

**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
PROGRAM STUDI TEKNIK ENERGI LISTRIK**



**ANALISA PENERAPAN *HIGH PASS FILTER* UNTUK MENINGKATKAN
EFISIENSI DAYA LISTRIK DI PT. SEMEN GRESIK (PERSERO) Tbk.
PABRIK TUBAN I DAN II**

SKRIPSI

**Disusun Oleh :
BACHRUL ULUM
NIM : 01.12.045**

MARET 2006



1950

1950

1950

1950

1950

1950

1950

LEMBAR PERSETUJUAN

ANALISA PENERAPAN *HIGH PASS FILTER* UNTUK MENINGKATKAN
EFISIENSI DAYA LISTRIK DI PT. SEMEN GRESIK (PERSERO) Tbk.
PABRIK TUBAN I DAN II

SKRIPSI

*Disusun Untuk Melengkapi Dan Memenuhi Syarat
Guna Mencapai Gelar Sarjana Teknik*

Disusun Oleh:
BACHRUL ULUM
NIM : 01.12.045



Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Ir. Yudi Limpraptono, MT.
NIP. Y. 103 9500 274

Menyetujui
Dosen Pembimbing

Ir. Widodo Pudji, M, MT.
NIP. 101 8800 190

KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

السَّلَامُ عَلَيْكُمْ وَرَحْمَةُ اللَّهِ وَبَرَكَاتُهُ

SPECIAL THANKS TO:

ALHAMDULILLAHI RABBIL 'AALAMIIN SEMBAH SUJUD SYUKUR KEPADAMU YA RABB (YA ALLOH) N TAK LUPA JUGA AKU UCAPKAN SHOLAWAT SERTA SALAM KEPADA JUNJUNGANKU NABI MUHAMMAD SAW ATAS RAHMAT DAN HIDAYAHNYA HINGGA AKU DAPAT MENCAPAI GELAR SARJANAKU DENGAN HASIL YANG SANGAT MEMUASKAN.

TAK ADA KATA YANG DAPAT AKU UCAPKAN KECUALI RASA BERSYUKURKU KEPADAMU. KAULAH PEMBIMBINGKU DALAM MENJALANI KEHIDUPAN INI.

DENGAN IMAN HIDUP TERARAH
DENGAN ILMU HIDUP MENJADI MUDAH
DENGAN CINTA HIDUP BAHAGIA
DENGAN SENI HIDUP TERASA INDAH

"..... Allah Meninggikan orang yang beriman di antara kamu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat"
(QS. Al Mujaadilah : 11)

وَسَلَامٌ عَلَيْكُمْ وَرَحْمَةُ اللَّهِ وَبَرَكَاتُهُ

SPECIAL THANKS TO: **Kedua Orangtuaku** Atas Doanya, Nasihat, Kasih Sayang, Semangat, Dorongan, Materi Baik Material Maupun Spiritual Hingga Aku Dapat Menyelesaikan Kuliahku Dan Mendapatkan Gelar Sarjanaku. Aku Hanya Ingin Memberi Yang Terbaik Buat **Kalian**.

♥ Untuk Pembimbingku (Ir. Widodo Pudji M, MT) Trima Kasih Banyak Bimbingan dan ArahanNya dalam Penulisan Skripsi ini hingga dapat selesai.

♥ Buat **Kakakku** (Atik) Dan **Adekkku**  (Vio) Dan Semua Saudaraku Makasih Semangat Dan Doa Hingga Aku Sekarang Mau Diwisuda Jadi Seorang Sarjana

♥ Buat **Adekkku (Rini S)**  pengisi hatiku dan keluarga besarnya makasih atas doanya, dorongannya, semangatnya, nasihatnya, yang mau ngerti Mas dan menemani Mas selama ini dalam suka maupun duka dan Mas Doain smoga Skripsi Adek cpat selesai. I L U.....

♥ Buat anak kos Klaseman (**Hendra** cpet dapat kerja, **Didik** alias jaex cepat selesaikan TA-mu, **Puji** sm **Gondo** smoga kalian kompak terus, Mas Nur akhirnya dapat wisuda juga sama, Tanzil makasih dah mau aku titipin makan, Ibnu, Mas erdi, Alumnus Sinyo, Fajar,

Hanis, Gimbal.) Makasih. 

♥ Boeat Teman Seperjuangan Skripsi (Kalis suwon penjelasane, Dony Krebet Suwon seng akeh Crut seannere and jemputane, Anang jolali KRomEngan Makasih sering jemput aku juga, Ubet Juragan krupuk jangan banyak cewek) Akhirnya kita dapat diwisuda bareng2


coy.

♥ Buat Sony makasih banyak dah Man Bantu aku ngetik buat skripsi ini .aku doain moga kamu cepet dapat kerja n sukses buat you 

♥ Buat T-man Sekelasku  Deny suwon dah mau nemani aku kemana-mana n cpat cari judul skripsi biar cpat jadi sarjana, Arik, Agus Pakde, Hurry, Hanang Gundul, Herman, Vendy, Prengky, Bony, Ebet cpat selesaikan Skripsimu ojk Males ae, Dony Aji ayo Cpat selesaikan Skripsimu, Rizki, Kiky, Gpenk, Alan, Mbah Yo, Koheng, Safak jangan mudah nyerah cpat kerjain skripsi.

♥ Buat Hangga Yang disurabaya makasih Skripsinya n pinjaman bukunya dan Erika makasih banyak.

♥ For anak Kontrakan Puskopad (lukman, Johan, Abbas, Budi, Kaktus, Beni, Sastro, Eko, Andik panggilan Gundul) makasih suportnya and bantuannya.

♥ For Sesama Bimbingan P.Widodo (Surya, Mas Guntur, Mas Ardian, Erent, Rulan, Mas Budi, Rika, Dini, Syahid) makasih banyak Doa dan Dukungannya. Akhirnya kita dapat Lulus sama-Sama.

♥ Buat Diana makasih pinjaman Fotokopinya.aku Doain skripsimu juga Cpat selesai.

♥ Buat tmanku rumah topeng makasih mau nemani aku ke tuban ambil data, Tonek selesaikan TAmu biar cpat lulus dan smua pihak yang telah banyak membantu dalam pengerjaan skripsi ini yang tak bisa aku sebutkan smuanya. makasih banyak buat kalian.



ABSTRAKSI

ANALISA PENERAPAN HIGH PASS FILTER UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI DAYA LISTRIK DI PT.SEMEN GRESIK (persero) Tbk.

(Bachrul Ulum, Nim. 01.12.045, Teknik Elektro Energi Listrik S-1)
(Dosen Pembimbing : Ir.Widodo Pudji. M, MT)

Kata kunci : faktor daya, harmonisa, high pass filter, efisiensi

Pada saat ini kebutuhan energi listrik merupakan faktor yang sangat fundamental bagi industri dimana peningkatan kebutuhannya seiring dengan perkembangan industri tersebut. Dalam suatu industri yang besar, pada proses produksinya sebagian besar (mayoritas) beban yang digunakan adalah beban-beban yang sifatnya induktif dan juga banyak menggunakan peralatan-peralatan elektronika sebagai dc power supply, variable speed drive dan sistem komunikasi. Pada penggunaan beban induktif, masalah yang sering terjadi adalah pada nilai faktor daya yang rendah, dengan ketentuan dari PLN minimum nilai $\cos \theta$ tidak lebih rendah dari 0,85 sedangkan penggunaan peralatan elektronika sebagai dc power supply, variable speed drive dan sistem komunikasi akan menyebabkan timbulnya efek - efek / frekuensi harmonisa, yaitu cacat gelombang yang terjadi akibat intervensi frekuensi kedalam frekuensi fundamental (dasar) yang merupakan perkalian integer dari frekuensi fundamentalnya. Untuk meningkatkan optimasi pemakaian daya listrik dengan beban yang sama, maka dibutuhkan suatu usaha untuk meningkatkan nilai faktor daya ($\cos \theta$) dengan tujuan meningkatkan efisiensi, sehingga akan memberikan keuntungan – keuntungan

Dalam penyelesaian masalah faktor daya dengan tegangan yang memiliki cacat harmonisa tidak dapat dilakukan secara terpisah karena adanya beberapa kerugian. Oleh sebab itu untuk mengatasi permasalahan tersebut diatas PT. Semen Gresik (Persero), Tbk membuat suatu sistem perbaikan faktor daya dan juga sekaligus menekan munculnya frekuensi harmonisa. Penggunaan High Pass Filter, yaitu rangkaian resistor dan reaktor yang tersusun paralel dan diseri dengan kapasitor adalah adalah metode yang dipakai untuk menekan permasalahan tersebut. Dalam skripsi ini dapat dianalisis bahwa aplikasi dari pemasangan High Pass Filter mampu meningkatkan faktor daya dari 0,92 menjadi 0,98 lagging, penambahan daya baru karena alokasi daya tak terpakai sebesar 4,57 MVA, meredam frekuensi harmonisa 250 Hz dan 350 Hz, penghematan biaya untuk investasi / penambahan daya baru.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan rasa syukur kepada Allah SWT yang maha pengasih dan maha penyayang, karena hanya dengan rahmat dan karunia-Nya lah, sehingga penulis mampu menyelesaikan laporan skripsi berjudul :

ANALISA PENERAPAN HIGH PASS FILTER UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI DAYA LISTRIK DI PT.SEMEN GRESIK (persero) Tbk

Laporan skripsi ini disusun guna memenuhi persyaratan kelulusan tahap Sarjana Strata (S – 1) pada Jurusan Teknik Energi Listrik, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang.

Dalam penyusunan skripsi ini penulis merasa tak lepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis dengan tulus menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. F. Yudi Limpraptono, MT, Selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Bapak Ir. Widodo Pudji M, MT, Sebagai Dosen Pembimbing.
3. Segenap jajaran Direksi, Staff dan Karyawan PT. Semen Gresik (Persero),.Tbk.
4. Segenap staff Jurusan Teknik Elektro ITN.
5. Kedua orang tua yang telah memberikan doa restunya serta memberikan dorongan moril dan materiil.

6. Dan semua pihak yang telah banyak membantu, yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu pada kesempatan ini.

Penulis menyadari bahwa laporan skripsi ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan karena keterbatasan kemampuan yang penulis miliki, sehingga penulis mengharapkan adanya saran dan kritik yang bersifat membangun menuju ke arah perbaikan. Semoga hasil penelitian ini, dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, serta berguna bagi masyarakat.

Malang, Maret 2006

Penyusun

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN

ABSTRAKSI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Metodologi.....	4
1.6 Sistematika Pembahasan.....	5
1.7 Relevansi.....	6

BAB II FAKTOR DAYA DAN HARMONISA DALAM SISTEM KELISTRIKAN.

2.1 Pengertian Daya Listrik.....	7
2.1.1 Daya Listrik Berfasa Tunggal.....	7
2.1.2 Daya Kompleks.....	9
2.1.3 Daya Pada Rangkaian Tiga Fasa Seimbang.....	10
2.2 Dasar- Dasar Faktor Daya.....	11
2.2.1 Pengertian Faktor Daya.....	11
2.2.2 Faktor Daya Tertinggal (Lagging) dan Faktor Daya Mendahului (Leading)	14

2.2.3	Perbaikan Faktor Daya.....	15
2.3	Sumber Daya Reaktif Untuk Perbaikan Faktor Daya.....	16
2.3.1	Kondensor Sinkron.....	17
2.3.2	Kapasitor Seri.....	17
2.3.3	Kapasitor Shunt	18
2.4	Harmonisa.....	18
2.5	Sumber – Sumber Harmonisa.....	21
2.6	Pengaruh Harmonisa.....	21
2.6.1	Resonansi	21
2.6.2	Kapasitor Bank	25
2.6.3	Transformator	26
2.6.4	Peralatan Pemutus	26
2.6.5	Sistem Kelistrikan Lain	27
2.7	Filter Harmonisa.....	27
2.8	Perencanaan High Pass Filter.....	28
2.9	Komponen Filter.....	29
2.9.1	Kapasitor	29
2.9.2	Induktor	30
2.9.3	Resistor	30
2.10	Pengaruh Impedansi Jaringan Terhadap Efektifitas Filter.....	31
2.11	Analisis Ekonomi Perhitungan Biaya Investasi.....	32
2.12	Konsep Penilaian Investasi.....	32
2.12.1	Average Rate Of Return.....	33
2.12.2	Payback Period.....	34

**BAB III SISTEM KELISTRIKAN PT. SEMEN GRESIK (Persero) PABRIK
TUBAN I dan II.**

3.1	Sistem Kelistrikan Eksisting.....	36
3.2	Pola Operasi PT. Semen Gresik (Persero).,Tbk.....	46

3.3	Profil Faktor Daya.....	48
-----	-------------------------	----

**BAB IV ANALISA PENERAPAN HIGH PASS FILTER UNTUK
MENINGKATKAN EFISIENSI.**

4.1	Peningkatan Faktor Daya (Cos θ)	57
4.2	Diagram Alir Perhitungan Penerapan High Pass Filter.....	59
4.3	Tampilan Program Delphi Untuk Menganalisa Penerapan High Pass Filter ..	60
4.3.1	Tampilan Program	60
4.3.2	Hasil Program	61
4.4	Hasil Perhitungan	62
4.4.1	Besarnya Unit – Unit Daya Reaktif.....	64
4.4.2	Lokasi Pemasangan.....	65
4.5	Penerapan Filter Harmonisa.....	65
4.6	Perhitungan Biaya Investasi Filter Harmonisa.....	71
4.6.1	Biaya Awal.....	71
4.6.2	Cash Flow Bulanan.....	71
4.7	Analisa Kelayakan Investasi.....	72

BAB V	KESIMPULAN.....	76
--------------	------------------------	-----------

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 : Beban Terpasang di PT. Semen Gresik (Persero)., Tbk.....	37
Tabel 3.2 : Fungsi Peralatan Untuk Proses Pembuatan Semen	43
Tabel 3.3 : Waktu Tunggu.....	48
Tabel 3.4 : Pemakaian Beban Harian.....	49
Tabel 4.1 : Peralatan Dalam Operasi Pembuatan Semen	58
Tabel 4.2 : Perhitungan Setelah Pemasangan	61
Tabel 4.3 : Penalaan Filter Frekuensi 250 Hz	61
Tabel 4.4 : Penalaan Filter Frekuensi 350 Hz	62
Tabel 4.5 : Cash Flow Investasi	62
Tabel 4.6 : Daftar Investasi Pengadaan Filter Harmonisa	71
Tabel 4.7 : Daftar Perhitungan Cash Flow Investasi.....	74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	: Hubungan Arus Pada Rangkaian AC	12
Gambar 2.2	: Hubungan Daya Pada Rangkaian AC.....	13
Gambar 2.3a	: Bentuk Gelombang Frekuensi Dasar	19
Gambar 2.3b	: Bentuk Gelombang Frekuensi Dasar dan Frekuensi Harmonisa....	19
Gambar 2.3c	: Bentuk Gelombang Resultan dari Frekuensi Dasar dan harmonisanya.....	20
Gambar 2.4	: Pemasangan Filter Harmonisa.....	28
Gambar 3.1	: Line Proses Pembuatan Semen	47
Gambar 4.1	: Line Proses Pembuatan Semen.....	58
Gambar 4.2	: Tampilan Menu Utama	60
Gambar 4.3	: Tampilan Hasil Perhitungan Penerapan High Pass Filter	60
Gambar 4.4	: Hasil Perhitungan Cash Flow Investasi	61
Gambar 4.5	: Diagram Segitiga Daya.....	64
Gambar 4.6	: Fluke 41B Harmonic Analyzer)	67
Gambar 4.7	: Filter Harmonisa ke – 5 (250 Hz)	70
Gambar 4.8	: Filter Harmonisa ke – 7 (350 Hz)	70

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada saat ini kebutuhan energi listrik merupakan faktor yang sangat fundamental bagi industri dimana peningkatan kebutuhannya seiring dengan perkembangan industri tersebut, baik industri dalam skala kecil maupun industri dalam skala besar. Dalam hal ini banyak pihak-pihak yang telah berupaya untuk meningkatkan penyediaan energi listrik, salah satunya adalah pemerintah dimana pemerintah telah membangun beberapa unit pembangkit baru dan meningkatkan optimasi dari pembangkit-pembangkit yang sudah ada.

Dalam suatu industri yang besar, pada proses produksinya sebagian besar (mayoritas) beban yang digunakan adalah beban-beban yang sifatnya induktif dan juga banyak menggunakan peralatan-peralatan elektronika sebagai dc power supply, variable speed drive dan sistem komunikasi. Pada penggunaan beban induktif, masalah yang sering terjadi adalah pada nilai faktor daya yang rendah, dengan ketentuan dari PLN minimum nilai $\cos \theta$ tidak lebih rendah dari 0,85 sedangkan penggunaan peralatan elektronika sebagai dc power supply, variable speed drive dan sistem komunikasi akan menyebabkan timbulnya efek - efek / frekuensi harmonisa, yaitu cacat gelombang yang terjadi akibat intervensi frekuensi kedalam frekuensi fundamental (dasar) yang merupakan perkalian integer dari frekuensi fundamentalnya misalnya, harmonisa ke-3 150Hz, harmonisa ke-5 250Hz, harmonisa

ke-7 350Hz, dan sebagainya. Yang dimaksud dari frekuensi fundamental adalah frekuensi 50Hz pada sistem penyaluran tenaga listrik di Indonesia. Sedangkan distorsi / cacat gelombang adalah keadaan dimana bentuk gelombang berfrekuensi 50Hz tidak lagi murni sinusoidal tetapi merupakan resultan dari frekuensi 50Hz dan frekuensi harmonisanya.

Untuk meningkatkan optimasi pemakaian daya listrik dengan beban yang sama, maka dibutuhkan suatu usaha untuk meningkatkan nilai faktor daya ($\cos \theta$) dengan tujuan meningkatkan efisiensi, sehingga akan memberikan keuntungan – keuntungan, misalnya penambahan kapasitas daya listrik akibat berkurangnya rugi – rugi, pengurangan biaya pemakaian daya listrik, meningkatnya masa pakai peralatan listrik, dsb.

Peningkatan faktor daya pada umumnya adalah menggunakan kapasitor bank sebagai kompensatornya, karena kapasitor merupakan komponen yang paling ekonomis serta mudah dalam pemasangan, namun dalam kenyataannya pemasangan kapasitor bank sebagai kompensator daya reaktif pada jaringan listrik yang mengandung harmonisa, harus diperhitungkan secara lebih mendalam dan mempertimbangkan pengaruh negatifnya terhadap kapasitor itu sendiri. Oleh sebab itu dibutuhkan adanya analisa dan perhitungan yang tepat dalam meningkatkan faktor daya dan sekaligus meredam harmonisa yang ada sehingga tidak membahayakan kapasitor dalam fungsinya sebagai kompensator daya reaktif.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam skripsi ini masalah yang akan dikaji adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana upaya PT. Semen Gresik (Persero),Tbk dalam memperbaiki Faktor Daya dan filterisasi harmonisa dalam usahanya meningkatkan efisiensi daya secara teknis.
2. Peningkatan efisiensi yang terjadi pemakaian pada daya listrik dan keuntungan secara ekonomi terhadap kompensasi adanya efisiensi pada pemakaian daya listrik tersebut.

1.3 Tujuan

Dalam penulisan skripsi ini ditujukan untuk :

Menganalisa penerapan / penggunaan high pass filter untuk meningkatkan faktor daya ($\cos \theta$) dan sekaligus meredam harmonisa, khususnya harmonisa ke-5 pada frekuensi 250 Hz dan harmonisa ke-7 pada frekuensi 350 Hz pada jaringan listrik untuk memperoleh efisiensi pemakaian daya listrik dan keuntungan secara ekonomi dengan adanya efisiensi daya listrik di PT. Semen Gresik (Persero),Tbk, pabrik Tuban I dan II.

1.4 Batasan Masalah

Agar pembahasan mengarah sesuai tujuan, maka pembahasan ini dibatasi oleh hal sebagai berikut :

1. Penekanan masalah ditujukan pada analisa penerapan high pass filter tambahan dalam meningkatkan faktor daya untuk meredam harmonisa ke-5 dan ke-7.
2. Keuntungan secara ekonomi terhadap kompensasi pemasangan filter harmonik di PT. Semen Gresik (Persero), Tbk Pabrik Tuban I dan II.
3. Sistem berada pada kondisi operasi normal.
4. Tidak membahas secara mendetail harmonisa
5. Sistem bekerja pada keadaan beban penuh.

1.5 Metodologi

1. Studi literatur tentang analisa dan metode perhitungan secara matematis dari frekuensi harmonik dan cara memperbaiki faktor daya serta pemakaian komponen – komponen yang menunjang .
2. Pengumpulan data-data yang berhubungan dengan sistem kelistrikan di PT. Semen Gresik (Persero), Tbk, data-data teknis komponen/peralatan-peralatan yang digunakan dalam perbaikan sistem kelistrikan, dan data-data mengenai anggaran pemakaian daya listrik sebelum dan sesudah adanya perbaikan sistem.
3. Metode observasi yaitu melihat langsung pemasangan komponen-komponen yang menunjang perbaikan sistem, pemantauan terhadap kestabilan sumber daya listrik serta kebutuhan investasi peralatan.

4. Dari data yang diperoleh dapat dilakukan perhitungan efisiensi secara total akibat dari adanya perbaikan sistem kelistrikan, dalam hal ini adalah perbaikan faktor daya dan pemasangan filter harmonisa.

1.6 Sistematika Pembahasan

- Bab I** : Pendahuluan, yaitu tentang garis besar penulisan masalah yang dituangkan dalam latar belakang, tujuan, batasan dan relevansi
- Bab II** : Teori Dasar Faktor Daya dan Harmonisa dalam Sistem Tenaga Listrik, berisi tentang pengertian dasar daya listrik satu fasa, tiga fasa, daya kompleks dan timbulnya faktor daya dalam sistem penyaluran daya listrik, dan pengaruh harmonisa terhadap perbaikan faktor daya.
- Bab III** : Sistem Kelistrikan di PT. Semen Gresik (Persero)., Tbk, Pabrik Tuban I dan II, yaitu tentang penggunaan beban – beban yang dibutuhkan dalam melaksanakan proses produksi, dan pemasangan filter harmonisa.
- Bab IV** : Analisa Penerapan High Pass Filter Untuk Meningkatkan Efisiensi Daya Listrik, yaitu perhitungan bagaimana peningkatan faktor daya di PT. Semen Gresik (Persero)., Tbk, Pabrik Tuban I dan II, dan kombinasi rangkaian filter harmonisa untuk meredam periode sumber harmonisa ke 5 dan ke 7, serta peningkatan efisiensi dalam penggunaan daya listrik serta efisiensi biaya pemakaian daya listrik.
- Bab V** : Kesimpulan, keterkaitan antara tujuan pembuatan tulisan dan analisa dari data-data yang ada.

1.7 Relevansi

Dengan adanya pemasangan high pass filter dengan kombinasi nilai komponen yang sesuai, diharapkan perbaikan faktor daya dan filterisasi harmonisa ke-5 dan ke-7 dapat diperoleh, sehingga keuntungan dalam segi teknis dan ekonomi dari pemakaian daya listrik dapat tercapai.

BAB II

FAKTOR DAYA DAN HARMONISA DALAM SISTEM KELISTRIKAN

2.1 Pengertian Daya Listrik

2.1.1 Daya Listrik Berfasa Tunggal

Pada prinsipnya definisi daya listrik adalah perubahan energi terhadap waktu. Satuan daya adalah Watt. Daya dalam Watt yang diserap oleh suatu beban sama dengan jatuh tegangan (drop tegangan) pada beban tersebut dikalikan dengan arus (Ampere) yang mengalir dalam beban tersebut.

Dapat dimisalkan apabila terminal – terminal beban dinyatakan oleh a dan n , maka tegangan dan arus dinyatakan dengan :

$$V_{an} = V_{maks} \cos \omega t \quad (2.1)$$

$$I_{an} = I_{maks} \cos (\omega t - \theta) \quad (2.2)$$

Maka daya sesaat dapat diperoleh :

$$p = v_{an} i_{an} = V_{maks} I_{maks} \cos \omega t \cos (\omega t - \theta) \quad (2.3)$$

Sudut θ dalam persamaan tersebut diatas adalah positif untuk arus yang tertinggal (*lagging*) terhadap tegangan dan negatif untuk arus yang mendahului (*leading*) terhadap tegangan.

Dengan menggunakan kesamaan trigonometrik, persamaan (2.3) dapat diubah menjadi :

$$P = \frac{V_{maks} I_{maks}}{2} \cos \theta (1 + \cos 2 \omega t) + \frac{V_{maks} I_{maks}}{2} \sin \theta \sin 2 \omega t \quad (2.4)$$

dengan $\frac{V_{maks} I_{maks}}{2}$ dapat diganti dengan perkalian $|V_{an}| \cdot |I_{an}|$ atau $|V| \cdot |I|$

Jika dianalisis lebih lanjut, maka persamaan (2.4) akan memperlihatkan bahwa bagian pertama dimana terdapat $\cos \theta$ akan selalu positif dan nilai rata – ratanya adalah :

$$P = \frac{V_{\text{maks}} I_{\text{maks}}}{2} \cos \theta \quad (2.5)$$

atau , dengan memasukkan nilai – nilai rms dari tegangan dan arus,

$$P = |V| \cdot |I| \cos \theta \quad (2.6)$$

P adalah kuantitas daya atau dapat pula disebutkan sebagai daya rata – rata atau daya nyata (*real power*). Satuan dari daya sesaat atau rata – rata adalah Watt, dan dalam analisis sistem tenaga listrik umumnya terukur dalam kiloWatt atau megaWatt.

Bagian kedua dari persamaan (2.4), dimana terdapat $\sin \theta$ selalu berubah – ubah dari positif ke negatif dan sebaliknya dari negatif ke positif, dan nilai rata – ratanya adalah nol. Komponen dari daya sesaat ini dinamakan daya reaktif sesaat (*instantaneous reactive power*) yang dinotasikan sebagai Q, dapat dituliskan sebagai berikut :

$$Q = \frac{V_{\text{maks}} I_{\text{maks}}}{2} \sin \theta \quad (2.7)$$

atau

$$Q = |V| \cdot |I| \sin \theta \quad (2.8)$$

Satuan dari daya reaktif (Q) adalah VAR (Volt Ampere Reaktif), dalam analisis sistem tenaga listrik biasanya tertulis dalam kVAR (Kilo Volt Amper Reaktif) atau MVAR (Mega Volt Ampere Reaktif).

Dari kedua persamaan daya tersebut (daya nyata(P) dan daya reaktif(Q)), dapat ditentukan resultannya yaitu akar dari jumlah kuadrat P dan Q sama dengan perkalian $|V| \cdot |I|$, hal ini disebabkan karena :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{(|V| \cdot |I| \cos \theta)^2 + (|V| \cdot |I| \sin \theta)^2} = |V| \cdot |I| \quad (2.9)$$

2.1.2 Daya Kompleks

Perhitungan daya aktif dan daya reaktif juga dapat dilakukan dengan analisis dalam bentuk kompleks, jika persamaan fasor tegangan dan arusnya diketahui. Jika tegangan pada suatu beban atau bagian dari suatu rangkaian dinyatakan dalam $V = |V| \angle \alpha$ dan $I = |I| \angle \beta$, maka hasil perkalian antara tegangan dan konjugate dari arus adalah :

$$V \cdot I^* = |V| \angle \alpha \times |I| \angle -\beta = |V| \cdot |I| \angle \alpha - \beta \quad (2.10)$$

Kuantitas ini disebut daya kompleks dan ditulis dalam bentuk S. Dalam bentuk kompleks menjadi :

$$S = |V| \cdot |I| \cos(\alpha - \beta) + j |V| \cdot |I| \sin(\alpha - \beta) \quad (2.11)$$

Karena $\alpha - \beta$ merupakan sudut fasa antara tegangan dan arus, jadi sama dengan θ dalam persamaan – persamaan sebelumnya, maka

$$S = P + jQ \quad (2.12)$$

Daya reaktif Q positif apabila sudut fasa $\alpha - \beta$ diantara tegangan dan arus adalah positif, yaitu jika $\alpha > \beta$ yang berarti arus tertinggal terhadap tegangan (lagging), Q negatif bila $\beta > \alpha$, berarti arus mendahului terhadap tegangan.

2.1.3 Daya Pada Rangkaian Tiga Fasa Seimbang

Total daya yang diberikan oleh sebuah generator tiga-fasa atau digunakan dalam beban tiga-fasa dapat diperoleh dengan menjumlahkan daya pada ketiga fasanya. Pada suatu rangkaian yang seimbang, total daya merupakan tiga kali daya satu fasanya, karena daya pada semua fasanya sama.

Untuk suatu beban yang terhubung Y, besarnya tegangan fasa-netralnya V_p adalah :

$$V_p = |V_{an}| = |V_{bn}| = |V_{cn}| \quad (2.13)$$

dan jika besarnya arus fasa I_p untuk beban yang terhubung Y adalah

$$I_p = |I_{an}| = |I_{bn}| = |I_{cn}| \quad (2.14)$$

maka total daya tiga-fasa adalah :

$$P = 3V_p I_p \cos \theta_p \quad (2.15)$$

dengan θ_p adalah sudut antara arus fasa tertinggal (*lagging*) terhadap tegangan fasa.

Dalam hubungan Y, jika V_L dan I_L adalah besarnya tegangan antar saluran dan arus saluran, maka

$$V_p = \frac{V_L}{\sqrt{3}} \quad \text{dan} \quad I_p = I_L \quad (2.16)$$

Dengan menggunakan hubungan ini maka persamaan (2.15), menjadi

$$P = \sqrt{3} V_L I_L \cos \theta_p \quad (2.17)$$

Dengan cara yang sama diperoleh total VAR

$$Q = \sqrt{3} V_L I_L \sin \theta_p \quad (2.18)$$

Sehingga volt-ampere dari beban adalah :

$$|S| = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{3} V_L I_L \quad (2.19)$$

Persamaan – persamaan (2.16),(2.17) dan (2.19) berlaku juga untuk beban yang terhubung delta (Δ)

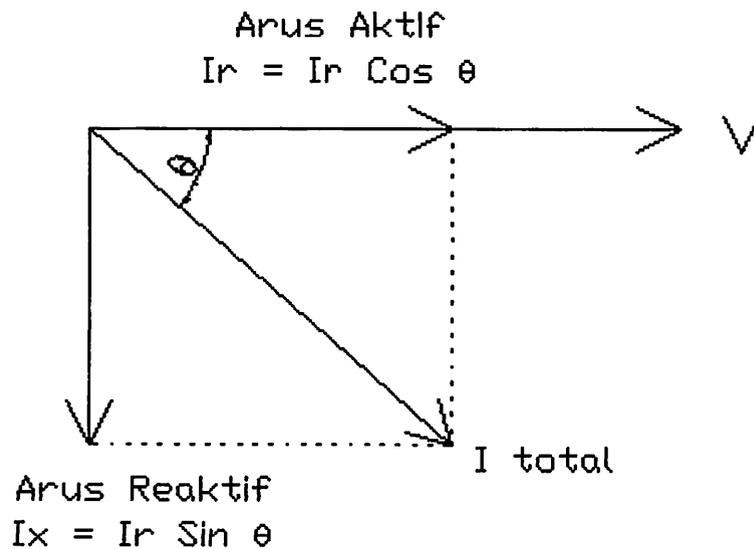
2.2 Dasar – Dasar Faktor Daya

2.2.1 Pengertian Faktor Daya

Pada sebagian besar peralatan, mengandung dua unsur / jenis beban yaitu beban resistif dan beban reaktif. Dalam hal ini maka akan membutuhkan pula dua komponen arus yang disebut arus I_r (arus beban resistif) dan I_x (arus beban reaktif), kedua komponen arus tersebut adalah :

1. Arus beban resistif adalah arus yang dikonversikan menjadi kerja, biasanya dalam bentuk panas, kerja mekanik, cahaya dan bentuk energi lain. Daya yang dihasilkan dari adanya arus ini adalah daya kerja dengan satuan Watt, kiloWatt, dsb.
2. Arus beban reaktif mengalir pada komponen beban yang tidak dapat dikonversikan menjadi bentuk penggunaan energi lain secara langsung, tetapi keberadaannya tidak dapat dipisahkan dari kebutuhan beban antara lain untuk menghasilkan fluks dalam pengoperasian peralatan elektromagnetis (misalnya : trafo, motor induksi, dsb). Tanpa arus ini maka tidak ada arus magnetis dan energi tidak mengalir melalui trafo atau menembus celah udara pada motor induksi.

Pada Gambar 2.1 dibawah ini adalah digaram fasor, disini dapat dilihat kedua komponen arus tersebut, dengan V sebagai referensi. Gambar tersebut memperlihatkan bahwa arus beban sesungguhnya adalah penjumlahan secara vektor dari arus beban resistif dan arus beban reaktif.



Gambar 2.1

Hubungan Arus Pada Rangkaian AC

Hubungan antara arus aktif, arus reaktif, dan arus total dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$I_{\text{total}} = \bar{I}_r + \bar{I}_x \quad (2.20)$$

$$I_{\text{total}} = \sqrt{(\text{arus aktif})^2 + (\text{arus reaktif})^2} \quad (2.21)$$

$$= \sqrt{(I_r \cos \theta)^2 + (I_r \sin \theta)^2} \quad (2.22)$$

Sehingga untuk daya aktif (*active power*), daya reaktif (*reactive power*), dan daya sesungguhnya (*apparent power*) pada suatu tegangan adalah sebanding dengan arus aktif, arus reaktif, dan arus total yang dapat dinyatakan sebagai berikut :

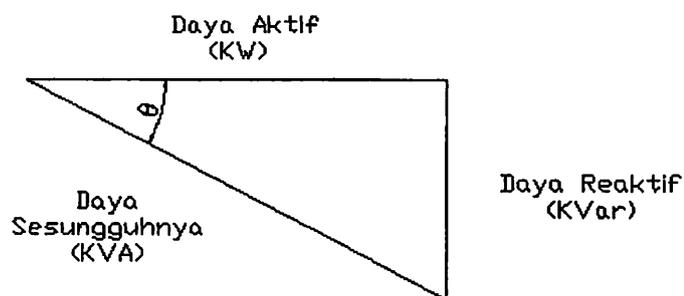
$$\text{Daya Sesungguhnya} = \sqrt{(\text{daya aktif})^2 + (\text{daya reaktif})^2} \quad (2.23)$$

dengan :

Daya Sesungguhnya = V I (KVA), maka :

$$V I = \sqrt{(V I \cos\theta)^2 + (V I \sin\theta)^2} \quad (2.24)$$

Gambar 2.2 dibawah merupakan bukti bahwa pada suatu tegangan tertentu daya sebanding dengan arus, dan adanya hubungan keterkaitan antara daya aktif, daya reaktif dan daya sesungguhnya.



Gambar 2.2

Hubungan Daya Pada Rangkaian AC

Terdapat dua pengertian umum dari faktor daya (pf), yang pertama yaitu pengertian yang menyatakan bahwa faktor daya adalah Cos dari sudut beda fasa antara tegangan dan arus tertinggal atau mendahului. Pengertian yang kedua lebih umum digunakan yaitu faktor daya adalah perbandingan (ratio) antara daya aktif

(kW) dan daya reaktif (kVAR). Nilai faktor daya bervariasi antara 0 – 1, dan dapat dinyatakan dalam persen (%).

$$\begin{aligned} \text{pf} &= \text{Cos (sudut antara daya aktif dan daya sesungguhnya)} \\ &= \frac{\text{Daya Aktif}}{\text{Daya Sesungguhnya}} = \frac{\text{kW}}{\text{kVA}} \end{aligned} \quad (2.25)$$

$$= \frac{\text{VI Cos}\theta}{\text{VI}} \quad (2.26)$$

dengan cara yang sama didefinisikan faktor reaktif sebagai perbandingan antara daya reaktif dengan daya sesungguhnya, menjadi :

$$\text{faktor reaktif} = \frac{\text{VI Sin}\theta}{\text{VI}} = \text{Sin } \theta \quad (2.27)$$

2.2.2 Faktor Daya Tertinggal (*Lagging*) Dan Faktor Daya Mendahului (*Leading*)

Faktor Daya mungkin tertinggal (*lagging*) dan mungkin mendahului (*leading*), untuk memudahkan pengertian bahwa pf tertinggal apabila beban cenderung bersifat induktif dengan arah daya aktif dan daya reaktif sama sedangkan pf mendahului apabila beban cenderung bersifat kapasitif dan arah daya aktif berlawanan dengan daya reaktif. Umumnya pada suatu industri perhitungan faktor daya hanya pada beban saja. Untuk faktor daya leading hanya akan menaikkan tegangan yang tak terlalu besar dan selama kenaikan tegangan didalam range yang diijinkan (5%) tak akan berpengaruh terhadap peralatan listrik.

2.2.3 Perbaikan Faktor Daya

Peralatan listrik yang dihubungkan untuk memberikan keluaran tertentu ditentukan oleh kebutuhan volt-ampere beban, karena itu dipengaruhi langsung oleh faktor daya beban bersangkutan. Perbaikan faktor daya pada prinsipnya adalah mengkompensasi daya reaktif, yaitu dengan memasang kompensator (umumnya kapasitor bank) secara paralel terhadap beban yang umumnya bersifat induktif.

Dari hubungan segitiga (diagram fasor) yang ditunjukkan pada gambar 2.2, persamaan matematis dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\cos \theta = \frac{\text{DayaAktif}}{\text{DayaSesungguhnya}} = \frac{\text{kW}}{\text{kVA}} \quad (2.28)$$

dan

$$\tan \theta = \frac{\text{DayaReaktif}}{\text{DayaAktif}} = \frac{\text{kVAR}}{\text{kW}} \quad (2.29)$$

Karena komponen daya aktif umumnya konstan (komponen kVA dan kVAR) berubah sesuai dengan faktor daya, maka dapat ditulis sebagai berikut :

$$\text{Daya reaktif (Q)} = \text{Daya aktif} \times \tan \theta = \text{kW} \times \tan \theta \text{ (kVAR)} \quad (2.30)$$

Untuk perbaikan faktor daya pada suatu beban adalah sebagai berikut :

$$Q_{\text{awal}} = \text{Daya aktif} \times \tan \theta_{\text{awal}} \quad (2.31)$$

$$Q_{\text{yang diperbaiki}} = \text{Daya aktif} \times \tan \theta_{\text{yang diperbaiki}} \quad (2.32)$$

Sehingga rating kapasitor yang digunakan untuk memperbaiki faktor daya adalah :

$$Q_{\text{rat}} = Q_{\text{awal}} - Q_{\text{yang diperbaiki}} \quad (2.33)$$

$$= (\text{Daya aktif} \times \tan \theta_{\text{awal}}) - (\text{Daya aktif} \times \tan \theta_{\text{yang diperbaiki}}) \quad (2.34)$$

$$= \text{Daya aktif} (\tan \theta_{\text{awal}} - \tan \theta_{\text{yang diperbaiki}}) \quad (2.35)$$

$$kVAR = kW \times (\tan \theta_{\text{awal}} - \tan \theta_{\text{yang diperbaiki}}) \quad (2.36)$$

Karena :

$$Q_{\text{rat}} = V^2 \cdot X_c \quad (2.37)$$

$$= V^2 \omega C \quad \rightarrow \quad \omega = 2\pi f \quad (2.38)$$

Maka besarnya kapasitansi kapasitor tersebut adalah :

$$C = \frac{Q_{\text{rat}}}{V^2 \omega} \quad (2.39)$$

$$= \frac{Q_{\text{rat}}}{V^2 2\pi f} \quad (2.40)$$

dengan frekuensi $f = 50\text{Hz}$, di Indonesia

2.3 Sumber Daya Reaktif Untuk Perbaikan Faktor Daya

Perbaikan faktor daya umumnya adalah penambahan komponen sebagai pembangkit daya reaktif (*reactif power generation*) yang memungkinkan untuk mensuplai kebutuhan kVAR pada beban-beban induktif, Untuk merencanakan suatu sistem dalam memperbaiki faktor daya, dapat di pergunakan suatu konsep yaitu kompensator ideal, dimana sistem ini dapat dihubungkan pada titik penyambungan secara paralel dengan beban dan memenuhi tiga fungsi utama, yaitu :

1. Memperbaiki faktor daya mendekati nilai satu (unity power factor)
2. Mengurangi atau mengeliminasi regulasi tegangan
3. Menyeimbangkan arus beban dan tegangan fasa.

Untuk memenuhi kebutuhan daya reaktif yang efektif dan efisien, maka perlu dilakukan pemilihan sumber daya reaktif. Terdapat beberapa komponen-komponen atau peralatan yang menghasilkan daya reaktif, diantaranya adalah :

1. Kondensor Sinkron
2. Kapasitor Seri
3. Kapasitor Shunt.

2.3.1. Kondensor sinkron

Untuk memenuhi kebutuhan akan daya reaktif yang relatif besar pada sistem atau jala-jala yang cukup luas, maka sumber daya reaktif yang dapat digunakan sebagai salah satu alternatif adalah Kondensor Sinkron.

Kondensor Sinkron adalah mesin sinkron dengan penguatan DC, pada kumparan medan rotornya. Daya reaktif akan dihasilkan dari mesin sinkron ini apabila pengaturan arus penguatannya dilakukan pada keadaan penguat lebih.

2.3.2. Kapasitor seri

Yang dimaksud dengan kapasitor seri adalah kapasitor yang dipasang secara seri dengan beban pada sistem atau jaringan. Namun perbaikan faktor daya dengan menggunakan metode ini jarang digunakan. Ada beberapa alasan dalam hal ini, yaitu kapasitor yang telah terpasang tidak dapat dengan mudah diputus dan dihubungkan karena arus yang lewat adalah arus yang mengalir pada sistem, dengan nilai yang sangat besar. Sehingga pengaturan beban dengan faktor daya yang dinamis sulit sekali dilakukan. Disamping itu dengan besar kVAR yang

sama, perbaikan faktor daya dengan kapasitor seri relatif kecil bila dibandingkan dengan kapasitor shunt.

2.3.3. Kapasitor shunt

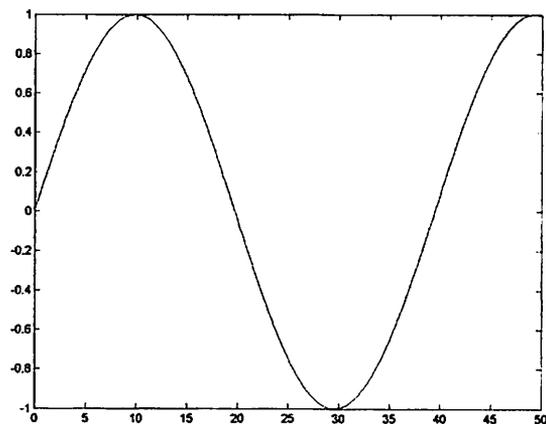
Kapasitor shunt adalah komponen sumber daya reaktif yang ringan, praktis, dan mudah dalam pengoperasiannya. Kapasitor ini terangkai secara paralel terhadap beban dan biasanya dipasang di dekat beban – beban yang mempunyai faktor daya rendah, karena terpasang secara paralel maka arus yang mengalir pada kapasitor adalah arus beban kapasitif itu sendiri dan nilainya kecil dibandingkan dengan arus yang mengalir pada seluruh sistem atau jaringan, sehingga untuk pengaturan kebutuhan daya reaktifnya dapat dengan mudah diputus dan dihubungkan.

Ditinjau dari segi ekonomis, dari keempat komponen sumber daya reaktif tersebut yang memenuhi daya reaktif dengan rating daya yang relatif besar adalah kapasitor shunt.

2.4 Harmonisa

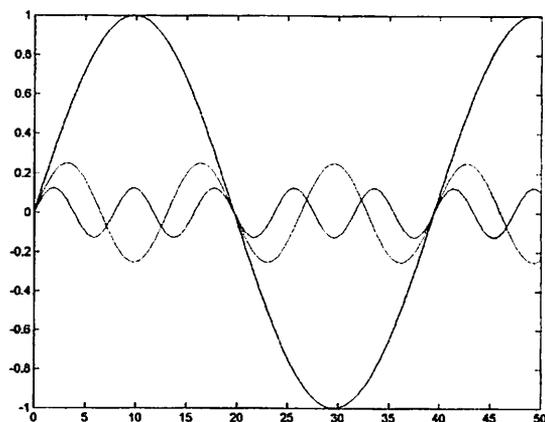
Sistem tenaga listrik tegangan arus bolak-balik (AC), idealnya disalurkan pada satu frekuensi (di Indonesia menggunakan frekuensi 50 Hz) dengan bentuk gelombang sinusoidal murni dan pada level tegangan yang konstan seperti gambar 2.3a. Seiring dengan perkembangan kebutuhan pemakaian beban yang variatif dan terutama pemakaian beban-beban non linier akan mengakibatkan perubahan pada variabel yang ideal. Bentuk gelombang menjadi tidak sinusoidal.

Gangguan yang mengakibatkan terjadinya distorsi arus dan tegangan karena adanya cacat gelombang yang merupakan pembentukan dari gelombang-gelombang dengan frekuensi berbeda yang merupakan perkalian integer dari frekuensi dasarnya dan berinteraksi dengan frekuensi dasarnya sehingga membentuk resultan, lebih dikenal dengan harmonisa, seperti tampak pada gambar 2.3c.



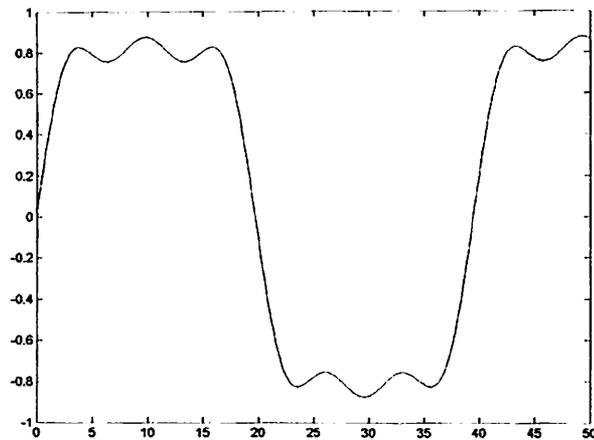
Gambar 2.3a

Bentuk Gelombang Frekuensi Dasar



Gambar 2.3b

Bentuk Gelombang Frekuensi Dasar dan Frekuensi Harmonisa



Gambar 2.3c

Bentuk Gelombang Resultan dari Frekuensi Dasar dan Harmonisanya

Dalam perhitungan / analisis tegangan arus bolak – balik yang disalurkan dengan frekuensi dapat diasumsikan bahwa fungsi umum frekuensi adalah fungsi cosinus dari frekuensi radian ω_0 , maka :

$$v_1(t) = 2 \cos \omega_0 t \quad (2.41)$$

dimana

$$\omega_0 = 2 \pi f_0 \quad (2.42)$$

dan periodenya (T) adalah :

$$T = \frac{1}{f_0} = \frac{2\pi}{\omega_0} \quad (2.43)$$

Harmonisa mempunyai frekuensi $n\omega_0$, dimana ω_0 adalah frekuensi dasar (fundamental frequency) dan $n = 1,2,3,\dots$ sehingga dapat diketahui bahwa frekuensi harmonisa pertama adalah frekuensi dasarnya.

2.5 Sumber – Sumber Harmonisa

Dalam sistem distribusi tenaga listrik arus bolak – balik (AC), sumber – sumber harmonisa dapat ditimbulkan karena penggunaan / pemakaian beban – beban tak linier seperti :

1. Konverter
2. Tanur Busur Listrik, dsb

Disamping itu beban linier seperti transformator, dan motor – motor induksi juga dapat membangkitkan harmonisa pada jaringan. Tetapi harmonisa yang dibangkitkan cukup kecil, jika dibandingkan dengan penggunaan beban – beban tak linier.

2.5.1. Konverter

Kenyataan menunjukkan bahwa pemakaian komponen semikonduktor seperti diode dan thyristor dalam konversi energi listrik yang dipakai pada peralatan konverter, inverter dan lainnya serta peralatan elektronika yang dipergunakan untuk mengatur tegangan maupun kecepatan putaran motor menunjukkan makin berkembang pesat pemakaiannya.

Pemakaian konverter sebagai sumber daya searah membawa kerugian pada jaringan listrik, yaitu merusak bentuk gelombang tegangan dan arus bolak – balik sehingga tidak merupakan gelombang sinusoidal murni. Bentuk gelombang arus dan tegangan yang tidak sinusoidal tersebut mengandung gelombang frekuensi dasar dan frekuensi harmonisa yang dapat menyebabkan adanya gangguan pada sistem tenaga listrik dan sistem lainnya

Dari bentuk gelombang arus di sisi arus AC pada peralatan konverter dapat diperoleh beberapa hal yang penting, yaitu :

1. Tidak ada harmonisa kelipatan tiga
2. Pada penyearah enam pulsa harmonisa yang terjadi hanya pada orde $6k \pm 1$, dengan k adalah bilangan integer. Harmonisa $6k+1$ untuk urutan negatif dan $6k-1$ untuk urutan positif.
3. Pada penyearah dua belas pulsa harmonisa yang terjadi hanya pada orde $12k \pm 1$.

2.5.2. Tanur busur listrik

Tanur busur listrik berfungsi untuk melebur biji besi dalam industri logam. Tanur busur listrik adalah elemen yang tidak linier dan inilah yang menyebabkan timbulnya harmonisa pada jaringan yang terhubung dengan tanur busur listrik.

Penggunaan tanur busur listrik sering kali menimbulkan gangguan terhadap jaringan. Gangguan tersebut antara lain :

1. Distorsi harmonisa.
2. Guncangan frekuensi.
3. Ketidak seimbangan tegangan.

Dalam pengujian efek harmonisa khususnya pada sistem tenaga, dipakai istilah Total Harmonic Distortion (THD), yang didefinisikan sebagai prosentase total komponen harmonisa terhadap komponen fundamentalnya. Total Harmonic Distortion (THD) dituliskan sebagai :

$$\text{THD} = \left[\frac{\sum_{n=2}^k U_n^2}{U_1^2} \right]^{1/2} 100\% \quad (2.44)$$

Dengan :

U_n = Komponen harmonisa

U_1 = Komponen fundamental

k = Komponen harmonisa maksimum yang diamati

Tabel 2.1
Limit Distorsi untuk Sistem Distribusi
(120 V sampai 69000 V)

Maximum Harmonic Current Distortion in percent of I_L						
I_{sc}/I_L	Individual Harmonic Order					
	<11	11≤h≤17	17≤h≤35	23≤h≤35	35≤h	35≤h
< 20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20 ≤ 50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50 < 100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100 ≤ 10000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Ada dua kriteria yang digunakan dalam analisis distorsi harmonisa. Pertama, limitasi untuk distorsi arus. Yang kedua adalah limitasi untuk distorsi tegangan. Standar yang dipakai adalah dari IEEE Std 519 – 1992 (Revision of IEEE Std 519 – 1981) yaitu Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems.

Tabel 2.1 memuat standar limitasi untuk distorsi arus. Rasio I_S / I_L adalah arus hubung singkat pada *Point of Common Coupling* (PCC) terhadap arus beban nominal pada frekuensi fundamental. Dalam tabel tersebut, tegangan yang dipakai

adalah 120 V hingga 69000 V. Untuk tegangan 69000 V sampai 161000 V dipakai standar limitasi untuk sistem subtransmisi.

Untuk limitasi distorsi tegangan, maka tabel di bawah ini memuat standar untuk limitasi distorsi tegangan pada *Point of Common Coupling* (PCC)

Tabel 2.2
Limit Distorsi Tegangan

Bus Voltage At PCC	Individual (%)	Thd (%)
69 kV and below	3.0	5.0
69.001 through 161 kV	1.5	2.5
161.001 V and above	1.0	1.5

2.6 Pengaruh Harmonisa

Secara garis besar efek harmonisa pada sistem tergantung pada sumber harmonisa, letak sumber harmonisa dan karakteristik jaringan. Dibawah ini akan dijelaskan beberapa pengaruh harmonisa yang dominan pada sistem tenaga listrik.

2.6.1. Resonansi

Kehadiran kapasitor yang digunakan untuk memperbaiki faktor daya dapat menyebabkan timbulnya resonansi sistem lokal yang diikuti naiknya arus yang sangat besar sehingga akan merugikan kapasitor itu sendiri. Dalam hal ini ada dua buah resonansi sistem yaitu resonansi paralel dan resonansi seri.

Resonansi paralel menghasilkan impedansi yang tinggi pada frekuensi resonansi. Umumnya sumber harmonisa dianggap sebagai sumber arus yang menaikkan tegangan harmonisa dan arus harmonisa yang tinggi pada setiap lengan impedansi paralel.

Resonansi paralel dapat terjadi pada beberapa cara, yang paling sederhana adalah kemungkinan ketika sebuah kapasitor dihubungkan pada busbar yang sama dengan sumber harmonisa dengan asumsi bahwa sumber harmonisa tersebut bersifat induktif, sehingga resonansi paralel timbul diantara kapasitor dan sistem.

2.6.2. Kapasitor bank

Adanya distorsi tegangan mengakibatkan rugi daya tambahan pada kapasitor bank sebesar :

$$\sum_{n=1}^{\infty} C(\tan) \omega_n V_n^2 \quad (2.45)$$

dengan $\tan \delta = R / (1/\omega c)$ adalah faktor rugi $\omega_n = 2\pi f_n$ dan V_n adalah tegangan rms pada harmonisa ke – n. Daya reaktif total, termasuk daya fundamental dan harmonisa sebesar :

$$Q = \sum_{n=1}^{\infty} Q_n \quad (2.46)$$

Dari persamaan diatas maka dapat disimpulkan bahwa daya reaktif total kapasitor tidak boleh melampaui rating daya reaktifnya.

Resonansi seri dan paralel antara kapasitor dan sistem dapat menyebabkan tegangan lebih dan arus besar yang meningkatkan rugi – rugi yang tinggi dan panas berlebih pada kapasitor yang sering menyebabkan kerusakan pada kapasitor tersebut.

ANSI / IEEE Standard 18-1980, menyatakan batasan pemakaian kapasitor pada frekuensi dasar dan harmonisa adalah :

- a. KVAR kapasitor pada frekuensi dasar dan harmonisa tidak melebihi 135 % KVAR nameplatnya.
- b. Tegangan rms kapasitor pada frekuensi dasar dan harmonisa tidak melebihi 110% rating tegangannya.
- c. Arus rms kapasitor pada frekuensi dasar dan harmonisa tidak melebihi 180% rating arusnya.
- d. Tegangan kapasitor tidak melebihi 120 % tegangan puncaknya.

2.6.3. Transformator

Timbulnya arus harmonisa meningkatkan rugi – rugi histerisis dan arus eddy (Eddy Current) serta tekanan isolasi. Aliran arus harmonisa meningkatkan rugi – rugi tembaga dan efek ini lebih nyata pada transformator, karena transformator tersebut tidak terpengaruh adanya filter yang biasanya dipasang pada sisi AC sehingga sirkulasi arus dapat melampaui batas kemampuan belitan yang tak pernah dipikirkan pada saat perancangan.

2.6.4. Peralatan pemutus

Harmonisa dapat menyebabkan meningkatnya arus sesaat (di/dt) pada saat gelombang mencapai nol. Akibatnya laju kenaikan “Transient Recovery Voltage” (TRV) pada saat pemutusan menjadi lebih tinggi daripada sistem dalam keadaan normal. Bila pengaruh distorsi harmonisa ini dibiarkan dapat mengakibatkan kegagalan pemutusan.

Pengaruh harmonisa pada peralatan pemutus lainnya, harmonisa dapat menyebabkan pergeseran titik perpotongan gelombang arus dengan sumbu (Zero Crossing Point). Saat perpotongan tersebut akan mempengaruhi nilai puncak dari TRV. Jika keadaan ini terjadi maka akan menyebabkan kegagalan dalam pemutusan.

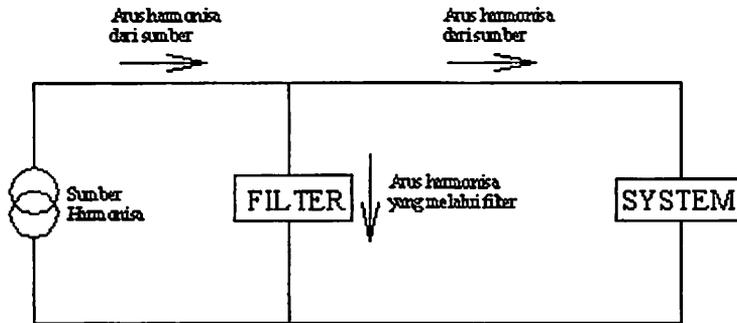
2.6.5. Sistem kelistrikan lain

Beberapa pengaruh harmonisa lainnya dalam sistem kelistrikan yang juga harus diperhatikan adalah :

1. Frekuensi harmonisa berinterferensi dengan ripple control dan sistem power line carrier (PLC), menyebabkan kesalahan operasi dalam melakukan remote switching, kontrol beban dan metering.
2. Interferensi induktif dengan sistem telekomunikasi.
3. Kesalahan dalam induksi meter kWh.

2.7 Filter Harmonisa

Tujuan dari filter harmonisa adalah untuk mereduksi amplitudo frekuensi tertentu dari sebuah tegangan dan arus. Dengan penambahan filter harmonisa pada suatu sistem tenaga listrik yang mengandung sumber-sumber harmonisa maka penyebaran arus harmonisa ke seluruh jaringan dapat ditekan sekecil mungkin. Selain itu filter harmonisa pada frekuensi dasar dapat mengkompensasi daya reaktif dan digunakan untuk memperbaiki faktor daya.



Gambar 2.4
Pemasangan Filter Harmonisa

2.8 Perencanaan High Pass Filter

Dalam perencanaan High Pass Filter perhitungan yang lebih umum dipakai adalah definisi dan beberapa variabel berikut :

$$W_n = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (2.47)$$

$$n = \frac{f_n}{f_l} = \sqrt{\frac{X_c}{X_L}} \quad (2.48)$$

$$X_0 = \left(\frac{L}{C}\right)^{1/2} \quad (2.49)$$

$$Q = \frac{R}{X_0} \quad (2.50)$$

Karakteristik dari High Pass Filter diberikan oleh besarnya Q (atau juga R) dan frekuensi. Q optimum bukan merupakan penyelesaian yang tepat dalam pemilihan jenis filter damped, namun Q harus dipilih untuk memberikan karakteristik yang baik diatas band frekuensi resonansinya.

2.9 Komponen Filter

Dengan mengetahui tegangan fundamental dan harmonisa pada busbar maka rating arus dan tegangan dari kapasitor, induktor dan resistor dapat ditentukan. Selain itu juga daya reaktif dan aktif serta rugi – ruginya dapat ditentukan pula.

Untuk mencegah kerusakan komponen – komponen ini, rating dari komponen harus didasarkan kepada beberapa kondisi yang ada, yaitu tegangan fundamental tertinggi, deviasasi frekuensi serta arus harmonisa dari sumber – sumber lain dari resonansi yang mungkin terjadi antara filter dan sistem AC

2.9.1. Kapasitor

Kapasitor tersusun dalam unit standar yang dihubungkan seri dan atau paralel untuk memperoleh rating tegangan dan kVA yang diinginkan. Hal – hal pokok dari kapasitor adalah :

- a. Koefisien suhu dari komponen kapasitor
- b. Daya reaktif per unit volume
- c. Rugi – rugi daya
- d. Reliability
- e. Harga

Koefisien suhu yang sangat rendah dari kapasitor lebih diharapkan untuk menala filter dalam orde penalaan supaya menghindari penalaan ulang karena perubahan kapasitansi oleh perubahan suhu disekeliling atau oleh pemanasan

sendiri oleh kapasitor tersebut. Hal ini tidak penting pada jenis filter damped atau untuk kapasitor daya.

Kapasitor dipilih dengan daya reaktif yang besar per unit volume supaya rugi – rugi yang terjadi kecil dan dioperasikan pada tegangan tinggi. Untuk alasan ini maka pola operasi yang lama pada tegangan lebih harus dihindari untuk mencegah terjadinya kerusakan dielektrik akibat panas. Rating daya reaktif kapasitor adalah penjumlahan daya reaktif pada masing – masing frekuensi yang diinginkan.

2.9.2. Induktor

Induktor yang digunakan dalam rangkaian filter dirancang mampu menahan selubung frekuensi tinggi diantaranya efek kulit, rugi – rugi histerisis harus dimasukkan dalam perhitungan rugi – rugi daya. Begitu juga efek dari level fluks dari inti besi, yaitu penalaan ulang yang disebabkan oleh magnetisasi yang tidak linier sehingga harus dipertimbangkan. Komponen induktor pada filter lebih baik dirancang dengan inti non-magnetik. Rating induktor terutama tergantung pada arus rms maksimum dan pada level isolasi yang dibutuhkan agar tahan terhadap surja hubung. Umumnya R dan L ditempatkan dibagian bawah dari filter.

2.9.3. Resistor

Resistor dapat dipasang secara seri maupun paralel pada suatu rangkaian filter RLC. Hal ini akan mempengaruhi besar resistensi dari filter tersebut. Nilai

resistensi mempengaruhi ketajaman penalaannya (Q). Dapat diambil contoh pada rangkaian RLC seri, resistensi yang semakin rendah akan mengakibatkan penalaan semakin tajam tetapi dengan resistor yang dipasang paralel dengan induktor dalam filter damped orde dua (High Pass Filter), resistansi yang semakin tinggi akan menyebabkan penalaan yang semakin tajam.

2.10 Pengaruh Impedansi Jaringan Terhadap Efektifitas Filter

Impedansi jaringan dapat bersifat induktif atau dapat bersifat kapasitif pada frekuensi – frekuensi harmonisa. Dalam perencanaan suatu filter harmonisa, perlu diketahui sifat impedansi jaringan ditinjau dari titik pemasangan filter. Dengan mengetahui sifat impedansi jaringan, dapat dibuat penalaan yang tepat sehingga akan berfungsi optimal.

Rangkaian filter dan jaringan dapat membentuk resonansi paralel pada suatu frekuensi harmonisa. Jika frekuensi resonansi ini mendekati salah satu frekuensi harmonisa, maka filter tidak dapat mencegah masuknya harmonisa ke jaringan bahkan memperbesar distorsi harmonisa pada titik pemasangan filter.

Impedansi jaringan dapat diketahui dari pengukuran langsung maupun tidak langsung melalui perhitungan. Sifat impedansi jaringan ditinjau dari titik pemasangan filter dapat diketahui dari nilai impedansi bus jaringan sepanjang frekuensi harmonisa yang diperhitungkan. Nilai impedansi bus yang diperlukan adalah elemen matriks impedansi harmonisa sendiri. (Harmonic Driving Point Impedance). Nilai impedansi ini dapat diperoleh dari persamaan matriks tiap komponen jaringan.

2.11 Analisis Ekonomi Perhitungan Biaya Investasi

Ekonomi teknik adalah suatu objek yang menarik karena ilmu ini merupakan perpaduan dari ilmu teknik dan ilmu ekonomi. Ekonomi teknik pada rekayasa pembangunan dipakai sebagai alat untuk menentukan kelayakan suatu proyek serta untuk mengevaluasi dalam pengambilan kebijakan pembangunan dari sudut pandang ekonomi. Prinsipnya merupakan suatu analisis tentang alternatif proyek yang diajukan sesudah melalui / bersamaan dengan analisis teknis, sehingga proyek layak atau tidak secara ekonomi.

Analisis ekonomi teknik pada suatu proyek pembangunan mengarahkan para perencana dalam menentukan pilihan terbaik dari beberapa alternatif hasil perencanaan yang dipilih. Penentuan alternatif mempunyai bentuk yang bermacam – macam. Alternatif ini bisa berupa perbandingan biaya dari beberapa pilihan yang direkomendasi, dapat pula analisis ekonomi melibatkan berbagai macam biaya. Analisis ekonomi juga dapat dikembangkan berdasarkan asas manfaat dari proyek yang bersangkutan.

2.12 Konsep Penilaian Investasi

Dalam suatu keputusan investasi hanya ada 2 alternatif dalam mengambil keputusan yaitu menerima atau menolak investasi tersebut. Keputusan itu dapat diambil setelah melakukan pengumpulan informasi yang relevan dan kemudian mengevaluasi proyek tersebut apakah layak untuk dilaksanakan, metode untuk mengevaluasi keputusan investasi adalah sebagai berikut :

- Average rate of return

- Payback period

2.12.1 Average Rate Of Return

Average rate of return atau Return on investment (ROI) merupakan rasio antara laba setelah pajak terhadap investasi. Metode ini hanya didasarkan atas laba dari data laporan keuangan, dengan demikian kelemahan yang utama yaitu apabila metode depresiasi yang dipergunakan berbeda maka akan memberikan hasil yang berbeda karena metode depresiasi suatu aktiva akan mempengaruhi besar kecilnya keuntungan.

Setelah diperoleh berapa average rate of returnnya maka untuk menilai apakah investasi tersebut diterima atau ditolak, maka average rate of return investasi tersebut dibandingkan dengan rate of return yang diharapkan. Jika average rate of return lebih besar daripada rate of return yang diisyaratkan maka investasi tersebut diterima, sebaliknya apabila lebih kecil maka ditolak.

Metode tersebut sangat sederhana dan mudah untuk dilakukan, namun demikian memiliki banyak kelemahan. Kelemahan lain adalah karena metode tersebut mendasarkan laba dari akuntansi dan bukannya aliran kas. Bagi para investor tentunya kas lebih penting karena dengan kas investor dapat memenuhi kewajiban finansialnya serta membiayai kegiatan operasional perusahaan. Kelemahan yang lain adalah bila metode depresiasi yang digunakan berbeda maka memberikan hasil yang berbeda pula, di samping itu juga metode penilaian persediaan yang berbeda juga akan berpengaruh terhadap perhitungan laba. Selain

itu metode average rate of return juga tidak memperhatikan konsep nilai waktu uang.

2.12.2 Payback Period

Payback period suatu investasi menunjukkan berapa lama (jangka waktu) yang diperlukan untuk pengembalian initial cash investment (investasi). Payback period juga merupakan rasio antara initial investment dengan net cash inflow. Untuk mencari payback periode bila net cash inflownya tidak sama setiap tahun maka kita tempuh dengan mengurangi kas masuk bersihterhadap investasi.

Jika payback period telah kita dapatkan maka untuk menilai apakah investasi tersebut diterima atau ditolak, kita bandingkan payback periode dengan payback period maksimal yang diisyaratkan atau ditentukan. Apabila payback period ternyata lebih pendek daripada payback period maksimal yang ditentukan maka investasi tersebut sebaiknya diterima dan sebaliknya apabila lebih lama maka sebaiknya ditolak. Perhitungan payback period adalah :

$$\text{Payback period} = \text{Nilai investasi} / (\text{Aliran kas operasional})$$

Metode ini juga sederhana, oleh karena itu metode ini juga mempunyai banyak kelemahan. Kelemahan utama adalah metode ini tidak memperhatikan konsep nilai waktu uang dan metode ini juga tidak memperhatikan aliran kas masuk setelah payback. Jadi seandainya ada dua atau lebih investasi yang sama-sama memiliki payback yang sama maka metode ini akan menilai indifference terhadap investasi tersebut.

Metode ini pada umumnya dipergunakan sebagai pendukung metode yang lain yang lebih baik. Bagi investor semakin pendek payback periode berarti semakin kecil resiko yang dihadapinya dan semakin panjang payback periodenya berarti semakin besar resiko yang dihadapi.

BAB III

SISTEM KELISTRIKAN

PT. SEMEN GRESIK (Persero),Tbk PABRIK TUBAN I dan II

3.1 Sistem Kelistrikan Eksisting

Sistem kelistrikan di PT. Semen Gresik (Persero),Tbk Pabrik Tuban I dan II, berdasarkan proses produksinya terbagi atas beban – beban yang dikelompokkan dalam 16 ER (Electrical Room). Keenambelas ER beban tersebut disuplai oleh PLN dengan kapasitas 82 MVA. Pembagian ER tersebut ditunjukkan sebagai berikut :

Electrical Room 1 : Limestone Crusher Tuban I

Electrical Room 2 : Limestone Storage Tuban I

Electrical Room 3 : Roller Mill dan Aux. Roller Mill Tuban I

Electrical Room 4 : Blending dan Coal Mill Tuban I

Electrical Room 5 : Kiln Feed dan EP Tuban I

Electrical Room 6 : Cooler Tuban I

Electrical Room 7 : Clinker Grinding Tuban I

Electrical Room 8 : Packing Tuban I

Electrical Room 9 : Limestone Crusher Tuban II

Electrical Room 10 : Roller Mill Tuban II

Electrical Room 11 : Blending dan Coal Mill Tuban II

Electrical Room 12 : Kiln Feed dan EP Tuban II

Electrical Room 13 : Cooler Tuban II

Electrical Room 14 : Clinker Grinding Tuban II

Electrical Room 15 : Packing Tuban II

Electrical Room 16 : Central compresor Tuban I dan II

Sistem kelistrikan yang mencatu beban – beban tersebut diatas dicatu melalui 6 substation yang tersebar pada pusat – pusat beban. Dan untuk menjamin kelancaran dan kontinuitas proses produksi maka beberapa substation akan disuplai dari substation yang lain atau bila terjadi gangguan pada substation yang bersangkutan, tetapi dalam keadaan normal CB pada coupling tersebut terbuka.

Besar dan jumlah beban terpasang (installed dan operating kW) di PT. Semen Gresik (Persero),Tbk dari tiap – tiap electrical room dalam keadaan normal dapat dilihat pada table dibawah ini :

Tabel 3.1

Beban Terpasang di PT. Semen Gresik (Persero),Tbk

Substation IA

NO	ER	DARI	KE	INSTALLED (KW)	POWER FACTOR	EFF (%)	OPERATING	
							(KW)	(KVA)
1	9A	MV101.24	242 BC3 MO	355	0,74	93,2	281,86	380,89
			232 CR1 MO	1072	0,71	95,7	795,32	1818,75
			232 CR2 MO	1072	0,71	95,7	795,32	1818,75
			LUMPED 27	584,73	0,7	88,2	652,7	625,7
			SUB TOTAL	3083,73				4905,73

Substation I

NO	ER	DARI	KE	INSTALLED (KW)	POWER FACTOR	EFF (%)	OPERATING		
							(KW)	(KVA)	
1	1	MV101	241 BC MO1	315			93,2	236	
			241 BC4 MO1	250			92,7	188,78	
			231 CR1 MO1	1072			95,7	873,73	
			231 CR2 MO1	1072			95,7	873,73	
			LUMPED 1	839,09					
SUB TOTAL				3548,09					

NO	ER	DARI	KE	INSTALLED (KW)	POWER FACTOR	EFF (%)	OPERATING	
							(KW)	(KVA)
1	2	MV201	LUMPED	506,41	0,74			684,33
SUB TOTAL				506,41				684,33

NO	ER	DARI	KE	INSTALLED (KW)	POWER FACTOR	EFF (%)	OPERATING	
							(KW)	(KVA)
1	9B	MV102	LUMPED 3	480	0,7	93,2	187,76	774,19
			242 BC MO1	250				272
			LUMPED 4	1513,18				2101,6
SUB TOTAL				2243,16			3147,9	

NO	ER	DARI	KE	INSTALLED (KW)	POWER FACTOR	EFF (%)	OPERATING	
							(KW)	(KVA)
1	9C	MV103	LUMPED 5	1123,12	0,99			1134,46
SUB TOTAL				2243,16				1134,46

Substation II

NO	ER	DARI	KE	INSTALLED (KW)	POWER FACTOR	EFF (%)	OPERATING	
							(KW)	(KVA)
1	3	MV302	341 FN4 MO1	4400	0,5	96,6	3233,95	6467,9
			341 FN5 MO1	4400	0,55	96,6	3233,95	5879,9
		MV301	341 RM MO1	4000	0,53	97	3505,15	6613,49
			341 RM MO2	690	0,69	84	418,92	607,13
			LUMPED 6	1687,74	0,67		2519,01	
SUB TOTAL				15177,74			22087,4	

NO	ER	DARI	KE	INSTALLED (KW)	POWER FACTOR	EFF (%)	OPERATING	
							(KW)	(KVA)
1	4	MV401	471 FN 1	736	0,6	94,9	623,81	1039,68
			471 RM1	600	0,61	94,4	540,25	885,65
		MV402	LUMPED 7	1202,49	0,92			1307,05
			LUMPED 8	699,45	0,64			1092,89
SUB TOTAL				3237,94			4325,27	

NO	ER	DARI	KE	INSTALLED (KW)	POWER FACTOR	EFF (%)	OPERATING	
							(KW)	(KVA)
1	5	MV501	341 FN6 MO1	1042	0,69	84	470,92	682,49
			441 KL1 MO1	600	0,71	88	545,45	768,23
			441 KL1 MO2	600	0,71	88	1027,77	768,23
			441 FN1 MO1	2500	0,65	30	1027,77	1581,18
			441 FN2 MO2	2500	0,64	30		1605,89
			LUMPED 9	464,05	0,68			682,42
			LUMPED 10	675	0,58			1163,79
SUB TOTAL				8381,05			7252,23	

NO	ER	DARI	KE	INSTALLED (KW)	POWER FACTOR	EFF (%)	OPERATING	
							(KW)	(KVA)
1	6	MV601	441 FNQ MO1	314	0,89	93	236	265,55
			441 FNR MO1	448	0,75	82	147,51	196,68
			441 FNS MO1	448	0,89	82	147,51	165,74
			LUMPED 11	1938,86	0,72	30	1027,77	2692,86
			LUMPED 12	3883,79	0,68	30		5711,45
			LUMPED 13	952,5	0,67			1421,64
SUB TOTAL				7985,15			10453,9	

Substation III

NO	ER	DARI	KE	INSTALLED (KW)	POWER FACTOR	EFF (%)	OPERATING	
							(KW)	(KVA)
1	7.1	MV701	542 CR1 MO1	1000	0,61	96,2	831,6	1363,27
			542 CR1 MO2	1000	0,62	96,2	831,6	1341,29
			542 FN7 MO1	736	0,71	94,9	589,42	830,16
			542 MM1 MO1	4900	0,59	96,8	3796,48	6434,71
			542 SR1 MO1	400	0,84	85	117,64	140,04
			LUMPED 14	1321	0,73			1809,58
SUB TOTAL				9357			11919,05	

NO	ER	DARI	KE	INSTALLED (KW)	POWER FACTOR	EFF (%)	OPERATING	
							(KW)	(KVA)
1	7.2	MV702	542 CR1 MO1	1000	0,6	96,1	832,46	1387,43
			542 CR1 MO2	1000	0,62	96,1	832,46	1342,67
			542 FN7 MO1	736	0,71	94,9	589,42	830,16
			542 MM1 MO1	4900	0,57	96,8	3796,48	6660,49
			542 SR1 MO1	400	0,85	85	117,64	1384,4
			LUMPED 15	1186,71	0,71			1671,42
SUB TOTAL				9222,71			12030,57	

NO	ER	DARI	KE	INSTALLED (KW)	POWER FACTOR	EFF (%)	OPERATING	
							(KW)	(KVA)
1	8	MV8.1	LUMPED 32		0,88			
SUB TOTAL								

Substation IV

NO	ER	DARI	KE	INSTALLED (KW)	POWER FACTOR	EFF (%)	OPERATING	
							(KW)	(KVA)
1	16	L01	LUMPED 28		0,75			
			LUMPED 29		0,74			
		SS TM X	LUMPED 30		0,74			
		IVA						
		SS TM Y	LUMPED 31		0,74			
IVB								
SUB TOTAL								

Substation V

NO	ER	DARI	KE	INSTALLED (KW)	POWER FACTOR	EFF (%)	OPERATING	
							(KW)	(KVA)
1	10	MV 302.2	342 FN4 MO1	4400	0,85	96,6	3233,95	3804,64
			342 FN5 MO1	4400	0,84	96,6	3233,95	3849,94
		MV301.2	342 RM1 MO1	4000	0,87	97	3505,15	4028,9
			342 RM1 MO2	890	0,93	84	540,35	581,02
			LUMPED 16	1903,53	0,98			1942,37
		SUB TOTAL				15593,53		

NO	ER	DARI	KE	INSTALLED (KW)	POWER FACTOR	EFF (%)	OPERATING	
							(KW)	(KVA)
1	11	MV401.2	472 FN1	800	0,7	94,9	623,81	904,01
			472 RM1	600	0,79	94,4		683,86
			LUMPED 17	767,15	0,74			1036,68
			LUMPED 18	1258,47	1			1258,47
SUB TOTAL				3425,62			3883,02	

NO	ER	DARI	KE	INSTALLED (KW)	POWER FACTOR	EFF (%)	OPERATING	
							(KW)	(KVA)
1	12	MV 501.2	342 FN6 MO1	1041	0,93	84	470,92	506,36
			442 KL1 MO1	600	0,66	88	545,45	826,43
			442 KL1 MO2	600	0,66	88	545,45	826,43
			442 FN1 MO1	2500	0,44	90	1027,77	2335,84
			442 FN1 MO1	2500	0,49	90	1027,77	2097,48
			LUMPED 19	683,2	0,79		864,81	
			LUMPED 20	1022,71	0,99		1033,04	
			SUB TOTAL					

NO	ER	DARI	KE	INSTALLED (KW)	POWER FACTOR	EFF (%)	OPERATING	
							(KW)	(KVA)
1	12	MV 601.2	442 FNQ MO1	314	0,61	93	236,34	387,44
			442 FNR MO1	350	0,86	93	263,34	306,32
			442 FNS MO1	350	0,79	93	263,34	333,46
			LUMPED 21	796,98	0,98		805,03	
			LUMPED 22	1620	0,99		1637	
			442 FNC	315	0,85	94,9	252,26	296,77
			442 FND	315	0,83	94,9	252,26	303,92
			LUMPED 23	1310	0,95		1378,94	
SUB TOTAL				5371,68			5448,88	

NO	ER	DARI	KE	INSTALLED (KW)	POWER FACTOR	EFF (%)	OPERATING	
							(KW)	(KVA)
1	10	MV 302,2	342 FN4 MO1	4400	0,85	96,6	3233,95	3804,64
			342 FN5 MO1	4400	0,84	96,6	3233,95	3849,94
		MV 301,2	342 RM1 MO1	4000	0,87	97	3505,15	4028,9
			342 RM1 MO2	890	0,93	84	540,35	581,02
			LUMPED 16	1903,53	0,98		1942,37	
SUB TOTAL				15593,53			14206,87	

NO	ER	DARI	KE	INSTALLED (KW)	POWER FACTOR	EFF (%)	OPERATING	
							(KW)	(KVA)
1	11	MV 401,2	472 FN1	800	0,74	0,7	623,81	904,01
			472 RM1	600	0,85	0,79	540,25	683,86
			LUMPED 17	767,15		0,74		1036,68
			LUMPED 18	1258,47		1		1258,47
SUB TOTAL				3425,62			3883,02	

NO	ER	DARI	KE	INSTALLED (KW)	POWER FACTOR	EFF (%)	OPERATING	
							(KW)	(KVA)
1	12	MV 501,2	342 FN6 MO1	1041	0,93	84	470,92	506,36
			442 KL1 MO1	600	0,66	88	545,45	826,43
			442 KL1 MO2	600	0,66	88	545,45	826,43
			442 FN1 MO1	2500	0,44	90	1027,77	2335,84
			442 FN2 MO1	2500	0,49	90	1027,77	2097,48
			LUMPED 19	683,2	0,79			864,81
			LUMPED 20	1022,71	0,99			1033,04
SUB TOTAL				8946,91			8490,39	

NO	ER	DARI	KE	INSTALLED (KW)	POWER FACTOR	EFF (%)	OPERATING	
							(KW)	(KVA)
1	13	MV 601,2	442 FNQ MO1	314	0,61	93	236,34	387,44
			442 FNR MO1	350	0,86	93	263,44	306,32
			442 FNS MO1	350	0,79	93	263,44	333,46
			LUMPED 21	796,98	0,98			805,03
			LUMPED 22	1620,7	0,99			1637
			442 FNC	315	0,85	94,9	252,26	296,77
			442 FND	315	0,83	94,9	252,26	303,92
			LUMPED 23	1310	0,95			1378,94
SUB TOTAL				5371,68				

Substation VI

NO	ER	DARI	KE	INSTALLED (KW)	POWER FACTOR	EFF (%)	OPERATING	
							(KW)	(KVA)
1	14,1	MV 701,2	543 CR1 MO1	1000	0,61	96,2	831,6	1363,27
			543 CR1 MO2	1000	0,6	96,2	831,6	1386
			543 FN7 MO1	736	0,71	94,9	589,42	830,16
			543 MM1 MO1	4900	0,82	96,8	3796,48	4629,85
			543 SR1 MO1	400	0,86	85	117,64	136,79
			LUMPED 24	1658,83	0,78			2126,7
SUB TOTAL				9694,83			10472,77	

NO	ER	DARI	KE	INSTALLED (KW)	POWER FACTOR	EFF (%)	OPERATING	
							(KW)	(KVA)
1	14,2	mv 702,2	544 CR1 MO1	1000	0,45	96,1	832,46	1849,91
			544 CR1 MO2	1000	0,49	96,1	832,46	1698,89
			544 FN7 MO1	736	0,69	94,9	589,42	854,23
			544 MM1 MO1	4900	0,83	96,8	3796,48	4574,07
			544 SR1 MO1	400	0,79	85	117,64	148,91
			LUMPED 25	949,32	0,88			1078,77
SUB TOTAL				8985,32			10204,78	

NO	ER	DARI	KE	INSTALLED (KW)	POWER FACTOR	EFF (%)	OPERATING	
							(KW)	(KVA)
1	15	MV 801,2	LUMPED 26		0,76			
SUB TOTAL								

Pengelompokan berdasarkan fungsi peralatan pada masing – masing kebutuhan proses adalah sebagai berikut :

Tabel 3.2

Fungsi Peralatan Untuk Proses Pembuatan Semen

Crusher Tuban I (ER -1)

No	ID	Nama	KW terpasang
1	241 BC3 MO1	Belt Coveyor	315
2	241 BC4 MO1	Belt Coveyor	250
3	231 CR1 MO1	Crusher	1072
4	231 CR2 MO1	Crusher	1072
Jumlah			2709

Crusher Tuban II (ER – 9A, 9B)

No	ID	Nama	KW terpasang
1	242 BC3 MO1	Belt Coveyor	355
2	242 BC7 MO1	Belt Coveyor	250
3	232 CR1 MO1	Crusher	1072
4	232 CR2 MO1	Crusher	1072
Jumlah			2749

Raw Mill Tuban I (ER – 3.1)

No	ID	Nama	KW terpasang
1	341 RM1 MO1	Raw mill table	4000
2	341 RM1 MO2	Raw mill Classifier	690
3	341 FN4 MO1	Raw mill Fan	4400
4	341 FN5 MO1	Raw mill Fan	4400
Jumlah			13490

Raw Mill Tuban II (ER – 10.2)

No	ID	Nama	KW terpasang
1	342 RM1 MO1	Raw mill table	4000
2	342 RM1 MO2	Raw mill Classifier	890
3	342 FN4 MO1	Raw mill Fan	4400
4	342 FN5 MO1	Raw mill Fan	4400
Jumlah			13690

Coal Mill Tuban I (ER 4.1)

No	ID	Nama	KW terpasang
1	471 FN1	Fan ID Mill	800
2	471 RM1	Coal Mill Table	800
Jumlah			1600

Kiln Tuban I (ER 5, ER 6)

No	ID	Nama	KW terpasang
1	341 FN6 MO1	EP Fan	1041
2	441 KL1 MO1	Kiln Drive	600
3	441 KL1 MO2	Kiln Drive	600
4	441 FN1 MO1	ID Fan	2500
5	441 FN2 MO1	ID Fan	2500
6	441 FNQ MO1	Cooling Fan	314
7	441 FNR MO1	Cooler Vent Fan 1	440
8	441 FNS MO1	Cooler Vent Fan 2	440
Jumlah			8435

Coal Mill Tuban II (ER 11.1)

No	ID	Nama	KW terpasang
1	472 FN1	Fan ID Mill	800
2	472 Rm1	Coal Mill Table	800
Jumlah			1600

Kiln Tuban II (ER – 12,ER 13)

No	ID	Nama	KW terpasang
1	342 FN6 MO1	EP Fan	1041
2	442 KL1 MO1	Kiln Drive	600
3	442 KL1 MO2	Kiln Drive	600
4	442 FN1 MO1	ID Fan	2500
5	442 FN2 MO1	ID Fan	2500
6	442 FNQ MO1	Cooling Fan	314
7	442 FNR MO1	Cooler Vent Fan 1	350
8	442 FNS MO1	Cooler Vent Fan 2	350
9	442 FNC	Cooling Fan	315
10	442 FNC	Cooling Fan	315
Jumlah			8885

Finish Mill Tuban 1 (ER 7.1)

No	ID	Nama	KW terpasang
1	541 CR1 MO1	Crusher	1000
2	541 CR1 MO2	Crusher	1000
3	541 FN7 MO1	Separator fan	736
4	541 SR1 MO1	Separator	400
5	541 MM1 MO1	Ball mill main drive	4900
Jumlah			8036

Finish Mill Tuban 1 (ER 7.2)

No	ID	Nama	KW terpasang
1	542 CR1 MO1	Crusher	1000
2	542 CR1 MO2	Crusher	1000
3	542 FN7 MO1	Separator fan	736
4	542 SR1 MO1	Separator	400
5	542 MM1 MO1	Ball mill main drive	4900
Jumlah			8036

Raw Mill Tuban II (ER – 14.1)

No	ID	Nama	KW terpasang
1	543 CR1 MO1	Crusher	1000
2	543 CR1 MO2	Crusher	1000
3	543 FN7 MO1	Separator fan	736
4	543 SR1 MO1	Separator	400
5	543 MM1 MO1	Ball mill main drive	4900
Jumlah			8036

Raw Mill Tuban II (ER – 10.2)

No	ID	Nama	KW terpasang
1	544 CR1 MO1	Crusher	1000
2	544 CR1 MO2	Crusher	1000
3	544 FN7 MO1	Separator fan	736
4	5442 SR1 MO1	Separator	400
5	544 MM1 MO1	Ball mill main drive	4900
Jumlah			8036

Sistem jaringan distribusi kelistrikan pada PT. Semen Gresik (Persero), Tbk Pabrik Tuban I dan II dibagi menjadi :

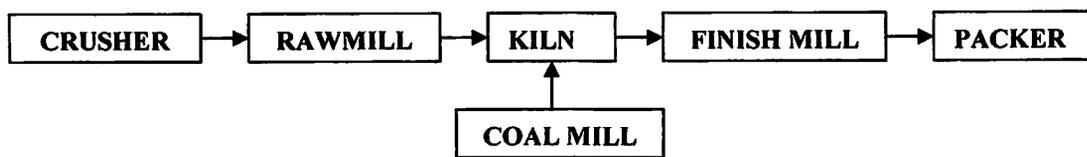
- a. Jaringan utama dari main substation (transformator 150/20 kV) ke substation (transformator 20/6.3 kV) menggunakan tegangan 20 kV.
- b. Jaringan dari Substation (transformator 20/6.3 kV) ke beban atau ke Substation (transformator 6.3/0,4 kV) menggunakan tegangan 6.3 kV.
- c. Jaringan dari Substation (transformator 6.3/0.4 kV) ke beban tegangan rendah menggunakan tegangan 0.4 kV
- d. Untuk mendapatkan tingkat kontinuitas yang tinggi maka antar jaringan yang utama dapat dihubungkan dengan menggunakan coupling di Main Substation dan coupling di substation pada tegangan 20 kV.

3.2 Pola Operasi PT. Semen Gresik (Persero), Tbk

Di PT. Semen Gresik (Persero), Tbk tidak terdapat pola operasi yang baku dengan langkah – langkah yang konsisten, namun demikian dapat diasumsikan atau dibuat suatu kemungkinan – kemungkinan dalam pengoperasian sistem

tenaga listrik untuk mengetahui aliran daya dan harmonisa yang timbul dalam sistem pada bentuk – bentuk operasi yang ada.

Secara umum pola operasi yang perlu dipahami tentang alur / Line proses pembuatan semen di PT. Semen Gresik (Persero).,Tbk Pabrik Tuban I dan II adalah seperti dibawah ini :



Gambar 3.1

Line Proses Pembuatan Semen

Proses produksi / proses pembuatan semen di PT. Semen Gresik (Persero).,Tbk Pabrik Tuban I dan II bukanlah proses dimana setiap fungsi dari pola operasi harus bekerja (running) bersama – sama. Dapat diambil contoh misalkan Crusher dalam kondisi mati (off) maka Raw Mill tidak harus mati (off).

Hal ini dikarenakan bahwa setiap fungsi dalam pola operasi tersebut mempunyai buffer atau tempat penyimpanan bahan yang akan diolah, dan kapasitas dari buffer atau tempat penyimpanan tersebut berbeda – beda.

Dibawah ini adalah data mengenai kemampuan kerja dari fungsi pola operasi proses pembuatan semen :

Tabel 3.3
Waktu Tunggu

No.	FUNGSI	WAKTU
1	CRUSHER	
2	RAW MILL	2 hari (dari Crusher)
3	KILN	1,5 hari (dari Raw Mill) 4 jam (dari Coal Mill)
4	FINISH MILL	4 hari dari (Kiln)

Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa Raw Mill masih bekerja normal selama 2 hari setelah Crusher berhenti bekerja, demikian pula Kiln masih dapat bekerja selama 1,5 hari setelah Raw Mill berhenti bekerja, demikian pula untuk fungsi yang lainnya

3.3 Profil Faktor Daya Terhadap Beban

Profil besar faktor daya terhadap arus digunakan untuk menunjukkan kecenderungan perubahan faktor daya pada besar beban yang berbeda. Beberapa contoh dapat diambil diambil pada waktu sistem kelistrikan belum mengalami perubahan atau belum adanya penambahan filter harmonisa.

Penelitian sebelumnya mengambil contoh profil faktor daya pada bulan Desember tahun 2000 untuk mewakili kondisi pada pemakaian beban diatas normal dilihat dari hasil produksi yang maksimal.

Profil faktor daya yang diambil dari contoh tersebut adalah untuk tiga sumber daya dari sistem kelistrikan yang dibutuhkan dalam sistem operasi di PT. Semen Gresik (Persero)., Tbk Pabrik Tuban I dan II, yaitu arus yang mengalir pada

trafo TX01, TX02 dan TX03. Hal ini dapat dilihat pada tabel pemakaian beban harian dibawah ini :

Tabel 3.4
Pemakaian Beban Harian

Kamis 14-12-00	TX01		TX02		TX03	
	Arus	Cos θ	Arus	Cos θ	Arus	Cos θ
07.00	675	0.96	651	0.91	699	0.98
08.00	747	0.92	665	0.9	653	0.99
09.00	769	0.93	690	0.9	704	0.98
10.00	771	0.93	674	0.9	666	0.98
11.00	765	0.93	675	0.9	691	0.98
12.00	760	0.93	670	0.89	702	0.98
13.00	751	0.93	658	0.89	708	0.98
14.00	722	0.93	674	0.9	723	0.98
15.00	735	0.93	669	0.9	710	0.98
16.00	767	0.94	692	0.9	712	0.98
17.00	475	0.97	682	0.9	722	0.98
18.00	731	0.95	637	0.9	731	0.98
19.00	731	0.95	676	0.91	723	0.98
20.00	715	0.95	676	0.9	716	0.98
21.00	684	0.95	676	0.92	714	0.98
22.00	682	0.96	666	0.92	707	0.98
23.00	390	0.99	667	0.96	716	0.98
24.00	390	0.99	667	0.96	716	0.98
01.00	678	0.99	681	0.96	713	0.98
02.00	679	0.96	686	0.92	575	0.99
02.00	676	0.96	681	0.92	571	0.99
04.00	681	0.96	672	0.92	576	0.99
05.00	682	0.96	661	0.92	578	0.99
06.00	687	0.96	654	0.92	576	0.99

Minggu 17-12-00	TX01		TX02		TX03	
	Arus	Cos θ	Arus	Cos θ	Arus	Cos θ
07.00	651	0,93	443	0,97	698	0,98
08.00	688	0,9	452	0,97	473	0,99
09.00	736	0,9	710	0,91	689	0,98
10.00	783	0,9	704	0,9	671	0,98
11.00	698	0,9	712	0,91	711	0,98
12.00	706	0,9	684	0,91	703	0,97
13.00	706	0,89	641	0,91	700	0,98
14.00	731	0,89	670	0,91	711	0,98
15.00	670	0,89	649	0,91	704	0,98
16.00	671	0,9	650	0,91	710	0,98
17.00	783	0,9	654	0,91	631	0,98
18.00	363	0,94	633	0,91	644	0,98
19.00	378	0,94	651	0,94	651	0,98
20.00	660	0,91	622	0,92	676	0,98
21.00	666	0,9	643	0,91	662	0,98
22.00	708	0,98	650	0,9	672	0,97
23.00	626	0,98	649	0,92	632	0,97
24.00	617	0,93	653	0,92	706	0,98
01.00	629	0,93	650	0,92	706	0,98
02.00	706	0,93	647	0,92	704	0,98
02.00	618	0,93	647	0,92	698	0,98
04.00	646	0,93	635	0,91	695	0,98
05.00	659	0,93	638	0,91	707	0,98
06.00	643	0,93	639	0,91	701	0,98

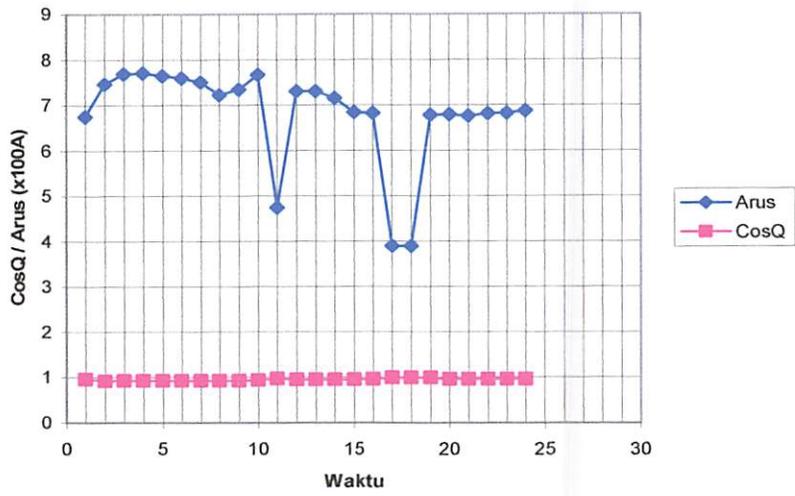
Sabtu 30-12-00	TX01		TX02		TX03	
	Arus	Cos θ	Arus	Cos θ	Arus	Cos θ
07.00	346	0,99	234	0,96	708	0,95
08.00	346	0,99	236	0,96	706	0,9
09.00	342	0,97	231	0,96	707	0,9
10.00	381	0,97	228	0,96	708	0,9
11.00	380	0,97	226	0,96	703	0,9
12.00	380	0,97	228	0,95	708	0,9
13.00	382	0,97	226	0,95	710	0,9
14.00	274	0,45	225	0,88	708	0,9
15.00	281	0,41	258	0,86	711	0,9
16.00	345	0,95	251	0,92	721	0,91
17.00	347	0,94	227	0,87	719	0,92
18.00	361	0,96	239	0,89	720	0,9
19.00	372	0,96	246	0,88	718	0,91
20.00	369	0,95	245	0,87	721	0,92
21.00	377	0,95	247	0,87	722	0,91
22.00	359	0,94	251	0,88	732	0,93
23.00	277	0,92	250	0,89	711	0,92
24.00	326	0,99	221	0,88	640	0,94
01.00	342	0,99	221	0,86	671	0,94
02.00	339	0,99	241	0,13	659	0,94
02.00	281	0,96	228	0,95	686	0,94
04.00	283	0,95	219	0,95	404	0,95
05.00	282	0,94	225	0,95	681	0,94
06.00	286	0,99	219	0,87	671	0,97

Profile faktor daya dan arus pada :

Kamis 14-12-2000

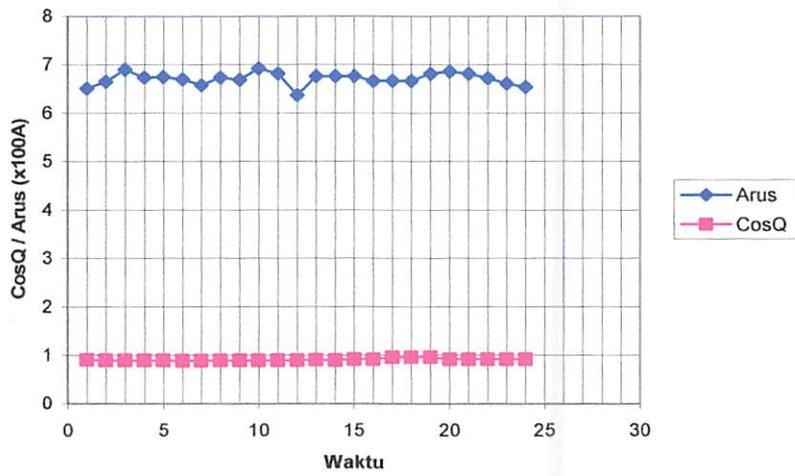
Trafo TX01

Kurva Profil Faktor Daya dan Arus

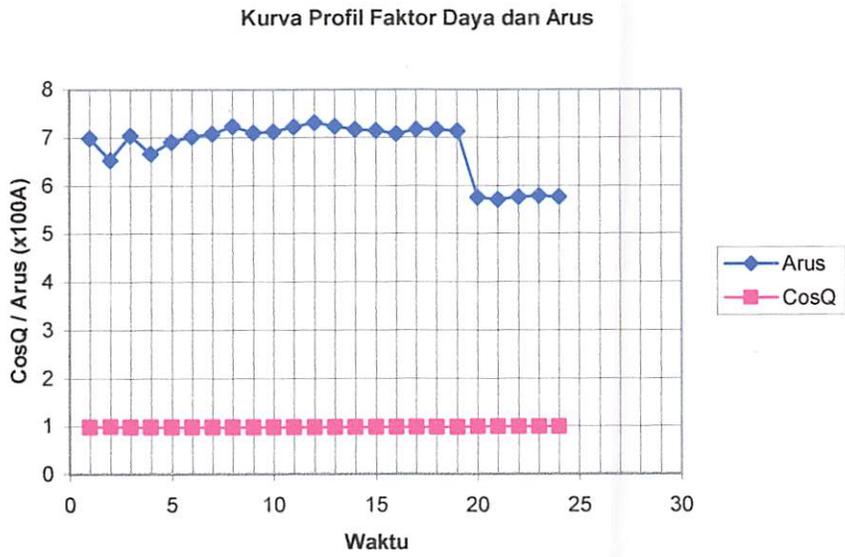


Trafo TX02

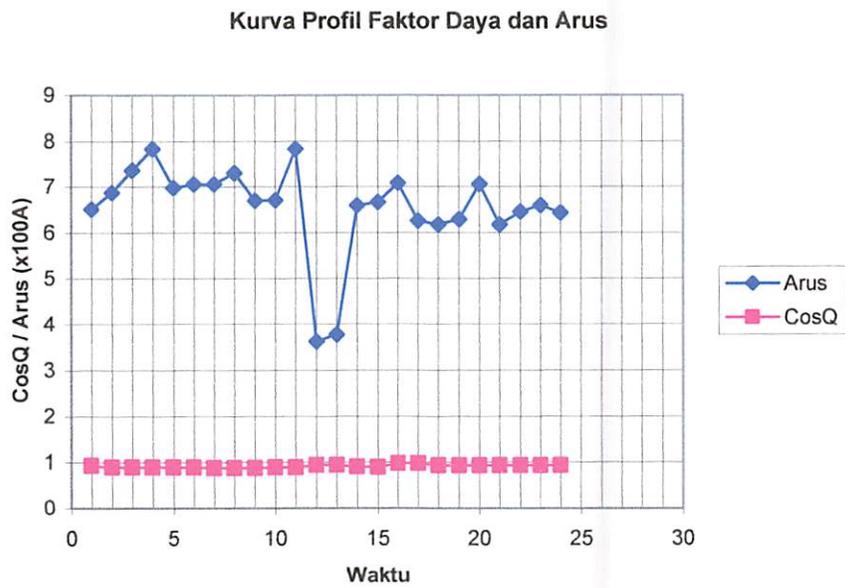
Kurva Profil Faktor Daya dan Arus



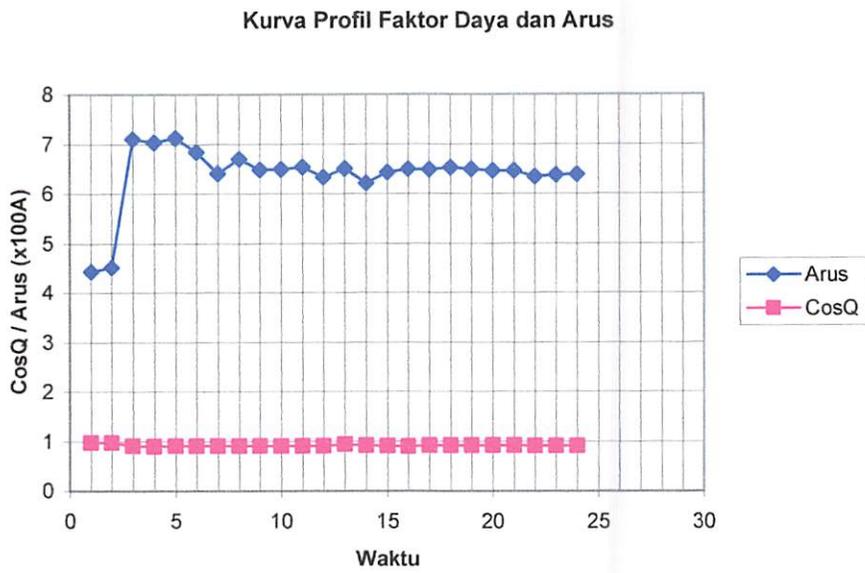
Trafo TX03

Minggu 17-12-2000

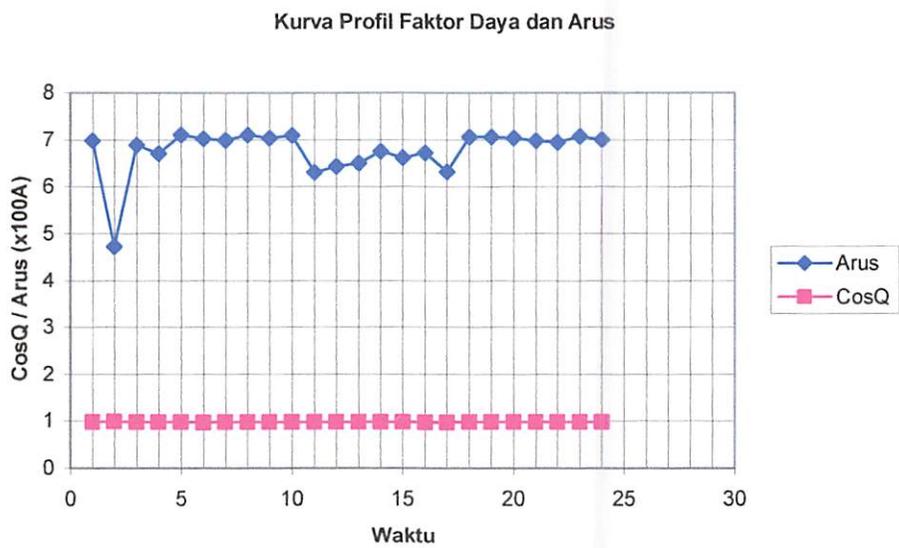
Trafo TX01



Trafo TX02

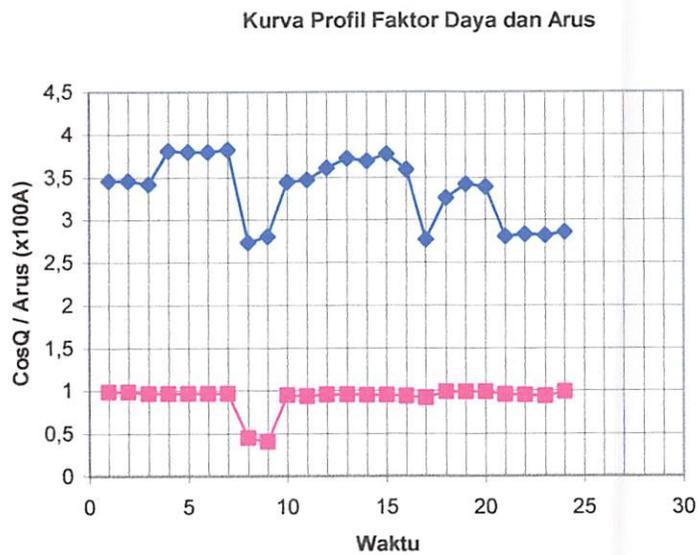


Trafo TX03

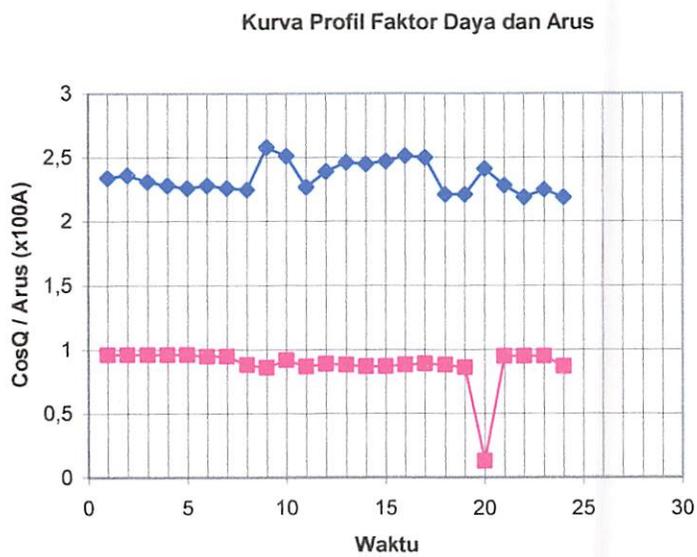


Sabtu 30-12-2000

Trafo TX01

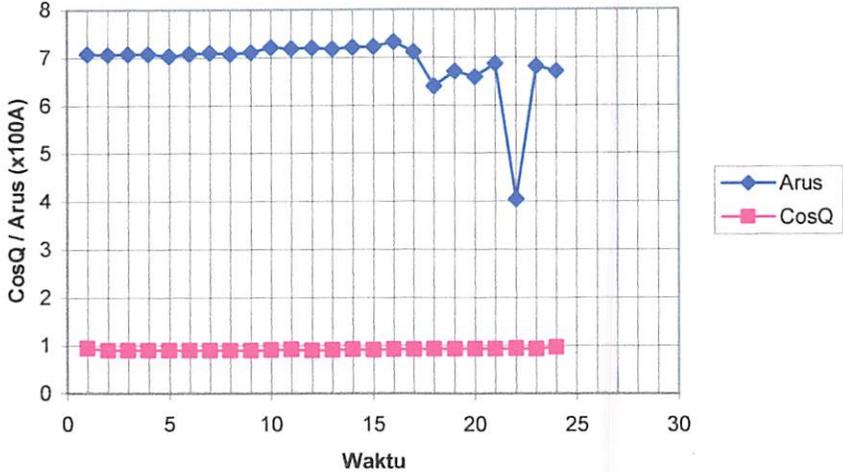


Trafo TX02



Trafo TX03

Kurva Profil Faktor Daya dan Arus



BAB IV
ANALISA PENERAPAN *HIGH PASS FILTER*
UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI DAYA LISTRIK

4.1 Peningkatan Faktor Daya ($\cos \theta$)

Secara umum usaha peningkatan faktor daya ($\cos \theta$) dilakukan dengan pemasangan kompensator daya reaktif berupa kapasitor bank. Namun untuk sebuah sistem kelistrikan dengan sebuah sumber harmonisa yang cukup besar dan pola operasi yang cenderung dinamis pada PT. Semen Gresik (Persero), Tbk, Pabrik tuban I dan II. Peningkatan / perbaikan faktor daya ($\cos \theta$) dengan memasang kapasitor bank perlu mempertimbangkan hal – hal sebagai berikut :

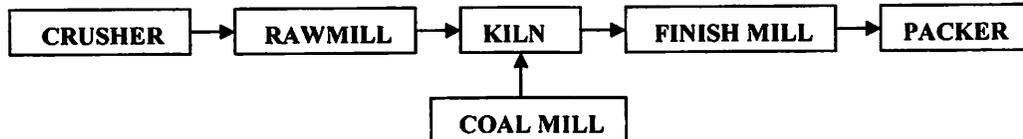
- Besar distorsi baru akibat penambahan kapasitor bank baru.
- Resonansi impedansi pada bus – bus utama
- Besar KVar dari unit – unit yang akan dipasang dalam hubungannya dengan kapasitas *circuit breaker* (CB) dan adanya tegangan transient akibat on – off *switching effect* kapasitor bank terhadap peralatan yang sensitif.

Dari sampel data pemakaian beban harian untuk tanggal 14, 17, dan 30 Desember 2000, $\cos \theta$ awal sebelum adanya penambahan komponen kompensator daya reaktif adalah 0,92 ($\cos \theta$ rata – rata).

Sedangkan target dari perbaikan faktor daya adalah dari 0,92 menjadi 0,98 dengan tingkat distorsi yang rendah ($\% V_{thd} < 5\%$) dan tidak terjadi resonansi pada impedansi bus – bus utama. Perubahan faktor daya menjadi 0,98 merupakan

target optimum dari PT. Semen Gresik (Persero), Tbk, Pabrik Tuban I dan II setelah pemasangan filter harmonisa.

Pola Operasi pembuatan semen di PT. Semen Gresik (Persero),Tbk, Pabrik Tuban I dan II adalah sebagai berikut :



Gambar 4.1

Line Proses Pembuatan Semen

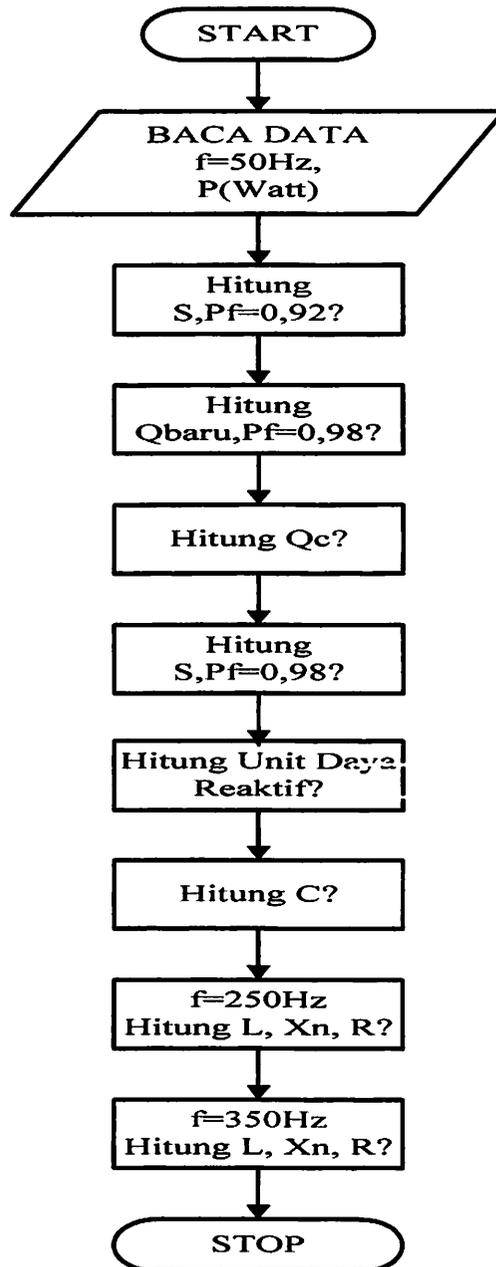
Dengan memperhatikan pola operasi diatas maka kebutuhan pemakaian daya yang diasumsikan bekerja pada saat operasi beban penuh untuk Pabrik Tuban I dan II adalah :

Tabel 4.1

Peralatan Dalam Operasi Pembuatan Semen

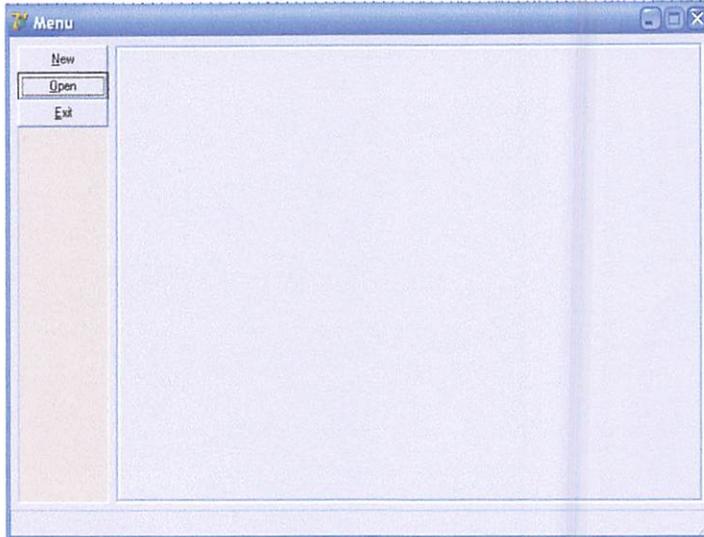
No.	Peralatan	Daya	Jumlah (Unit)	Total Daya
1	<i>LIME CRUSHER</i>	2 MW	2	4 MW
2	<i>CLAY CRUSHER</i>	-	-	-
3	<i>RAW MILL</i>	10,4 MW	2	20,8 MW
4	<i>KILN</i>	8,8 MW	2	17,6 MW
5	<i>COAL MILL</i>	3,0 MW	2	6 MW
6	<i>FINISH MILL</i>	6,1 MW	3	18,3 MW
7	<i>HRC</i>	1,5 MW	2	3 MW
8	<i>PACKER</i>	0,2 MW	2	0,4 MW
TOTAL				70,1 MW

4.2. Diagram Alir Perhitungan Penerapan *High Pass Filter*

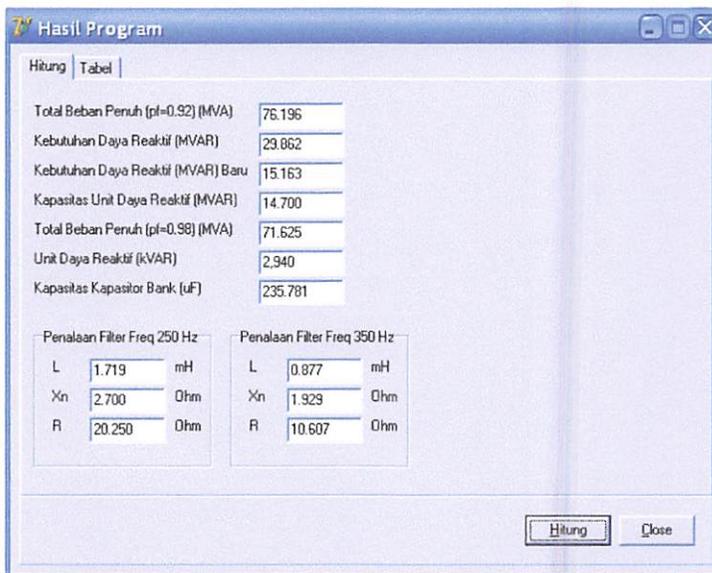


4.3. Tampilan Program Delphi Untuk Menganalisa Penerapan *High Pass Filter*

4.3.1. Tampilan Program



Gambar 4.2
Tampilan Menu Utama



Gambar 4.3
Tampilan Hasil Perhitungan Penerapan *High Pass Filter*

No	Uraian	Tahun 1 (Rp)	Tahun 2 (Rp)	Tahun 3 (Rp)
1	Pengeluaran	0.00	0.00	0.00
2	Net Income	1,480,891,304.35	1,480,891,304.35	1,480,891,304.35
3	Penyusutan	186,666,666.67	186,666,666.67	186,666,666.67
4	Kas belum kena Pajak	1,294,224,637.68	1,294,224,637.68	1,294,224,637.68
5	Pajak	194,133,695.65	194,133,695.65	194,133,695.65
6	Kas kena Pajak	1,100,090,942.03	1,100,090,942.03	1,100,090,942.03
7				

Payback Method Tahun

Hitung Close

Gambar 4.4
Hasil Perhitungan *Cash Flow* Investasi

4.3.2. Hasil Program

Tabel 4.2
Perhitungan Sebelum Pemasangan *High Pass Filter*

No	Uraian	
1	Kapasitas Daya Beban Penuh ($pf=0,92$) (MVA)	76,196
2	Kebutuhan Daya Reaktif (MVAR)	29,862

Tabel 4.3
Perhitungan Setelah Pemasangan *High Pass Filter*

No	Uraian	
1	Kapasitas Daya Beban Penuh ($pf=0,98$) (MVA)	71,625
2	Kebutuhan Daya Reaktif (MVAR)Baru	15,163
3	Kapasitas Unit Daya Reaktif (MVAR)	14,700
4	Unit Daya Reaktif (kVar)	2,940
5	Kapasitas Kapasitor bank (μF)	235,701

Tabel 4.4
Penalaan Filter Frekuensi 250 Hz

No	Penalaan Filter Frekuensi 250 Hz	
1	L (mH)	1,718
2	Xn (Ohm)	2,699
3	R (Ohm)	20,240

Tabel 4.5
Penalaan Filter Frekuensi 350 Hz

No	Penalaan Filter Frekuensi 350 Hz	
1	L (mH)	0,877
2	Xn (Ohm)	1,928
3	R (Ohm)	10,602

Tabel 4.6
Cash Flow Investasi

No	Uraian	Tahun		
		1	2	3
1	Modal awal	Rp. 2.800.000.000,00	Rp. 2.800.000.000,00	Rp. 2.800.000.000,00
2	Pengeluaran	Rp0.00	Rp0.00	Rp0.00
3	Net Income	Rp. 1.480.891.000,00	Rp. 1.480.891.000,00	Rp. 1.480.891.000,00
4	Penyusutan Peralatan	Rp. 186.666.666,67	Rp. 186.666.666,67	Rp. 186.666.666,67
5	Kas Belum kena Pajak	Rp. 1.294.224.333,30	Rp. 1.294.224.333,30	Rp. 1.294.224.333,30
6	Pajak	Rp. 194.133.695,65	Rp. 194.133.695,65	Rp. 194.133.695,65
7	Kas Kena Pajak	Rp. 1.100.090.942,03	Rp. 1.100.090.942,03	Rp. 1.100.090.942,03

4.4. Hasil Perhitungan

Total daya pada saat operasi beban penuh adalah 70,1 MW dan berdasarkan atas pengukuran pemakaian beban harian yang tergambar pada kurva $\cos \theta$ rata – rata adalah 0,92 lagging, maka dapat ditentukan kebutuhan daya aktif dan daya reaktifnya :

$$\cos \theta = pf = \frac{V I \cos \theta}{V \cdot I_{\text{baru}}}$$

dengan :

$$\cos \theta = 0,92$$

Sehingga :

$$\sin \theta = \sin (\cos^{-1} 0,92) = 0,392$$

Dimana $V.I.\cos \theta$ adalah total daya pada saat operasi beban penuh yaitu 70,1 MW, maka :

$$0,92 = \frac{70,1 \cdot 10^6}{V \cdot I_{\text{baru}}}$$

$$V \cdot I_{\text{baru}} = S = \frac{70,1 \cdot 10^6}{0,92} = 76,195 \cdot 10^6 \text{ VA} = 76,195 \text{ MVA}$$

$$\begin{aligned} Q &= V \cdot I_{\text{baru}} \sin \theta \\ &= 76,195 \cdot 0,392 \\ &= 29,868 \text{ MVar} \end{aligned}$$

Analisa perbaikan faktor daya adalah usaha untuk meningkatkan harga $\cos \theta$ mendekati harga ideal yaitu 1 (*unity power factor*). Dalam hal ini, dengan melihat karakteristik beban yang fluktuatif maka target perbaikan faktor daya untuk Pabrik Tuban I dan II adalah dari 0,92 lagging menjadi 0,98 lagging. Sehingga kebutuhan daya reaktifnya akan berubah menjadi :

$$\begin{aligned} Q_{\text{baru}} &= V \cdot I_{\text{baru}} \sin (\cos^{-1}_{(\text{target})} \theta) \\ &= 76,195 \cdot \sin (\cos^{-1} 0,98) \\ &= 76,195 \cdot 0,199 \\ &= 15,162 \text{ MVar} \end{aligned}$$

Suplai daya reaktif yang harus dikompensasi oleh penambahan kompensator adalah sebesar :

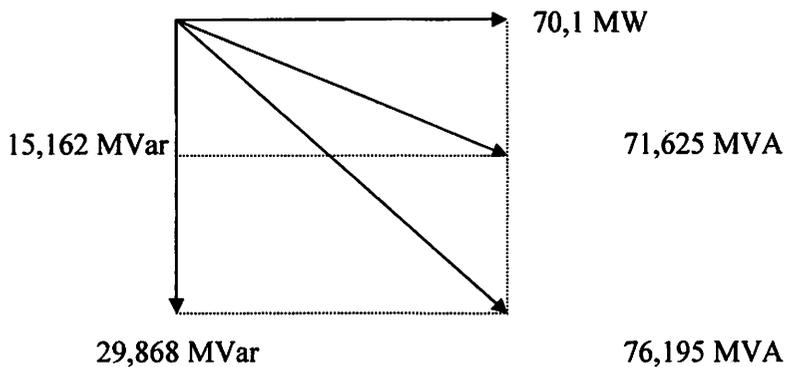
$$\begin{aligned} Q_c &= 29,868 \text{ MVar} - 15,162 \text{ MVar} \\ &= 14,706 \text{ MVar} \end{aligned}$$

Total Daya / Daya nyata pada saat operasi beban penuh dengan besar $\cos \theta$ rata – rata 0,98 adalah :

$$S = \sqrt{70,1^2 \text{ MW} + 14,706^2 \text{ MVar}}$$

$$= 71,625 \text{ MVA}$$

Daya sebelum dan sesudah penambahan komponen kompensator (kapasitor bank) dapat digambarkan pada diagram segitiga sebagai berikut :



Gambar 4.5
Diagram Segitiga Daya

4.4.1 Besarnya unit – unit daya reaktif

Dengan mempertimbangkan kapasitas *Circuit Breaker* (CB) yang tersedia di lapangan dan untuk menghindari tegangan on – off *switching effect* dari pengoperasian kompensator maka perencanaan pemasangan kompensator dipisah menjadi 5 bagian / unit pada 5 area yang berbeda dengan kapasitas masing – masing :

$$\frac{14,706 \text{ MVar}}{5} = 2,941 \text{ MVar}$$

$$= 2941 \text{ KVar}$$

4.4.2 Lokasi pemasangan

Dari hasil peninjauan di lapangan dan didukung dengan data – data perhitungan komputasi yang telah ada, maka pemasangan kompensator ditentukan pada bus tegangan menengah / Medium Voltage (MV) dengan $\text{Cos } \theta$ yang rendah yaitu pada Electrical Room (ER) 7.1, ER 7.2, ER 14.2, ER 4.2 dan ER 2 dan pada tegangan 6300 Volt (6,3 KV).

Untuk memenuhi kebutuhan daya reaktif sebesar 3000 KVar pada masing – masing area diatas (masing – masing Electrical Room). Maka kompensator yang dipasang adalah kapasitor bank yang mempunyai besar kapasitansi sebesar:

$$Q_c = Q_t - Q_b = V^2 \omega C$$

$$C = \frac{Q_c}{V^2 \cdot 2 \pi f}; \text{ dengan } f = \text{frekuensi normal tegangan suplai, yaitu } 50 \text{ Hz}$$

$$= \frac{2941 \cdot 10^3}{6300^2 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50}$$

$$= 2,359 \cdot 10^4 \text{ Farad}$$

$$= 235,9 \mu\text{F}$$

4.5 Penerapan Filter Harmonisa

Untuk mendapatkan kualitas tegangan yang lebih baik dan menurunkan tingkat distorsi tegangan yang melebihi standard, maka kapasitor pada *Electrical Room* (ER) 7.1, ER 7.2, ER 14.2, ER 4.2 dan ER 2 dimodifikasi menjadi filter harmonisa. Dalam hal ini jenis filter yang digunakan adalah *High Pass Filter*.

Sebuah *High Pass Filter* adalah rangkaian yang terdiri atas resistor dan induktor yang dihubung secara paralel dan diseri dengan kapasitor pada frekuensi

penalaan yang telah ditetapkan. Rangkaian ini menghasilkan impedansi minimal sehingga menjadi jalan bagi arus – arus harmonisa pada frekuensi penalaan dan arus – arus harmonisa pada frekuensi diatas frekuensi penalaan yang ada di jaringan sehingga akan memperbaiki plot impedansi jaringan dan menurunkan tingkat distorsi harmonisa sesuai standard IEEE 519 – 1992 ($\%V_{thd} < 5\%$). Filter ini juga berfungsi sebagai kompensator reaktif yang dibutuhkan untuk meningkatkan faktor daya menjadi 0,98 lagging.

Pada pengujian komponen harmonisa dengan menggunakan FLUKE 41B *Harmonic Analyzer*, dapat diketahui karakteristik harmonisa pada masing – masing *Electrical Room*, dan yang sangat dominan yaitu :

- Harmonisa Orde ke-5 dengan frekuensi 250 Hz dominan pada ER 7.1, ER 7.2, dan ER 4.2
- Harmonisa Orde ke-7 dengan frekuensi 350 Hz dominan pada ER 14,2 dan ER 2

Sedangkan untuk harmonisa – harmonisa pada orde – orde yang lain, dianggap tidak terlalu berpengaruh pada sistem, sehingga modifikasi rangkaian kompensator menjadi rangkaian filter untuk mengurangi efek harmonisa, dilakukan penalaan pada kompensator, yaitu dengan memasang induktor secara seri dengan kapasitor. Besar kapasitas induktor yang dibutuhkan untuk memodifikasi kompensator (dalam hal ini kapasitor bank dengan kapasitas masing – masing area adalah 235,9 μF) harus sesuai dengan penalaan frekuensi untuk harmonisa orde ke n.



Gambar 4.6
Fluke 41B *Harmonic Analyzer*

Untuk harmonisa ke-n :

$$n = \frac{f_n}{f_0} = \sqrt{\frac{X_c}{X_L}} \qquad X_n = \frac{1}{\omega_n C} \rightarrow \omega_n = 2 \pi f_n$$

$$= \sqrt{\frac{\left(\frac{1}{2 \pi f_0 C}\right)}{(2 \pi f_0 L)}}$$

$$= \frac{1}{2 \pi f_0 \sqrt{L C}}$$

dengan :

- n = Orde harmonisa
- f_n = frekuensi harmonisa
- f_0 = frekuensi dasar tegangan normal (50 Hz)
- L = besar kapasitas Induktor (H)
- C = besar kapasitas Kapasitor (C)

Penalaan filter untuk frekuensi 250 Hz

$$n = \frac{f_n}{f_o}$$

$$= \frac{250}{50} = \frac{1}{2 \pi 50 \sqrt{L 235,9 \cdot 10^6}}$$

maka :

$$L = \frac{1}{4 \pi^2 \cdot 250^2 \cdot 235,9 \cdot 10^{-6}}$$

$$= 1,719 \cdot 10^{-3} \text{ H}$$

$$= 1,719 \text{ mH}$$

$$X_n = \frac{1}{2 \pi 250 \cdot 235,9 \cdot 10^{-6}}$$

$$= 2,700 \Omega$$

Diambil nilai Q = 7,5

$$\text{Maka } R = X_o \cdot Q$$

$$= 2,700 \cdot 5,5$$

$$= 20,25 \Omega$$

Penalaan filter untuk frekuensi 350 Hz

$$n = \frac{f_n}{f_o}$$

$$= \frac{350}{50} = \frac{1}{2 \pi 50 \sqrt{L 235,9 \cdot 10^6}}$$

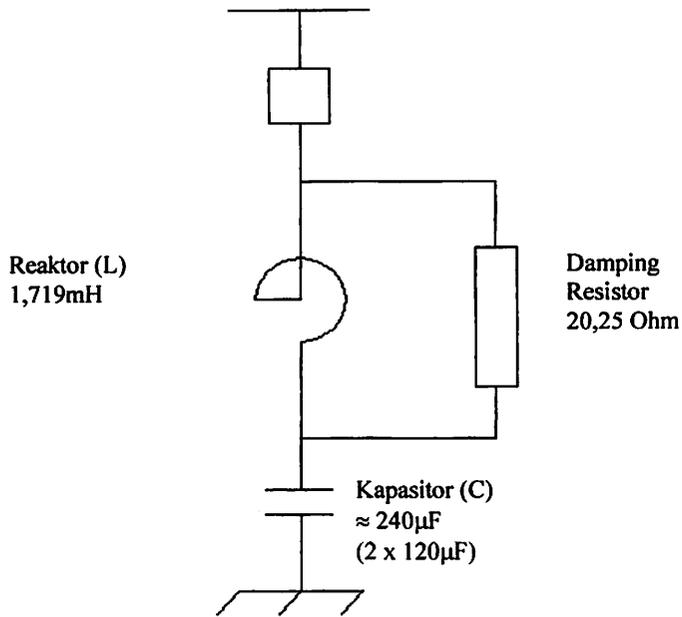
maka :

$$\begin{aligned}L &= \frac{1}{4 \pi^2 \cdot 350^2 \cdot 235,9 \cdot 10^{-6}} \\&= 8,774 \cdot 10^{-4} \text{ H} \\&= 0,877 \text{ mH}\end{aligned}$$

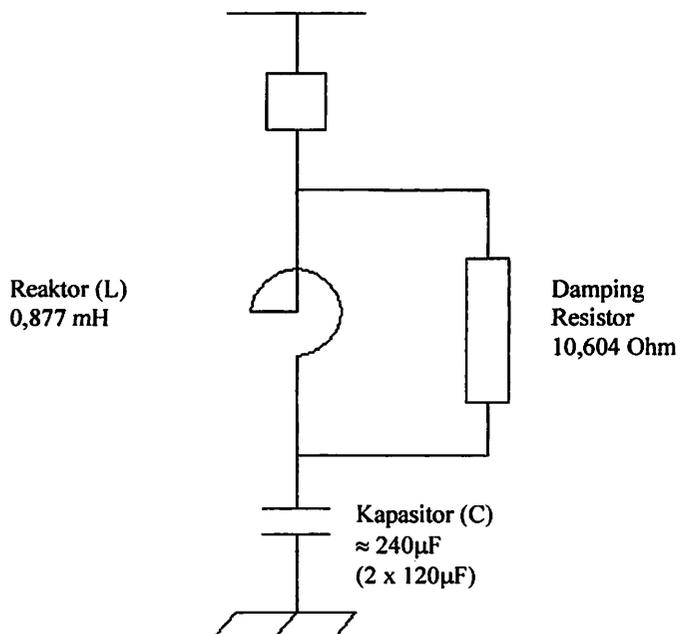
$$\begin{aligned}X_n &= \frac{1}{2 \pi 350 \cdot 235,9 \cdot 10^{-6}} \\&= 1,928 \Omega\end{aligned}$$

Diambil nilai $Q = 5,5$

$$\begin{aligned}\text{Maka } R &= X_o \cdot Q \\&= 1,928 \cdot 5,5 \\&= 10,604 \Omega\end{aligned}$$



Gambar 4.7
Filter Harmonisa ke – 5 (250 Hz)



Gambar 4.8
Filter Harmonisa ke – 7 (350 Hz)

4.6 Perhitungan Biaya Investasi Filter Harmonisa

4.6.1 Biaya awal

Adapun peralatan yang terpasang sebagai filter harmonisa untuk memperbaiki kualitas tenaga listrik sebagai sumber tenaga untuk proses produksi semen, diinvestasikan oleh PT. Semen Gresik (Persero), Tbk sebagai pelanggan PLN, peralatan – peralatan filter tersebut beserta rincian biaya investasi awal adalah sebagai berikut :

Tabel 4.6
Daftar Investasi Pengadaan Filter Harmonisa

No	Keterangan	Harga per unit	Jumlah	Jumlah Harga
1	Biaya Investasi			Rp 2.800.000.000,00
a	Pengadaan switch gear	-	-	
b	Pengadaan equipment filter harmonisa	-	-	
c	Pengadaan CT dan Spring mech	-	-	
d	Konstruksi	-	-	
e	Supervisi konstruksi	-	-	
Total				Rp 2.800.000.000,00

4.6.2 Cash flow bulanan

Cash flow bulanan adalah faktor biaya rutin berupa pengeluaran dan estimasi pemasukan yang terjadi selama setiap bulannya.

- Pengeluaran

Pengeluaran yang dikeluarkan PT. Semen Gresik (Persero),Tbk dalam jangka waktu tertentu sebagai biaya pemeliharaan atau maintenance tidak dapat ditentukan (prosentasenya sangat kecil bila dibandingkan dengan biaya investasinya). Komponen–komponen filter tersebut hanya dikontrol penggunaannya saja, begitu sistem telah berjalan dan apabila tidak ada kerusakan pada peralatan hingga masa usia komponen / life timenya berakhir, maka biaya untuk pemeliharaan diasumsikan tidak ada.

- Pendapatan

Setelah pemasangan filter harmonisa dan sekaligus digunakan sebagai kompensator daya reaktif, $\cos\theta$ berubah dari 0,92 menjadi 0,98. Dalam hal ini akan menghasilkan selisih pemakaian daya sebesar :

$$76,195 \text{ MVA} - 71,625 \text{ MVA} = 4,57 \text{ MVA}$$

Harga per KVA biaya beban untuk golongan tarif Industri (I4) adalah Rp.27.000,00 per bulan. Sehingga penghematan biaya beban apabila diasumsikan pemakaian beban penuh di PT. Semen Gresik (Persero),Tbk Pabrik Tuban I dan II dalam satu tahun adalah :

$$\begin{aligned} &4,57 \times 10^3 \times \text{Rp. } 27000,00 \times 12 \\ &= \text{Rp. } 1.480.680.000,00 / \text{tahun} \end{aligned}$$

4.7 Analisa Kelayakan Investasi

Dalam melakukan analisa kelayakan investasi digunakan asumsi - asumsi sebagai berikut :

- *Life time* peralatan 15 tahun

Net income diperoleh dari pemasukan kotor dikurangi pengeluaran rutin dalam hitungan tahunan.

$$\text{Net income} = \text{Income/tahun} - \text{pengeluaran/tahun}$$

$$\begin{aligned}\text{Net income} &= \text{Rp. 1.480.680.000,00} - \text{Rp. 0,00} \\ &= \text{Rp. 1.480.680.000,00}\end{aligned}$$

Perhitungan penyusutan terhadap investasi peralatan ditentukan sebagai berikut :

- Harga peralatan = Rp.2.800.000.000,00

- Umur ekonomis peralatan (*life time* peralatan) = 15 tahun

$$\begin{aligned}\text{Penyusutan peralatan} &= \frac{\text{Rp.2.800.000.000,00}}{15} \\ &= \text{Rp 186.666.666,70}\end{aligned}$$

Besar kas yang belum terkena pajak diperoleh dari *Net income* dikurangi dengan penyusutan peralatan.

$$\text{Kas belum kena pajak} = \text{Net income} - \text{Penyusutan peralatan}$$

$$\begin{aligned}\text{Kas belum kena pajak} &= \text{Rp. 1.480.680.000,00} - \text{Rp. 186.666.666,70} \\ &= \text{Rp. 1.294.013.333,30}\end{aligned}$$

Pajak dihitung dari perkalian *Net Income* dikurangi penyusutan dengan pph sebesar 15%.

$$\text{Pajak} = (\text{Net Income} - \text{Penyusutan peralatan}) \times 0.15$$

$$\begin{aligned}\text{Pajak} &= (\text{Rp. 1.480.680.000,00} - \text{Rp. 186.666.666,70}) \times 0.15 \\ &= \text{Rp. 1.294.013.333,30} \times 0.15 \\ &= \text{Rp. 194.102.000,00}\end{aligned}$$

Besar kas pajak yang terkena pajak diperoleh dari *Net Income* dikurangi dengan pajak.

$$\text{Kas kena pajak} = \text{Kas belum kena pajak} - \text{pajak}$$

$$\begin{aligned} \text{Kas kena pajak} &= \text{Rp. 1.294.013.333,30} - \text{Rp. 194.102.000,00} \\ &= \text{Rp. 1.099.911.333,30} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas perhitungan *cash flow* investasi berupa pemasukan, besar penyusutan, nilai pajak setelah dipotong penyusutan, kas sebelum kena pajak dan kas setelah kena pajak dapat dilihat pada tabel :

Tabel 4.7
Daftar perhitungan *cash flow* investasi

No	Uraian	Tahun		
		1	2	3
1	Modal awal	Rp. 2.800.000.000,00	Rp. 2.800.000.000,00	Rp. 2.800.000.000,00
2	Pengeluaran	Rp0.00	Rp0.00	Rp0.00
3	Net Income	Rp. 1.480.680.000,00	Rp. 1.480.680.000,00	Rp. 1.480.680.000,00
4	Penyusutan Peralatan	Rp. 186.666.666,67	Rp. 186.666.666,67	Rp. 186.666.666,67
5	Kas Belum kena Pajak	Rp. 1.294.013.333,30	Rp. 1.294.013.333,30	Rp. 1.294.013.333,30
6	Pajak	Rp. 194.102.000,00	Rp. 194.102.000,00	Rp. 194.102.000,00
7	Kas Kena Pajak	Rp. 1.099.911.333,30	Rp. 1.099.911.333,30	Rp. 1.099.911.333,30

Untuk mengetahui berapa lama masa pengembalian investasi dilakukan dengan perhitungan *payback Period* yaitu :

$$\text{Payback Period} = \text{Nilai investasi}/(\text{Aliran kas operasional})$$

$$\text{Payback Period} = \frac{\text{Rp.2.800.000.000,00}}{\text{Rp.1.099.911.333,30}} \times 1 \text{ tahun}$$

$$= 2,55 \text{ tahun}$$

Jadi masa pengembalian investasi adalah sekitar 2,55 tahun, yang diambil dari biaya variabel beban, untuk selisih daya antara sebelum dan sesudah pemasangan filter harmonisa sekaligus kompensator daya reaktif.

BAB V

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Dengan meningkatnya harga faktor daya menjadi 0,98 lagging maka keuntungan secara teknis dari pemakaian daya pada saat estimasi beban penuh dapat ditekan dari 76,195 MVA menjadi 71,625 MVA, sehingga terdapat selisih 4,57 MVA yang dapat dialokasikan untuk kebutuhan beban yang lain tanpa adanya pemasangan atau penambahan daya. dalam hal ini dampak positif yang dapat dilihat dari sisi ekonomi apabila dibandingkan dengan penambahan daya baru, yang memiliki kompensasi penambahan biaya beban perbulan akan dapat ditekan dan secara otomatis menghemat anggaran yang cukup besar per tahunnya.
2. Filter dengan nilai kapasitansi 235,9 μ F dirangkai dengan reaktor yang ditala untuk masing – masing harmonisa, yaitu orde ke-5 yaitu frekuensi 250 Hz dengan besar induktansi sebesar 1,719mH dan orde ke-7 yaitu frekuensi 350 Hz dengan besar induktansi sebesar 0,877mH. .
3. Pada analisa kelayakan investasi dengan menggunakan perhitungan payback period lama pengembalian biaya investasi adalah 2,55 tahun.

DAFTAR PUSTAKA

- [1].-----, Augustus 1983, IEEE Working Group On Power System Harmonic An Overview, IEEE Transaction On Power Apparatus And System, Vol PAS 102, No 8.
- [2]. Bloomquist Wc, 1985, Power Factor And Related Considered, An American National Standard, IEEE Recomend Practice For Electric Power Distribution For Industri Plant, John Wiley And Sons Inc, New York.
- [3]. Charles Belove And Melvyn M. Drossman, 1976, Systems And Circuits For Electrical Engineering Technology, Mc. Grow – Hill Kogakusha Ltd.
- [4]. Christoper K Duffey and Ray P Stratford, Nopember / December 1989, Update Of Harmonisa Standard, IEEE – 159 : IEEE Recommended Practice And Requirements For Harmonic Control In Electrial Power System, IEEE Transaction On Power Apparatus And System, Vol 25, No 6,.
- [5]. I Nyoman Pujawan, 1995, PT. Guna Widya, Ekonomi Teknik, Jakarta
- [6]. Lembaga Penelitian ITS, 2001, Laporan Akhir “Analisa Peningkatan Faktor Daya Pengaruhnya Terhadap Harmonik Filter Di Pabrik Semen Tuban”.
- [7]. T.J.E. Miller, 1982, Reactive Power Control In Electric System, John Wiley And Sons Inc, New York.

LAMPIRAN
LAMPIRAN



**LEMBAR PENGAJUAN JUDUL SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1**

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik/Teknik Elektronika *)

1	Nama Mahasiswa :	BACHRUL ULUM	Nim :	0112045
2	Waktu pengajuan	Tanggal : 12	Bulan : 10	Tahun : 2005
3	Spesifikasi judul (berilah tanda silang)			
	a. Sistem Tenaga Elektrik	e. Elektronika & Komponen		
	b. Energi & Konversi Energi	f. Elektronika Digital & Komputer		
	c. Tegangan Tinggi & Pengukuran	g. Elektronika Komunikasi		
	d. Sistem Kendali Industri	h. lainnya		
4	Konsultasikan judul sesuai materi bidang ilmu kepada Dosen *) :		Mengetahui, Ketua Jurusan.	
	<i>Ir. Taufiq Hidayat, MT</i>		 Ir. F. Yudi Limpraptono, MT Nip. Y. 1039500274	
5	Judul yang diajukan mahasiswa :	ANALISA PENERAPAN HIGH PASS FILTER UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI DATA LISTRIK DI PT. SEMEN GRESIK (Perero) Tbk		
6	Perubahan Judul yang disetujui Dosen sesuai materi bidang ilmu		
7	Catatan :		
	Persetujuan Judul Skripsi yang dikonsultasikan kepada Dosen materi bidang ilmu		Disetujui, _____, 200..... Dosen 	

Perhatian :

1. Formulir Pengajuan ini harap dikembalikan kepada jurusan paling lambat satu minggu setelah disetujui kelompok dosen keahlian dengan dilampirkan proposal skripsi beserta persyaratan skripsi sesuai form S-1
2. Keterangan : *) coret yang tidak perlu
**) dilingkari a, b, c, atau g. sesuai bidang keahlian



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

NI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendingan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

Malang, 21 Des. 2005

Nomor : ITN-9751.TA/2/05
Lampiran : satu lembar
Perihal : **BIMBINGAN SKRIPSI**

Kepada : Yth. Sdr. Ir. **WIDODO PUDJI M, MT**
Dosen Institut Teknologi Nasional
di -
Malang

Dengan Hormat,
Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam proposal skripsi melalui seminar proposal yang telah dilakukan untuk mahasiswa :

Nama : BACHRUL ULUM
Nim : 0112045
Fakultas : Teknologi Industri
Jurusan : Teknik Elektro
Konsentrasi : T. Energi Listrik (S-1)

Dengan ini pembimbingan skripsi tersebut kami serahkan sepenuhnya kepada saudara/I selama masa waktu **6 (enam) bulan** terhitung mulai tanggal:

09 Des. 2005 s/d 09 Mei 2006

Adapun tugas tersebut merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik, Jurusan Teknik Elektro.
Demikian atas perhatian serta kerjasamanya yang baik kami ucapkan terima kasih



Ketua
Jurusan Teknik Elektro S-1

Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
Nip. Y. 1039500274

Tindakan :

1. Mahasiswa yang bersangkutan
2. Arsip.

Form. S-4a

Lampiran : 1 (satu) berkas
Pembimbing Skripsi

Kepada : Yth. Bapak **Ir. Widodo Pudji M, MT**
Dosen Institut Teknologi Nasional Malang
MALANG

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Bachrul Ulum
Nim : 01.12.045
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Energi Listrik

Dengan ini mengajukan permohonan, kiranya Bapak/Ibu bersedia menjadi Dosen Pembimbing Utama / Pendamping *), untuk penyusunan Skripsi dengan judul (proposal terlampir) :

**ANALISA PENERAPAN HIGH PASS FILTER UNTUK
MENINGKATKAN EFISIENSI DAYA LISTRIK DI PT. SEMEN
GRESIK (Persero).Tbk**

Adapun tugas tersebut sebagai salah satu syarat untuk menempuh Ujian Akhir Sarjana Teknik.
Demikian permohonan kami dan atas kesediaan Bapak kami ucapkan terima kasih.

Malang, 13 Oktober 2005

Ketua
Jurusan Teknik Elektro S-1,



Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
NIP. 1039500274

Hormat Kami,



Bachrul Ulum

*) coret yang tidak perlu



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting) Fax. (0341) 553015 Malang 65145
 Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417936 Fax. (0341) 417634 Malang

Nomor : ITN- 645 /III.TA/2/05
 Lampiran : -
 Perihal : **Survey**

Malang, 21 Desember 2005

Kepada : Yth. Pimpinan
 PT. SEMEN GRESIK (Persero) Tbk
 Jl. Veteran Gresik
 Di - Gresik - Jatim

Bersama ini dengan hormat kami mohon kebijaksanaan Saudara agar Mahasiswa kami dari Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Elektro S-1 Konsentrasi Teknik Energi Listrik dapat diijinkan untuk melaksanakan survey pada perusahaan yang saudara pimpin untuk mendapatkan data - data guna penyusunan Skripsi dengan Judul : **Analisa Penerapan High Pass Filter Untuk Meningkatkan Efisiensi Daya Listrik Di PT. Semen Gresik (Persero)Tbk.**

Mahasiswa tersebut Adalah :

Bachrul Ulum Nim. 01.12.045

Adapun lamanya Survey adalah : 30 Hari

Demikian agar maklum dan atas perhatian serta bantuannya kami ucapkan terima kasih.



DEKAN
Teknologi Industri

H. Mochtar Asroni, MSME

Nip. Y. 1018100036



PT SEMEN GRESIK (PERSERO) Tbk.

Nomor: 1025 /PE.02.02/4064/ 01.06

Lamp. : ----

Perihal : Penelitian

Yth : Dekan Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Industri
Jl. Karanglo Kra 2
Malang, Fax-0341-41774

Dengan hormat,

Menunjuk surat saudara nomor ITN-645 / III.TA / 2 / 2005 perihal Penelitian, dengan ini kami beritahukan bahwa PT.Semen Gresik (Persero) Tbk dapat menerima mahasiswa saudara Jurusan Teknologi Industri

Nama : *Machrul Ulum* ,Nim. 61.12.045

untuk melakukan Penelitian di PT Semen Gresik (Persero) Tbk.di Tuban, dengan ketentuan:

1. Setiap mahasiswa yang melakukan penelitian harus diikut sertakan asuransi kecelakaanan oleh Fakultas institusi ybs.
2. Penelitian dilaksanakan selama 1 (satu) minggu, mulai tanggal 23 sd. 27 Januari 2006
3. Mahasiswa bermaksud diharap kehadirannya di Gedung DIKLAT PT Semen Gresik (Persero) Tbk. Jalan Veteran Gresik pada tanggal 23 Januari 2006 membawa pas foto ukuran 3 x 3 sebanyak 2 lembar, dan foto copy ktp 2 lembar.
4. Selama melakukan Penelitian mahasiswa diharap mengekan jas almamater, fasilitas lain dalam hal pondokan dan lain-lain tidak disediakan.

Demikian, atas perhatian saudara kami ucapkan terima kasih.

Gresik, 11 Januari 2006.

An. Direksi

Kabag Pendidikan dan Pelatihan,

(Signature)
Drs.Psi.Gaguk Yudianto.





INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : BACHRUL ULUM
Nim : 01.12.045
Masa Bimbingan : 9 Desember 2005 s/d 9 Mei 2006
Judul Skripsi : Analisa Penerapan High Pass Filter Untuk Meningkatkan Efisiensi Daya Listrik Di PT. Semen Gresik (Persero) Tbk.

No	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.	03-01-06	KONSULTASI BAB I, II	
2.	10-01-06	REVISI BAB I, II	
3.	17-01-06	ACC BAB I, II, III	
4.	21-01-06	KONSULTASI BAB III	
5.	30-01-06	ACC BAB III	
6.	02-02-06	KONSULTASI BAB IV, V	
7.	08-02-06	REVISI BAB IV	
8.	14-02-06	ACC BAB IV, V	
9.	20-02-06	ACC SEMINAR HASIL	
10.	10-03-06	ACC KOMPEREHENSIF	

Malang,
Dosen Pembimbing,

(Ir. Widodo Pudji M, MT)

Form.S-4b



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK

LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI

1. Nama : BACHRUL ULUM
2. NIM : 01.12.045
3. Jurusan : Teknik Elektro S-1
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
5. Judul Skripsi : ANALISA PENERAPAN *HIGH PASS*
FILTER UNTUK MENINGKATKAN
EFISIENSI DAYA LISTRIK DI PT.
SEMEN GRESIK (PERSERO) Tbk.
PABRIK TUBAN I DAN II
6. Tanggal Mengajukan Skripsi : 09 Desember 2005
7. Tanggal Menyelesaikan Skripsi : 23 Maret 2006
8. Dosen Pembimbing : Ir. Widodo Pudji Muljanto, MT.
9. Telah Dievaluasikan Dengan Nilai : 75.00 (Tujuh Puluh Lima) 

**Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1**



Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
NIP. Y. 1039500274

**Diperiksa dan Disetujui,
Dosen Pembimbing**



Ir. Widodo Pudji M, MT
NIP. 101 8800 190



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

Nama Mahasiswa : BACHRUL ULUM
N.I.M. : 01.12.045
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
Judul Skripsi : ANALISA PENERAPAN *HIGH PASS FILTER*
UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI DAYA
LISTRIK DI PT. SEMEN GRESIK (PERSERO)
Tbk. PABRIK TUBAN I DAN II

Dipertahankan dihadapan Majelis Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1)

Hari : Kamis
Tanggal : 23 Maret 2006
Dengan Nilai : 69,9 (B) *8*



(Ir. Mochtar Asroni, MSME)
Ketua

Panitia Ujian

(Ir. F Yudi Limpraptono, MT)
Sekretaris

Anggota Penguji

(Ir. Choirul Saleh, MT)
Penguji Pertama

(Ir. Teguh Herbasuki, MT)
Penguji Kedua



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK

PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

Dari hasil ujian skripsi Jurusan Teknik Elektro jenjang Strata satu (S-1) yang diselenggarakan pada :

Hari : Kamis
Tanggal : 23 Maret 2006

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

1. Nama : BACHRUL ULUM
2. NIM : 01.12.045
3. Jurusan : Teknik Elektro S-1
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
5. Judul Skripsi : ANALISA PENERAPAN *HIGH PASS FILTER* UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI DAYA LISTRIK DI PT. SEMEN GRESIK (PERSERO) Tbk.

No	Materi Perbaikan	Ket
1	Hasil optimasi sebelum dan sesudah pemasangan dipisahkan	

Anggota Penguji

Penguji Pertama

(Ir. Choirul Saleh, MT)
NIP. 101 880 190

Penguji Kedua

(Ir. Teguh Herbasuki, MT)
NIP. 103 8900 209

Dosen Pembimbing

(Ir. Widodo Pudji M, MT)
NIP. 101 8800 190



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Formulir Perbaikan Ujian Skripsi

Dalam pelaksanaan Ujian Skripsi Janjang Strata 1 Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi T. Energi Listrik / T. Elektronika, maka perlu adanya perbaikan skripsi untuk mahasiswa :

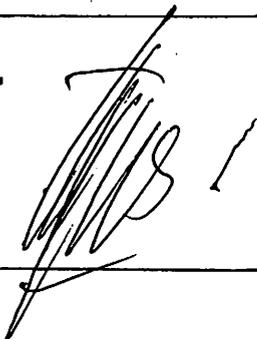
NAMA : 0112048 / BATHRUL U.

NIM

Perbaikan meliputi :

Hasil optimasi sebelum & sesudah pemasangan dipisahkan /

Malang,

()

LAMPIRAN

Listing Program

unit uMenu;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
Dialogs, ComCtrls, ExtCtrls, StdCtrls;

type

TfrmMenu = class(TForm)

Panel1: TPanel;

StatusBar1: TStatusBar;

Panel2: TPanel;

btnNew: TButton;

btnOpen: TButton;

btnExit: TButton;

procedure btnExitClick(Sender: TObject);

procedure btnOpenClick(Sender: TObject);

private

{ Private declarations }

public

{ Public declarations }

end;

var

frmMenu: TfrmMenu;

implementation

uses uHitung, uHasil;

{ \$R *.dfm }

procedure TfrmMenu.btnExitClick(Sender: TObject);

begin

Application.Terminate;

end;

procedure TfrmMenu.btnOpenClick(Sender: TObject);

begin

frmHasil.Show;

end;

end.

unit uHasil;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
Dialogs, StdCtrls, ComCtrls, ExtCtrls, Grids;

type

TfrmHasil = class(TForm)
PageControl1: TPageControl;
TabSheet1: TTabSheet;
TabSheet2: TTabSheet;
Panel1: TPanel;
btnHitung: TButton;
btnClose: TButton;
Label1: TLabel;
Label2: TLabel;
Label3: TLabel;
Label4: TLabel;
Label5: TLabel;
edtL92: TEdit;
edtQ: TEdit;
edtL98: TEdit;
edtKap: TEdit;
edtKapBank: TEdit;
GroupBox1: TGroupBox;
Label6: TLabel;
Label7: TLabel;
Label8: TLabel;
edtL1: TEdit;
edtXn1: TEdit;
edtR1: TEdit;
GroupBox2: TGroupBox;
Label9: TLabel;
Label10: TLabel;
Label11: TLabel;
edtL2: TEdit;
edtXn2: TEdit;
edtR2: TEdit;
Label12: TLabel;
Label13: TLabel;
Label14: TLabel;

```

Label15: TLabel;
Label16: TLabel;
Label17: TLabel;
fgData: TStringGrid;
Label18: TLabel;
edtPayMethod: TEdit;
Label19: TLabel;
Label20: TLabel;
edtQR: TEdit;
Label21: TLabel;
Label22: TLabel;
edtTotalLoad92: TEdit;
procedure btnHitungClick(Sender: TObject);
procedure btnCloseClick(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

var
  frmHasil: TfrmHasil;

implementation

uses uHitung;

{$R *.dfm}

procedure TfrmHasil.btnHitungClick(Sender: TObject);
var Q1,Q2,dQ,rS,Sa,f,TotalLoad:double;
    L,Xn,R,Q,NetIncome,SusutAlat,
    KasBlmPajak,Pajak,KasPajak,Payback:double;
begin
  DayaReaktif(Q1,Q2,dQ,rS,Sa);
  TotalLoad:=70.1/0.92;
  edtTotalLoad92.Text:=FormatFloat('#,##0.000',TotalLoad);
  edtL92.Text:=FormatFloat('#,##0.000',Q1);
  edtL98.Text:=FormatFloat('#,##0.000',Q2);
  edtQ.Text:=FormatFloat('#,##0.000',abs(dQ));
  edtKap.Text:=FormatFloat('#,##0.000',rS);
  edtQR.Text:=FormatFloat('#,##0',Sa);
  //edtEff.Text:=FormatFloat('#,##0.00',(TotalLoad-72)/76.2*100);

```

```

Sa:=HitungQc(Sa);
edtKapBank.Text:=FormatFloat('#,##0.000',Sa*1000000);;
f:=250;
Q:=7.5;
HitungLXnR(L,Xn,R,f,Q);
edtL1.Text:=FormatFloat('#,##0.000',L);
edtXn1.Text:=FormatFloat('#,##0.000',Xn);
edtR1.Text:=FormatFloat('#,##0.000',R);
f:=350;
Q:=5.5;
HitungLXnR(L,Xn,R,f,Q);
edtL2.Text:=FormatFloat('#,##0.000',L);
edtXn2.Text:=FormatFloat('#,##0.000',Xn);
edtR2.Text:=FormatFloat('#,##0.000',R);
HitungEconomi(NetIncome,SusutAlat,KasBlmPajak,Pajak,KasPajak,Payback);
fgData.Cells[0,0]:='No';
fgData.Cells[1,0]:='Uraian';
fgData.Cells[2,0]:='Tahun 1 (Rp)';
fgData.Cells[3,0]:='Tahun 2 (Rp)';
fgData.Cells[4,0]:='Tahun 3 (Rp)';
fgData.Cells[0,1]:='1';
fgData.Cells[0,2]:='2';
fgData.Cells[0,3]:='3';
fgData.Cells[0,4]:='4';
fgData.Cells[0,5]:='5';
fgData.Cells[0,6]:='6';
fgData.Cells[1,1]:='Pengeluaran';
fgData.Cells[1,2]:='Net Income';
fgData.Cells[1,3]:='Penyusutan';
fgData.Cells[1,4]:='Kas belum kena Pajak';
fgData.Cells[1,5]:='Pajak';
fgData.Cells[1,6]:='Kas kena Pajak';
fgData.Cells[2,1]:='0.00';
fgData.Cells[2,2]:=FormatFloat('#,##0.00',NetIncome);
fgData.Cells[2,3]:=FormatFloat('#,##0.00',SusutAlat);
fgData.Cells[2,4]:=FormatFloat('#,##0.00',KasBlmPajak);
fgData.Cells[2,5]:=FormatFloat('#,##0.00',Pajak);
fgData.Cells[2,6]:=FormatFloat('#,##0.00',KasPajak);
fgData.Cells[3,1]:='0.00';
fgData.Cells[3,2]:=FormatFloat('#,##0.00',NetIncome);
fgData.Cells[3,3]:=FormatFloat('#,##0.00',SusutAlat);
fgData.Cells[3,4]:=FormatFloat('#,##0.00',KasBlmPajak);
fgData.Cells[3,5]:=FormatFloat('#,##0.00',Pajak);

```

```
fgData.Cells[3,6]:=FormatFloat('#,##0.00',KasPajak);
fgData.Cells[4,1]:='0.00';
fgData.Cells[4,2]:=FormatFloat('#,##0.00',NetIncome);
fgData.Cells[4,3]:=FormatFloat('#,##0.00',SusutAlat);
fgData.Cells[4,4]:=FormatFloat('#,##0.00',KasBlmPajak);
fgData.Cells[4,5]:=FormatFloat('#,##0.00',Pajak);
fgData.Cells[4,6]:=FormatFloat('#,##0.00',KasPajak);
fgData.Cells[5,1]:='0.00';
fgData.Cells[5,2]:=FormatFloat('#,##0.00',NetIncome);
fgData.Cells[5,3]:=FormatFloat('#,##0.00',SusutAlat);
fgData.Cells[5,4]:=FormatFloat('#,##0.00',KasBlmPajak);
fgData.Cells[5,5]:=FormatFloat('#,##0.00',Pajak);
fgData.Cells[5,6]:=FormatFloat('#,##0.00',KasPajak);
edtPayMethod.Text:=FormatFloat('#,##0.00',PayBack);
end;
```

```
procedure TfrmHasil.btnCloseClick(Sender: TObject);
begin
  Close;
end;

end.
```

```
unit uHitung;
```

```
interface
```

```
uses Math;
```

```
procedure DayaReaktif(var Q1,Q2,dQ,rS,Sa:double);  
function HitungQc(Sa:double):double;  
procedure HitungLXnR(var rL,rXn,rR,rF,rQ:double);  
procedure HitungEconomi(var rNetIncome,rSusutAlat,  
    rKasBlmPajak,rPajak,rKasPajak,rPayback:double);
```

```
implementation
```

```
procedure DayaReaktif(var Q1,Q2,dQ,rS,Sa:double);  
var pf,Load,S:double;  
    tmp:integer;  
begin  
    pf:=0.92;  
    Load:=70.1;  
    S:=Load/pf;  
    Q1:=S*sin(arccos(0.92));  
    Q2:=S*sin(arccos(0.98));  
    dQ:=Q1-Q2;  
    rS:=sqrt(sqr(Load)+sqr(dQ));  
    Sa:=abs(dQ)/5;  
    Sa:=Sa*1000;  
end;
```

```
function HitungQc(Sa:double):double;  
var V,phi,f:double;  
begin  
    phi:=4*arctan(1);  
    f:=50;  
    V:=6300;  
    result:=(Sa*1000)/(sqr(V)*2*phi*f);  
end;
```

```
procedure HitungLXnR(var rL,rXn,rR,rF,rQ:double);  
var phi:double;  
    tmp:integer;  
begin  
    phi:=4*arctan(1);
```

```

rL:=1/(4*sqr(phi)*sqr(rF)*235.781*0.000001);
rL:=rL*1000;
tmp:=round(rL);
rXn:=1/(2*phi*rF*235.781*0.000001);
rR:=rXn*rQ;
tmp:=round(rR);

end;

procedure HitungEconomi(var rNetIncome,rSusutAlat,
    rKasBlmPajak,rPajak,rKasPajak,rPayback:double);
var Snew,Sold,Sel,IncomeTh:double;
begin
    Sold:=70.1/0.92;
    Snew:=71.62565;
    Sel:=Sold-Snew;
    IncomeTh:=Sel*1000*27000*12;
    rNetIncome:=IncomeTh;
    rSusutAlat:=2800000000/15;
    rKasBlmPajak:=rNetIncome-rSusutAlat;
    rPajak:=(rNetIncome-rSusutAlat)*0.15;
    rKasPajak:=rKasBlmPajak-rPajak;
    rPayback:=2800000000/(rKasPajak);
end;

end.

```