-. SIR bernilai 3,38 yang memberikan arti bahwa setiap Rp. 1,- yang diinvestasikan maka akan memperoleh keuntungan sebesar Rp. 3,38. Tingkat kenaikan keuntungan (AIRR) bernilai 0,0178..

Tabel 4.28 Perhitungan waktu balik modal pemasangan filter harmonik pada PT Y, 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 = 4 x 5)	(7 = Σ 6)	(8)	(9 = 7 - 8)
1	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	9,93E-01	3.822.630,27	3.822.630,27	90.000.000,00	(86.177.369,73)
2	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	9,85E-01	3.794.173,97	7.616.804,24	90.000.000,00	(82.383.195,76)
3	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	9,78E-01	3.765.929,50	11.382.733,74	90.000.000,00	(78.617.266,26)
4	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	9,71E-01	3.737.895,28	15.120.629,02	90.000.000,00	(74.879.370,98)
5	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	9,63E-01	3.710.069,76	18.830.698,78	90.000.000,00	(71.169.301,22)
6	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	9,56E-01	3.682.451,37	22.513.150,15	90.000.000,00	(67.486.849,85)
7	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	9,49E-01	3.655.038,58	26.168.188,74	90.000.000,00	(63.831.811,26)
8	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	9,42E-01	3.627.829,86	29.796.018,60	90.000.000,00	(60.203.981,40)
9	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	9,35E-01	3.600.823,68	33.396.842,28	90.000.000,00	(56.603.157,72)
10	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	9,28E-01	3.574.018,54	36.970.860,83	90.000.000,00	(53.029.139,17)
11	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	9,21E-01	3.547.412,95	40.518.273,77	90.000.000,00	(49.481.726,23)
12	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	9,14E-01	3.521.005,41	44.039.279,18	90.000.000,00	(45.960.720,82)
13	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	9,07E-01	3.494.794,45	47.534.073,63	90.000.000,00	(42.465.926,37)
14	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	9,01E-01	3.468.778,61	51.002.852,23	90.000.000,00	(38.997.147,77)
15	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	8,94E-01	3.442.956,43	54.445.808,67	90.000.000,00	(35.554.191,33)
16	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	8,87E-01	3.417.326,49	57.863.135,16	90.000.000,00	(32.136.864,84)
17	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	8,81E-01	3.391.887,33	61.255.022,49	90.000.000,00	(28.744.977,51)
18	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	8,74E-01	3.366.637,55	64.621.660,04	90.000.000,00	(25.378.339,96)
19	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	8,68E-01	3.341.575,73	67.963.235,77	90.000.000,00	(22.036.764,23)
20	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	8,61E-01	3.316.700,48	71.279.936,25	90.000.000,00	(18.720.063,75)
21	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	8,55E-01	3.292.010,40	74.571.946,65	90.000.000,00	(15.428.053,35)
22	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	8,48E-01	3.267.504,12	77.839.450,77	90.000.000,00	(12.160.549,23)
23	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	8,42E-01	3.243.180,27	81.082.631,03	90.000.000,00	(8.917.368,97)
24	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	8,36E-01	3.219.037,49	84.301.668,52	90.000.000,00	(5.698.331,48)
25	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	8,30E-01	3.195.074,43	87.496.742,95	90.000.000,00	(2.503.257,05)
26	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	8,23E-01	3.171.289,75	90.668.032,70	90.000.000,00	668.032,70
27	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	8,17E-01	3.147.682,14	93.815.714,84	90.000.000,00	3.815.714,84
28	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	8,11E-01	3.124.250,26	96.939.965,10	90.000.000,00	6.939.965,10
29	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	8,05E-01	3.100.992,82	100.040.957,92	90.000.000,00	10.040.957,92
30	4.051.300,00	(200.000,00)	3.851.300,00	7,99E-01	3.077.908,50	103.118.866,42	90.000.000,00	13.118.866,42
Pay Back Periode	26 Bulan							

Jangka waktu pengembalian modal adalah 26 bulan.

Dengan melihat perhitungan LCC diatas, diperoleh

- ✓ LCC = Rp. 105.788.338,-
- ✓ NS > 0
- ✓ SIR > 1
- ✓ AIRR > 0,0075
- ✓ Waktu pengembalian modal 26 bulan

maka usaha penghematan biaya energi dengan meminimalisasi distorsi harmonik pada PT Y dapat dilaksanakan dari segi ekonomi untuk tingkat pemotongan 9% per tahun.

Dari perhitungan diatas, terlihat bahwa dengan mempertimbangkan tingkat pemotongan yang lebih kecil pertahunnya, maka waktu pengembalian modal akan

lebih singkat, hal ini dikarenakan tingkat penurunan harga yang tidak terlalu jauh setiap bulannya, sehingga jumlah biaya yang dapat dihemat jadi lebih besar.

Dengan perbaikan faktor daya pada sistem tenaga listrik PT Y, maka konsumsi energi dapat dihemat sebesar 7.366 kWh per bulan, atau 3,5 % dari total konsumsi energi per bulan.

4.2.4 RESUME KONSERVASI PADA PT Y

Dari peluang-peluang yang telah dijelaskan di atas, maka diperoleh total penghematan energi listrik dan biaya energi listrik yang dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.29 Resume konservasi energi listrik pada PT Y

No	Konservasi Energi	Penghematan Energi per bulan		Penghematan Biaya per bulan	Investasi	Waktu Balik Modal d=15%/tahun	Waktu Balik Modal d=9%/tahun
		(kWh)	(%)	(Rp.)	(Rp)	(bulan)	(bulan)
1	Pemasangan kapasitor bank	6.507	4,1	3.578.850,-	80.000.000,-	29	27
2	Pemasangan filter harmonik	7.366	3,5	4.051.300,-	90.000.000,-	28	26
Total		13.873	7,6	7.630.150	170.000.000	28 – 29	26 – 27

Pada tabel diatas dapat dilihat bahwa total energi yang dapat dihemat adalah 13.873 kWh per bulan. Dengan mempertimbangkan tingkat pemotongan sebesar 15% per tahun maka waktu balik modal berkisar 28 – 29 bulan, sedangkan apabila tingkat pemotongan yang diperhitungkan sebesar 9% per bulan maka waktu balik modal adalah 26 – 27 bulan.

4.3 PT Z

4.3.1 DIVISI STEEL MELTING STATION (SMS)

4.3.1.1 Analisa Sistem Kelistrikan Eksisting

Untuk kebutuhan daya aktif rata-rata dengan waktu nyala 24 jam dan 30 hari dalam satu bulan maka diperoleh :

$$\text{Kebutuhan daya rata-rata} = 29.602.042 \text{ kWh/bulan} = 41.113,95 \text{ kW}$$

dan kebutuhan daya maksimum dari rekening listrik selama setahun adalah :

Kebutuhan daya maksimum rata-rata = 35.012.402 kWh/bulan = 48.628,34 kW

$$\text{Faktor beban tahunan} = \frac{41.113,95 \text{ kW}}{48.628,34 \text{ kW}} \times 100\% = 84\%$$

Dari data-data yang diperoleh seperti yang telah dijelaskan pada bab III, maka terdapat 2 buah peluang penghematan energi pada divisi SMS PT Z, yaitu :

- Perbaiki faktor daya untuk mengurangi rugi-rugi jaringan, dan
- Menggunakan metode pemanasan awal pada peleburan *scrap* yang menggunakan EAF.

4.3.1.2 Perbaikan Faktor Daya

Berdasarkan data yang diperoleh, faktor daya total dari sistem kelistrikan adalah 0,86. Dari segi teknis, nilai faktor daya yang rendah akan menghasilkan rugi-rugi jaringan antara titik pasokan listrik PLN dengan panel utama PT Z sebesar 15% dari total penggunaan energi listrik. Oleh karena itu, faktor daya harus ditingkatkan, walaupun pihak perusahaan tidak dikenakan biaya kelebihan kVarh.

Konsumsi daya aktif rata-rata adalah 41.113,95 kW dan faktor daya adalah 0,86. Sedangkan rugi-rugi jaringan diperkirakan dengan kapasitas arus yang melewati sistem distribusi dan jenis konduktor yang digunakan [5], sebesar 15% dari daya aktif yang dikonsumsi yaitu 6.167,1 kW. Dengan waktu konsumsi daya selama satu bulan, maka energi yang terbuang adalah

$$6.167,1 \text{ kW} \times 720 \text{ jam} = 4.440.312 \text{ kWh per bulan .}$$

Dengan meningkatkan faktor daya menjadi 0,95, maka dapat dilakukan penghematan dengan persentase :

$$\% \text{ Loss}_{\text{reduction}} = \left[1 - \left(\frac{\text{PF}_{\text{lama}}}{\text{PF}_{\text{baru}}} \right)^2 \right] \times 100\% = \left[1 - \left(\frac{0,86}{0,95} \right)^2 \right] \times 100\% = 18,04\% \approx 18\%$$

sehingga, energi listrik (kWh) yang dapat dihemat dengan perbaikan faktor daya ini adalah $18\% \times 4.440.312 \text{ kWh} = 799.256,16 \text{ kWh per bulan .}$

Dengan tarif listrik Rp. 550,- per kWh, akan diperoleh penghematan biaya sebesar Rp. 439.590.888,- per bulan.

Untuk memperbaiki nilai faktor daya maka dibutuhkan pemasangan bank kapasitor, sebagai kompensator daya reaktif. Kapasitas kapasitor yang dibutuhkan adalah :

$$Q_c = P(\tan(\cos^{-1} 0,86) - \tan(\cos^{-1} 0,95))$$

$$Q_c = 41.113,95 \times 0,26$$

$$Q_c = 10.689,63 \text{ kVAr} \approx 10 \text{ MVar}$$

Kompensasi kapasitor yang dibutuhkan adalah 10 MVar.

Dalam perhitungan LCC dibutuhkan parameter-parameter dan asumsi, yaitu :

- a. Penghematan per bulan diperoleh dari penghematan rugi-rugi jaringan dan denda daya reaktif yang terjadi, sebesar :

Biaya rugi-rugi jaringan = Rp. 439.590.888,- per bulan

- b. Harga kapasitor bank adalah Rp. 1.500.000.000,- dengan umur pakai kapasitor bank adalah 10 tahun, dengan biaya pemeliharaan Rp. 1.000.000,- per bulan.
- c. Tingkat pemotongan 15% dan 9% per tahun

Perhitungan LCC untuk tingkat pemotongan 15% adalah sebagai berikut :

Tabel 4.30 Perhitungan LCC pemasangan kapasitor bank pada SMSD PT Z, tingkat pemotongan 15% per tahun

Daftar Biaya (1)	Biaya tanggal dasar (2)	Periode (3)	faktor pemotongan (4)	Present Value (5 = 2 X 4)
Investasi	1,500,000,000.00	120 bulan	1.00	1,500,000,000
Biaya Operasi, Pemeliharaan, dan Perbaikan	1,000,000.00	120 bulan	61.98	61,982,847.25
Biaya Energi Tambahan	-		61.98	-
Nilai Sisa	-		0.23	-
Biaya Pergantian Modal	-		0.47	-
Biaya selama penggunaan (LCC)				1,561,982,847.25

Biaya yang harus dikeluarkan PT Z dalam jangka waktu 10 tahun untuk pemasangan kapasitor bank adalah Rp. 1.561.982.847,- yang terdiri dari biaya investasi sebesar Rp. 1.500.000.000,- dengan faktor pemotongan adalah satu, dan biaya operasional kapasitor selama pemakaian sebesar Rp. 1.000.000,- per bulan

yang dengan faktor pemotongan 15% per tahun memiliki nilai pada masa sekarang sebesar Rp. 61.982.847,-

Tabel 4.31 Perhitungan penghematan pemasangan kapasitor bank pada SMSD PT Z, tingkat pemotongan 15% per tahun

Daftar Biaya	Tanpa Pemasangan	Dengan Pemasangan	selisih	faktor pemotongan	Present value
(1)	(2)	(3)	(4 = 2 - 3)	(5)	(6 = 4 X 5)
Penghematan Operasional					
Biaya yang harus dikeluarkan	439,590,888		439,590,888	62	27,247,094,862
Biaya operasi, pemeliharaan, dan perbaikan		1,000,000	(1,000,000)	62	(61,982,847)
Total Penghematan					27,185,112,015
Biaya Investasi					
Investasi		1,500,000,000	(1,500,000,000)	1	(1,500,000,000)
Biaya pergantian modal		-	-	0	-
Nilai sisa		-	-	0	-
Total Investasi					(1,500,000,000)
Net Saving (NS)					
					25,685,112,015.00
Saving to Investment Ratio (SIR)					
					18.12
Adjusted Investment Rate of Return (AIRR)					
					0.037

Apabila peluang penghematan biaya listrik dengan pemasangan kapasitor bank tidak dilakukan, maka biaya yang harus dikeluarkan PT Z adalah Rp. 439.590.888,- per bulan. Dengan tingkat pemotongan 15% per tahun dan selama 10 tahun, maka biaya yang harus dikeluarkan dalam jangka waktu 10 tahun adalah Rp. 27.247.194.862,-. Sedangkan apabila peluang ini dilaksanakan maka biaya tersebut dapat dihemat. Akan tetapi, dibutuhkan biaya operasional dalam melakukan peluang penghematan ini selama 10 tahun sebesar Rp. 61.982.847,-. Sehingga total penghematan yang diperoleh dalam 10 tahun adalah Rp. 25.685.112.015,-.

Dengan investasi sebesar Rp. 1.500.000.000,-, maka penghematan yang diperoleh PT Z dalam jangka 10 tahun adalah Rp. 25.685.112.015,- - Rp. 1.500.000.000,- = Rp. 25.685.112.015,-. SIR bernilai 18,12 yang memberikan arti bahwa setiap Rp. 1,- yang diinvestasikan maka akan memperoleh keuntungan sebesar Rp. 18,12. Tingkat kenaikan keuntungan (AIRR) bernilai 0,037.

Tabel 4.32 Perhitungan waktu balik modal pemasangan kapasitor bank pada SMSD PT Z, tingkat pemotongan 15% per tahun

bulan	pasangan 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 = 4 x 5)	(7 = Σ 6)	(8)	(9 = 7 - 8)
1	439.590,888	(1.000,000)	438.590,888	0,9877	433.176,186	433.176,186	1.500.000,000	(1.066.823,814)
2	439.590,888	(1.000,000)	438.590,888	0,9755	427.828,332	861.004,517	1.500.000,000	(638.995,483)
3	439.590,888	(1.000,000)	438.590,888	0,9634	422.546,500	1.283.551,017	1.500.000,000	(216.448,983)
4	439.590,888	(1.000,000)	438.590,888	0,9515	417.329,877	1.700.880,894	1.500.000,000	200.880,894
5	439.590,888	(1.000,000)	438.590,888	0,9398	412.177,656	2.113.058,550	1.500.000,000	613.058,550
6	439.590,888	(1.000,000)	438.590,888	0,9282	407.089,043	2.520.147,594	1.500.000,000	1.020.147,594
Pay Back Periode		4 Bulan						

Jangka waktu pengembalian modal adalah 4 bulan.

Dengan melihat perhitungan LCC diatas, diperoleh

- ✓ LCC = Rp. 1.561.982.847,-
- ✓ NS > 0
- ✓ SIR > 1
- ✓ AIRR > 0,0125
- ✓ Waktu pengembalian modal 4 bulan

maka usaha penghematan biaya energi dengan peningkatan faktor daya pada PT Z dapat dilaksanakan dari segi ekonomi untuk tingkat pemotongan 15% per tahun.

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

Tabel 4.33 Perhitungan LCC pemasangan kapasitor bank pada SMSD PT Z, tingkat pemotongan 9% per tahun

Daftar Biaya (1)	Biaya tanggal dasar (2)	Periode (3)	faktor pemotongan (4)	Present Value (5 = 2 X 4)
Investasi	1.500.000.000,00	120 bulan	1,00	1.500.000.000
Biaya Operasi, Pemeliharaan, dan Perbaikan	1.000.000,00	120 bulan	78,94	78.941.692,67
Biaya Energi Tambahan	-	-	78,94	-
Nilai Sisa	-	-	0,41	-
Biaya Pergantian Modal	-	-	0,64	-
Biaya selama penggunaan (LCC)				1.578.941.692,67

Biaya yang harus dikeluarkan PT Z dalam jangka waktu 10 tahun untuk pemasangan kapasitor bank adalah Rp. 1.578.941.692,- yang terdiri dari biaya investasi sebesar Rp. 1.500.000.000,- dengan faktor pemotongan adalah satu, dan biaya operasional kapasitor selama pemakaian sebesar Rp. 1.000.000,- per bulan

yang dengan faktor pemotongan 15% per tahun memiliki nilai pada masa sekarang sebesar Rp. 78.941.692,-

Tabel 4.34 Perhitungan penghematan pemasangan kapasitor bank pada SMSD PT Z, tingkat pemotongan 9% per tahun

Daftar Biaya	Tanpa Pemasangan	Dengan Pemasangan	selisih	faktor pemotongan	Present value
(1)	(2)	(3)	(4 = 2 - 3)	(5)	(6 = 4 X 5)
Penghematan Operasional					
Biaya yang harus dikeluarkan	439.590.888		439.590.888	79	34.702.048.781
Biaya operasi, pemeliharaan, dan perbaikan		1.000.000	(1.000.000)	79	(78.941.693)
Total Penghematan					34.623.107.088
Biaya Investasi					
Investasi		1.500.000.000	(1.500.000.000)	1	(1.500.000.000)
Biaya pergantian modal		-	-	0	-
Nilai sisa		-	-	0	-
Total Investasi					(1.500.000.000)
Net Saving (NS)					
					33.123.107.087,92
Saving to Investment Ratio (SIR)					
					23,08
Adjusted Investment Rate of Return (AIRR)					
					0,034

Apabila peluang penghematan biaya listrik dengan pemasangan kapasitor bank tidak dilakukan, maka biaya yang harus dikeluarkan PT Z adalah Rp. 439.590.888,- per bulan. Dengan tingkat pemotongan 9% per tahun dan selama 10 tahun, maka biaya yang harus dikeluarkan dalam jangka waktu 10 tahun adalah Rp. 34.702.048.781,-. Sedangkan apabila peluang ini dilaksanakan maka biaya tersebut dapat dihemat. Akan tetapi, dibutuhkan biaya operasional dalam melakukan peluang penghematan ini selama 10 tahun sebesar Rp. 78.941.693,-. Sehingga total penghematan yang diperoleh dalam 10 tahun adalah Rp. 34.623.107.088,-.

Dengan investasi sebesar Rp. 1.500.000.000,-, maka penghematan yang diperoleh PT Z dalam jangka 10 tahun adalah Rp. 34.623.107.088,- - Rp. 1.500.000.000,- = Rp. 33.123.107.087,-. SIR bernilai 23,08 yang memberikan arti bahwa setiap Rp. 1,- yang diinvestasikan maka akan memperoleh keuntungan sebesar Rp. 23,08. Tingkat kenaikan keuntungan (AIRR) bernilai 0,034.

Tabel 4.35 Perhitungan waktu balik modal pemasangan kapasitor bank pada SMSD PT Z, 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 = 4 x 5)	(7 = Σ 6)	(8)	(9 = 7 - 8)
1	439.590.888	(1.000.000)	438.590.888	0,9926	435.325.943	435.325.943	1.500.000.000	(1.064.674.057)
2	439.590.888	(1.000.000)	438.590.888	0,9852	432.085.304	867.411.247	1.500.000.000	(632.588.753)
3	439.590.888	(1.000.000)	438.590.888	0,9778	428.868.788	1.296.280.035	1.500.000.000	(203.719.965)
4	439.590.888	(1.000.000)	438.590.888	0,9706	425.676.216	1.721.956.251	1.500.000.000	221.956.251
5	439.590.888	(1.000.000)	438.590.888	0,9633	422.507.411	2.144.463.661	1.500.000.000	644.463.661
6	439.590.888	(1.000.000)	438.590.888	0,9562	419.362.194	2.563.825.856	1.500.000.000	1.063.825.856
Pay Back Periode	4 Bulan							

Jangka waktu pengembalian modal adalah 4 bulan.

Dengan melihat perhitungan LCC diatas, diperoleh

- ✓ LCC = Rp. 1.578.941.692,-
- ✓ NS > 0
- ✓ SIR > 1
- ✓ AIRR > 0,0075
- ✓ Waktu pengembalian modal 4 bulan

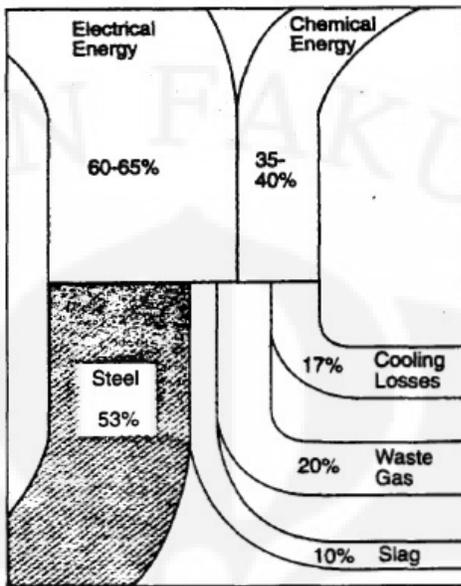
maka usaha penghematan biaya energi dengan peningkatan faktor daya pada PT Z dapat dilaksanakan dari segi ekonomi untuk tingkat pemotongan 9% per tahun.

Dari perhitungan diatas, terlihat bahwa dengan mempertimbangkan tingkat pemotongan yang lebih kecil pertahunnya, maka waktu pengembalian modal akan lebih singkat, hal ini dikarenakan tingkat penurunan harga yang tidak terlalu jauh setiap bulannya, sehingga jumlah biaya yang dapat dihemat jadi lebih besar.

Dengan perbaikan faktor daya pada sistem tenaga listrik PT Z, maka konsumsi energi dapat dihemat sebesar 799.256 kWh per bulan, atau 2,7 % dari total konsumsi energi per bulan.

4.3.1.3 Preheating Script

Secara umum 20 % dari total energi yang digunakan oleh Electric Arc Furnace terbuang menjadi gas yang tidak terpakai seperti terlihat pada gambar berikut : [6]



Gambar 4.1 Aliran energi pada EAF

Tergantung dari operasinya, kira-kira 60-65% dari total energi yang dibutuhkan berupa energi listrik dan sisanya merupakan energi kimia yang dihasilkan dari oksidasi elemen-elemen seperti karbon, besi, silikon, dan pembakaran gas alam (natural gas) dengan oxy-fuel burner. Sekitar 53% dari total energi meninggalkan furnace dalam bentuk baja cair sementara sisanya hilang sebagai terak (ampas bijih), gas terbuang, dan air pendingin. Biasanya, 20% dari energi yang dilepaskan dari furnace setara dengan 130 kWh/ton baja yang diproduksi. Dengan menggunakan gas terbuang ini untuk memanaskan *scrap* sebelum masuk EAF, dapat mengembalikan sejumlah energi dan menurunkan kebutuhan energi listrik untuk mencairkan *scrap*. Kandungan panas dari *scrap* yang dipanaskan sebelum dimasukkan EAF dalam kWh/ton diberikan pada tabel 22. Keuntungan yang diperoleh dengan memanaskan *scrap* sebelum masuk ke proses pencairan di EAF adalah :

1. Meningkatkan produktivitas
2. Menghilangkan moisture dari *scrap*
3. Menurunkan konsumsi elektroda
4. Menurunkan konsumsi *refractory*.

Tabel 4.36 Penggunaan energi dalam peleburan *scrap*

<i>Scrap Temperature</i>	<i>Heat Content</i>
300 ⁰ F (150 ⁰ C)	22 kWh/T
500 ⁰ F (260 ⁰ C)	40 kWh/T
700 ⁰ F (370 ⁰ C)	57 kWh/T
1000 ⁰ F (540 ⁰ C)	81 kWh/T

Dengan teknologi ini diperkirakan konsumsi energi yang dibutuhkan oleh *scrap* dapat dihemat 20 % – 30 %. Sehingga total energi listrik yang dapat dihemat dengan menggunakan teknologi *preheating scrap* adalah 12%. Rata-rata konsumsi energi listrik EAF perbulan adalah 23.650.393 kWh, dengan menghemat 12 % dari konsumsi energi tersebut, maka akan didapat penghematan 2.838.047,2 kWh.

Dengan tarif listrik Rp. 550,- per kWh, maka penghematan biaya yang dapat diperoleh adalah Rp. 1.560.925.960,- per bulan.

Analisa LCC

Parameter-parameter yang digunakan adalah :

- Penghematan per bulan adalah Rp. 1.560.925.960,-
- Biaya pembangunan teknologi *preheating scrap* adalah Rp. 40.000.000.000,-
- Biaya operasional Rp. 5.000.000,- per bulan
- Tingkat pemotongan 15% dan 9% per tahun dan usia pakai adalah 20 tahun

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

Tabel 4.37 Perhitungan LCC pembangunan sistem *preheating scrap* pada PT Z, tingkat pemotongan 15% per tahun

Daftar Biaya (1)	Biaya tanggal dasar (2)	Periode (3)	faktor pemotongan (4)	Present Value (5 = 2 X 4)
Investasi	40,000,000,000.00	240 bulan	1.00	40,000,000,000
Biaya Operasi, Pemeliharaan, dan Perbaikan	5,000,000.00	240 bulan	75.94	379,711,387.92
Biaya Energi Tambahan	-		75.94	-
Nilai Sisa	-		0.05	-
Biaya Pergantian Modal	-		0.47	-
Biaya selama penggunaan (LCC)				40,379,711,387.92

Biaya yang harus dikeluarkan PT Z dalam jangka waktu 20 tahun untuk pembangunan sistem *preheating script* adalah Rp. 40.379.711.387,- yang terdiri dari biaya investasi sebesar Rp. 40.000.000.000,- dengan faktor pemotongan adalah satu, dan biaya operasional selama pemakaian sebesar Rp. 5.000.000,- per bulan yang dengan faktor pemotongan 15% per tahun memiliki nilai pada masa sekarang sebesar Rp. 379.711.387,-

Tabel 4.38 Perhitungan penghematan pembangunan sistem *preheating script* pada PT Z, tingkat pemotongan 15% per tahun

Daftar Biaya	Tanpa Pemasangan	Dengan Pemasangan	selisih	faktor pemotongan	Present value
(1)	(2)	(3)	(4 = 2 - 3)	(5)	(6 = 4 X 5)
Penghematan Operasional					
Biaya yang harus dikeluarkan	1.560.925.960		1.560.925.960	75.94	118.540.272.542
Biaya operasi, pemeliharaan, dan perbaikan		5.000.000	(5.000.000)	75.94	(379.711.388)
Total Penghematan					118.160.561.154
Biaya Investasi					
Investasi		40.000.000.000	(40.000.000.000)	1	(40.000.000.000)
Biaya pergantian modal		-	-	0.05	-
Nilai sisa		-	-	0.05	-
Total Investasi					(40.000.000.000)
Net Saving (NS)					
					78.160.561.153.86
Saving to Investment Ratio (SIR)					
					2.95
Adjusted Investment Rate of Return (AIRR)					
					0.0171

Apabila peluang penghematan biaya listrik dengan pemasangan kapasitor bank tidak dilakukan, maka biaya yang harus dikeluarkan PT Z adalah Rp. 1.560.925.960,- per bulan. Dengan tingkat pemotongan 15% per tahun dan selama 10 tahun, maka biaya yang harus dikeluarkan dalam jangka waktu 20 tahun adalah Rp. 118.540.272.542,-. Sedangkan apabila peluang ini dilaksanakan maka biaya tersebut dapat dihemat. Akan tetapi, dibutuhkan biaya operasional dalam melakukan peluang penghematan ini selama 20 tahun sebesar Rp. 379.711.387,-. Sehingga total penghematan yang diperoleh dalam 10 tahun adalah Rp. 118.160.561.154,-.

Dengan investasi sebesar Rp. 40.000.000.000,-, maka penghematan yang diperoleh PT Z dalam jangka 10 tahun adalah Rp. 118.160.561.154,- - Rp. 40.000.000.000,- = Rp. 78.160.561.153,-. SIR bernilai 2,95 yang memberikan arti

bahwa setiap Rp. 1,- yang diinvestasikan maka akan memperoleh keuntungan sebesar Rp. 2,95. Tingkat kenaikan keuntungan (AIRR) bernilai 0,0171.

Tabel 4.39 Perhitungan waktu balik modal pembangunan sistem *preheating* *scrapt* pada PT Z, 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 = 4 x 5)	(7 = Σ 6)	(8)	(9 = 7 - 8)
1	1,560,925,960	(5,000,000)	1,555,925,960	0,9877	1,536,716,998	1,536,716,998	40,000,000,000	(38,463,283,002)
2	1,560,925,960	(5,000,000)	1,555,925,960	0,9755	1,517,745,183	3,054,462,180	40,000,000,000	(36,945,537,820)
3	1,560,925,960	(5,000,000)	1,555,925,960	0,9634	1,499,007,588	4,553,469,768	40,000,000,000	(35,446,530,232)
4	1,560,925,960	(5,000,000)	1,555,925,960	0,9515	1,480,501,321	6,033,971,090	40,000,000,000	(33,966,028,910)
5	1,560,925,960	(5,000,000)	1,555,925,960	0,9398	1,462,223,527	7,496,194,617	40,000,000,000	(32,503,805,383)
6	1,560,925,960	(5,000,000)	1,555,925,960	0,9282	1,444,171,385	8,940,366,002	40,000,000,000	(31,059,633,998)
7	1,560,925,960	(5,000,000)	1,555,925,960	0,9167	1,426,342,109	10,366,708,110	40,000,000,000	(29,633,291,890)
8	1,560,925,960	(5,000,000)	1,555,925,960	0,9054	1,408,732,947	11,775,441,057	40,000,000,000	(28,224,558,943)
9	1,560,925,960	(5,000,000)	1,555,925,960	0,8942	1,391,341,182	13,166,782,239	40,000,000,000	(26,833,217,761)
10	1,560,925,960	(5,000,000)	1,555,925,960	0,8832	1,374,164,130	14,540,946,370	40,000,000,000	(25,459,053,630)
11	1,560,925,960	(5,000,000)	1,555,925,960	0,8723	1,357,199,141	15,898,145,511	40,000,000,000	(24,101,854,489)
12	1,560,925,960	(5,000,000)	1,555,925,960	0,8615	1,340,443,596	17,238,589,107	40,000,000,000	(22,761,410,893)
13	1,560,925,960	(5,000,000)	1,555,925,960	0,8509	1,323,894,910	18,562,484,017	40,000,000,000	(21,437,515,983)
14	1,560,925,960	(5,000,000)	1,555,925,960	0,8404	1,307,550,528	19,870,034,545	40,000,000,000	(20,129,965,455)
15	1,560,925,960	(5,000,000)	1,555,925,960	0,8300	1,291,407,929	21,161,442,474	40,000,000,000	(18,838,557,526)
16	1,560,925,960	(5,000,000)	1,555,925,960	0,8197	1,275,464,621	22,436,907,095	40,000,000,000	(17,563,092,905)
17	1,560,925,960	(5,000,000)	1,555,925,960	0,8096	1,259,718,145	23,696,625,240	40,000,000,000	(16,303,374,760)
18	1,560,925,960	(5,000,000)	1,555,925,960	0,7996	1,244,166,069	24,940,791,308	40,000,000,000	(15,059,208,692)
19	1,560,925,960	(5,000,000)	1,555,925,960	0,7898	1,228,805,994	26,169,597,302	40,000,000,000	(13,830,402,698)
20	1,560,925,960	(5,000,000)	1,555,925,960	0,7800	1,213,635,549	27,383,232,851	40,000,000,000	(12,616,767,149)
21	1,560,925,960	(5,000,000)	1,555,925,960	0,7704	1,198,652,394	28,581,885,246	40,000,000,000	(11,418,114,754)
22	1,560,925,960	(5,000,000)	1,555,925,960	0,7609	1,183,854,217	29,765,739,463	40,000,000,000	(10,234,260,537)
23	1,560,925,960	(5,000,000)	1,555,925,960	0,7515	1,169,238,733	30,934,978,195	40,000,000,000	(9,065,021,805)
24	1,560,925,960	(5,000,000)	1,555,925,960	0,7422	1,154,803,686	32,089,781,882	40,000,000,000	(7,910,218,118)
25	1,560,925,960	(5,000,000)	1,555,925,960	0,7330	1,140,546,851	33,230,328,733	40,000,000,000	(6,769,671,267)
26	1,560,925,960	(5,000,000)	1,555,925,960	0,7240	1,126,466,026	34,356,794,758	40,000,000,000	(5,643,205,242)
27	1,560,925,960	(5,000,000)	1,555,925,960	0,7150	1,112,559,038	35,469,353,796	40,000,000,000	(4,530,646,204)
28	1,560,925,960	(5,000,000)	1,555,925,960	0,7062	1,098,823,741	36,568,177,536	40,000,000,000	(3,431,822,464)
29	1,560,925,960	(5,000,000)	1,555,925,960	0,6975	1,085,258,016	37,653,435,552	40,000,000,000	(2,346,564,448)
30	1,560,925,960	(5,000,000)	1,555,925,960	0,6889	1,071,859,768	38,725,295,320	40,000,000,000	(1,274,704,680)
31	1,560,925,960	(5,000,000)	1,555,925,960	0,6804	1,058,626,932	39,783,922,252	40,000,000,000	(216,077,748)
32	1,560,925,960	(5,000,000)	1,555,925,960	0,6720	1,045,557,464	40,829,479,716	40,000,000,000	829,479,716
33	1,560,925,960	(5,000,000)	1,555,925,960	0,6637	1,032,649,347	41,862,129,063	40,000,000,000	1,862,129,063
Pay Back Periode	32 Bulan							

Jangka waktu pengembalian modal adalah 32 bulan.

Dengan melihat perhitungan LCC diatas, diperoleh

- ✓ LCC = Rp. 40.379.711.387,-
- ✓ NS > 0
- ✓ SIR > 1
- ✓ AIRR > 0,0125
- ✓ Waktu pengembalian modal 32 bulan

maka usaha penghematan biaya energi dengan peningkatan faktor daya pada PT Z dapat dilaksanakan dari segi ekonomi untuk tingkat pemotongan 15% per tahun.

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

Tabel 4.40 Perhitungan LCC pembangunan sistem *preheating script* pada PT Z, tingkat pemotongan 9% per tahun

Daftar Biaya (1)	Biaya tanggal dasar (2)	Periode (3)	faktor pemotongan (4)	Present Value 2 X 4) (5 =
Investasi	40.000.000.000,00	240 bulan	1,00	40.000.000.000
Biaya Operasi, Pemeliharaan, dan Perbaikan	5.000.000,00	240 bulan	111,14	555.724.770,14
Biaya Energi Tambahan	-		111,14	-
Nilai Sisa	-		0,17	-
Biaya Pergantian Modal	-		0,64	-
Biaya selama penggunaan (LCC)				40.555.724.770,14

Biaya yang harus dikeluarkan PT Z dalam jangka waktu 20 tahun untuk pembangunan sistem *preheating script* adalah Rp. 40.555.724.770,- yang terdiri dari biaya investasi sebesar Rp. 40.000.000.000,- dengan faktor pemotongan adalah satu, dan biaya operasional selama pemakaian sebesar Rp. 5.000.000,- per bulan yang dengan faktor pemotongan 15% per tahun memiliki nilai pada masa sekarang sebesar Rp. 555.724.770,-.

Tabel 4.41 Perhitungan penghematan pembangunan sistem *preheating script* pada PT Z, 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	1.560.925.960		1.560.925.960	111,14	173.489.044.064
Biaya operasi, pemeliharaan, dan perbaikan		5.000.000	(5.000.000)	111,14	(555.724.770)
Total Penghematan					172.933.319.294
Biaya Investasi					
Investasi		40.000.000.000	(40.000.000.000)	1	(40.000.000.000)
Biaya pergantian modal		-	-	0,17	-
Nilai sisa		-	-	0,17	-
Total Investasi					(40.000.000.000)
Net Saving (NS)					132.933.319.293,85
Saving to Investment Ratio (SIR)					4,32
Adjusted Investment Rate of Return (AIRR)					0,0137

Apabila peluang penghematan biaya listrik dengan pemasangan kapasitor bank tidak dilakukan, maka biaya yang harus dikeluarkan PT Z adalah Rp. 173.489.044.064,- per bulan. Dengan tingkat pemotongan 9% per tahun dan

selama 10 tahun, maka biaya yang harus dikeluarkan dalam jangka waktu 20 tahun adalah Rp. 173.489.044.064,-. Sedangkan apabila peluang ini dilaksanakan maka biaya tersebut dapat dihemat. Akan tetapi, dibutuhkan biaya operasional dalam melakukan peluang penghematan ini selama 20 tahun sebesar Rp. 555.724.770,-. Sehingga total penghematan yang diperoleh dalam 10 tahun adalah Rp.172.933.319.294,-.

Dengan investasi sebesar Rp. 40.000.000.000,-, maka penghematan yang diperoleh PT Z dalam jangka 10 tahun adalah Rp. 172.933.319.294,- - Rp. 40.000.000.000,- = Rp. 132.933.319.293,-. SIR bernilai 4,32 yang memberikan arti bahwa setiap Rp. 1,- yang diinvestasikan maka akan memperoleh keuntungan sebesar Rp. 4,32. Tingkat kenaikan keuntungan (AIRR) bernilai 0,0137.

Tabel 4.42 Perhitungan waktu balik modal pembangunan sistem *preheating script* pada PT Z, 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 = 4 x 5)	(7 = Σ 6)	(8)	(9 = 7 - 8)
1	1.560.925.960	(5.000.000)	1.555.925.960	0,9926	1.544.343.385	1.544.343.385	40.000.000.000	(38.455.656.615)
2	1.560.925.960	(5.000.000)	1.555.925.960	0,9852	1.532.847.032	3.077.190.416	40.000.000.000	(36.922.809.584)
3	1.560.925.960	(5.000.000)	1.555.925.960	0,9778	1.521.436.260	4.598.626.676	40.000.000.000	(35.401.373.324)
4	1.560.925.960	(5.000.000)	1.555.925.960	0,9706	1.510.110.432	6.108.737.108	40.000.000.000	(33.891.262.892)
5	1.560.925.960	(5.000.000)	1.555.925.960	0,9633	1.498.868.915	7.607.606.023	40.000.000.000	(32.392.393.977)
6	1.560.925.960	(5.000.000)	1.555.925.960	0,9562	1.487.711.082	9.095.317.105	40.000.000.000	(30.904.682.895)
7	1.560.925.960	(5.000.000)	1.555.925.960	0,9490	1.476.636.309	10.571.953.414	40.000.000.000	(29.428.046.586)
8	1.560.925.960	(5.000.000)	1.555.925.960	0,9420	1.465.643.980	12.037.597.394	40.000.000.000	(27.962.402.606)
9	1.560.925.960	(5.000.000)	1.555.925.960	0,9350	1.454.733.478	13.492.330.872	40.000.000.000	(26.507.669.128)
10	1.560.925.960	(5.000.000)	1.555.925.960	0,9280	1.443.904.197	14.936.235.069	40.000.000.000	(25.063.764.931)
11	1.560.925.960	(5.000.000)	1.555.925.960	0,9211	1.433.155.531	16.369.390.600	40.000.000.000	(23.630.609.400)
12	1.560.925.960	(5.000.000)	1.555.925.960	0,9142	1.422.486.879	17.791.877.478	40.000.000.000	(22.208.122.522)
13	1.560.925.960	(5.000.000)	1.555.925.960	0,9074	1.411.897.647	19.203.775.125	40.000.000.000	(20.796.224.875)
14	1.560.925.960	(5.000.000)	1.555.925.960	0,9007	1.401.387.242	20.605.162.367	40.000.000.000	(19.394.837.633)
15	1.560.925.960	(5.000.000)	1.555.925.960	0,8940	1.390.955.079	21.996.117.446	40.000.000.000	(18.003.882.554)
16	1.560.925.960	(5.000.000)	1.555.925.960	0,8873	1.380.600.575	23.376.718.021	40.000.000.000	(16.623.281.979)
17	1.560.925.960	(5.000.000)	1.555.925.960	0,8807	1.370.323.151	24.747.041.172	40.000.000.000	(15.252.958.828)
18	1.560.925.960	(5.000.000)	1.555.925.960	0,8742	1.360.122.234	26.107.163.407	40.000.000.000	(13.892.836.593)
19	1.560.925.960	(5.000.000)	1.555.925.960	0,8676	1.349.997.255	27.457.160.662	40.000.000.000	(12.542.839.338)
20	1.560.925.960	(5.000.000)	1.555.925.960	0,8612	1.339.947.648	28.797.108.310	40.000.000.000	(11.202.891.690)
21	1.560.925.960	(5.000.000)	1.555.925.960	0,8548	1.329.972.851	30.127.081.161	40.000.000.000	(9.872.918.839)
22	1.560.925.960	(5.000.000)	1.555.925.960	0,8484	1.320.072.309	31.447.153.470	40.000.000.000	(8.552.846.530)
23	1.560.925.960	(5.000.000)	1.555.925.960	0,8421	1.310.245.468	32.757.398.938	40.000.000.000	(7.242.601.062)
24	1.560.925.960	(5.000.000)	1.555.925.960	0,8358	1.300.491.780	34.057.890.717	40.000.000.000	(5.942.109.283)
25	1.560.925.960	(5.000.000)	1.555.925.960	0,8296	1.290.810.699	35.348.701.417	40.000.000.000	(4.651.298.583)
26	1.560.925.960	(5.000.000)	1.555.925.960	0,8234	1.281.201.687	36.629.903.104	40.000.000.000	(3.370.096.896)
27	1.560.925.960	(5.000.000)	1.555.925.960	0,8173	1.271.664.205	37.901.567.309	40.000.000.000	(2.098.432.691)
28	1.560.925.960	(5.000.000)	1.555.925.960	0,8112	1.262.197.722	39.163.765.031	40.000.000.000	(836.234.969)
29	1.560.925.960	(5.000.000)	1.555.925.960	0,8052	1.252.801.709	40.416.566.740	40.000.000.000	416.566.740
30	1.560.925.960	(5.000.000)	1.555.925.960	0,7992	1.243.475.642	41.660.042.383	40.000.000.000	1.660.042.383
31	1.560.925.960	(5.000.000)	1.555.925.960	0,7932	1.234.219.000	42.894.261.382	40.000.000.000	2.894.261.382
32	1.560.925.960	(5.000.000)	1.555.925.960	0,7873	1.225.031.265	44.119.292.647	40.000.000.000	4.119.292.647
33	1.560.925.960	(5.000.000)	1.555.925.960	0,7815	1.215.911.926	45.335.204.573	40.000.000.000	5.335.204.573
Pay Back Periode		29 Bulan						

Jangka waktu pengembalian modal adalah 29 bulan.

Dengan melihat perhitungan LCC diatas, diperoleh

- ✓ LCC = Rp. 40.555.724.770,-
- ✓ NS > 0
- ✓ SIR > 1
- ✓ AIRR > 0,0075
- ✓ Waktu pengembalian modal 29 bulan

maka usaha penghematan biaya energi dengan peningkatan faktor daya pada PT Z dapat dilaksanakan dari segi ekonomi untuk tingkat pemotongan 9% per tahun.

Dari perhitungan diatas, terlihat bahwa dengan mempertimbangkan tingkat pemotongan yang lebih kecil pertahunnya, maka waktu pengembalian modal akan lebih singkat, hal ini dikarenakan tingkat penurunan harga yang tidak terlalu jauh setiap bulannya, sehingga jumlah biaya yang dapat dihemat jadi lebih besar.

Dengan perbaikan faktor daya pada sistem tenaga listrik PT Z, maka konsumsi energi dapat dihemat sebesar 2.838.047,2 kWh per bulan, atau 9,6% dari total konsumsi energi pada divisi SMS per bulan.

4.3.2 ROLLING MILL DIVISION

4.3.2.1 Analisa Sistem Kelistrikan Eksisting

Untuk kebutuhan daya aktif rata-rata dengan waktu nyala 24 jam dan 30 hari dalam satu bulan maka diperoleh :

$$\text{Kebutuhan daya rata-rata} = 7.000.588 \text{ kWh/bulan} = 9.723 \text{ kW}$$

dan kebutuhan daya maksimum dari rekening listrik selama setahun adalah :

$$\text{Kebutuhan daya maksimum rata-rata} = 7.863.364 \text{ kWh/bulan} = 10.921,3 \text{ kW}$$

$$\text{Faktor beban tahunan} = \frac{9.273 \text{ kW}}{10.921,3 \text{ kW}} \times 100\% = 84,9 \%$$

Dari data-data yang diperoleh seperti yang telah dijelaskan pada bab III, maka terdapat 2 buah peluang penghematan energi pada divisi *rolling mill* PT Z, yaitu :

- Perbaikan faktor daya untuk mengurangi rugi-rugi jaringan, dan
- Penggunaan filter harmonik.

4.3.2.2 Perbaikan Faktor Daya

Berdasarkan data yang diperoleh, faktor daya total dari sistem kelistrikan adalah 0,83. Dari segi biaya energi listrik, nilai ini memenuhi standar minimal yang diberikan PLN, namun pada bulan-bulan tertentu dimana nilai faktor daya lebih rendah dari 0,83, maka pihak konsumen akan dikenakan biaya denda daya reaktif. Sedangkan dari segi teknis, nilai faktor daya yang rendah akan menghasilkan rugi-rugi jaringan antara titik pasokan listrik PLN dengan panel utama PT Z sebesar 15% dari total penggunaan energi listrik. Oleh karena itu, faktor daya harus ditingkatkan.

Konsumsi daya aktif rata-rata adalah 9.273 kW dan faktor daya adalah 0,83. Sedangkan rugi-rugi jaringan diperkirakan dengan kapasitas arus yang melewati sistem distribusi dan jenis konduktor yang digunakan [5], sebesar 15% dari daya aktif yang dikonsumsi yaitu 1.390,95 kW. Dengan waktu konsumsi daya selama satu bulan, maka energi yang terbuang adalah

$$1.390,95 \text{ kW} \times 720 \text{ jam} = 1.001.484 \text{ kWh per bulan .}$$

Dengan meningkatkan faktor daya menjadi 0,95, maka dapat dilakukan penghematan dengan persentase :

$$\% \text{ Loss}_{\text{reduction}} = \left[1 - \left(\frac{\text{PF}_{\text{lama}}}{\text{PF}_{\text{baru}}} \right)^2 \right] \times 100\% = \left[1 - \left(\frac{0,83}{0,95} \right)^2 \right] \times 100\% = 23,6\% \approx 24\%$$

sehingga, energi listrik (kWh) yang dapat dihemat dengan perbaikan faktor daya ini adalah $24\% \times 1.001.484 \text{ kWh} = 240.356,2 \text{ kWh per bulan .}$

Dengan tarif listrik Rp. 550,- per kWh, akan diperoleh penghematan biaya sebesar Rp. 132.195.910,- per bulan.

Untuk memperbaiki nilai faktor daya maka dibutuhkan pemasangan bank kapasitor, sebagai kompensator daya reaktif. Kapasitas kapasitor yang dibutuhkan adalah :

$$Q_C = P \left(\tan \left(\cos^{-1} 0,83 \right) - \tan \left(\cos^{-1} 0,95 \right) \right)$$

$$Q_C = 9.723 \times 0,34$$

$$Q_C = 3.305,8 \text{ kVAr} \approx 4 \text{ MVar}$$

Kompensasi kapasitor yang dibutuhkan adalah 4 MVar.

Analisa LCC

Parameter-parameter yang digunakan adalah :

- a. Penghematan per bulan diperoleh dari penghematan rugi-rugi jaringan dan denda daya reaktif yang terjadi, sebesar :

Biaya rugi-rugi jaringan = Rp. 132.195.910,- per bulan

- b. Harga kapasitor bank adalah Rp. 850.000.000,- dengan umur pakai kapasitor bank adalah 10 tahun, dengan biaya pemeliharaan Rp. 500.000,- per bulan.
- c. Tingkat pemotongan 15% dan 9% per tahun

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

Tabel 4.43 Perhitungan LCC pemasangan kapasitor bank pada RMD PT Z, tingkat pemotongan 15% per tahun

Daftar Biaya (1)	Biaya tanggal dasar (2)	Periode (3)	faktor pemotongan (4)	Present Value (5 = 2 X 4)
Investasi	850,000,000.00	120 bulan	1	850,000,000
Biaya Operasi, Pemeliharaan, dan Perbaikan	500,000.00	120 bulan	61.98	30,991,423.62
Biaya Energi Tambahan	-		61.98	-
Nilai Sisa	-		0.23	-
Biaya Pergantian Modal	-		0.47	-
Biaya selama penggunaan (LCC)				880,991,423.62

Biaya yang harus dikeluarkan PT Z dalam jangka waktu 10 tahun untuk pemasangan kapasitor bank adalah Rp. 880.991.423,- yang terdiri dari biaya investasi sebesar Rp. 850.000.000,- dengan faktor pemotongan adalah satu, dan biaya operasional kapasitor selama pemakaian sebesar Rp. 500.000,- per bulan yang dengan faktor pemotongan 15% per tahun memiliki nilai pada masa sekarang sebesar Rp. 30.991.423,-

Tabel 4.44 Perhitungan penghematan pemasangan kapasitor bank pada RMD PT Z, tingkat pemotongan 15% per tahun

Daftar Biaya	Tanpa Pemasangan	Dengan Pemasangan	selisih	faktor pemotongan	Present value
(1)	(2)	(3)	(4 = 2 - 3)	(5)	(6 = 4 X 5)
Penghematan Operasional					
Biaya yang harus dikeluarkan	132,195,910		132,195,910	62	8,193,878,896
Biaya operasi, pemeliharaan, dan perbaikan		500,000	(500,000)	62	(30,991,424)
Total Penghematan					8,162,887,473

Biaya Investasi					
Investasi		850,000,000	(850,000,000)	1	(850,000,000)
Biaya pergantian modal		-	-	0	-
Nilai sisa		-	-	0	-
Total Investasi					(850,000,000)

Net Saving (NS)	7,312,887,472.63
Saving to Investment Ratio (SIR)	9.60
Adjusted Investment Rate of Return (AIRR)	0.032

Apabila peluang penghematan biaya listrik dengan pemasangan kapasitor bank tidak dilakukan, maka biaya yang harus dikeluarkan PT Z adalah Rp. 132.195.910,- per bulan. Dengan tingkat pemotongan 15% per tahun dan selama 10 tahun, maka biaya yang harus dikeluarkan dalam jangka waktu 10 tahun adalah Rp. 8.193.878.896,-. Sedangkan apabila peluang ini dilaksanakan maka biaya tersebut dapat dihemat. Akan tetapi, dibutuhkan biaya operasional dalam melakukan peluang penghematan ini selama 10 tahun sebesar Rp. 30.991.424,-. Sehingga total penghematan yang diperoleh dalam 10 tahun adalah Rp. 8.162.887.473,-.

Dengan investasi sebesar Rp. 850.000.000,-, maka penghematan yang diperoleh PT Z dalam jangka 10 tahun adalah Rp. 8.162.887.473,- - Rp. 850.000.000,- = Rp. 7.312.887.472,-. SIR bernilai 9,6 yang memberikan arti bahwa setiap Rp. 1,- yang diinvestasikan maka akan memperoleh keuntungan sebesar Rp. 9,6. Tingkat kenaikan keuntungan (AIRR) bernilai 0,032.

Tabel 4.45 Perhitungan waktu balik modal pemasangan kapasitor bank pada RMD PT Z, 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 = 4 x 5)	(7 = Σ 6)	(8)	(9 = 7 - 8)
1	132.195.910	(500.000)	131.695.910	0.9877	130.070.035	130.070.035	850.000.000	(719.929.965)
2	132.195.910	(500.000)	131.695.910	0.9755	128.464.232	258.534.266	850.000.000	(591.465.734)
3	132.195.910	(500.000)	131.695.910	0.9634	126.878.254	385.412.520	850.000.000	(464.587.480)
4	132.195.910	(500.000)	131.695.910	0.9515	125.311.855	510.724.375	850.000.000	(339.275.625)
5	132.195.910	(500.000)	131.695.910	0.9398	123.764.795	634.489.170	850.000.000	(215.510.830)
6	132.195.910	(500.000)	131.695.910	0.9282	122.236.835	756.726.005	850.000.000	(93.273.995)
7	132.195.910	(500.000)	131.695.910	0.9167	120.727.738	877.453.744	850.000.000	27.453.744
8	132.195.910	(500.000)	131.695.910	0.9054	119.237.272	996.691.016	850.000.000	146.691.016
9	132.195.910	(500.000)	131.695.910	0.8942	117.765.207	1.114.456.223	850.000.000	264.456.223
10	132.195.910	(500.000)	131.695.910	0.8832	116.311.316	1.230.767.539	850.000.000	380.767.539
11	132.195.910	(500.000)	131.695.910	0.8723	114.875.374	1.345.642.912	850.000.000	495.642.912
12	132.195.910	(500.000)	131.695.910	0.8615	113.457.159	1.459.100.072	850.000.000	609.100.072
Pay Back Periode		7 Bulan						

Jangka waktu pengembalian modal adalah 7 bulan.

Dengan melihat perhitungan LCC diatas, diperoleh

- ✓ LCC = Rp. 880.991.423,-
- ✓ NS > 0
- ✓ SIR > 1
- ✓ AIRR > 0,0125
- ✓ Waktu pengembalian modal 7 bulan

maka usaha penghematan biaya energi dengan peningkatan faktor daya pada PT Z dapat dilaksanakan dari segi ekonomi untuk tingkat pemotongan 15% per tahun.

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

Tabel 4.46 Perhitungan LCC pemasangan kapasitor bank pada RMD PT Z, tingkat pemotongan 9% per tahun

Daftar Biaya (1)	Biaya tanggal dasar (2)	Periode (3)	faktor pemotongan (4)	Present Value (5 = 2 X 4)
Investasi	850.000.000,00	120 bulan	1	850.000.000
Biaya Operasi, Pemeliharaan, dan Perbaikan	500.000,00	120 bulan	78,94	39.470.846,33
Biaya Energi Tambahan	-		78,94	-
Nilai Sisa	-		0,41	-
Biaya Pergantian Modal	-		0,64	-
Biaya selama penggunaan (LCC)				889.470.846,33

Biaya yang harus dikeluarkan PT Z dalam jangka waktu 10 tahun untuk pemasangan kapasitor bank adalah Rp. 889.470.846,- yang terdiri dari biaya investasi sebesar Rp. 850.000.000,- dengan faktor pemotongan adalah satu, dan biaya operasional kapasitor selama pemakaian sebesar Rp. 500.000,- per bulan yang dengan faktor pemotongan 15% per tahun memiliki nilai pada masa sekarang sebesar Rp. 39.470.846,-

Tabel 4.47 Perhitungan penghematan pemasangan kapasitor bank pada RMD PT Z, tingkat pemotongan 9% per tahun

Daftar Biaya	Tanpa Pemasangan	Dengan Pemasangan	selisih	faktor pemotongan	Present value
(1)	(2)	(3)	(4 = 2 - 3)	(5)	(6 = 4 X 5)
Penghematan Operasional					
Biaya yang harus dikeluarkan	132.195.910		132.195.910	79	10.435.768.899
Biaya operasi, pemeliharaan, dan perbaikan		500.000	(500.000)	79	(39.470.846)
Total Penghematan					10.396.298.053
Biaya Investasi					
Investasi		850.000.000	(850.000.000)	1	(850.000.000)
Biaya pergantian modal		-	-	0	-
Nilai sisa		-	-	0	-
Total Investasi					(850.000.000)
Net Saving (NS)					
					9.546.298.052,98
Saving to Investment Ratio (SIR)					
					12,23
Adjusted Investment Rate of Return (AIRR)					
					0,029

Apabila peluang penghematan biaya listrik dengan pemasangan kapasitor bank tidak dilakukan, maka biaya yang harus dikeluarkan PT Z adalah Rp. 132.195.910,- per bulan. Dengan tingkat pemotongan 9% per tahun dan selama 10 tahun, maka biaya yang harus dikeluarkan dalam jangka waktu 10 tahun adalah Rp. 10.435.768.899,-. Sedangkan apabila peluang ini dilaksanakan maka biaya tersebut dapat dihemat. Akan tetapi, dibutuhkan biaya operasional dalam melakukan peluang penghematan ini selama 10 tahun sebesar Rp. 39.470.846,-. Sehingga total penghematan yang diperoleh dalam 10 tahun adalah Rp. 10.396.298.053,-.

Dengan investasi sebesar Rp. 850.000.000,-, maka penghematan yang diperoleh PT Z dalam jangka 10 tahun adalah Rp. 10.396.298.053,- - Rp. 850.000.000,- = Rp. 9.546.298.052,-. SIR bernilai 12,23 yang memberikan arti

bahwa setiap Rp. 1,- yang diinvestasikan maka akan memperoleh keuntungan sebesar Rp. 12,23. Tingkat kenaikan keuntungan (AIRR) bernilai 0,029.

Tabel 4.48 Perhitungan waktu balik modal pemasangan kapasitor bank pada RMD PT Z, 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 = 4 x 5)	(7 = Σ 6)	(8)	(9 = 7 - 8)
1	132.195.910	(500.000)	131.695.910	0,9926	130.715.543	130.715.543	850.000.000	(719.284.457)
2	132.195.910	(500.000)	131.695.910	0,9852	129.742.475	260.458.018	850.000.000	(589.541.982)
3	132.195.910	(500.000)	131.695.910	0,9778	128.776.650	389.234.668	850.000.000	(460.765.332)
4	132.195.910	(500.000)	131.695.910	0,9706	127.818.015	517.052.683	850.000.000	(332.947.317)
5	132.195.910	(500.000)	131.695.910	0,9633	126.866.516	643.919.199	850.000.000	(206.080.801)
6	132.195.910	(500.000)	131.695.910	0,9562	125.922.100	769.841.299	850.000.000	(80.158.701)
7	132.195.910	(500.000)	131.695.910	0,9490	124.984.715	894.826.014	850.000.000	44.826.014
8	132.195.910	(500.000)	131.695.910	0,9420	124.054.308	1.018.880.322	850.000.000	168.880.322
9	132.195.910	(500.000)	131.695.910	0,9350	123.130.826	1.142.011.148	850.000.000	292.011.148
10	132.195.910	(500.000)	131.695.910	0,9280	122.214.220	1.264.225.368	850.000.000	414.225.368
11	132.195.910	(500.000)	131.695.910	0,9211	121.304.436	1.385.529.804	850.000.000	535.529.804
12	132.195.910	(500.000)	131.695.910	0,9142	120.401.426	1.505.931.230	850.000.000	655.931.230
Pay Back Periode	7 Bulan							

Jangka waktu pengembalian modal adalah 7 bulan.

Dengan melihat perhitungan LCC diatas, diperoleh

- ✓ LCC = Rp. 889.470.846,-
- ✓ NS > 0
- ✓ SIR > 1
- ✓ AIRR > 0,0075
- ✓ Waktu pengembalian modal 7 bulan

maka usaha penghematan biaya energi dengan peningkatan faktor daya pada PT Z dapat dilaksanakan dari segi ekonomi untuk tingkat pemotongan 9% per tahun.

Dari perhitungan diatas, terlihat bahwa dengan mempertimbangkan tingkat pemotongan yang lebih kecil pertahunnya, maka waktu pengembalian modal akan lebih singkat, hal ini dikarenakan tingkat penurunan harga yang tidak terlalu jauh setiap bulannya, sehingga jumlah biaya yang dapat dihemat jadi lebih besar.

Dengan perbaikan faktor daya pada sistem tenaga listrik PT Z, maka konsumsi energi dapat dihemat sebesar 240.356,2 kWh per bulan, atau 3,4% dari total konsumsi energi per bulan.

4.3.2.3 Perbaikan Distorsi Harmonik

Harmonik arus yang tinggi dapat meningkatkan konsumsi kWh (arus), rugi-rugi saluran, penurunan life time peralatan, overheating, dan neutral overloading. Distorsi harmonik yang terjadi pada sistem tenaga listrik divisi *Rolling Mill* terjadi pada 3 buah titik beban yang signifikan. Yang pertama adalah pada titik tegangan menengah 11 kV, yaitu sebesar 26,5%. Sedangkan pada tegangan rendah 700 volt (TR 21 dan TR 23) adalah 53,77% dan 35,6%. Untuk menanggulangi hal tersebut diperlukan penggunaan filter harmonik. Filter harmonik dapat dipasang pada tegangan menengah dan atau tegangan rendah.

Untuk tegangan menengah 11 kV, daya yang dikonsumsi adalah sebagai berikut :

$$\text{Tegangan rata-rata} = 11.342 \text{ volt} = 11,3 \text{ kV}$$

$$\text{Arus rata-rata} = 372,3 \text{ Amp}$$

$$\text{Faktor daya} = 0,95$$

$$\text{Daya aktif rata-rata} = 3 \times V \times I \times PF = 12.034,49 \text{ kW}$$

$$\text{THD rata-rata} = 26,5\%$$

$$\text{Energi yang di konsumsi} = 12.034,49 \text{ kW} \times 24 \times 30 = 8.664.832,8 \text{ kWh}$$

Dengan menurunkan THD arus menjadi 2,5%, maka daya yang akan dikonsumsi adalah sebagai berikut :

$$\text{THD rata-rata} = 2,5\%$$

$$\text{Arus fundamental} = \frac{372,3}{\sqrt{1 + (0,21)^2}} = 359,88 \text{ Amp}$$

$$\text{Arus total rata-rata baru} = 359,88 \sqrt{1 + (0,025)^2} = 360 \text{ Amp}$$

$$\text{Tegangan rata-rata} = 11.342 \text{ volt}$$

$$\text{Daya aktif rata-rata} = 3 \times 11.342 \times 360 \times 0,95 = 11.636,89 \text{ kW}$$

$$\text{Energi yang di konsumsi} = 11.636,89 \text{ kW} \times 24 \times 30 = 8.378.560,8 \text{ kWh}$$

Sehingga dengan memperbaiki distorsi harmonik dapat dilakukan penghematan energi sebesar $8.664.832,8 \text{ kWh} - 8.378.560,8 \text{ kWh} = 286.272 \text{ kWh}$ per bulan, atau dengan tarif listrik sebesar Rp. 550 per kWh, diperoleh penghematan finansial sebesar Rp. 157.449.600,- per bulan.

Bentuk konservasi energi yang dapat dilakukan untuk perbaikan distorsi harmonik adalah dengan menggunakan filter harmonik pada tegangan menengah 11 kV.

Analisa LCC

Parameter-parameter yang digunakan adalah :

- a. Penghematan per bulan diperoleh dari pemasangan filter untuk mengurangi rugi-rugi jaringan adalah :

Biaya rugi-rugi jaringan = Rp. 157.449.600,- per bulan

- b. Harga filter harmonik adalah Rp. 1.500.000.000,- dengan umur pakai filter harmonik adalah 10 tahun, dengan biaya pemeliharaan Rp. 500.000,- per bulan.
- c. Tingkat pemotongan 15% dan 9% per tahun

Perhitungan LLC untuk tingkat pemotongan 15% per tahun adalah sebagai berikut

Tabel 4.49 Perhitungan LCC pemasangan filter harmonik pada RMD PT Z, untuk tingkat pemotongan 15% per tahun

Daftar Biaya (1)	Biaya tanggal dasar (2)	Periode (3)	faktor pemotongan (4)	Present Value (5 = 2 X 4)
Investasi	1,500,000,000.00	120 bulan	1.00	1,500,000,000
Biaya Operasi, Pemeliharaan, dan Perbaikan	500,000.00	120 bulan	61.98	30,991,423.62
Biaya Energi Tambahan	-		61.98	-
Nilai Sisa	-		0.23	-
Biaya Pergantian Modal	-		0.47	-
Biaya selama penggunaan (LCC)				1,530,991,423.62

Biaya yang harus dikeluarkan PT Z dalam jangka waktu 10 tahun untuk pemasangan filter harmonik adalah Rp. 1.530.991.423,- yang terdiri dari biaya investasi sebesar Rp. 1.500.000.000,- dengan faktor pemotongan adalah satu, dan biaya operasional filter selama pemakaian sebesar Rp. 500.000,- per bulan yang dengan faktor pemotongan 15% per tahun memiliki nilai pada masa sekarang sebesar Rp. 30.991.423,-

Tabel 4.50 Perhitungan penghematan pemasangan filter harmonik pada RMD PT Z, untuk tingkat pemotongan 15% per tahun

Daftar Biaya	Tanpa Pemasangan	Dengan Pemasangan	selisih	faktor pemotongan	Present value
(1)	(2)	(3)	(4 = 2 - 3)	(5)	(6 = 4 X 5)
Penghematan Operasional					
Biaya yang harus dikeluarkan	157,449,600		157,449,600	62	9,759,174,506
Biaya operasi, pemeliharaan, dan perbaikan		500,000	(500,000)	62	(30,991,424)
Total Penghematan					9,728,183,082

Biaya Investasi					
Investasi		1,500,000,000	(1,500,000,000)	1	(1,500,000,000)
Biaya pergantian modal		-	-	0	-
Nilai sisa		-	-	0	-
Total Investasi					(1,500,000,000)

Net Saving (NS)	8,228,183,082.34
Saving to Investment Ratio (SIR)	6.49
Adjusted Investment Rate of Return (AIRR)	0.028

Apabila peluang penghematan biaya listrik dengan pemasangan filter harmonik tidak dilakukan, maka biaya yang harus dikeluarkan PT Z adalah Rp. 157.449.600,- per bulan. Dengan tingkat pemotongan 15% per tahun dan selama 10 tahun, maka biaya yang harus dikeluarkan dalam jangka waktu 10 tahun adalah Rp. 9.759.174.506,-. Sedangkan apabila peluang ini dilaksanakan maka biaya tersebut dapat dihemat. Akan tetapi, dibutuhkan biaya operasional dalam melakukan peluang penghematan ini selama 10 tahun sebesar Rp. 30.991.424,-. Sehingga total penghematan yang diperoleh dalam 10 tahun adalah Rp. 9.728.183.082,-.

Dengan investasi sebesar Rp. 1.500.000.000,-, maka penghematan yang diperoleh PT Z dalam jangka 10 tahun adalah Rp. 9.728.183.082,- - Rp. 1.500.000.000,- = Rp. 8.228.183.082,-. SIR bernilai 6,49 yang memberikan arti bahwa setiap Rp. 1,- yang diinvestasikan maka akan memperoleh keuntungan sebesar Rp. 6,49. Tingkat kenaikan keuntungan (AIRR) bernilai 0,028.

Tabel 4.51 Perhitungan waktu balik modal pemasangan filter harmonik pada RMD PT Z, untuk 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 = 4 x 5)	(7 = Σ 6)	(8)	(9 = 7 - 8)
1	157,449,600	(500,000)	156,949,600	0.9877	155,011,951	155,011,951	1,500,000,000	(1,344,988,049)
2	157,449,600	(500,000)	156,949,600	0.9755	153,098,223	308,110,173	1,500,000,000	(1,191,889,827)
3	157,449,600	(500,000)	156,949,600	0.9634	151,208,121	459,318,295	1,500,000,000	(1,040,681,705)
4	157,449,600	(500,000)	156,949,600	0.9515	149,341,354	608,659,649	1,500,000,000	(891,340,351)
5	157,449,600	(500,000)	156,949,600	0.9398	147,497,634	756,157,283	1,500,000,000	(743,842,717)
6	157,449,600	(500,000)	156,949,600	0.9282	145,676,676	901,833,959	1,500,000,000	(598,166,041)
7	157,449,600	(500,000)	156,949,600	0.9167	143,878,198	1,045,712,157	1,500,000,000	(454,287,843)
8	157,449,600	(500,000)	156,949,600	0.9054	142,101,924	1,187,814,081	1,500,000,000	(312,185,919)
9	157,449,600	(500,000)	156,949,600	0.8942	140,347,579	1,328,161,660	1,500,000,000	(171,838,340)
10	157,449,600	(500,000)	156,949,600	0.8832	138,614,893	1,466,776,553	1,500,000,000	(33,223,447)
11	157,449,600	(500,000)	156,949,600	0.8723	136,903,598	1,603,680,151	1,500,000,000	103,680,151
12	157,449,600	(500,000)	156,949,600	0.8615	135,213,430	1,738,893,581	1,500,000,000	238,893,581
Pay Back Periode	11 Bulan							

Jangka waktu pengembalian modal adalah 11 bulan.

Dengan melihat perhitungan LCC diatas, diperoleh

- ✓ LCC = Rp. 1.530.991.423,-
- ✓ NS > 0
- ✓ SIR > 1
- ✓ AIRR > 0,0125
- ✓ Waktu pengembalian modal 11 bulan

maka usaha penghematan biaya energi dengan meminimalisasi distorsi harmonik pada PT Z dapat dilaksanakan dari segi ekonomi untuk tingkat pemotongan 15% per tahun.

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

Tabel 4.52 Perhitungan LCC pemasangan filter harmonik pada RMD PT Z, untuk tingkat pemotongan 9% per tahun

Daftar Biaya (1)	Biaya tanggal dasar (2)	Periode (3)	faktor pemotongan (4)	Present Value (5 = 2 X 4)
Investasi	1.500.000.000,00	120 bulan	1,00	1.500.000.000
Biaya Operasi, Pemeliharaan, dan Perbaikan	500.000,00	120 bulan	78,94	39.470.846,33
Biaya Energi Tambahan	-	-	78,94	-
Nilai Sisa	-	-	0,41	-
Biaya Pergantian Modal	-	-	0,64	-
Biaya selama penggunaan (LCC)				1.539.470.846,33

Biaya yang harus dikeluarkan PT Z dalam jangka waktu 10 tahun untuk pemasangan filter harmonik adalah Rp. 1.539.470.846,- yang terdiri dari biaya investasi sebesar Rp. 1.500.000.000,- dengan faktor pemotongan adalah satu, dan biaya operasional filter selama pemakaian sebesar Rp. 500.000,- per bulan yang dengan faktor pemotongan 9% per tahun memiliki nilai pada masa sekarang sebesar Rp. 39.470.846,-.

Tabel 4.53 Perhitungan penghematan pemasangan filter harmonik pada RMD PT Z, untuk tingkat pemotongan 9% per tahun

Daftar Biaya	Tanpa Pemasangan	Dengan Pemasangan	selisih	faktor pemotongan	Present value
(1)	(2)	(3)	(4 = 2 - 3)	(5)	(6 = 4 X 5)
Penghematan Operasional					
Biaya yang harus dikeluarkan	157.449.600		157.449.600	78,94	12.429.337.934
Biaya operasi, pemeliharaan, dan perbaikan		500.000	(500.000)	78,94	(39.470.846)
Total Penghematan					12.389.867.088
Biaya Investasi					
Investasi		1.500.000.000	(1.500.000.000)	1,00	(1.500.000.000)
Biaya pergantian modal		-	-	0,41	-
Nilai sisa		-	-	0,41	-
Total Investasi					(1.500.000.000)
Net Saving (NS)					
					10.889.867.087,72
Saving to Investment Ratio (SIR)					
					8,26
Adjusted Investment Rate of Return (AIRR)					
					0,025

Apabila peluang penghematan biaya listrik dengan pemasangan filter harmonik tidak dilakukan, maka biaya yang harus dikeluarkan PT Z adalah Rp. 157.449.600,- per bulan. Dengan tingkat pemotongan 9% per tahun dan selama 10 tahun, maka biaya yang harus dikeluarkan dalam jangka waktu 10 tahun adalah Rp. 12.429.337.934,-. Sedangkan apabila peluang ini dilaksanakan maka biaya tersebut dapat dihemat. Akan tetapi, dibutuhkan biaya operasional dalam melakukan peluang penghematan ini selama 10 tahun sebesar Rp. 39.389.867.088,-. Sehingga total penghematan yang diperoleh dalam 10 tahun adalah Rp. 12.389.867.088,-.

Dengan investasi sebesar Rp. 1.500.000.000,-, maka penghematan yang diperoleh PT Z dalam jangka 10 tahun adalah Rp. 12.389.867.088,- - Rp. 1.500.000.000,- = Rp. 10.889.867.087,-. SIR bernilai 8,26 yang memberikan arti

bahwa setiap Rp. 1,- yang diinvestasikan maka akan memperoleh keuntungan sebesar Rp. 8,26. Tingkat kenaikan keuntungan (AIRR) bernilai 0,025.

Tabel 4.54 Perhitungan waktu balik modal pemasangan filter harmonik pada RMD PT Z, untuk 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 = 4 x 5)	(7 = Σ 6)	(8)	(9 = 7 - 8)
1	157.449.600	(500.000)	156.949.600	0,9926	155.781.241	155.781.241	1.500.000.000	(1.344.218.759)
2	157.449.600	(500.000)	156.949.600	0,9852	154.621.579	310.402.820	1.500.000.000	(1.189.597.180)
3	157.449.600	(500.000)	156.949.600	0,9778	153.470.550	463.873.369	1.500.000.000	(1.036.126.631)
4	157.449.600	(500.000)	156.949.600	0,9706	152.328.089	616.201.458	1.500.000.000	(883.798.542)
5	157.449.600	(500.000)	156.949.600	0,9633	151.194.133	767.395.591	1.500.000.000	(732.604.409)
6	157.449.600	(500.000)	156.949.600	0,9562	150.068.618	917.464.210	1.500.000.000	(582.535.790)
7	157.449.600	(500.000)	156.949.600	0,9490	148.951.482	1.066.415.692	1.500.000.000	(433.584.308)
8	157.449.600	(500.000)	156.949.600	0,9420	147.842.662	1.214.258.354	1.500.000.000	(285.741.646)
9	157.449.600	(500.000)	156.949.600	0,9350	146.742.097	1.361.000.451	1.500.000.000	(138.999.549)
10	157.449.600	(500.000)	156.949.600	0,9280	145.649.724	1.506.650.175	1.500.000.000	6.650.175
11	157.449.600	(500.000)	156.949.600	0,9211	144.565.483	1.651.215.657	1.500.000.000	151.215.657
12	157.449.600	(500.000)	156.949.600	0,9142	143.489.313	1.794.704.970	1.500.000.000	294.704.970
Pay Back Periode	10 Bulan							

Jangka waktu pengembalian modal adalah 10 bulan.

Dengan melihat perhitungan LCC diatas, diperoleh

- ✓ LCC = Rp. 1.539.470.846,-
- ✓ NS > 0
- ✓ SIR > 1
- ✓ AIRR > 0,0075
- ✓ Waktu pengembalian modal 10 bulan

maka usaha penghematan biaya energi dengan meminimalisasi distorsi harmonik pada PT Z dapat dilaksanakan dari segi ekonomi untuk tingkat pemotongan 9% per tahun.

Dari perhitungan diatas, terlihat bahwa dengan mempertimbangkan tingkat pemotongan yang lebih kecil pertahunnya, maka waktu pengembalian modal akan lebih singkat, hal ini dikarenakan tingkat penurunan harga yang tidak terlalu jauh setiap bulannya, sehingga jumlah biaya yang dapat dihemat jadi lebih besar.

Dengan perbaikan faktor daya pada sistem tenaga listrik PT Y, maka konsumsi energi dapat dihemat sebesar 286.272 kWh per bulan, atau 4,1% dari total konsumsi energi per bulan.

4.3.3 RESUME KONSERVASI PADA PT Z

Dari peluang-peluang yang telah dijelaskan di atas, maka diperoleh total penghematan energi listrik dan biaya energi listrik pada divisi *Steel Melting Station* yang ada di PT Z, yang dapat dilihat pada tabel-tabel berikut :

Tabel 4. 55 Resume konservasi energi listrik pada SMSD PT Z

No	Konservasi Energi	Penghematan Energi per bulan		Penghematan Biaya per bulan	Investasi	Waktu Balik Modal d=15%/tahun	Waktu Balik Modal d=9%/tahun
		(kWh)	(%)	(Rp.)	(Rp)	(bulan)	(bulan)
1	Pemasangan kapasitor bank	799.256	2,7	439.590.888,-	1.500.000.000,-	4	4
2	Pembangunan sistem <i>preheating scrap</i>	2.838.047,2	9,6	1.560.925.960,-	40.000.000.000,-	32	29
Total		3.637.303,2	12,3	2.000.516.848,-	41.500.000.000,-	4 – 32	4 – 29

Sedangkan penghematan energi dan biaya energi yang diperoleh pada divisi *Steel Melting Station* yang ada di PT Z, yang dapat dilihat pada tabel-tabel berikut :

Tabel 4. 56 Resume konservasi energi listrik pada RMD PT Z

No	Konservasi Energi	Penghematan Energi per bulan		Penghematan Biaya per bulan	Investasi	Waktu Balik Modal d=15%/tahun	Waktu Balik Modal d=9%/tahun
		(kWh)	(%)	(Rp.)	(Rp)	(bulan)	(bulan)
1	Pemasangan kapasitor bank	240,356	3,4	32.195.910,-	850.000.000,-	7	7
2	Pemasangan filter harmonik	286.272	4,1	157.449.600,-	1.500.000.000,-	11	10
Total		526.628	7,5	189.645.510,-	2.350.000.000,-	7 – 11	7 – 10

Pada tabel diatas dapat dilihat bahwa total energi yang dapat dihemat adalah 4.163.931,2 kWh per bulan. Dengan mempertimbangkan tingkat pemotongan sebesar 15% per tahun maka waktu balik modal berkisar 4 – 32 bulan, sedangkan apabila tingkat pemotongan yang diperhitungkan sebesar 9% per bulan maka waktu balik modal adalah 4 – 29 bulan.

4.4 RESUME PERUBAHAN KONSUMSI ENERGI SPESIFIK

Dalam tempo kurang dari tiga tahun, konservasi yang dilakukan pada tiga buah industri baja yang disebutkan diatas dapat mengurangi pemborosan penggunaan energi listrik. Hal ini dapat dilihat dari Konsumsi Energi Spesifik (KES) yang terjadi penurunan seperti terlihat pada tabel berikut :

Tabel 4. 57 Penurunan nilai KES setelah konservasi energi listrik

Industri	Rata-rata Produksi per bulan (Ton)	Sebelum konservasi energi listrik		Setelah konservasi energi listrik		Rata-rata Penghematan energi listrik per bulan		
		kWh per bulan	KES (kWh/Ton) per bulan	kWh per bulan	KES (kWh/Ton) per bulan	(kWh)	%	
PT X	928,33	59.016,7	64,54	51.134,14	55,08	7.882,56	13,4	
PT Y	2.498,35	180.835	72,69	161.962	64,83	18.873	10,4	
PT Z	Div SMS	43.945,88	29.602.042	676,82	25.964.739	590,8	3.637.303	12,3
	Div RM	44.312,71	7.000.588	158,35	6.473.960	146,1	526.628	7,5

Tabel diatas menjelaskan bahwa konservasi energi yang direkomendasikan dapat mengurangi konsumsi energi dalam menghasilkan produksi per tonnya. Pada PT X terlihat bahwa penurunan penggunaan energi listrik dapat mencapai 13,4%, pada PT Y dapat mencapai 10,4%, sedangkan pada PT Z dapat mencapai 12,3% dan 7,5% untuk masing-masing divisi produksi *Steel Melting Station* dan *Rolling Mill*.

BAB V

KESIMPULAN

1. Konservasi energi listrik pada hakekatnya adalah mengurangi penggunaan energi listrik melalui perbaikan rugi-rugi daya tanpa harus mengurangi produksi baik dari segi kuantitas maupun kualitas.
2. Dengan konservasi energi listrik, Konsumsi Energi Spesifik PT X turun sebesar 13,4% dengan penghematan biaya sebesar Rp. 4.562.689,- per bulan, dengan total investasi sebesar Rp. 78.935.000,- dan waktu balik modal adalah 3 bulan sampai dengan 21 bulan, sehingga usaha penghematan energi listrik pada PT X layak dilakukan, baik untuk tingkat pemotongan 15% per tahun maupun tingkat pemotongan 9% per tahun.
3. Dengan konservasi energi listrik, Konsumsi Energi Spesifik PT Y turun sebesar 10,4% dengan penghematan biaya sebesar Rp. 7.630.150,- per bulan, dengan total investasi sebesar Rp. 170.000.000,- dan waktu balik modal adalah 28 bulan sampai dengan 29 bulan, sehingga usaha penghematan energi listrik pada PT Y layak dilakukan, baik untuk tingkat pemotongan 15% per tahun maupun tingkat pemotongan 9% per tahun.
4. Dengan konservasi energi listrik, Konsumsi Energi Spesifik PT Z turun sebesar 12,3% dengan penghematan biaya sebesar Rp. 2.190.162.358,- per bulan, dengan total investasi sebesar Rp. 43.850.000.000,- dan waktu balik modal adalah 4 bulan sampai dengan 32 bulan, sehingga usaha penghematan energi listrik pada PT Z layak dilakukan, baik untuk tingkat pemotongan 15% per tahun maupun tingkat pemotongan 9% per tahun.
5. Dengan memvariasikan tingkat pemotongan pada perhitungan *Life-Cycle Costing Analysis*, dapat disimpulkan bahwa semakin kecil tingkat pemotongan maka jumlah penghematan biaya yang diperoleh akan semakin besar.

DAFTAR ACUAN

- [1] Abdul Kadir, *ENERGI – Sumber Daya, Inovasi, Tenaga Listrik, dan Potensi Ekonomi*. (Depok: UI Press, 1980), hal. 462
- [2] Pusat Studi Teknologi dan Informasi Ketenagalistrikan (PSTIK) UI, *Teknik Audit Energi*. (Depok: Bahan Presentasi Seminar, 2006), hal 2
- [3] Roger C. Dugan, et al. *Electrical Power System Quality. 2nd Edition*. (New York: McGraw-Hill, 2002), hal 310
- [4] Roger C. Dugan, et al. *Electrical Power System Quality. 2nd Edition*. (New York: McGraw-Hill, 2002), hal 182
- [5] M. V. Deshpande, *Electrical Power System Design*. (New Delhi: Tata McGraw Hill, 1984), hal 66
- [6] EPRI Centre fo Maerial Production, *Electric Arc Furnace Scrypt Preheating*, hal 1 – 4.

DAFTAR PUSTAKA

- Bagus, Wishnu (2007). "Sektor TPT & Baja Diminta Konservasi Energi." Diakses 28 November 2007 dari okezone
<http://economy.okezone.com/index.php/economy/detail/2007/11/21/19/62580>
- Centre for Renewable Energy Source. "*Energy Audit Guide, Part B: System Retrofits for Energy Efficiency.*" Athens: ADAPT, 2000
- DJLPE, "*Audit Energi Sektor IndustriBaja, Semen, dan Manufaktur.*" 2007
- Dugan, Roger C., et al. *Electrical Power System Quality. 2nd Edition.* New York: McGraw-Hill, 2002
- Fuller S. K., Stephen R. Petersen. *Life-Cycle Costing Manual for the Federal Energy Management Program.* Washington, DC: U.S. Department of Commerce, 1995
- Helcke, George. *The energy saving guide.* Oxford: Pergamon Press, 1981
- Johnson, David E., et al. *Electric Circuit Analysis 3rd Edition.* New Jersey: Prentice Hall, Inc., 1997
- Kashkari, Chaman. *Energy : resources, demand and conservation.* New Delhi: Tata McGraw Hill, 1975
- Meckler, Milton. *Energy conservation in buildings and industrial plants.* New York: McGraw-Hill, 1980
- Meiske I. A., Theresia. "*Analisa perhitungan rugi-rugi tenaga listrik.*" Skripsi Program Sarjana Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Jakarta, 1995
- Raharjo, Ferianto. *Ekonomi Teknik – Analisis Pengambilan Keputusan.* Yogyakarta: ANDI, 2007
- Richard, "*Evaluasi rugi-rugi dan efektivitas investasi jaringan tegangan rendah.*" Skripsi Sarjana Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Jakarta, 1987
- Sissine, Fred. "Energy Efficiency: Budget, Oil Conservation, and Electricity Conservation Issues." CRS Issue Brief for Congress, 2005

Putra, Rudi Purnomoloka. “*Studi perhitungan daya dapur busur listrik sebagai dasar perencanaan model operasi peleburan baja (Studi kasus di SSP I PT Krakatau Steel)*.” Skripsi Sarjana Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Jakarta, 1994

Song, Cheng Chee. “High Efficiency Motors for Industrial and Commercial Sectors in Malaysia.”

Ward, W. A., Junfeng Li, *et al.* “Energy Efficiency in China : Case Studies and Economic Analysis” China: State Planning Commission of China, 1994

LAMPIRAN

Lampiran 1 Contoh Perhitungan rugi-rugi jaringan pada konduktor

Data arus, daya aktif dan daya kompleks pada sistem kelistrikan PT X adalah sebagai berikut :

	I_{fasa} (Amp)	P_{total} (Watt)	S_{total} (VA)
Rata-rata	273,1	92.581,45	109.033,37
Maksimum	475,82	144.654,55	190.047,28
Minimum	166,18	58.450,91	66.567,28

Dengan langganan daya sebesar 555 kVA dan tegangan sistem 200 volt, maka arus maksimum yang mengalir adalah sebesar

$$I_{\text{max}} = \frac{555.000 \text{ VA}}{200 \text{ V}} = 2.775 \text{ Amp}$$

dan untuk setiap fasa, konduktor harus mampu melewati arus sebesar 925 Amp, sehingga dibutuhkan konduktor tembaga dengan ukuran 2 x 1,85 cm². Konduktor tembaga dengan ukuran tersebut memiliki resistansi sebesar 0,03 Ω/km. Dengan asumsi panjang konduktor untuk sistem kelistrikan yang ada pada PT X adalah 2 km, maka total resistansinya adalah 0,06 Ω.

Dari tabel diatas, diketahui bahwa rata-rata arus yang mengalir adalah 819,23 Amp, sehingga rugi-rugi daya yang terjadi adalah

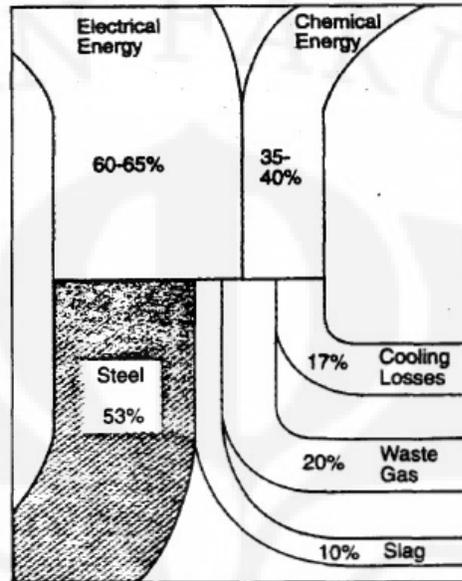
$$P_{\text{losses}} = 3 \cdot I^2 \cdot R = 3 \cdot (273,1)^2 \cdot 0,06 = 13.415,22 \text{ Watt} \approx 13 \text{ kW}$$

Dengan demikian, maka presentase rugi-rugi daya di jaringan listrik PT X adalah

$$\% \text{ Rug-rugi} = \frac{13 \text{ kW}}{92 \text{ W}} = 14,1\% \approx 15\%$$

Perhitungan ini digunakan juga pada PT Y dan PT Z.

Lampiran 2 Prinsip Kerja Preheating Scrap



Pada suatu *Electric Arc Furnace*, diagram keseimbangan energi secara umum adalah seperti pada gambar 1. Tergantung dari operasinya, kira-kira 60-65% dari total energi yang dibutuhkan berupa energi listrik dan sisanya merupakan energi kimia yang dihasilkan dari oksidasi elemen-elemen seperti karbon, besi, silikon, dan pembakaran gas alam (natural gas) dengan oxy-fuel burner. Sekitar 53% dari total energi meninggalkan furnace dalam bentuk baja cair sementara sisanya hilang sebagai terak (ampas bijih), gas terbuang, dan air pendingin. Biasanya, 20% dari energi yang dilepaskan dari furnace setara dengan 130 kWh/ton baja yang diproduksi. Dengan menggunakan gas terbuang ini untuk memanaskan *scrap* sebelum masuk EAF, dapat mengembalikan sejumlah energi dan menurunkan kebutuhan energi listrik untuk mencairkan *scrap*. Kandungan panas dari *scrap* yang dipanaskan sebelum dimasukkan EAF dalam kWh/ton diberikan pada tabel 1. Keuntungan yang diperoleh dengan memanaskan *scrap* sebelum masuk ke proses pencairan di EAF adalah :

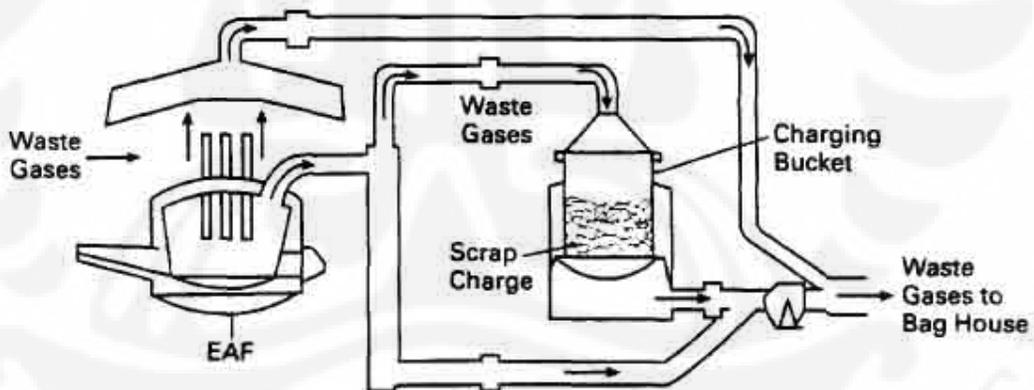
- 1) Meningkatkan produktivitas,
- 2) Menghilangkan moisture dari *scrap*,
- 3) Menurunkan konsumsi elektroda,
- 4) Menurunkan konsumsi refractory.

Konsumsi Energi Listrik untuk Pemanasan *Scrap*

***Scrap* Temperature Heat Content**

300 ⁰ F (150 ⁰ C)	22 kWh/T
500 ⁰ F (260 ⁰ C)	40 kWh/T
700 ⁰ F (370 ⁰ C)	57 kWh/T
1000 ⁰ F (540 ⁰ C)	81 kWh/T

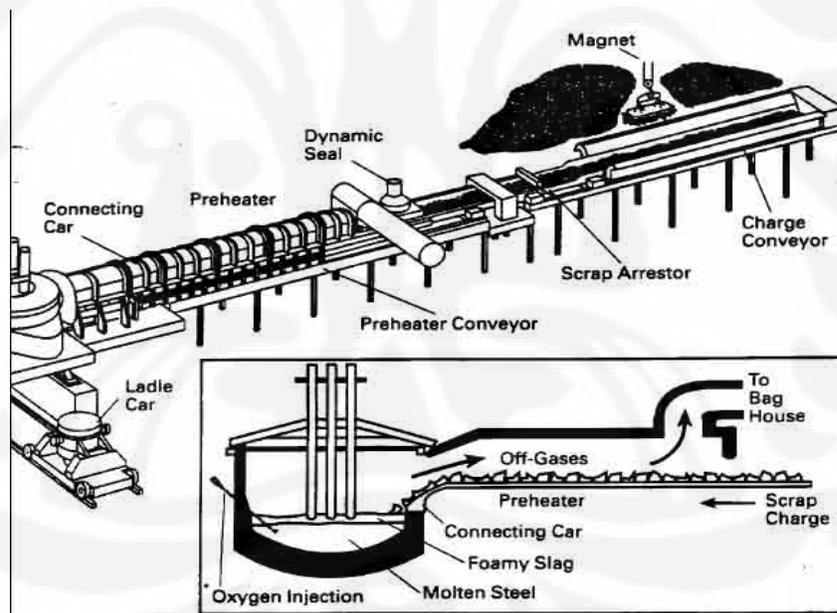
Metode preheating telah digunakan lebih dari 30 tahun terutama di negara-negara dengan biaya energi listrik yang tinggi. Metode preheating *scrap* konvensional menggunakan gas panas untuk memanaskan *scrap* dalam bucket sebelum *scrap* dimasukkan ke dalam EAF. Sumber gas panas tersebut bisa berasal dari gas buang EAF atau gas yang dihasilkan dari pembakaran gas alam. Metode preheating *scrap* konvensional dapat dilaksanakan dengan mengirimkan gas pisa furnace ke bucket pemasukan *scrap* (*scrap* charging bucket) dengan mengalirkan gas buang EAF melalui pipa dari lubang ke-empat EAF menuju saluran khusus di atas bucket pemasukan *scrap* (*charging bucket*). Skematik sistem preheating *scrap* konvensional ditunjukkan pada gambar berikut :



Umumnya gas tersebut meninggalkan EAF pada suhu sekitar 2200⁰F (1200⁰C), memasuki bucket pada suhu 1500⁰F (815⁰C), dan meninggalkan bucket pada suhu 400⁰F (200⁰C). Banyaknya pemanasan *scrap* tersebut tergantung dari transfer panas ke *scrap* yang merupakan fungsi dari ukuran *scrap* dan waktu pada temperatur. Umumnya *scrap* dipanaskan hingga rentang 600⁰ sampai 800⁰F (315⁰ sampai 450⁰C). Pada beberapa kasus, temperatur yang

lebih tinggi juga dapat diperoleh. Banyaknya pemanasan *scrap* ini umumnya akan mereduksi konsumsi energi 40 hingga 60 kWh/ton, konsumsi elektroda sebanyak 0.6 sampai 0.8 lb/ton (0.3 sampai 0.36 kg/mt), konsumsi refractory sebanyak 2 hingga 3 lb/ton (0.9 hingga 1.4 kg/mt), dan waktu tap-to-tap selama 5 hingga 8 menit. Beberapa kerugian dari metode preheating konvensional ini antara lain :

- Kesulitan dalam operasinya seperti menempelnya *scrap* pada bucket serta pendeknya umur bucket.
- Buruknya pengendalian preheating karena siklus temperatur gas dan kecepatan aliran (flowrate) akibat tahap operasi EAF yang bervariasi.
- Untuk waktu tap-to-tap lebih kecil 70 menit, logistik dari preheating konvensional menyebabkan penghematan energi yang minimal yang tidak dapat memberikan alasan pemberian modal untuk sistem preheating ini.



Metode preheating lain yang lebih efektif adalah dengan menggunakan continuous *scrap* preheater yang dipatenkan oleh CONSTEEL. Pada metode ini, pemasukan, pemanasan, dan peleburan pada EAF dilakukan secara terus menerus. Diagram skematik metode proses ini diberikan pada gambar figure 5. Dalam prosesnya, *scrap* ditempatkan pada suatu conveyor dan berjalan melewati seal ke

dalam bagian pemanasan. Gas panas yang dilepas oleh EAF (off gasses) mengalir dari EAF ke bagian pemanas *scrap* (dalam arah yang berlawanan dengan arah conveyor yang membawa *scrap*), memanaskan *scrap*, dan kemudian masuk ke saluran menuju ke Bag House. Setelah mengalir melalui bagian pemanasan *scrap*, *scrap* kemudian dilepaskan ke conveyor penghubung (*connecting conveyor car*) yang bergerak masuk ke sisi furnace dan meletakkan *scrap* ke dalam kolam baja cair (lihat gambar figure 5). Seperti telah dilaporkan, *scrap* telah dipanaskan hingga 600⁰F (316⁰C) oleh gas panas buangan EAF tersebut. Pada proses CONSTEEL ini, baja cair panas dibiarkan di dalam furnace untuk meleburkan *scrap* yang baru masuk dan busur listrik hanya digunakan untuk menjaga agar kolam tetap dalam keadaan cair sehingga proses peleburan baja dapat berlangsung terus menerus. Pada metode ini, furnace menjaga kondisi kolam yang rata (flat) dan konstan yang memungkinkan untuk membersihkan kolam secara terus menerus ketika *scrap* sedang dicairkan. Keuntungan-keuntungan yang diperoleh dengan penggunaan metode ini antara lain :

- Penggunaan energi listrik yang rendah, sekitar 360 kWh/ton
- Waktu tap-to-tap di bawah 50 menit
- Konsumsi elektroda yang rendah, sekitar 3.3 lb/ton (1.5 kg/mt)
- Mengurangi masalah-masalah berkenaan dengan harmonik dan flicker
- Pengurangan pembentukan debu hingga 30%
- Pengurangan tingkat kebisingan pabrik

