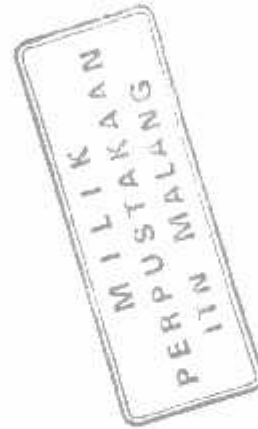


SKRIPSI

ANALISA PERBAIKAN KUALITAS DAYA DENGAN PEMASANGAN KAPASITOR DAN FILTER HARMONIK DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE ETAP POWER STATION DI PT. KTI PROBOLINGGO



Disusun Oleh :

IIM

99.12.229/P

**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
OKTOBER 2009**

LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISA PERBAIKAN KUALITAS DAYA
DENGAN PEMASANGAN KAPASITOR DAN FILTER HARMONIK
DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE ETAP POWER STATION
DI PT. KTI PROBOLINGGO**

SKRIPSI

*Disusun dan Diajukan Untuk Melengkapi dan
Memenuhi Syarat-Syarat Guna Mencapai Gelar Sarjana Teknik*

Disusun Oleh:

**IIM
99.12.229/P**

**Diperiksa dan disetujui
Dosen Pembimbing**


**Ir. Choirul Saleh, MT
NIP.Y. 1018800190**

**Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Elektro**


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

**KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
OKTOBER 2009**

DAFTAR ISI

Lembar persetujuan.....	i
Abstraksi	ii
Kata Pengantar.....	iii
Daftar Isi	iv
Daftar Gambar	viii
Daftar Grafik.....	x
Daftar Tabel.....	xi

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Pembatasan Masalah.....	3
1.5 Metodologi Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan	4

BAB II DASAR TEORI

2.1 Sistem Tenaga Listrik.....	6
2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik	6
2.3 Struktur Jaringan Distribusi Tenaga Listrik.....	7
2.3.1 Sistem Distribusi Primer.....	8

2.3.2 Sistem Distribusi Sekunder.....	8
2.3.2.1 Struktur Jaringan Radial	8
2.3.2.2 Struktur Jaringan Loop (Lingkaran)	9
2.3.2.3 Struktur Jaringan Grid atau Mesh (Ayaman).....	10
2.4 Daya dalam Sistem Tenaga Listrik.....	11
2.4.1 Daya Nyata (Real Power)	11
2.4.2 Daya Reaktif (Reactive Power)	12
2.4.3 Daya Semu (Apparent Power)	12
2.5 Faktor Daya.....	13
2.6 Kapasitor Daya.....	14
2.6.1 Kapasitor Seri dan Kapasitor Shunt.....	14
2.6.2 Pemasangan Kapasitor Shunt.....	15
2.7 Faktor-Faktor Pemilihan Kapasitor Seri dan Kapasitor Shunt	16
2.8 Pengertian Harmonisa	17
2.9 Sumber Harmonisa.....	19
2.9.1 Konverter	19
2.9.2 Tanur Busur Listrik (Electric Arc Furnace).....	19
2.9.3 Transformator	20
2.9.4 Mesin-Mesin Berputar	20
2.10 Pengaruh Harmonisa	21
2.10.1 Pengaruh Harmonisa pada Komponen Peralatan Listrik	21
2.10.2 Pengaruh Harmonisa pada Motor	23
2.10.3 Pengaruh Harmonisa pada Sistem Telekomunikasi.....	24

2.10.4 Pengaruh Harmonisa pada Sistem Tenaga.....	25
2.11 Standart Harmonisa.....	26
2.12 Indeks Harmonisa	27
2.12.1 Total Harmonic Distortion (THD).....	27
2.13 Deret Fourier untuk Analisa Harmonisa.....	27
2.14 Filter Harmonisa	29
2.14.1 Tipe Filter.....	30
2.14.2 Jenis-Jenis Filter Pasif.....	30

BAB III DATA PARAMETER DAN SOLUSI PERBAIKAN

3.1 Kondisi Awal PT.KTI Probolinggo	33
3.2 Data Referensi PT.KTI Probolinggo.....	34
3.2.1 Data Parameter PT.KTI Probolinggo.....	34
3.2.2 Data Saluran Sistem Tenaga Listrik PT.KTI Probolinggo	34
3.2.3 Data Pembebanan Sistem Tenaga Listrik PT.KTI Probolinggo	35
3.3 Pemodelan Filter Pasif.....	35
3.3.1 Komponen Filter Pasif	36
3.3.2 Nilai Komponen Penalaan Tunggal.....	37
3.3.3 Daya Reaktif (VAR) Nyata pada Filter Pasif	39
3.3.4 Faktor Kualitas (Q) pada Filter Pasif.....	41
3.4 Solusi Perbaikan dengan ETAP POWER STATION.....	42
3.5 Analisa Aliran Daya.....	44
3.6 Algoritma Perhitungan Aliran Daya dengan Metode Newton Rhapson.....	47

3.7 Algoritma Pemecahan Masalah	50
BAB IV HASIL DAN ANALISA DATA	
4.1 Sebelum Pemasangan Harmonic Filter.....	52
4.2 Sesudah Pemasangan Harmonic Filter.....	57
4.3 Hasil dan Analisa Hasil Perbandingan Sebelum Pemasangan Kompensasi Harmonik Filter dan Sesudah Pemasangan Kompensasi Harmonik Filter....	63
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	69
5.2 Saran	69
DAFTAR PUSTAKA.....	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skema Penyaluran Sistem Distribusi Tenaga Listrik.....	7
Gambar 2.2	Jaringan Tegangan Menengah (JTM), Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dan Sambungan Rumah ke Pelanggan.....	8
Gambar 2.3	Bentuk Sederhana dari Sistem Distribusi Radial.....	9
Gambar 2.4	Jaringan Tegangan Menengah Struktur Loop yang Dipasok dari Satu Sumber.....	10
Gambar 2.5	Jaringan Tegangan Menengah Struktur Mesh	11
Gambar 2.6	Segitiga Daya	13
Gambar 2.7.a	Bentuk Gelombang Frekuensi Dasar	17
Gambar 2.7.b	Bentuk Gelombang Frekuensi Dasar dan Frekuensi Harmonisa ..	18
Gambar 2.7.c	Bentuk Gelombang Resultan dari Frekuensi Dasar dan Harmonisanya	18
Gambar 2.8	Perbandingan Sinyal Listrik Sinusoidal terhadap Sinyal Listrik Berharmonisa	23
Gambar 2.9	Rangkaian Distribusi yang Sederhana	25
Gambar 2.10	Pemasangan Filter Harmonisa	29
Gambar 2.11	Jenis-Jenis Filter Pasif yang Umum.....	31
Gambar 3.1	Single Line PT.KTI Probolinggo.....	33
Gambar 3.2	Komponen Filter Pasif.....	40
Gambar 3.3	Tampilan Modul Utama.....	44
Gambar 3.4	Flowchart Aliran Daya Newton Rhapson.....	49

Gambar 3.5	Flowchart Analisa menggunakan Software ETAP POWER STATION	51
Gambar 4.1	Single Line PT.KTI Probolinggo Sebelum Pemasangan Harmonic Filter	52
Gambar 4.2	Single Line PT. KTI Probolinggo Setelah Pemasangan Harmonic Filter	57

DAFTAR GRAFIK

Grafik 1	Skema Penyaluran Sistem Distribusi Tenaga Listrik.....	6
Grafik 4.1	Perbandingan Daya Aktif dengan menggunakan Kompensasi Kapasitor dan Kompensasi Harmonic filter.....	59
Grafik 4.2	Perbandingan Faktor Daya dengan menggunakan Kompensasi Kapasitor dan Harmonic Filter.....	60
Grafik 4.3	Perbandingan Voltage Individual Harmonic Distorsion (VIHD) Sebelum dan Sesudah Kompensasi Capasitor dan Harmonic Filter	66
Grafik 4.4	Perbandingan Voltage Total Harmonic Distorsion (VTHD) Kompensasi Kapasitor dan Kompensasi Harmonic Filter.....	68

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kapasitor Seri dan Kapasitor Shunt.....	16
Tabel 2.2	Voltage Distortion Limit.....	26
Tabel 2.3	Standart untuk Arus Harmonisa.....	26
Tabel 3.1	Parameter PT.KTI Probolinggo	34
Tabel 3.2	Ukuran dan Impedansi Kabel/Konduktor	34
Tabel 3.3	Pembagian Beban pada PT.KTI Probolinggo.....	35
Tabel 4.1	Hasil Bus Loading menggunakan ETAP Power Station Sebelum Pemasangan Filter Harmonic.....	53
Tabel 4.2	Voltage Individual Harmonic Distorsion (VIHD) Report Sebelum Pemasangan Filter Harmonisa	54
Tabel 4.3	Voltage Total Harmonic Distorsion (VTHD) Report Sebelum Pemasangan Filter Harmonisa	55
Tabel 4.4	Total Generation, Loading and Demand menggunakan ETAP Power Station Sebelum Pemasangan Filter Harmonisa	56
Tabel 4.5	Hasil Bus Loading Menggunakan ETAP Power Station dengan Kompensasi Harmonic filter.....	58
Tabel 4.6	Voltage Individual Harmonic Distorsion (VIHD) Report Sesudah Filter Harmonisa	61
Tabel 4.7	Voltage Total Harmonic Distorsion (VTHD) Report Sesudah Menggunakan Filter Harmonisa	62

Tabel 4.8	Hasil Total Generation, Loading and Demand menggunakan ETAP Power Station dengan Kompensasi Penempatan Harmonic filter ..63
Tabel 4.9	Perbandingan Aliran Daya Aktif dan Reaktif Kompensasi Capacitor dan Kompensasi Harmonic filter63
Tabel 4.10	Perbandingan Voltage Individual Harmonic Distorsion (VIHD) Sebelum dan Sesudah Pemasangan Kompensasi Capacitor dan Harmonic Filter.....65
Tabel 4.11	Perbandingan Voltage Total Harmonic Distorsion (VTHD) Sebelum dan Sesudah Kompensasi Capacitor dan Harmonic Filter.....67

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Salah satu dari kebutuhan yang utama dalam sistem tenaga adalah untuk menjaga tegangan tidak melewati batas operasi yang ditetapkan pada peralatan. Perubahan apapun pada bentuk sistem atau permintaan daya dapat mengakibatkan tingginya atau rendahnya tegangan di dalam sistem.

Dengan semakin berkembangnya pemakaian teknologi elektronika dalam sistem tenaga maka semakin banyak pula peralatan-peralatan non linier yang dipergunakan di industri. Peralatan non linier ini dapat mempengaruhi kualitas daya di suatu industri, karena beban non linier ini merupakan sumber utama dari gangguan harmonisa. Arus harmonisa dapat dibangkitkan oleh pemakaian peralatan elektronik, misalnya konverter, inverter, dan beban non linier lainnya serta dapat menurunkan asupan daya pada beban.

Sistem kelistrikan PT. Kutai Timber Indonesia Probolinggo disuplai oleh PLN sebesar 20 KV. Terpasang kapasitor dengan daya total di MDP P2.1 sebesar 1265.4 Kvar, sedangkan di MDP P2.2 sebesar 742.4 Kvar. Kualitas daya listrik yang baik sangat diperlukan di PT. KTI Probolinggo, karena hal tersebut akan sangat mendukung kelancaran proses produksi. Tetapi, karena banyaknya motor-motor dan kontrol motor yang digunakan sehingga sangat berpotensi menyebabkan turunnya faktor daya ($\cos \phi$) dan timbulnya harmonisa. Turunnya asupan daya ke beban dapat mempengaruhi kerja suatu sistem, sehingga sistem tersebut tidak dapat

bekerja secara maksimal, selain itu juga berpotensi terjadinya gangguan harmonisa, ini harus benar-benar diperhatikan karena akan mempengaruhi produktifitas dan kualitas hasil produksi. Pada sistem yang ada di PT. KTI Probolinggo terdapat beban-beban non linier, maka dapat dipastikan sistem juga mengandung harmonisa. Untuk meningkatkan kualitas daya pada sistem, maka harmonisa ini dapat dibatasi dengan menggunakan pemasangan harmonik filter. Dengan pemasangan harmonik filter pada sistem kelistrikan PT. KTI Probolinggo diharapkan harmonisa pada sistem tersebut dapat direduksi tidak melebihi *limit* yang telah ditentukan, yaitu sebesar $\leq 5.00 \%$.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan hal diatas maka timbul sebuah pokok permasalahan yaitu:

- a. Bagaimana VTHD pada sistem kelistrikan di PT. KTI Probolinggo sebelum pemasangan harmonik filter dan sesudah pemasangan harmonik filter.
- b. Apakah dengan pemasangan kapasitor dan harmonik filter dapat menaikkan faktor daya?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan permasalahan yang dikemukakan di atas, maka tujuan dari penelitian dengan menggunakan software ETAP Power Station ini adalah untuk menganalisa pemasangan kapasitor dan filter harmonisa untuk meminimalisasi distorsi tegangan harmonik dan pemasangan capasitor untuk pengontrolan besar

kecilnya VAR sesuai beban yang bekerja pada saat itu. Diharapkan dengan pemasangan filter harmonisa dan capasitor akan dapat memaksimalkan asupan daya ke beban serta dapat mereduksi harmonisa yang dihasilkan oleh kontrol-kontrol motor dan beban-beban yang tidak linier lainnya, sehingga *Total Harmonic Distortion (THD)* pada tegangan tidak melebihi batas yang diijinkan yaitu sebesar $\leq 5\%$ (IEEE Std. 519-1992).

1.4. Pembatasan Masalah

Agar permasalahan yang dibahas tidak terlalu meluas, maka ruang lingkup pembahasan adalah sebagai berikut:

1. Pehitungan dan simulasi dilakukan dengan ETAP POWER STATION
2. Sistem kelistrikan yang dibahas adalah sistem kelistrikan pada PT. KUTAI TIMBER INDONESIA PROBOLINGGO.
3. Analisa dilakukan dengan menganggap sistem dalam keadaan normal.
4. Analisa dilakukan hanya sebatas pengkajian beban yang telah ada.
5. Analisa dilakukan hanya membahas tentang THD tegangan.
6. Analisa tidak membahas masalah ekonomi.

1.5. Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Studi literatur berupa pengumpulan dan pembahasan referensi yang berkaitan dengan pokok pembahasan masalah ini, sehingga membantu dalam memahami dasar-dasar dari peralatan yang digunakan dalam sistem dan

membantu dalam memahami prinsip dan karakteristik setiap parameter elektronika daya yang digunakan.

2. Pengumpulan data lapangan sebagai objek penelitian
3. Melakukan analisis berdasarkan hasil simulasi program ETAP POWER STATION, yaitu; Analisis distorsi tegangan dan arus harmonic serta Analisis factor daya ($\cos \phi$)
4. Mengambil kesimpulan dari perbandingan sistem sebelum dan sesudah pemasangan filter harmonisa.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika dari pembahasan didalam skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, tujuan, perumusan masalah, batasan masalah, metode penelitian yang digunakan, serta sistematika penulisan.

BAB II : DASAR TEORI

Pada bab ini dibahas masalah sistem jaringan distribusi, daya dalam sistem tenaga listrik dan faktor daya, masalah harmonisa, sumber harmonisa, pengaruh harmonisa, filter harmonisa, serta komponen harmonisa.

BAB III : DATA PARAMETER DAN SOLUSI PERBAIKAN

Pada bab ini berisi data parameter, pemodelan filter, dan metode yang digunakan.

BAB IV : HASIL DAN ANALISA HASIL

Pada bab ini berisi data dan analisa hasil simulasi dari ETAP Power Station.

BAB V : PENUTUP

Pada bab ini berisi kesimpulan dan saran yang dapat digunakan sebagai pertimbangan untuk pengembangan penulisan selanjutnya.

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Sistem Tenaga Listrik

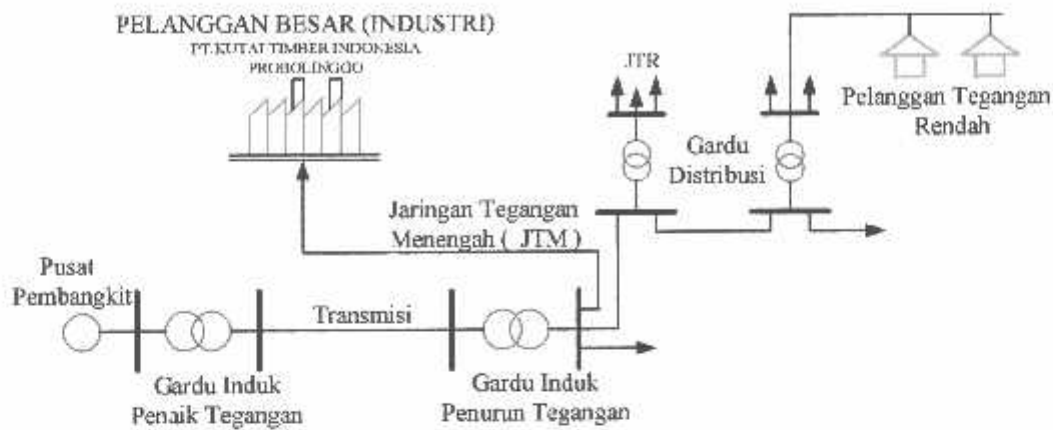
Sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem yang terpadu yang terbentuk oleh hubungan-hubungan peralatan dan komponen komponen listrik. Sistem tenaga listrik ini mempunyai peranan utama untuk menyalurkan energi listrik yang dibangkitkan oleh generator ke konsumen yang membutuhkan energi listrik tersebut.

Secara garis besar suatu sistem tenaga listrik dapat dikelompokkan menjadi tiga bagian sub sistem yaitu :

1. Sistem pembangkitan : berperan sebagai sumber daya tenaga listrik dan disebut juga sebagai prodaktor energi.
2. Sistem transmisi atau penyalur : berfungsi sebagai penyalur daya listrik dalam skala besar dari pembangkit ke bagian sistem distribusi.
3. Sistem distribusi dan beban : berfungsi sebagai distributor energi ke konsumen yang memerlukan energi tersebut.

2.2. Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Jaringan distribusi berada pada akhir dari sistem tenaga listrik, perannya mendistribusikan tenaga listrik dari gardu induk atau pembangkit tenaga ke konsumen melalui gardu distribusi.



Gambar 2.1
Skema Penyaluran Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Dalam pendistribusian tenaga listrik ke konsumen, tegangan yang digunakan bervariasi tergantung pada jenis konsumen yang membutuhkan. Dengan demikian maka sistem distribusi tenaga listrik dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian sistem yaitu :

1. Sistem distribusi primer
2. Sistem distribusi sekunder

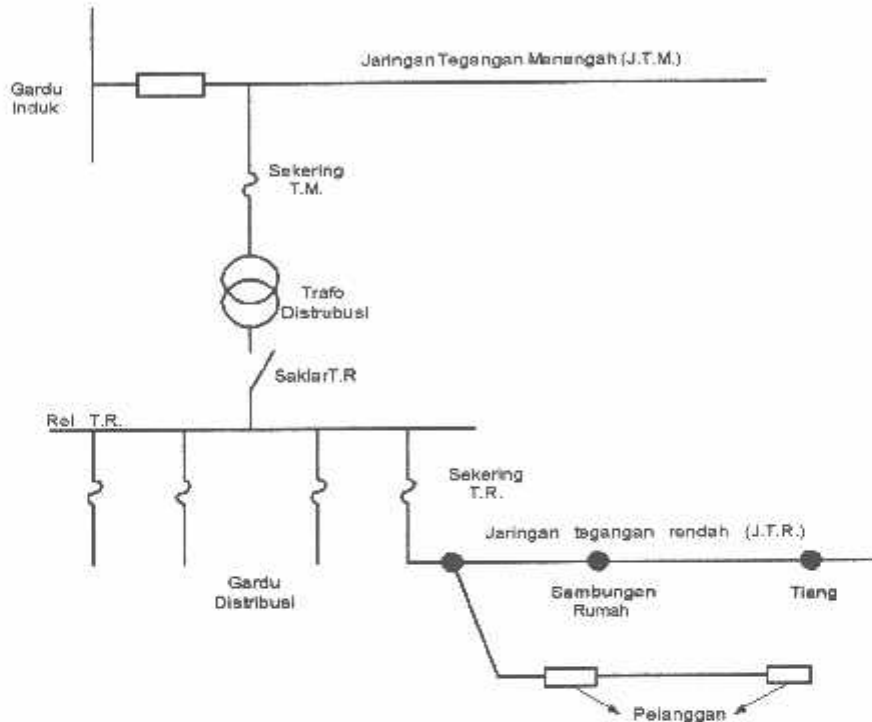
Pengklasifikasian sistem distribusi tenaga listrik menjadi dua ini berdasarkan tingkat tegangan distribusinya.

2.3. Struktur Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

Dalam rangka mengantisipasi peningkatan kebutuhan energi listrik pada masa tertentu, maka struktur jaringan harus dipertimbangkan terlebih dahulu sehingga untuk ekspansi sistem di masa yang akan datang tidak menjadi masalah.

2.3.1. Sistem Distribusi Primer

Jaringan Distribusi Primer merupakan sistem tenaga listrik yang menyalurkan energi listrik antara Gardu Induk Distribusi sampai ke Gardu Distribusi dengan tegangan kerja 20 kV atau 6 kV.



Gambar 2.2
Jaringan Tegangan Menengah (JTM), Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dan Sambungan Rumah ke Pelanggan

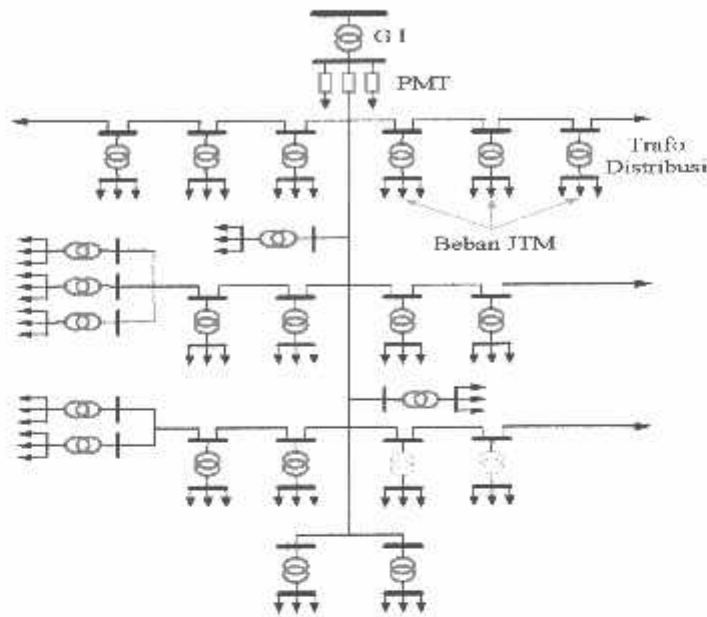
2.3.2. Sistem Distribusi Sekunder

Secara garis besar jaringan distribusi primer diklasifikasikan menjadi :

2.3.2.1. Struktur Jaringan Radial

Bentuk jaringan ini merupakan bentuk dasar yang paling sederhana dan paling banyak digunakan. Sistem ini dikatakan radial karena dari kenyataan bahwa jaringan ini ditarik secara radial dari GI ke pusat – pusat beban / konsumen

yang dilayaninya. Sistem ini terdiri dari saluran utama (*tunk line*) dan saluran cabang (*lateral*).



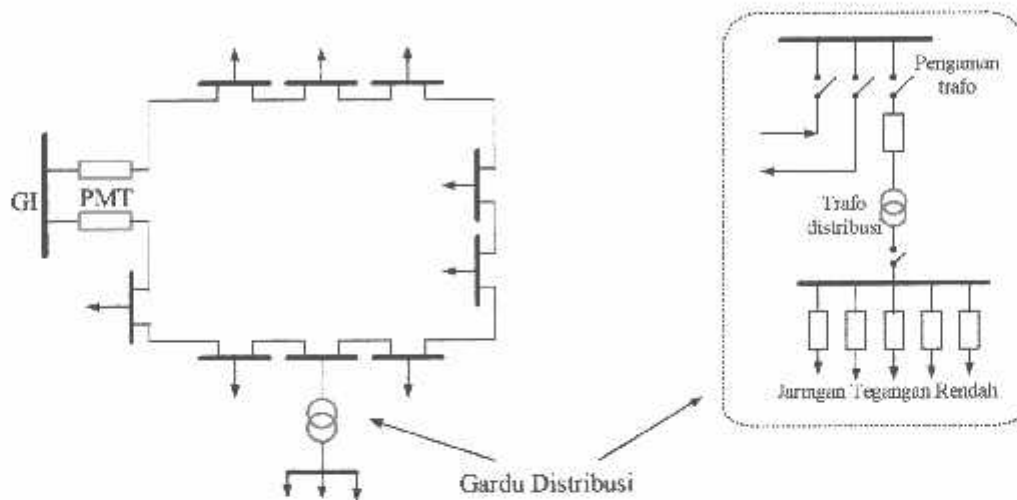
Gambar 2.3
Bentuk Sederhana dari Sistem Distribusi Radial

Pelayanan untuk suatu daerah beban tertentu dilaksanakan dengan memasang transformator di sembarang titik pada jaringan sedekat mungkin dengan beban yang dilayani. Untuk daerah beban yang menyimpang jauh dari saluran utama maupun saluran cabang, maka akan ditarik lagi saluran tambahan yang dicabangkan pada saluran tersebut.

2.3.2.2. Struktur Jaringan *Loop* (Lingkaran)

Struktur jaringan loop merupakan gabungan dari dua struktur jaringan radial. Dimana pada ujung kedua jaringan dipasang sebuah pemutus (CB) atau pemisah (DS). Pada saat terjadi gangguan, setelah gangguan dapat diisolir, maka pemutus

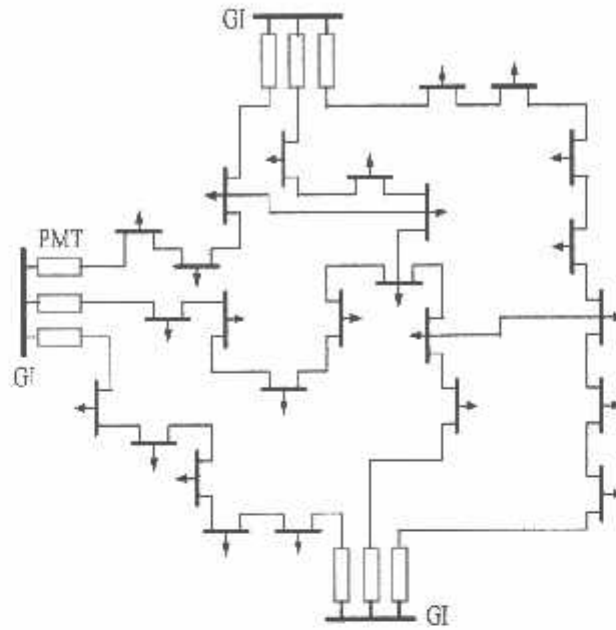
atau pemisah ditutup sehingga aliran daya listrik ke bagian yang tidak terkena gangguan tidak terhenti. Struktur jaringan *loop* mempunyai keandalan yang baik, sehingga biaya pembangunannya lebih mahal dibandingkan stuktur jaringan radial.



Gambar 2.4
Jaringan Tegangan Menengah Struktur *Loop*
yang dipasok dari satu sumber

2.3.2.3. Struktur jaringan Grid atau *Mesh* (Anyaman)

Struktur jaringan ini merupakan kombinasi antara struktur jaringan radial dengan struktur jaringan *loop*. Titik beban memiliki lebih banyak alternatif penyulang, sehingga bila salah satu penyulang terganggu maka dengan segera dapat digantikan oleh penyulang yang lain.



Gambar 2.5
Jaringan Tegangan Menengah Struktur Mesh

2.4 Daya dalam Sistem Tenaga Listrik

Dalam sistem tenaga listrik, pembangkit-pembangkit tenaga listrik harus mampu menyediakan tenaga listrik kepada pelanggan sesuai dengan permintaan beban listrik yang ada, dan hal yang harus diperhatikan adalah sistem yang tetap (konstan). Dalam hal ini tegangan dan frekuensi harus tetap konstan, karena berhubungan dengan daya.

2.4.1. Daya Nyata (*Real Power*)

Secara umum daya aktif dinyatakan oleh persamaan :

$$P = [V][I] \cos \phi \dots\dots\dots(2.1)$$

$$P = \sqrt{3} |V_{juga-juga}| |I_{juga-juga}| \cos \theta \dots\dots\dots(2.2)$$

2.4.2. Daya Reaktif (*Reactive Power*)

Daya reaktif adalah daya yang timbul karena adanya pembentukan medan magnet pada beban-beban induktif (VAR).

Persamaan daya reaktif adalah :

$$Q = [V] [I] \sin \phi \dots\dots\dots (2.3)$$

$$Q = \sqrt{3} |V_{jaka-jala}| |I_{jaka-jala}| \sin \theta \dots\dots\dots (2.4)$$

Dua macam daya reaktif yaitu : daya reaktif induktif dan daya reaktif kapasitif, dimana keduanya memiliki tanda yang berlawanan. Daya reaktif kapasitif adalah daya yang dibutuhkan oleh kapasitor yang tidak menghasilkan kerja, tetapi tersimpan dalam bentuk energi magnetis atau energi kapasitif.

Daya reaktif induktif adalah daya listrik yang dibutuhkan untuk menghasilkan medan magnet yang dibutuhkan oleh alat-alat seperti motor induksi, transformator dan sebagainya.

2.4.3. Daya Semu (*Apparent Power*)

Daya semu merupakan penjumlahan secara vektoris antara daya aktif dan daya reaktif.

$$S = |V| |I| \dots\dots\dots (2.5)$$

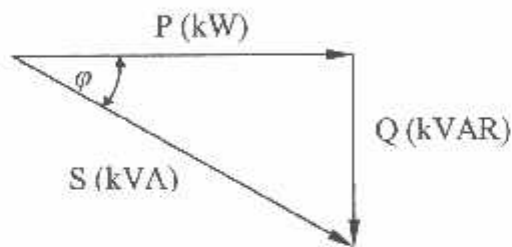
$$S = \sqrt{3} |V| |I| \dots\dots\dots (2.6)$$

2.5. Faktor Daya

Faktor daya pada dasarnya didefinisikan sebagai perbandingan antara daya nyata dan daya semu, dinyatakan oleh persamaan:

$$\text{Faktor Daya} = \frac{\text{Daya Nyata (kW)}}{\text{Daya Semu (kVA)}}$$

Untuk daya sendiri dibentuk oleh dua komponen, daya nyata (P) dan komponen daya reaktif (Q). Hubungan ini dapat digambarkan dalam diagram vektor berikut:



Gambar 2.6
Segitiga Daya

Dengan Faktor Daya:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \frac{kW}{kVA}$$

$$kW = kVA \cos \varphi$$

$$kVAR = kVA \sin \varphi = kW \tan \varphi$$

$$\tan \varphi = \frac{kVAR}{kW}$$

dengan: $\cos \varphi$ = Faktor Daya

P = Daya Nyata (kW)

S = Daya Semu (kVA)

Q = Daya Reaktif (kVAR)

Dalam perhitungan daya, faktor daya memegang peranan yang sangat penting. Faktor daya merupakan ukuran kualitas daya yang dikirim dari sumber menuju beban. Faktor daya bervariasi antara 0 sampai dengan 1. Faktor daya yang baik adalah yang nilainya mendekati satu.

Secara umum faktor daya dirumuskan sebagai berikut :

$$f_{\text{faktor daya}} = \frac{\text{Daya rata-rata}}{(\text{Tegangan rms})(\text{Arus rms})} \dots\dots\dots(2.7)$$

2.6. Kapasitor Daya

Secara sederhana kapasitor terdiri dari dua plat logam yang dipisahkan oleh suatu bahan dielektrik dan kapasitor ini mempunyai sifat menyimpan muatan listrik. Pada beberapa tahun lalu kebanyakan kapasitor terbuat dari dua buah plat aluminium murni yang dipisahkan oleh tiga atau lebih lapisan kertas yang dilapisi oleh bahan kimia. Kapasitor daya telah mengalami perkembangan yang begitu cepat selama 30 tahun terakhir. Karena bahan dielektrik yang digunakan lebih efisien serta teknologi pembuatan kapasitor lebih baik.

2.6.1. Kapasitor Seri dan Kapasitor Shunt

Fungsi utama dari pemakaian kapasitor seri atau kapasitor shunt, dalam sistem tenaga adalah untuk membangkitkan daya reaktif, untuk memperbaiki faktor daya dan tegangan, sehingga meningkatkan kapasitas sistem dan mengurangi rugi daya jaringan..

a. Kapasitor Seri

Kapasitor seri adalah kapasitor yang dihubungkan seri dengan impedansi saluran yang bersangkutan, pemakaiannya amat dibatasi pada saluran distribusi, karena peralatan pengamannya cukup rumit. Jadi secara umum dikatakan biaya untuk pemasangan kapasitor seri lebih mahal dari pada biaya pemasangan kapasitor *shunt* (paralel).

b. Kapasitor *Shunt* (paralel)

Kapasitor *shunt* adalah kapasitor yang dihubungkan paralel dengan saluran dan secara intensif digunakan pada saluran distribusi. Kapasitor *shunt* mencatu daya reaktif atau arus yang menentang komponen arus beban induktif. Dengan dipasangnya kapasitor *shunt* pada jaringan distribusi akan dapat memperbaiki profil tegangan, memperbaiki factor daya dan menaikkan kapasitas system serta dapat mengurangi rugi-rugi saluran.

2.6.2 Pemasangan Kapasitor *Shunt*

Kapasitor *shunt* adalah kapasitor yang dihubungkan paralel dengan saluran dan secara intensif digunakan pada sistem distribusi. Kapasitor *shunt* mencatu daya reaktif atau arus yang menentang komponen arus beban induktif. Dengan dipasangnya kapasitor *shunt* pada jaringan distribusi akan dapat memperbaiki profil tegangan, memperbaiki faktor daya, dan menaikkan kapasitas sistem serta dapat mengurangi rugi saluran.

Ada dua cara dalam pemakaian kapasitor *shunt*:

a. Kapasitor Tetap

Adalah kapasitor untuk kompensasi daya reaktif yang kapasitasnya tetap dan selalu terpasang di jaringan. Penggunaan kapasitor jenis ini harus memperhatikan kenaikan tegangan yang terjadi pada saat beban ringan agar tidak melebihi batas tegangan yang ditetapkan.

b. Kapasitor Saklar

Adalah kapasitor untuk kompensasi daya reaktif yang dapat di hubungkan dan dilepaskan dari jaringan dan dapat diatur besar kapasitasnya sesuai dengan kondisi beban.

2.7. Faktor-faktor pemilihan kapasitor seri dan kapasitor shunt

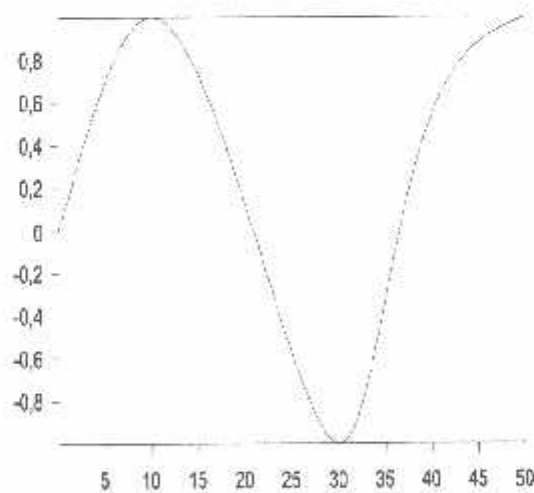
Faktor yang mempengaruhi pemilihan kapasitor *shunt* dan seri ditabelkan sebagai berikut :

Tabel 2.1
Kapasitor Seri dan Kapasitor *Shunt*

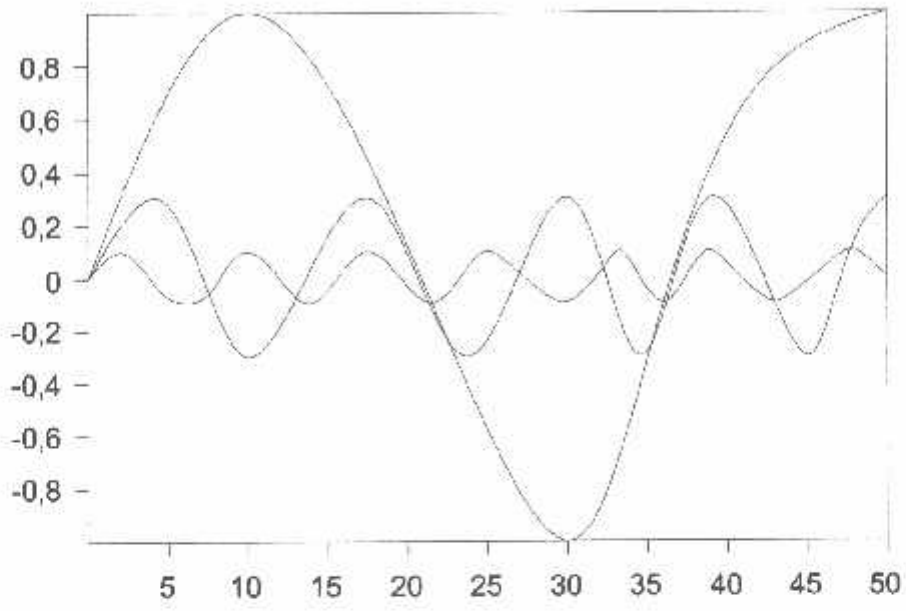
No	Tujuan	Kapasitor	
		Seri	Shunt
1	Memperbaiki faktor daya	Kedua	Pertama
2	Memperbaiki tingkat tegangan pada sistem saluran udara dengan faktor daya normal dan rendah	Pertama	Kedua
3	Memperbaiki tingkat tegangan pada sistem saluran udara dengan faktor daya yang tinggi	Tidak dipakai	Pertama
4	Memperbaiki tingkat tegangan pada sistem saluran bawah tanah dengan faktor daya tinggi	Tidak dipakai	Tidak dipakai
5	Memperbaiki tingkat tegangan pada sistem saluran bawah tanah dengan faktor daya normal dan rendah	Pertama	Tidak dipakai
6	Mengurangi rugi-rugi daya dan rugi-rugi energi pada saluran	Kedua	Pertama
7	Mengurangi fluktuasi tegangan	Pertama	Tidak dipakai

2.8. Pengertian harmonisa

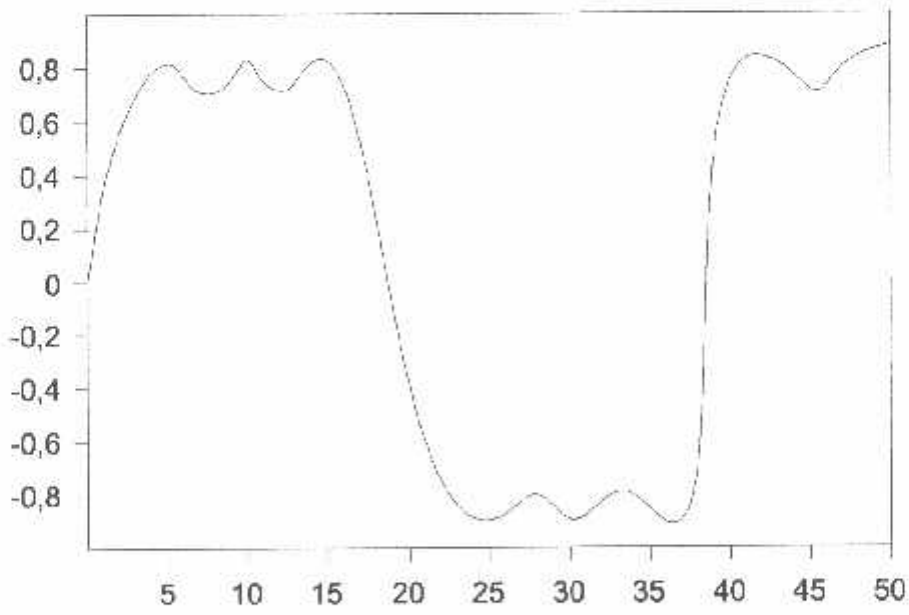
Harmonisa adalah gangguan yang terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik akibat terjadi distorsi gelombang arus dan tegangan. Pada dasarnya, harmonisa adalah gejala pembentukan gelombang-gelombang dengan frekuensi berbeda yang merupakan perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya. Hal ini disebut frekuensi harmonik yang timbul pada bentuk gelombang aslinya seperti pada gambar 2.7.a sedangkan bilangan bulat pengali frekuensi dasar disebut angka urutan harmonik. Misalnya, frekuensi dasar suatu sistem tenaga listrik adalah 50 Hz, maka harmonik keduanya adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 100 Hz. Harmonik ketiga adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 150 Hz dan seterusnya. Gelombang-gelombang ini kemudian menumpang pada gelombang aslinya seperti gambar 2.7.b sehingga terbentuk gelombang cacat yang merupakan jumlah resultan antara gelombang murni sesaat dengan gelombang harmonisanya seperti tampak pada gambar 2.7.c.



Gambar 2.7.a
Bentuk gelombang frekuensi dasar



Gambar 2.7.b
Bentuk gelombang frekuensi dasar dan frekuensi harmonisa



Gambar 2.7.c
Bentuk gelombang resultan dari frekuensi dasar dan harmonisanya

2.9 Sumber Harmonisa

2.9.1. Konverter

Kebanyakan beban yang menimbulkan cacat gelombang (deforming loads) adalah beban-beban yang mengandung konverter (static converter).

Beberapa contoh yang umum antara lain :

- a. Lampu flourescent, dimmer
- b. Komputer
- c. Perangkat elektronik untuk rumah tangga (TV, microwave, pemanas)
- d. Variable speed drive (VSD)
- e. Charger baterai
- f. Uninterruptible power supply (UPS)

2.9.2. Tanur busur listrik (Electric arc furnace)

Tanur busur listrik berfungsi untuk melebur biji besi dalm industri logam.

Tanur busu listrik adalh elemen beban yang tidak linier dan inilah yang menyebabkan timbulnya arus harmonisa yang cukup besar pada jaringan yang terhubung dengan tanur busur listrik.

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

- a. Distorsi harmonisa
- b. Kedip tegangan (flicker)
- c. Goncangan frekuensi
- d. Ketidakseimbangan tegangan

Busur listrik yang terjadi selama tanur busur listrik beroperasi hampir selalu tidak dalam keadaan stabil. Hal ini disebabkan oleh pengaruh perubahan elektroda, interaksi gaya elektromagnetik busur dan pengaruh riak permukaan biji yang telah melebur.

2.9.3. Transformator

Saturable devices, seperti transformator dan peralatan elektromagnetik lainnya dengan inti besi (steel), termasuk juga motor-motor (mesin-mesin berputar) juga termasuk sumber harmonisa. Harmonisa dibangkitkan oleh karakteristik magnetisasi besi yang non linier.

Dengan distorsi bentuk gelombang terutama disebabkan oleh harmonisa ketiga. Untuk menjaga tegangan suplai agar berbentuk sinusoidal diperlukan jalur khusus untuk arus harmonisa ketiga dan biasanya didapat dengan menggunakan belitan hubungan delta. Untuk alasan ekonomis, transformator biasanya dirancang dengan memakai beban inti yang memiliki sifat-sifat magnetis yang baik.

2.9.4. Mesin-mesin berputar

Generator sinkron dan motor induksi secara umum menghasilkan sejumlah harmonisa. Pada generator sinkron, harmonisa disebabkan oleh kejenuhan dan distribusi fluks yang tidak sinusoidal. Sehingga terbangkit emf yang tidak sinusoidal yang akan menghasilkan arus harmonisa bila dibebani.

2.10. Pengaruh harmonisa

2.10.1. Pengaruh harmonisa pada komponen peralatan listrik

Harmonisa yang lebih banyak disebabkan karena adanya beban yang non linier ini membuat gangguan yang cukup besar kepada peralatan distribusi listrik.

Beberapa komponen yang terpengaruhi oleh harmonisa, antara lain :

- **Konduktor**

Konduktor adalah media yang dipakai untuk mentransferkan energi listrik. Arus harmonisa dapat menyebabkan rugi-rugi pada kawat penghantar bertambah. Hal ini dikarenakan pada konduktor terdapat impedansi hambatan, yang meningkatkan arus. Arus harmonisa yang mengalir tersebutlah yang menyebabkan panas. Panas tersebut semakin lama akan mengurangi daya hantarnya. Sehingga pada akhirnya dapat meningkatkan rugi-rugi daya dan menurunkan efisiensi.

- **Transformator**

Pada transformator, yang mengalami kerugian daya adalah pada kumparan primer, kumparan sekundernya dan inti besi (ferromagnetic losses). Telah diketahui bahwa arus harmonisa menambah kerugian daya pada penghantar yang berbentuk panas. Pada transformator berlaku sistem penginduksian, dimana bila arus berharmonisa mengalir, maka fluks magnetik pada kumparan transformatornya akan menghasilkan rugi-rugi histerisis dan eddy current. Rugi histerisis besarnya proporsional dengan harga frekuensinya dan rugi eddy

currentnya proposional dengan kuadrat frekuensinya. Gabungan dari rugi-rugi tembaga dan inti besi akan menyebabkan transformator menjadi over heating. Dan pada akhirnya panas tersebut akan menurunkan kekuatan isolasi. Pada transformator yang digunakan oleh PLN hubungan primer sekundernya menggunakan delta-star, karena memiliki keuntungan dapat mencegah harmonisa pada hubungan deltanya (primer) masuk pada hubungan star (sekunder). Sehingga harmonisa tidak sampai masuk ke jaringan sekunder pada trafo tersebut.

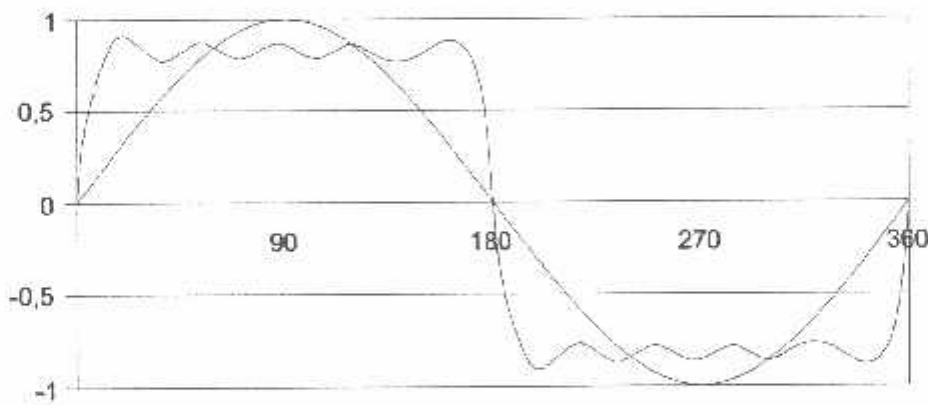
- **Circuit breaker**

Pada circuit breaker konvensional menggunakan panas untuk membuat kawat didalam circuit breaker tersebut menjadi panas dan pada akhirnya akan putus. Arus harmonisa yang melewati circuit breaker tersebut masih dapat diamankan oleh circuit breaker konvensional ini. Hal ini dikarenakan panas yang terjadi karena arus harmonisa tersebut sama dengan panas yang timbul pada peralatan yang diproteksi tersebut. Namun sebagai sarana penyediaan koordinasi pengaman yang lebih baik, telah dikembangkan peralatan circuit breaker yang lebih baik. Dimana circuit breaker tersebut dioperasikan secara elektronik sehingga mampu mendeteksi level arus yang secara otomatis akan memutus arus apabila arus rms terlalu tinggi.

2.10.2. Pengaruh harmonisa pada motor

Arus harmonisa membuat peningkatan total arus rmsnya. Dan karena mempengaruhi harga arus total rmsnya, maka secara otomatis juga akan mempengaruhi faktor dayanya juga. Hal ini dikarenakan daya total dengan daya nyata itu terdapat selisih sudut antara tegangan dan arusnya. Pada daya total tidak terjadi pergeseran sudut antara tegangan dan arusnya. Tetapi untuk daya nyata, terdapat beda sudut yang terbuat oleh tegangan dan arus.

Misalkan ada beban yang menyebabkan bentuk gelombang arusnya tidak sinusoidal yang seperti terlihat pada gambar 2.8, tetapi untuk tegangannya masih berbentuk sinusoidal dan tidak terdapat beda fasa.



Gambar 2.8

Perbandingan sinyal listrik sinusoidal terhadap sinyal listrik berharmonisa

Maka bentuk factor daya (power faktor) tegangan dengan arus dapat dicari dengan rumus :

$$F_{p,total} = \frac{P}{V_{rms} \times I_{rms}} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$= \frac{P}{V_{rms} \times I_{rms} \sqrt{1 + \left(\frac{THD.f}{100\%}\right)^2}} \dots\dots\dots(2.9)$$

$$= \frac{P}{V_{rms} \times I_{rms}} \times \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{THD.f}{100\%}\right)^2}} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dari persamaan 2.11, faktor daya total dapat dibedakan menjadi 2 komponen. Komponen pertama yang disebut dengan "pergeseran faktor daya" (disp) dan yang kedua disebut dengan "distorsi faktor daya" (dist).

$$Fp, disp = \frac{P}{V_{rms} \times I_{rms}} \dots\dots\dots(2.11)$$

$$Fp, dist = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{THD.f}{100\%}\right)^2}} \dots\dots\dots(2.12)$$

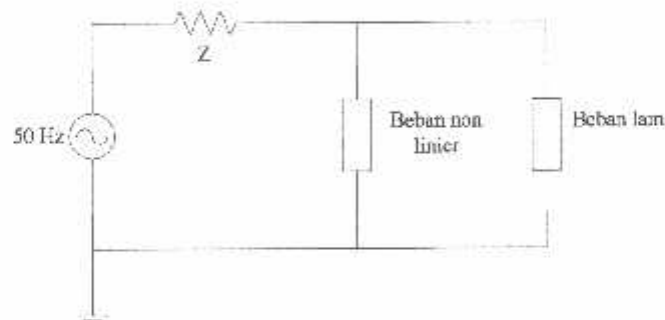
2.10.3. Pengaruh harmonisa pada sistem telekomunikasi

Dalam beberapa tahun ini ditemukan bahwa harmonisa pada sistem tenaga listrik mampu mengganggu sistem telekomunikasi, karena pada pemasangan kabel listrik yang kebanyakan ditanam didalam tanah selalu bersebelahan dengan kabel telekomunikasi. Arus listrik yang mengalir didalam konduktor selalu menginduksikan medan elektromagnetik. Dan apabila arus yang dihantarkan mengandung harmonisa maka akan terjadi noise pada saluran telepon atau data transmisi komunikasi gagal terkirim. Hukum Farraday menjelaskan bahwa tegangan yang menginduksi

disekeliling kawat konduktor sesuai dengan perubahan fluks magnetik. Jadi perubahan harga frekuensi tinggi yang cepat akan membuat tingkat harmonisanya menjadi lebih tinggi pula dan juga harga tegangan harmonisanya semakin tinggi.

2.10.4. Pengaruh harmonisa pada sistem tenaga

Peralatan yang diterapkan pada sistem tenaga listrik seperti contoh yang dapat dilihat pada gambar ini :



Gambar 2.9
Rangkaian distribusi yang sederhana

Sebuah suplai energi listrik yang disalurkan ke beberapa beban yang terhubung paralel melalui kawat penghantar (Transmission lines) yang mengandung bimpedansi sebesar Z . Apabila ada arus harmonisa yang melalui impedansi Z dan sumber, akan menimbulkan tegangan harmonisa yang besar, amplitudo tegangannya akan semakin meningkat disertai juga dengan peningkatan frekuensinya. Karena terdapat impedansi hambatan saluran, maka terdapat selisih tegangan yang dapat secara signifikan terdistorsi oleh beban, bisa berasal dari beban non linier yang terbagi kecil-kecil. Dimana arus akan timbul pada saat tegangan suplai mencapai titik maksimum saja. Hal ini akan menyebabkan turunnya tegangan yang melewati impedansi Z dan akan menjadi lebih besar pula apabila tegangan

pada sumber mencapai titik maksimum. Sehingga tegangan yang dikirimkan pada akhirnya akan menjadi turun.

2.11. Standart Harmonisa

Standart harmonisa yang digunakan adalah standart IEEE 519. Ada dua kriteria yang digunakan untuk mengevaluasi distorsi harmonisa. Yang pertama adalah batasan harmonisa arus, dan yang kedua adalah batasan harmonisa tegangan. Untuk standart harmonisa arus, ditentukan oleh rasio ISC/IL. VTHD adalah persentase jumlah total tegangan yang terdistorsi oleh harmonisa terhadap frekuensi fundamentalnya dan % ITHD adalah persentase jumlah total arus yang terdistorsi oleh harmonisa terhadap frekuensi fundamentalnya.

Untuk tegangan, standart harmonisanya ditentukan oleh tegangan sistem yang dipakai seperti pada tabel 2.2

Tabel 2.2. Voltage distortion limit

Voltage at PCC	Individual Voltage Distortion (%)	Total Voltage Distortion THD (%)
69 kV and below	3	5
69 kV - 161 kV	1,5	1,5
161 kV	1	2,5

Sedangkan untuk arus, standart harmonisanya ditentukan oleh max short circuit dan max load current seperti pada tabel 2.3

Tabel 2.3. Standart untuk arus harmonisa

Isc/IL	Orde harmonisa dalam % terhadap IL				
	< 11	11 ≤ h ≤ 17	17 ≤ h ≤ 23	23 ≤ h ≤ 35	35 ≤ h
< 20 *	5	2	1,5	0,6	0,3
20 < 50	7	3,5	2,5	1	0,5
50 < 100	10	4,5	4	1,5	0,7
100 < 1000	12	5,5	5	2	1
> 1000	15	7	6	2,5	1,4

dimana;

I_{sc} = Max short circuit current at PCC (Point of Common Coupling)

I_L = Max load current (Fundamental Frequency) at FCC

2.12. Indeks Harmonisa

Dalam harmonisa terdapat beberapa indeks yang penting untuk menggambarkan efek dan harmonisa pada komponen sistem tenaga.

2.12.1. Total Harmonic Distortion (THD)

Pendefinisian rasio rms komponen harmonisa ke nilai rms komponen dasar biasanya dinyatakan dalam bentuk persen. Indeks ini digunakan untuk mengukur deviasi bentuk gelombang periodik yang mengandung harmonisa dari gelombang sinus sempurna. Pada saat terjadi gelombang sinus sempurna, nilai THD adalah nol.

Indeks yang umum digunakan adalah :

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N V_n^2}}{V_1} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana; V_n = komponen harmonisa

V_1 = komponen fundamental

k = komponen harmonisa maksimum yang diamati

2.13. Deret Fourier untuk Analisa Harmonisa

Teori fourier series (deret fourier) pertama kali diperkenalkan oleh ahli fisika dan matematika Joseph Fourier. Teori ini membuktikan bahwa suatu fungsi periodik dalam jangka waktu tertentu dapat direpresentasikan dengan penjumlahan komponen harmonisa dan kelanjutan orde yang lebih tinggi pada frekuensinya yang merupakan kelipatan dari komponen dasarnya.

Menurut metode fourier, suatu fungsi dapat diuraikan menjadi fungsi-fungsi sinusoidal dengan frekuensi, amplitudo, dan sudut fasa tertentu jika memenuhi syarat-syarat :

- a. Merupakan fungsi periodik
 $x(t) = x(t + T)$, T=periode
- b. Merupakan fungsi kontinyu atau fungsi tak kontinyu dengan jumlah ketidakkontinyuan yang tertentu selama satu periode
- c. Dalam suatu periode T, fungsi harus mempunyai harga maksimum atau minimum yang jumlahnya tertentu
- d. Dalam suatu periode T, fungsi harus mempunyai harga rata-rata tertentu

Apabila syarat-syarat diatas terpenuhi maka fungsi x(t) dapat diuraikan menjadi deret fourier yang bentuknya:

$$f(\omega t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos \omega n t + b_n \sin \omega n t) \dots\dots\dots(2.14)$$

Dengan :

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_0^T f(\omega t) d(\omega t) \dots\dots\dots(2.15)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(\omega t) \cos(n\omega t) d(\omega t) \dots\dots\dots(2.16)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(\omega t) \sin(n\omega t) d(\omega t) \dots\dots\dots(2.17)$$

Penyederhanaan analisis fourier dapat dilakukan dengan menggunakan sifat-sifat khusus sebagai berikut:

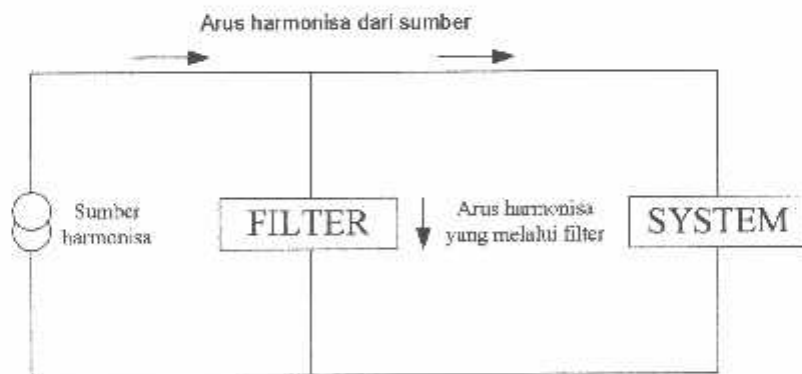
- a. Nila luas siklus positif dan negatif dalam satu periode sama,
 maka $a_0 = 0$
- b. Bila $f(\omega t) = -f(\omega t + \pi)$ atau fungsi mempunyai simetri setengah gelombang maka tidak akan muncul harmonisa orde genap

- c. Bila fungsi merupakan fungsi genap, biasanya simetri terhadap sumbu y, $f(\omega t) = f(-\omega t)$ maka $b_n = 0$
- d. Bila fungsi merupakan fungsi ganjil, $-f(\omega t) = f(-\omega t)$, maka $a_n = 0$

Dengan analisis fourier pada bentuk gelombang arus yang diserap oleh komponen atau beban penyebab harmonisa, maka dapat ditentukan komponen-komponen harmonisa yang dibangkitkan.

2.14. Filter Harmonisa

Tujuan dari pemasangan 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 harmomisa 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 2.10
Pemasangan Filter Harmonisa.

2.14.1. Tipe Filter

Ada dua tipe dasar dari filter yaitu filter aktif dan pasif.

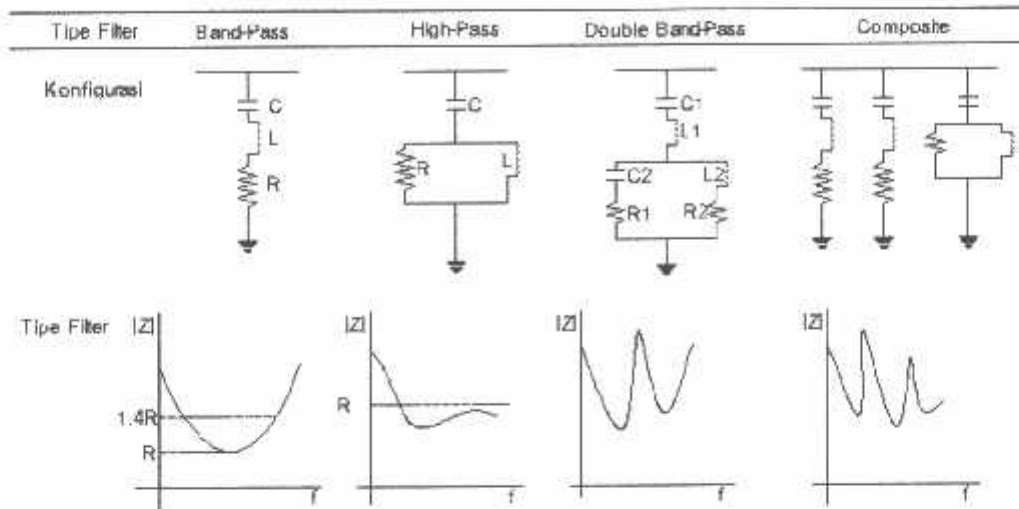
Filter Aktif ini dapat bekerja untuk mengeliminasi timbulnya harmonisa dalam suatu sistem tenaga listrik 3 fasa, baik dengan kawat netral maupun tidak. Filter aktif ini bekerja dengan cara mengkompensasi arus harmonisa yang timbul pada istem tenaga yang diakibatkan oleh penggunaan beban-beban non linier. Selain dapat mengeliminasi harmonisa yang timbul, filter aktif ini juga dapat memperbaiki faktor daya dalam suatu sistem tenaga listrik. Saat ini, filter aktif paralel sudah banyak dikembangkan untuk memperbaiki kualitas sistem tenaga listrik. Berikut ini memperlihatkan bentuk fisik dari harmonik filter aktif.

Filter pasif merupakan metode penyelesaian yang efektif dan ekonomis untuk masalah harmonisa. Filter fasif sebgaiian besar didisain untuk memberikan bagian khusus untuk mengalihkan arus harmonisa yang tidak diinginkan dalam sistem tenaga. Ada dua macam filter pasif yaitu filter fasif seri dan filter pasif paralel. Filter pasif seri memiliki karakteristik sebagai resonansi parareldan merupakan tipe filter yang bersifat sebagai penghalang, yang memiliki impedansi tinggi pada frekuensi tertentu. Sebagai contohnya adalah penggunaan komponen penghalus atau perata gelombang pada peralatan elektronika daya. Sedangkan filter fasif paralel memilki karakteristik sebagai resonansi seri dan merupakan filter yang bertipe trap yang memilki impedansi yang rendah pada frekuensi tertentu.

2.14.2. Jenis-jenis Filter Pasif

Gambar 2.13 memperlihatkan beberapa jenis filter pasif yang umum beserta konfigurasi dan plot impedansinya. Secara umum filter pasuf dapat dibedakan dalam tiga jenis :

1. Single-Tuned / Band Pass Filter (filter penalaan tunggal)
2. Double-Tuned / Double Band Pass Filter (filter penalaan ganda)
3. High Pass Filter Type



Gambar 2.11 Jenis-jenis filter pasif yang umum

Plot impedansi dari sebuah high-pass filter orde dua (orde satu terdiri dari resistor seri dan kapasitor) memperlihatkan bahwa impedansi minimum passband filter ini lebih tinggi daripada sebuah single-tuned filter. Sebuah high-pass filter akan menarik sejumlah komponen harmonisa dengan frekuensi diatas frekuensi notchnya. Hal ini menyebabkan rating yang tinggi pada frekuensi fundamentalnya dan rugi-rugi energi yang besar pada resistornya. Filter jenis ini biasanya digunakan untuk harmonisa orde tinggi.

Composite filter terdiri dari dua bandpass filter dan sebuah high-pass filter untuk frekuensi tinggi. Konfigurasi ini biasanya digunakan untuk beban tanur busur listrik (arc furnace). Dengan mengetahui fundamental dan harmonisa pada busbar, maka rating arus dan tegangan kapasitor, induktor dan resistor dapat ditentukan. Selain itu juga daya reaktif dan aktif serta rugi-ruginya dapat ditentukan pula. Untuk mencegah komponen-komponen ini, rating dari komponen harus didasarkan kepada beberapa kondisi yang ada yaitu tegangan fundamental tertinggi, keberadaan frekuensi tertinggi serta arus harmonisa dari sumber-sumber lain dan dari resonansi yang mungkin terjadi antara filter dan sistem ac.

Kapasitor tersusun dari unit standart yang dihubungkan seri atau paralel untuk memperoleh rating tegangan dan KVA yang dinyatakan.

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 rendah dari kapasitor lebih diharapkan untuk menala filter dalam orde penalaan supaya dapat dihindari penalaan ulang karena perubahan kapasitansi oleh perubahan suhu disekeliling atau oleh pemanasan sendiri oleh kapasitor tersebut.

Kapasitor mendapatkan daya reaktif yang besar per unit volume dengan cara memiliki losses yang rendah dan dengan dioperasikan pada tegangan tinggi. Untuk alasan ini maka 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.

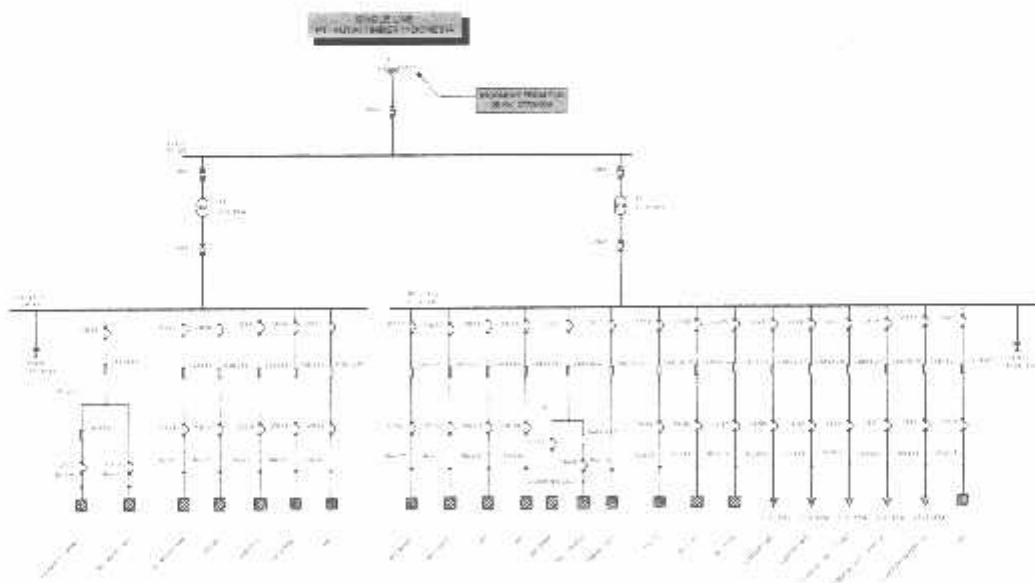
Induktor yang digunakan dalam rangkaian filter dirancang mampu menahan selubung frekuensi tinggi diantara efek kulit dan rugi-rugi histerisis harus dimasukkan dalam perhitungan rugi-rugi daya. Begitu juga efek dari level fliks dari inti besi, yaitu penalaan ulang yang disebabkan oleh magnetisasi yang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

BAB III

DATA PARAMETER dan SOLUSI PERBAIKAN

3.1. Kondisi awal PT.KTI Probolinggo

PT. KTI Probolinggo mempunyai satu sumber yaitu dari PLN yang menyuplai daya sebesar 20 kV. PT. KTI Probolinggo khususnya di produksi 2 mempunyai kapasitor di MDP P2.1 sebesar 746 kVar dan di MDP P2.2 sebesar 1265 kVar, akan tetapi kapasitasnya belum cukup atau memadai untuk menaikkan nilai faktor daya disaat beban penuh. Hal ini dikarenakan terdapat rugi-rugi daya yang disebabkan oleh harmonisa. Harmonisa ini ditimbulkan oleh beban induktif yang terdapat didalam pabrik. Salah satu cara yang dapat ditempuh adalah dengan pemasangan harmonic filter dan kapasitor.



Gambar 3.1. Single line PT. KTI Probolinggo

3.2. Data referensi PT. KTI Probolinggo

3.2.1. Data parameter PT. KTI Probolinggo

Tabel 3.1. Parameter PT. KTI Probolinggo

Dari	Ke	Penampang	Panjang	R(pu)	X(pu)
		(mm)	(M)		
MDP P2.1	WW1 BRT	300	97	0,022622	0,026433
MDP P2.1	WW1 TMR	150	100	0,044329	0,026890
MDP P2.1	WW2	300	50	0,044329	0,026890
MDP P2.1	WW3	300	133	0,022622	0,026433
MDP P2.1	WW4 UTR	150	92	0,022622	0,026433
MDP P2.1	WW4 SLT	150	25	0,044329	0,026890
MDP P2.1	G.JATI	150	92	0,044329	0,026890
MDP P2.1	KD 1-8	150	115	0,044329	0,026890
MDP P2.1	KD 9-18	150	206	0,044329	0,026890
MDP P2.1	KD 19-29	150	280	0,044329	0,026890
MDP P2.1	L.WW1	35	89	0,188872	0,029116
MDP P2.1	L.WW2	35	42	0,188872	0,029116
MDP P2.1	L.WW4 UTR	35	95	0,188872	0,029116
MDP P2.1	L.WW4 SLT	35	120	0,188872	0,029116
MDP P2.1	L.KANTOR P2	70	126	0,094726	0,027774
MDP P2.1	PMK	70	145	0,094726	0,027774

3.2.2. Data saluran sitem tenaga listrik PT. KTI Probolinggo

Tabel 3.2. Ukuran & impedansi kabel/konduktor

Dari	Ke	Penampang (mm)	Panjang (M)	R(pu)	X(pu)
MDP P2.2	BF BASUKI TRANS	70	95	0,094726	0,027774
MDP P2.2	BF.BASUKI WW1	150	93	0,044329	0,026890
MDP P2.2	BF.BASUKI WW2	150	103	0,044329	0,026890
MDP P2.2	BOILER	150	103	0,044329	0,026890
MDP P2.2	SAWMILL	150	250	0,044329	0,026890
MDP P2.2	BF GIKOKO	240	60	0,028049	0,026555
MDP P2.2	WW5	150	341	0,044329	0,026890

3.2.3. Data pembebanan sistem tenaga listrik PT.KTI Probolinggo

Tabel 3.3. Pembagian beban pada PT. KTI Probolinggo

Daftar Beban	kV	MW	Mvar	MVA	%PF	A
WW1 BRT	0,380	0,537	0,297	0,614	87,5	1218,63
WW1 TMR	0,380	0,328	0,190	0,379	86,5	752,48
WW2	0,380	0,659	0,378	0,760	86,7	1509,03
WW3	0,380	0,747	0,741	1,052	71,0	2177,77
WW4 UTR	0,380	0,428	0,505	0,662	64,7	1372,11
WW4 SLT	0,380	0,506	0,686	0,852	59,4	1850,54
G.JATI	0,380	0,138	0,243	0,279	49,4	548,94
KD 1-8	0,380	0,201	0,128	0,238	84,4	469,72
KD 9-18	0,380	0,252	0,161	0,299	84,4	604,38
KD 19-29	0,380	0,315	0,203	0,375	84,1	782,33
PMK	0,380	0,046	0,025	0,052	88,1	101,65
LIGTH WW1	0,380	0,006	0,000	0,006	100,0	10,90
LIGTH WW2	0,380	0,005	0,000	0,005	100,0	9,24
LIGTH WW4 UTR	0,380	0,004	0,000	0,004	100,0	7,07
LIGTH WW4 SLT	0,380	0,005	0,000	0,005	100,0	10,11
LIGTH KANTOR P2	0,380	0,018	0,000	0,018	100,0	34,71
BF BSK TRNS	0,380	0,062	0,033	0,070	88,4	113,30
BF.BSK WW1	0,380	0,191	0,087	0,210	91,0	338,97
BF BSK WW2	0,380	0,191	0,087	0,210	91,0	330,64
BOILER	0,380	0,248	0,130	0,280	88,6	443,10
SAW MILL	0,380	0,248	0,121	0,276	89,8	444,29
BF.GIKOKO	0,380	0,239	0,118	0,267	89,7	418,50
WW5	0,380	0,176	0,100	0,202	86,9	325,05

3.3. Pemodelan filter pasif

Tujuan utama dari filter harmonisa adalah untuk mengurangi amplitude satu atau lebih frekuensi tertentu dari sebuah tegangan atau arus. Dengan penambahan filter harmonisa pada suatu sistem tenaga listrik yang mengandung sumber-sumber harmonisa, maka penyebaran arus harmonisa pada frekuensi fundamental dapat mengkompensasi daya reaktif dan dipergunakan untuk memperbaiki faktor daya sistem.

3.3.1 Komponen filter pasif

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, deviasi frekuensi tertinggi serta arus harmonisa dari sumber-sumber lain dan dari resonansi yang mungkin terjadi antara filter dan sistem ac.

a. Kapasitor

Kapasitor tersusun dalam unit standart 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 rendah dari kapasitor lebih diharapkan untuk menala filter dalam orde penalaan supaya dapat dihindari penalaan ulang karena perubahan kapasitansi oleh perubahan suhu disekeliling

atau oleh pemanasan sendiri oleh kapasitor tersebut. Kapasitor mendapatkan daya reaktif yang besar per unit volume dengan cara memiliki losses yang rendah dan dengan dioperasikan pada tegangan tinggi. Untuk alasan ini maka 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.

b. Induktor

Induktor yang digunakan dalam rangkaian filter dirancang mampu menahan selubung frekuensi tinggi diantara efek kulit dan rugi-rugi histerisis harus dimasukkan dalam perhitungan rugi-rugi daya. Begitu juga efek dari level fliks 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 magnetic. Rating induktor terutama tergantung pada arus rms maksimum dan pada level isolasi yang dibutuhkan agar tahan terhadap surja hubung. Umumnya R dan L ditempatkan di bagian bawah dari filter.

3.3.2. Nilai komponen filter penalaan tunggal

Untuk suatu rangkaian dengan Q tinggi dapat diasumsikan bahwa :

$$V_C = V_L + V_S \dots\dots\dots(3.1)$$

dengan V_C , V_L , dan V_s adalah tegangan kapasitor, induktor dan tegangan supply.

Sedangkan ukuran suatu filter adalah :

$$size, Q_{filter} = \frac{V_s}{X_C - X_L} \dots\dots\dots(3.2)$$

X_C dan X_L adalah reaktansi fundamental dari kapasitor dan induktor.

Tetapi untuk filter yang ditala pada orde n :

$$X_0 = nX_L = \frac{X_C}{n} \dots\dots\dots(3.3)$$

$$X_L = \frac{X_C}{n^2} \quad \text{dan} \quad V_L = \frac{V_C}{n^2} \dots\dots\dots(3.4)$$

Sehingga dapat mensubsitusikan pers. 3.4 ke pers 3.2 diperoleh bahwa :

$$Q_{filter} = \frac{V_s^2}{\left[X_C \left(1 - \frac{1}{n^2} \right) \right]} = \left(\frac{V_s^2}{X_C} \right) \left[\frac{n^2}{n^2 - 1} \right] \text{ MVar} \dots\dots\dots(3.5)$$

dan juga

$$V_C - V_L = V_C \left(1 - \frac{1}{n^2} \right) = V_s$$

$$V_C = \left(\frac{n^2}{n^2 - 1} \right) V_s \dots\dots\dots(3.6)$$

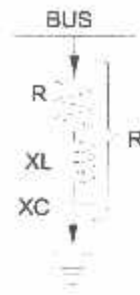
Untuk tujuan biaya, maka lebih baik kalau mempertimbangkan rugi-rugi efektif total dari resistansi R , dimana :

$$R = \frac{X_0}{Q} = \frac{X_C}{nQ} \dots\dots\dots(3.7)$$

R berfungsi sebagai dumper pada filter, sehingga filter pasif yang dipasang diharapkan tidak akan menimbulkan resonansi (baik seri maupun paralel) dengan impedansi yang lain pada sistem tenaga listrik.

3.3.3. Daya reaktif (VAR) nyata pada filter pasif

Pada filter pasif terdapat komponen-komponen resistor (R), induktor (L), dan kapasitor (C). Dengan adanya induktor dalam filter ini maka tegangan kapasitor pada frekuensi fundamental akan naik. Hal ini disebabkan karena reaktansi induktor akan mengurangi reaktansi kapasitor, akibatnya reaktansi total akan semakin kecil sehingga akan menaikkan arus yang melewati kapasitor. Semakin meningkatnya arus yang melewati kapasitor, maka tegangan kapasitorpun akan semakin meningkat dan biasanya bisa mencapai nilai yang tidak diinginkan. Sebagai contoh, induktor dengan reaktansi sepersepuluh ($1/10$) dari reaktansi kapasitor akan meningkatkan tegangan kapasitor pada frekuensi fundamental sebesar 11%. Sedangkan ANSI Capacitor Ratings hanya mengizinkan over voltage yang terjadi sebesar 10%. Jika tegangan operasi lebih kecil daripada tegangan kapasitor, karena peningkatan tegangan kapasitor, maka rating bank (daya reaktif untuk mengkompensasi faktor daya) biasanya akan lebih kecil dari nilai yang tertulis. Oleh karena itu, daya reaktif (VAR) nyata pada filter akan sama dengan daya reaktif (VAR) yang tertulis dikali kuadrat rasio dari tegangan kapasitor dan tegangan operasi dengan induktor.



Gambar 3.2 Komponen filter pasif

Daya reaktif nyata (VAR act) pada filter pasif dapat dihitung dengan menggunakan rumus dibawah ini :

$$X = \sqrt{R^2 + (X_C - X_L)} \dots\dots\dots(3.8)$$

$$V_C = V_{bus} \times \frac{X_C}{X} \dots\dots\dots(3.9)$$

$$Var_{ACT} = Var_{Rating} \times \left(\frac{V_C}{V_{Rating}} \right)^2 \dots\dots\dots(3.10)$$

X_C dan X_L = Reaktansi fundamental (OHM)

X = Impedansi total (ohm)

V_C = Tegangan kapasitor (Volt)

V_{rating} = Rating tegangan (Volt)

Var_{rating} = Daya reaktif yang tertulis (VAR)

Var_{act} = Daya reaktif nyata (VAR)

3.3.4. Faktor kualitas (Q) pada filter pasif

Filter pasif paralel ditala pada frekuensi yang menyebabkan reaktansi induktif dan kapasitif sama. Sedangkan, karakteristik penalaan filter dapat dijelaskan dari faktor kualitas Q. Kualitas dari filter (Q) menentukan ketajaman penalaan. Filter dengan Q tinggi ditala secara tajam pada salah satu frekuensi harmonisa yang lebih rendah (contohnya ke 5), dengan nilai Q yang umum antara 30 sampai 60. Filter dengan Q yang rendah biasanya bernilai 0,5 sampai 5 dan memiliki impedansi yang rendah pada jangkauan frekuensi yang lebar. Apabila filter digunakan untuk mengeliminasi harmonisa dengan yang lebih tinggi (contoh ke 17) maka filter yang dipakai adalah High pass filter.

Pada filter penalaan tunggal faktor kualitas (Q) didefinisikan sebagai perbandingan antara induktansi (atau kapasitansi) pada saat resonansi dengan resistansi yang terpasang seri.

$$Q = \frac{X_0}{R} \dots\dots\dots (3.11)$$

Dengan $X_0 = nX_L = \frac{X_C}{n}$ pada keadaan resonansi

Filter pasif akan lebih efektif lagi apabila VAR rating yang sudah ditentukan tadi didistribusikan sesuai dengan prosentase arus harmonisa yang terbentuk disistem. Hal ini disebabkan karena THD untuk VAR rating yang terdistribusi sesuai dengan prosentase harmonisa cenderung lebih kecil daripada VAR rating yang terdistribusi merata untuk masing-

masing orde filter. Sistem ditentukan oleh VAR rating, filter pasif dipengaruhi juga oleh faktor kualitas (Q). Semakin tinggi faktor kualitas (Q) yang digunakan, maka komponen harmonisa yang tereduksi akan jauh lebih besar dibandingkan filter pasif yang menggunakan faktor kualitas (Q) yang rendah.

3.4. Solusi perbaikan dengan ETAP POWER STATION

ETAP Power Station merupakan program untuk menganalisa kondisi transien suatu sistem kelistrikan. ETAP Power Station memungkinkan antar muka secara grafis dan komputasi yang sempurna dan secara langsung kita dapat menggambarkan single line diagram. Program ini didisain berdasarkan tiga konsep yaitu :

a. Operasi nyata secara virtual (virtual reality operation)

Pengoperasian program mirip dengan pengoperasian listrik secara nyata. Seperti ketika menutup atau membuka CB, membuat suatu elemen keluar dari rangkaian, mengganti status operasi motor dan lain sebagainya. ETAP Power Station memiliki konsep-konsep baru dalam menentukan koordinasi peralatan pengaman secara langsung dari single line diagram.

b. Data gabungan total (Total Integration of Data)

ETAP Power Station menggabungkan konsep elektrik, logika, mekanik dan fisik dari suatu elemen sistem dalam database yang sama.

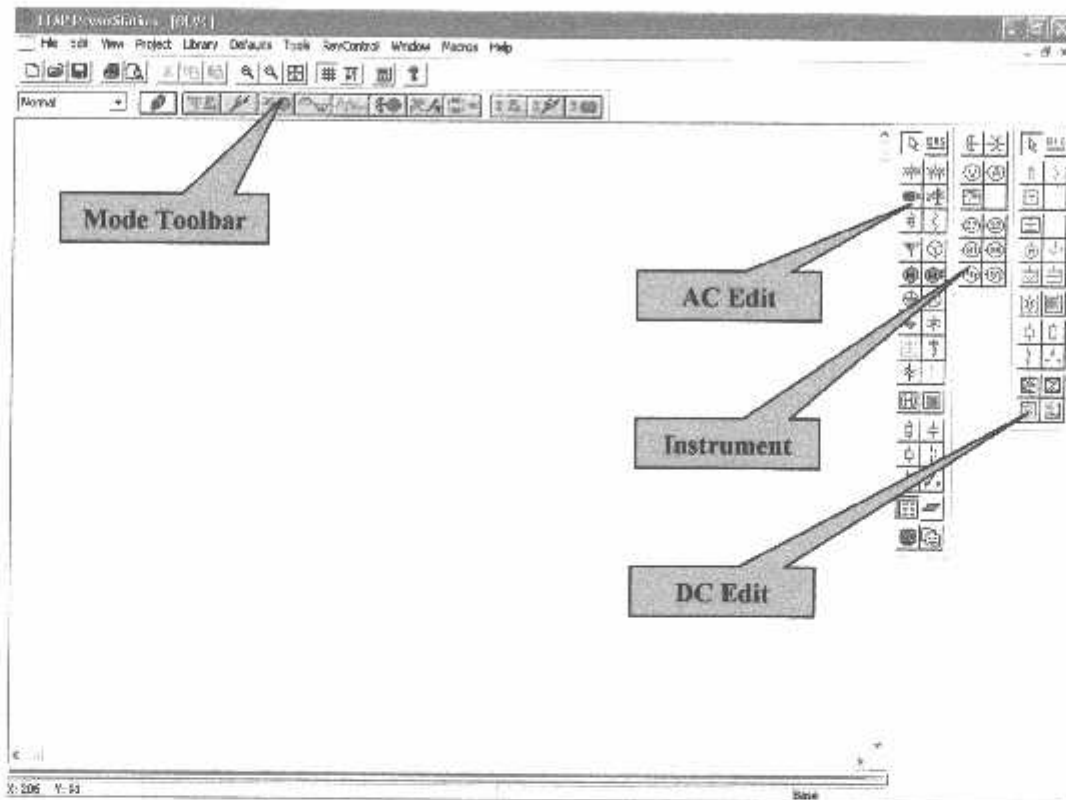
Sebagai contoh : sebuah kabel, tidak hanya terdiri dari data sifat-sifat listrik dan dimensi fisik, tetapi juga informasi yang mengindikasikan jalur yang dilalui. Gabungan data -data ini menentukan konsistensi sistem secara keseluruhan dan menghindarkan dari pemasukan data yang berulang-ulang untuk elemen yang sama.

c. Kesederhanaan dalam memasukkan data

ETAP Power Station menggunakan data lengkap dan setiap peralatan listrik yang kadang hanya membutuhkan sama jenis pemasukan data. Data editor dapat mempercepat proses memasukkan data dengan membutuhkan data minimum.

Standart yang digunakan ETAP Power Station ada dua yaitu : IEEE JEC. Hal ini berdasarkan kenyataan bahwa dalam sistem tenaga dunia terbagi dalam dua satuan umum. Dalam ETAP Power Station terdapat toolbar AC Edit, DC edit dan instrument yang merupakan kumpulan dari alat-alat ukur. AC edit digunakan untuk menggambar jaringan AC. DC edit digunakan untuk menggambar rangkaian DC. Dimana setiap kelompok tools tersebut terdapat bus, kabel, CB, fuse, beban dan lain sebagainya. Mode toolbar digunakan untuk me-running program. Analisa yang dapat dilakukan antara lain adalah analisa aliran daya, hubung singkat, motor starting, harmonisa, stabilitas transient, koordinasi relay dan lain sebagainya. Komponen diletakkan pada modul dengan click kiri. Kemudian melakukan pengisian data dengan cara double click salah satu peralatan yang ada di modul yang

telah dipilih untuk pengisian data parameter maupun keterangan secara lengkap.



Gambar 3.3. Tampilan Modul Utama

3.5 Analisa aliran daya

Metode yang umum digunakan dan banyak dipakai untuk mendapatkan penyelesaian aliran daya adalah Metode Newton Raphson. Dimana metode ini bila dibandingkan dengan metode-metode yang lain seperti Gauss-Seidel mempunyai waktu hitung yang lebih cepat. Secara matematis persamaan aliran daya Newton Raphson dapat diselesaikan dengan menggunakan koordinat rektanguler, koordinat polar atau bentuk hibrid

(gabungan antara bentuk kompleks dengan bentuk polar). Dalam pembahasan skripsi ini menggunakan bentuk polar.

Hubungan antara arus IP dengan tegangan simpul Vq pada suatu jaringan dengan simpul n dapat dituliskan :

$$I_p = \sum_{q=1}^n Y_{pq} V_{pq} \dots\dots\dots (3.12)$$

Injeksi daya pada simpul p adalah :

$$S_p = P_p - jQ_p = V_p^* \times I_p \dots\dots\dots (3.13)$$

$$= V_p^* \times \sum_{q=1}^n Y_{pq} V_{pq} \dots\dots\dots (3.14)$$

Dalam penyelesaian aliran daya dengan Newton Raphson bentuk persamaan aliran daya yang dipilih adalah polar, dimana tegangan dinyatakan dalam bentuk polar, yaitu:

$$V_p^* = |V_p| e^{-j\theta_p}$$

$$V_q = |V_q| e^{-j\theta_q}$$

$$V_{pq} = |V_{pq}| e^{-j\theta_{pq}} \dots\dots\dots (3.15)$$

Maka persamaan (3.16) dapat ditulis :

$$P_p - jQ_p = \sum_{q=1}^n |V_p V_q Y_{pq}| e^{-j(\theta_p - \theta_q + \theta_{pq})} \dots\dots\dots (3.16)$$

Dengan memisahkan bagian riil dan bagian imajiner maka diperoleh :

$$P_p = \sum_{q=1}^n |V_p V_q Y_{pq}| \cos(\delta_p - \delta_q + \theta_{pq}) \dots \dots \dots (3.17)$$

$$Q_p = \sum_{q=1}^n |V_p V_q Y_{pq}| \sin(\delta_p - \delta_q + \theta_{pq}) \dots \dots \dots (3.18)$$

Kedua persamaan diatas akan menghasilkan suatu kumpulan persamaan serempak (simultan) yang tidak linier untuk setiap simpul sistem tenaga listrik untuk mengetahui magnitudo tegangan (V) dan sudut fasa (δ) disetiap simpul dapat diselesaikan dengan menggunakan persamaan (3.15) dan (3.16) yang dilinierkan dengan metode newtin raphson yang dapat dilihat dari persamaan dibawah ini :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} HN \\ ML \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \dots \dots \dots (3.19)$$

Dimana :

ΔP = Selisih injeksi bersih daya nyata dengan penjumlahan aliran daya nyata tiap saluran yang menghubungkan simpul dengan V yang didapat dari perhitungan iterasi ke-k

ΔQ = Selisih injeksi bersih daya reaktif dengan penjumlahan aliran daya nyata tiap saluran yang menghubungkan simpul dengan V yang didapat dari perhitungan iterasi ke-k

$\Delta \delta$ = Vektor koreksi sudut fasa tegangan

$\Delta |V|$ = Vektor koreksi magnitudo tegangan

H, L, M, N merupakan elemen-elemen off dan diagonal dari sub matriks jacobian yang dibentuk dengan mendefinisikan persamaan (3.19) dan (3.16), dimana :

$$H_{pq} = \frac{\partial P_p}{\partial \delta_q} \quad N_{pq} = \frac{\partial P_p}{\partial |V_q|}$$

$$M_{pq} = \frac{\partial Q_p}{\partial \delta_q} \quad L_{pq} = \frac{\partial Q_p}{\partial |V_q|}$$

Persamaan (3.19) diselesaikan untuk menghitung vektor koreksi magnitudo tegangan $\Delta(|V|)$ dan sudut fasa tegangan ($\Delta\delta$) yang baru. Sehingga diperoleh harga magnitudo tegangan dan sudut fasa yang baru, yaitu :

$$|V|^{k+1} = |V|^k + \Delta|V|^k \dots\dots\dots (3.20)$$

$$\delta^{k+1} = \delta^k + \Delta\delta^k \dots\dots\dots (3.21)$$

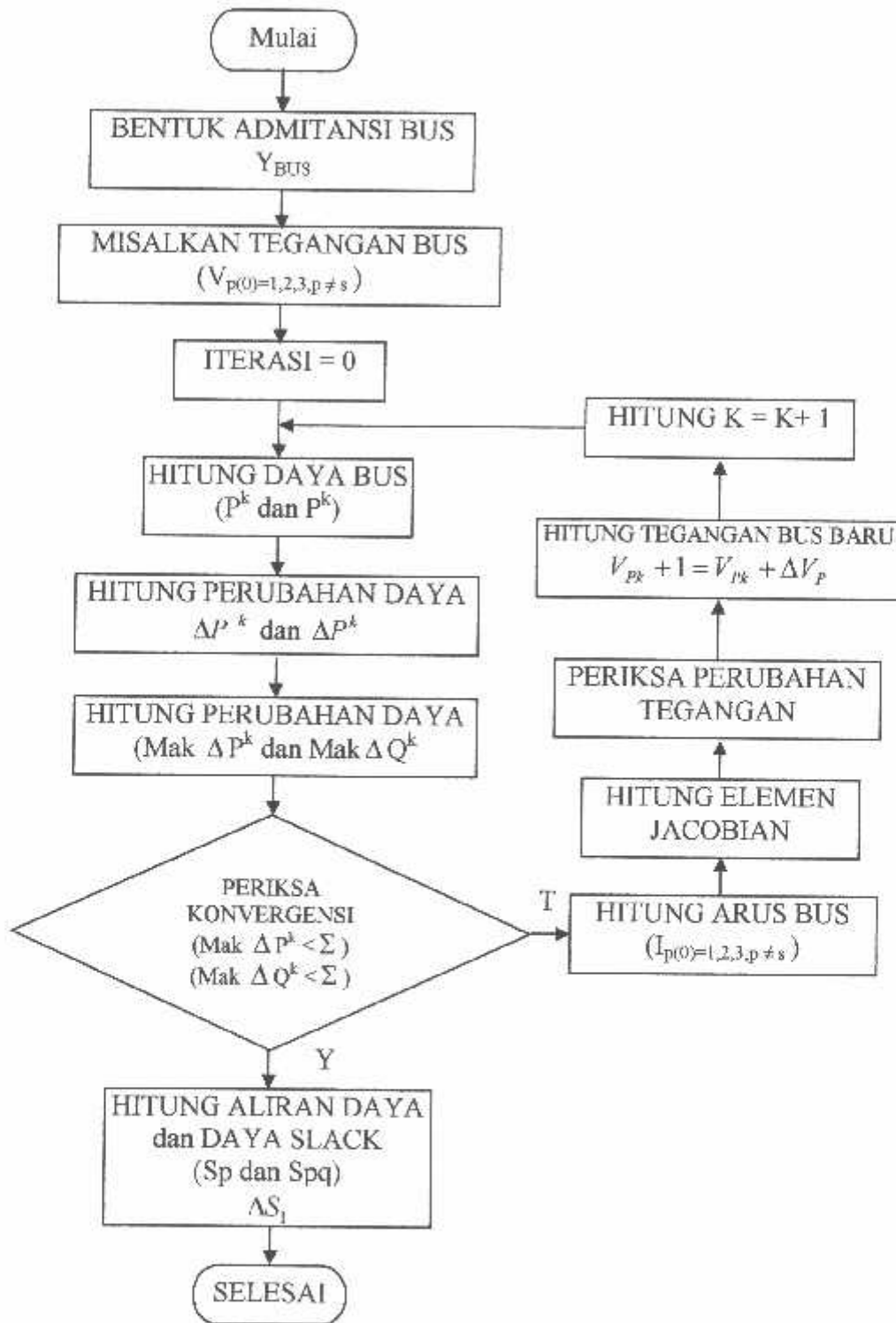
Proses perhitungan akan berulang sampai selisih daya nyata dan daya reaktif antara yang dijadwalkan dengan yang dihitung, yaitu ΔP dan ΔQ untuk semua simpul mendekati nilai toleransi atau perhitungan iterasi mencapai konvergen.

3.6 Algoritma perhitungan aliran daya dengan metode Newton Rhapson

Dalam perhitungan aliran daya dengan metode Newton Rhapson, langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

- A. Kebebasan-kebebasan yang diketahui
1. Daya nyata P dan daya reaktif Q pada simpul PQ diketahui
 2. Daya nyata P dan besarnya tegangan $|V|$ pada simpul PV diketahui
 3. Besar tegangan $|V|$ dan sudut fasa tegangan δ dari simpul referensi (slack bus) diketahui
- B. Kemudian dicoba nilai tertentu bagi basaran sebagai berikut :
1. Besarnya tegangan $|V|$ beserta sudut fasanya δ pada semua simpul PQ
 2. Besarnya sudut fasa tegangan pada semua simpul PV
- C. Berdasarkan nilai yang dicoba pada butir B, dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan (3.17) dan persamaan (3.18) untuk mendapatkan :
1. Nilai P dan Q yang dihitung untuk simpul-simpul PQ
 2. Nilai P yang dihitung untuk simpul PV
- D. Nilai P dan Q yang diketahui pada A dikurangi dengan nilai P dan Q yang didapat dari perhitungan pada C disebut nilai residu dari P dan Q . Nilai residu ini harus mendekati nol, atau $< \epsilon$ (nilai yang dikehendaki berdasarkan suatu ketelitian perhitungan yang diinginkan). Apabila nilai residu P dan Q ini belum $< \epsilon$, maka harus dilakukan iterasi.
- E. Proses iterasi dilakukan dengan mengkoreksi nilai yang dicoba bagi $|V|$ dan δ seperti yang disebutkan dalam butir B.

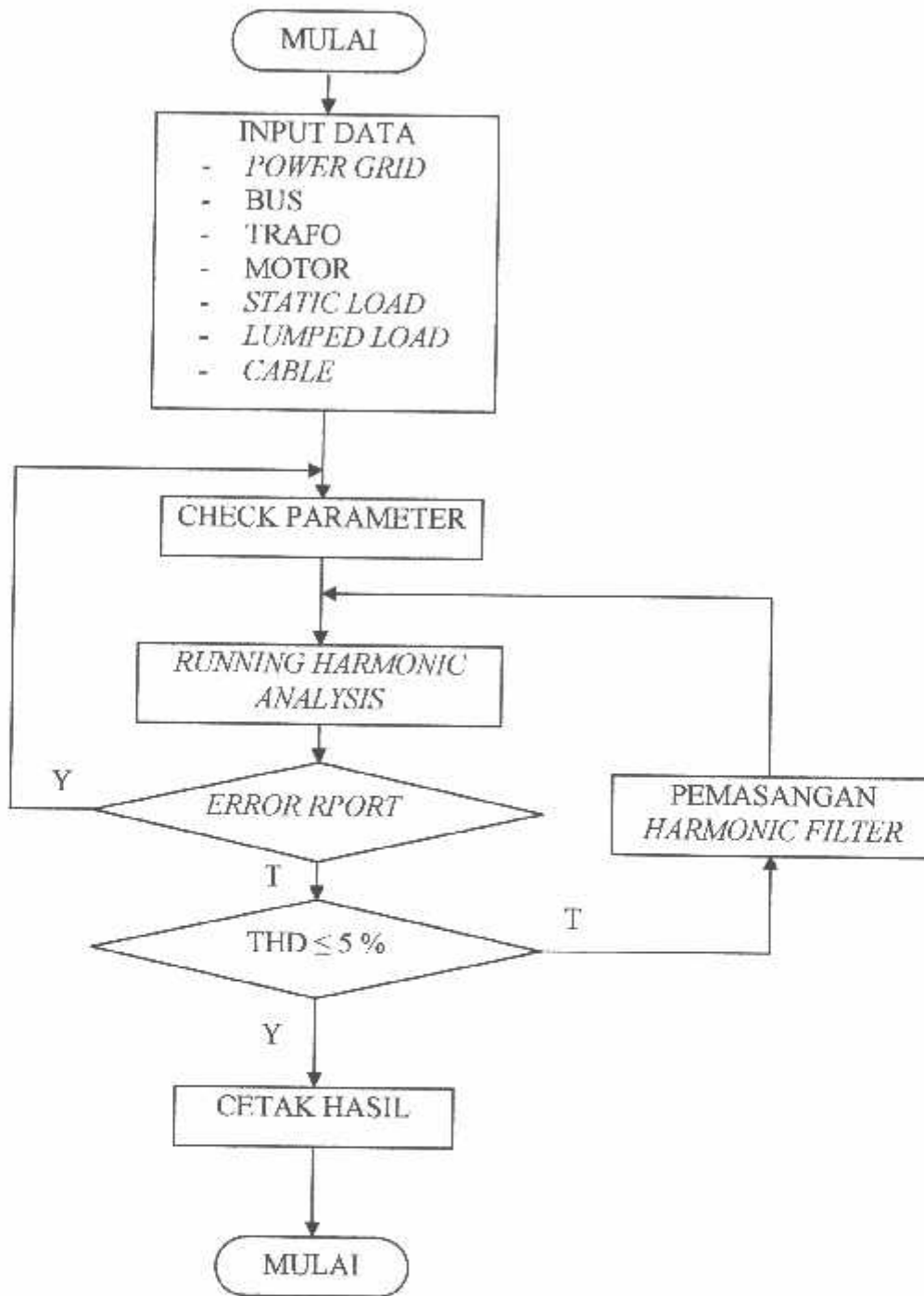
Flowchart Aliran Daya Newton Raphson



Gambar 3.4 Flowchart aliran daya newton raphson

3.7. Algoritma Pemecahan Masalah

1. Mulai.
2. Masukkan data : *power grid* (kV), *transformator* (kV), motor (kW), Pf (Amp), *static load* (kVA, kW, Amp, Pf), *lumped load* (kVA, Pf, Amp), kabel (panjang, diameter).
3. Mengecek data parameter.
4. Melakukan proses *running Harmonic Analysis*.
5. Mengecek apakah terjadi *error report* :
 - a. Jika “Ya” : kembali cek data parameter lagi.
 - b. Jika “Tidak” : proses selanjutnya (langkah 6).
6. Mengecek apakah THD lebih besar dari batas yang telah ditentukan, yaitu 5%.
7. Apabila “Ya” dilakukan pemasangan *Harmonic Filter* dan kembali melakukan proses *running Harmonic Analysis* (langkah 4) sampai diperoleh hasil yang diinginkan, yaitu $THD \leq 5\%$.
8. Apabila “Tidak” dilakukan cetak hasil.
9. Selesai.



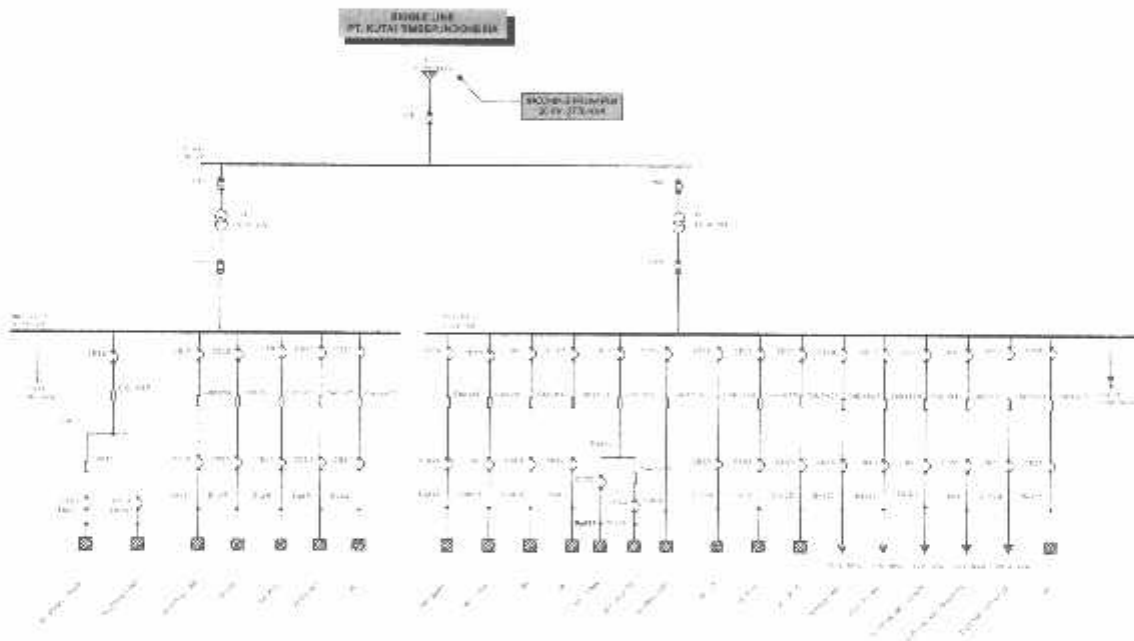
Gambar 3.5 Flowchart Analisa Menggunakan Software ETAP Power Station

BAB IV

HASIL DAN ANALISA DATA

4.1. Sebelum Pemasangan *Harmonic Filter*

Untuk simulasi awal menggunakan *Software ETAP Power Station*, sistem yang digunakan adalah sistem tanpa menggunakan *harmonic filter*, yaitu sistem yang terdiri atas sumber tegangan, *kapasitor bank*, *impedansi saluran* dan beban *non linier* yang ada pada PT. KTI PROBOLINGGO



Gambar 4.1

Single Line PT. KTI Probolinggo sebelum pemasangan *Harmonic Filter*

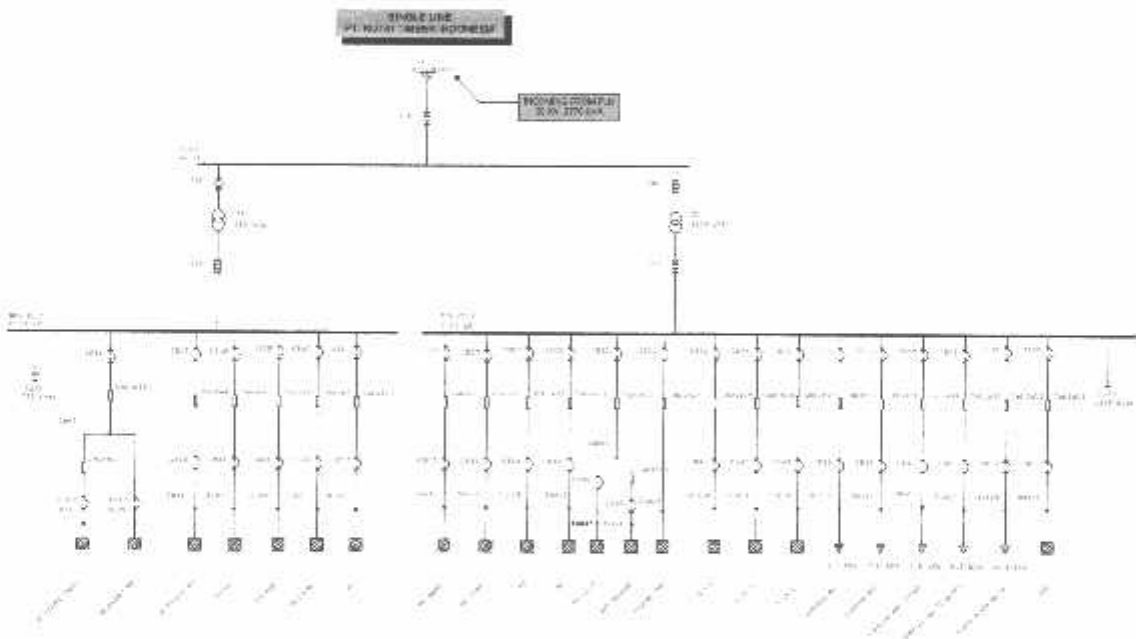
Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan *Software ETAP Power Station* diperoleh $\cos\phi$ pada bus sama dengan 95.05 %. Hal ini dapat dilihat pada *Load Flow Report* pada tabel 4.1.

BAB IV

HASIL DAN ANALISA DATA

4.1. Sebelum Pemasangan *Harmonic Filter*

Untuk simulasi awal menggunakan *Software ETAP Power Station*, sistem yang digunakan adalah sistem tanpa menggunakan *harmonic filter*, yaitu sistem yang terdiri atas sumber tegangan, *kapasitor bank*, *impedansi saluran* dan beban *non linier* yang ada pada PT. KTI PROBOLINGGO



Gambar 4.1

Single Line PT. KTI Probolinggo sebelum pemasangan *Harmonic Filter*

Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan *Software ETAP Power Station* diperoleh $\cos\phi$ pada bus sama dengan 95,05 %. Hal ini dapat dilihat pada *Load Flow Report* pada tabel 4.1.

Tabel 4.1. Hasil *Bus Loading* Menggunakan ETAP *Power Station* Sebelum Pemasangan Filter Harmonisa

BUS LOADING Summary Report								
Bus			Bus Total Load					
ID	Kv	Rated Amp	MW	Mvar	MVA	%PF	Amp	%Loading
Bus1	20,000		5,861	1,917	6,166	95,0	178,00	
Bus2	0,380		0,176	0,256	0,311	56,6	510,78	
Bus3	0,380		0,253	0,120	0,280	90,4	472,23	
Bus4	0,380		0,062	0,033	0,070	88,4	118,34	
Bus5	0,380		0,191	0,087	0,210	91,0	354,04	
Bus6	0,380		0,191	0,087	0,210	91,0	344,57	
Bus7	0,380		0,248	0,259	0,358	69,3	586,73	
Bus8	0,380		0,248	0,121	0,276	89,8	463,88	
Bus9	0,380		0,239	0,118	0,267	89,7	435,97	
Bus11	0,380		0,945	0,557	1,097	86,2	1837,08	
Bus12	0,380		0,537	0,297	0,614	87,5	1012,88	
Bus13	0,380		0,328	0,190	0,379	86,5	625,33	
Bus14	0,380		0,659	0,378	0,760	86,7	1255,30	
Bus15	0,380		0,747	0,741	1,052	71,0	1774,61	
Bus16	0,380		0,138	0,243	0,279	49,4	458,59	
Bus18	0,380		0,252	0,161	0,299	84,4	500,62	
Bus19	0,380		0,315	0,203	0,375	84,1	637,05	
Bus20	0,380		0,008	0,000	0,008	100,0	12,99	
Bus21	0,380		0,007	0,000	0,007	100,0	11,01	
Bus22	0,380		0,005	0,000	0,005	100,0	8,42	
Bus23	0,380		0,007	0,000	0,007	100,0	12,04	
Bus24	0,380		0,025	0,000	0,025	100,0	41,36	
Bus25	0,380		0,460	0,025	0,052	88,1	85,06	
Bus26	0,380		0,201	0,128	0,238	84,4	392,02	
Bus27	0,380		0,428	0,505	0,662	64,7	1108,89	
Bus28	0,380		0,506	0,686	0,852	59,4	1458,77	
MDP P2.1	0,380	1600,00	4,314	2,431	4,952	87,1	8048,99	503,1
MDP P2.2	0,380	1600,00	1,890	1,173	2,224	85,0	3615,52	226,0

Tabel 4.2. *Voltage Individual Harmonic Distorsion (VIHD) Report* Sebelum Pemasangan Filter Harmonisa

VIHD (Individual Harmonic Distorsion) Report				
Bus		Voltage Distortion		
ID	KV	Fund %	VHD %	Order
Bus1	20,000	100,00	24,13	9
Bus2	0,380	92,42	15,22	7
Bus3	0,380	90,09	10,11	5
Bus4	0,380	90,07	10,11	5
Bus5	0,380	90,09	10,11	5
Bus6	0,380	92,56	10,32	5
Bus7	0,380	92,83	11,42	5
Bus8	0,380	90,49	10,27	5
Bus9	0,380	92,99	10,36	5
Bus11	0,380	90,70	13,59	7
Bus12	0,380	92,05	10,51	5
Bus13	0,380	92,05	10,66	5
Bus14	0,380	91,95	10,50	5
Bus15	0,380	90,11	11,43	5
Bus16	0,380	92,52	10,43	5
Bus18	0,380	90,81	10,27	5
Bus19	0,380	89,37	11,11	5
Bus20	0,380	93,37	10,43	5
Bus21	0,380	93,43	10,43	5
Bus22	0,380	93,40	10,43	5
Bus23	0,380	93,34	10,43	5
Bus24	0,380	93,23	10,43	5
Bus25	0,380	92,88	10,44	5
Bus26	0,380	92,31	10,36	5
Bus27	0,380	90,70	13,59	7
Bus28	0,380	88,76	15,73	7
MDP P2.1	0,380	93,47	10,43	5
MDP P2.2	0,380	93,47	10,43	5

Indikator busa with IIII (Individual Harmonic Distorsion) exceeding the limit

Tabel 4.3. *Voltage Total Harmonic Distorsion Report*
Sebelum Pemasangan Filter Harmonisa

VTHD (Total Harmonic Distortion) Report			
Bus		Voltage Distortion	
ID	KV	Fund %	THD %
Bus1	20,000	100,00	24,13
Bus2	0,380	92,42	15,22
Bus3	0,380	90,09	10,11
Bus4	0,380	90,07	10,11
Bus5	0,380	90,09	10,11
Bus6	0,380	92,56	10,32
Bus7	0,380	92,83	11,42
Bus8	0,380	90,49	10,27
Bus9	0,380	92,99	10,36
Bus11	0,380	90,70	13,59
Bus12	0,380	92,05	10,51
Bus13	0,380	92,05	10,66
Bus14	0,380	91,95	10,50
Bus15	0,380	90,11	11,43
Bus16	0,380	92,52	10,43
Bus18	0,380	90,81	10,27
Bus19	0,380	89,37	11,11
Bus20	0,380	93,37	10,43
Bus21	0,380	93,43	10,43
Bus22	0,380	93,40	10,43
Bus23	0,380	93,34	10,43
Bus24	0,380	93,23	10,43
Bus25	0,380	92,88	10,44
Bus26	0,380	92,31	10,36
Bus27	0,380	90,70	13,59
Bus28	0,380	88,76	15,73
MDP P2.1	0,380	93,47	10,43
MDP P2.2	0,380	93,47	10,43

Indicates buses with THD (Total Harmonic Distortion) exceeding the limit.

Tabel 4.4. Total Generation, Loading and Demand Menggunakan ETAP Power Station Sebelum Pemasangan Filter Harmonisa

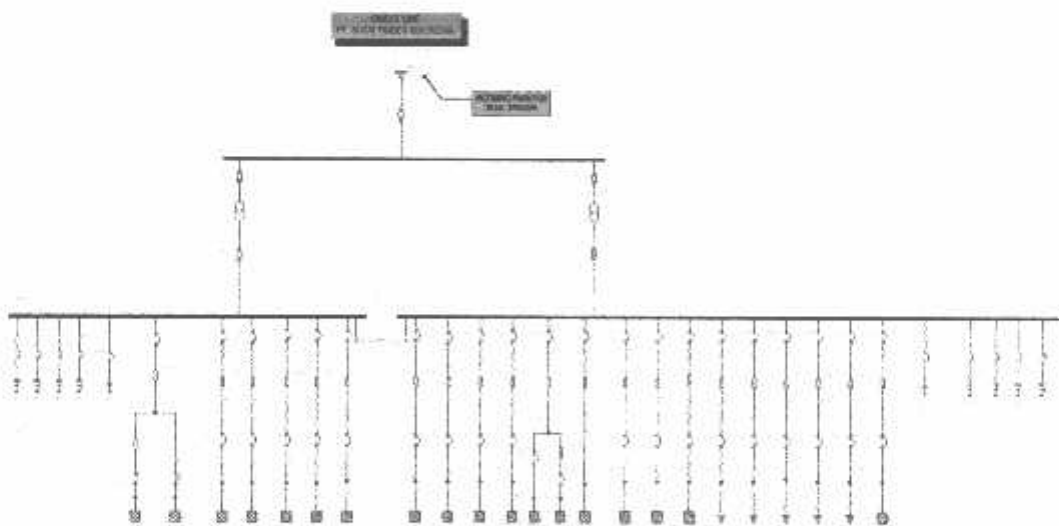
SUMMARY OF TOTAL GENERATION, LOADING & DEMAND				
	MW	Mvar	MVA	%PF
Swing Bus (es)	5,861	1,917	6,166	95,05 Lagging
Generators	0,000	0,000	0,000	-
Total Demand	5,861	1,917	6,166	95,05 Lagging
Total Motor Load	5,512	4,233	6,950	79.31 Lagging
Total Static Load	0,053	-3,49		
Apparent Losses	0,296	1,173		
System Mismatch	0,000	0,000		
Number of Iterations	3			

Sistem Kelistrikan PT.KTI Probolinggo disuplai oleh PLN dengan daya 2770 Kva. Berdasarkan tabel 4.4, dapat disimpulkan bahwa kualitas daya pada sistem ini kurang baik, sehingga terjadi rugi daya reaktif sebesar 1.917 Mvar sehingga hanya mampu memberikan perbaikan $\cos \phi$ menjadi 95.05. Faktor daya tersebut merupakan nilai rata-rata dari bus sistem sehingga pada bus-bus lain memungkinkan terdapat nilai faktor daya yang buruk. Ini terjadi karena pada sistem terdapat banyak beban-beban induktif dengan kapasitas yang besar yang berpeluang sangat besar pula memperburuk nilai faktor daya sistem. Selain itu rugi daya reaktif yang terjadi juga ditambah oleh distorsi harmonik oleh beban-beban seperti motor induksi, komponen-komponen elektronika daya yang ada dalam peralatan-peralatan kontrol motor, transformator, maupun harmonik yang di timbulkan oleh alat-alat kompensasi itu sendiri. Hal ini dapat diketahui dengan menggunakan mode *harmonic analysis* dalam *ETAP Power Station*. Besar distorsi harmonik dan orde harmonik yang muncul dalam sistem ini dapat diketahui dari *(VIHD)* dan *(VTHD)* lihat pada tabel 4.2 dan 4.3. Untuk itu maka dilakukan analisa menggunakan kompensasi harmonik filter. Dalam hal ini diharapkan rugi

daya reaktif dapat ditekan seminimal mungkin dan $\cos \phi$ menjadi lebih baik sehingga diperoleh penyaluran daya yang optimal.

4.2. Sesudah Pemasangan *Harmonic Filter*

Dengan pemasangan filter harmonisa yang baru diharapkan dapat memberikan hasil yang lebih baik. Hal ini dapat dilihat antara lain pada peningkatan nilai faktor daya, penurunan *losses* daya aktif maupun daya reaktif, daya semu (MVA) dan THD pada sistem cenderung mengalami penurunan. Ini menunjukkan kondisi sistem yang lebih baik, artinya penghematan daya yang diserap maka sistem memiliki daya tersimpan sehingga secara ekonomis terjadi penghematan biaya operasional dan secara teknis akan membawa dampak yang baik pada peralatan-peralatan yang ada dalam sistem. Dimana terpasang 8 pcs filter High_Pass (damped), untuk mereduksi harmonisa saat beban penuh. Dengan kapasitasnya terpasang masing-masing 204 Kvar.

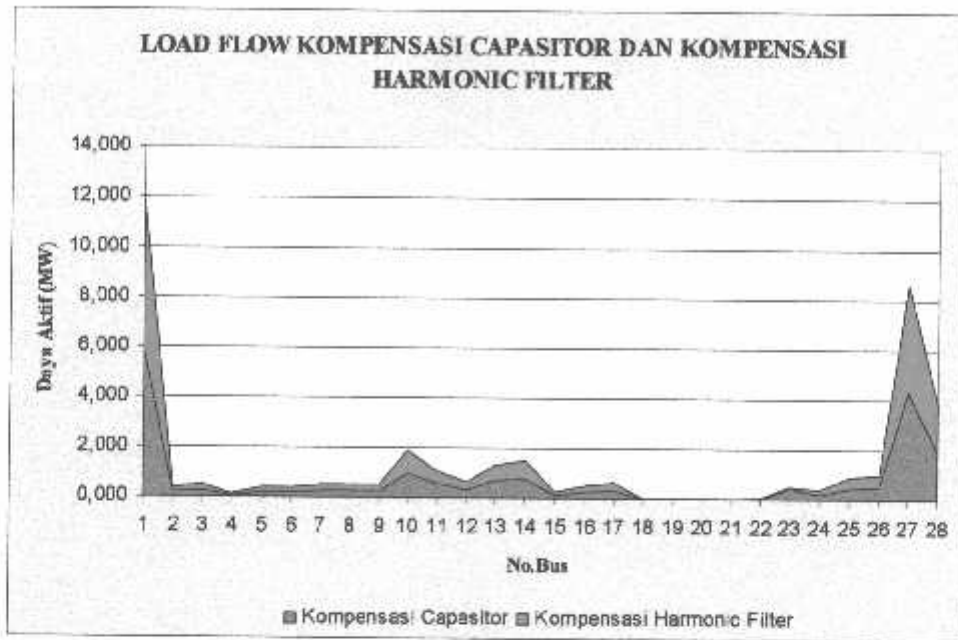


Gambar 4.2.
Single Line PT. KTI Probolinggo setelah pemasangan *Harmonic Filter*

Tabel 4.5. Hasil Bus Loading Menggunakan ETAP POWER STATION dengan Kompensasi Harmonic Filter

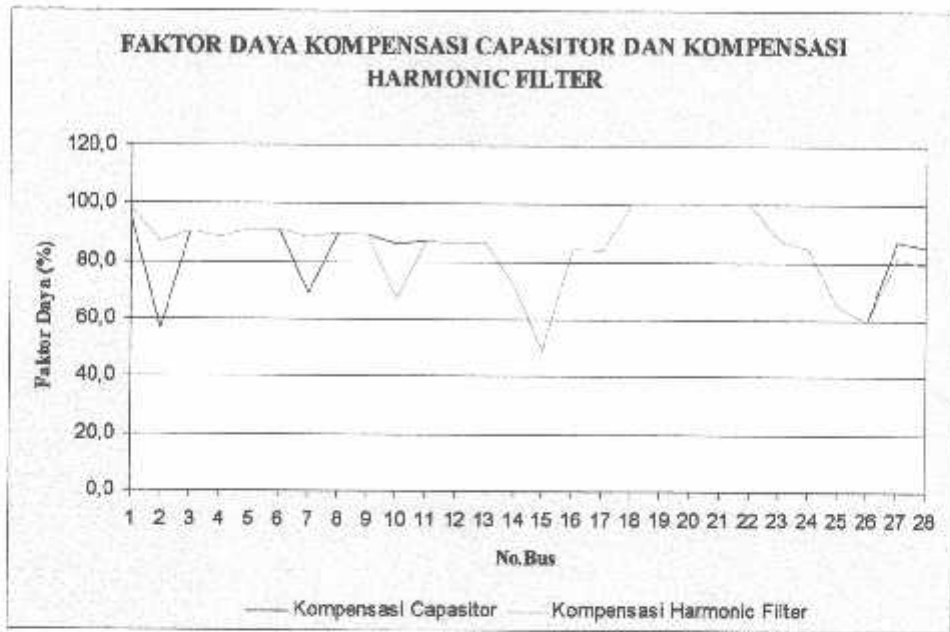
BUS LOADING Summary Report								
Bus			Bus Total Load					
ID	Kv	Rated Amp	MW	Mvar	MVA	%PF	Amp	%Loading
Bus1	20,000		5,875	1,217	6,000	97,9	173,20	
Bus2	0,380		0,176	0,100	0,202	86,9	329,54	
Bus3	0,380		0,253	0,120	0,280	90,4	461,72	
Bus4	0,380		0,062	0,033	0,070	88,4	113,30	
Bus5	0,380		0,191	0,087	0,210	91,0	346,16	
Bus6	0,380		0,191	0,087	0,210	91,0	337,30	
Bus7	0,380		0,248	0,130	0,280	88,6	451,13	
Bus8	0,380		0,248	0,121	0,276	89,8	453,64	
Bus9	0,380		0,239	0,118	0,267	89,7	426,85	
Bus11	0,380		0,954	1,039	1,410	67,6	2335,88	
Bus12	0,380		0,537	0,297	0,614	87,5	991,19	
Bus13	0,380		0,328	0,190	0,379	86,5	611,93	
Bus14	0,380		0,659	0,378	0,760	86,7	1228,41	
Bus15	0,380		0,747	0,741	1,052	71,0	1744,15	
Bus16	0,380		0,138	0,243	0,279	49,4	448,91	
Bus18	0,380		0,252	0,161	0,299	84,4	489,65	
Bus19	0,380		0,315	0,203	0,375	84,1	622,47	
Bus20	0,380		0,008	0,000	0,008	100,0	13,27	
Bus21	0,380		0,007	0,000	0,007	100,0	11,25	
Bus22	0,380		0,005	0,000	0,005	100,0	8,60	
Bus23	0,380		0,008	0,000	0,008	100,0	12,30	
Bus24	0,380		0,026	0,000	0,026	100,0	42,23	
Bus25	0,380		0,046	0,025	0,052	88,1	83,28	
Bus26	0,380		0,201	0,128	0,238	84,4	383,70	
Bus27	0,380		0,428	0,505	0,662	64,7	1096,46	
Bus28	0,380		0,506	0,686	0,852	59,4	1450,63	
MDP P2.1	0,380	1600,00	4,342	3,078	5,322	81,6	8471,62	529,5
MDP P2.2	0,380	1600,00	1,893	1,480	2,403	78,8	3824,88	239,1

Berdasarkan tabel 4.1. dan 4.5. di atas dapat kita lihat bahwa dengan adanya kompensasi daya reaktif dari filter, maka akan meningkatkan faktor daya. Sehingga mengakibatkan penurunan konsumsi daya reaktif dan peningkatan daya aktif seperti tampak pada grafik.



Grafik 4.1. Perbandingan Daya Aktif dengan menggunakan Kompensasi Kapasitor dan Kompensasi *Harmonic Filter*

Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa dengan kompensasi *harmonic filter*, daya aktif mengalami sedikit kenaikan. Sedangkan untuk mengetahui perbandingan faktor daya sebelum pemasangan kompensasi *harmonic filter* dan sesudah pemasangan *harmonic filter* berdasarkan data pada tabel 4.1 dan 4.5, dapat dilihat pada grafik di bawah ini.



Grafik 4.2. Perbandingan Faktor Daya dengan menggunakan Kompensasi Kapasitor dan *Harmonic Filter*

Dari grafik di atas terlihat bahwa faktor daya mengalami sedikit kenaikan dengan pemasangan *harmonic filter* sebagai kompensator. Tabel 4.6. memberikan informasi tentang persentase distorsi individual tegangan sesudah kompensasi *harmonic filter*.

Tabel 4.6. *Voltage Individual Harmonic Distorsion (VIHD) Report* Sesudah Menggunakan *Harmonic Filter*

VIHD (Individual Harmonic Distorsion) Report				
Bus		Voltage Distortion		
ID	KV	Fund %	VHD %	Order
Bus1	20,000	100,00	24,13	9
Bus2	0,380	93,19	4,93	2
Bus3	0,380	92,14	4,75	2
Bus4	0,380	92,13	4,75	2
Bus5	0,380	92,14	4,75	2
Bus6	0,380	94,56	4,87	2
Bus7	0,380	94,45	4,91	2
Bus8	0,380	92,53	4,83	2
Bus9	0,380	94,98	4,90	2
Bus11	0,380	91,73	4,87	2
Bus12	0,380	94,07	4,84	2
Bus13	0,380	94,06	4,90	2
Bus14	0,380	93,96	4,89	2
Bus15	0,380	91,68	4,79	2
Bus16	0,380	94,52	4,92	2
Bus18	0,380	92,85	4,82	2
Bus19	0,380	91,47	4,86	2
Bus20	0,380	95,34	4,93	2
Bus21	0,380	95,41	4,93	2
Bus22	0,380	95,37	4,93	2
Bus23	0,380	95,31	4,93	2
Bus24	0,380	95,20	4,93	2
Bus25	0,380	94,87	4,93	2
Bus26	0,380	94,31	4,88	2
Bus27	0,380	91,73	4,87	2
Bus28	0,380	89,26	4,87	2
MDP P2.1	0,380	95,45	4,93	2
MDP P2.2	0,380	95,45	4,93	2

Indicates buses with VIHD (Individual Harmonic Distorsion) exceeding the limit

Tabel 4.7. *Voltage Total Harmonic Distorsion Report (VTHD)*
 Sesudah Menggunakan *Harmonic Filter*

VTHD (Total Harmonic Distorsion) Report			
Bus		Voltage Distortion	
ID	KV	Fund %	THD %
Bus1	20,000	100,00	24,13
Bus2	0,380	93,19	4,93
Bus3	0,380	92,14	4,75
Bus4	0,380	92,13	4,75
Bus5	0,380	92,14	4,75
Bus6	0,380	94,56	4,87
Bus7	0,380	94,45	4,91
Bus8	0,380	92,53	4,83
Bus9	0,380	94,98	4,90
Bus11	0,380	91,73	4,87
Bus12	0,380	94,07	4,84
Bus13	0,380	94,06	4,90
Bus14	0,380	93,96	4,89
Bus15	0,380	91,68	4,79
Bus16	0,380	94,52	4,92
Bus18	0,380	92,85	4,82
Bus19	0,380	91,47	4,86
Bus20	0,380	95,34	4,93
Bus21	0,380	95,41	4,93
Bus22	0,380	95,37	4,93
Bus23	0,380	95,31	4,93
Bus24	0,380	95,20	4,93
Bus25	0,380	94,87	4,93
Bus26	0,380	94,31	4,88
Bus27	0,380	91,73	4,87
Bus28	0,380	89,26	4,87
MDP P2.1	0,380	95,45	4,93
MDP P2.2	0,380	95,45	4,93

*Indicates buses with THD (Total Harmonic Distorsion) exceeding the limit

Tabel 4.8. Hasil *Total Generation, Loading and Demand* Menggunakan ETAP *Power Station* dengan Kompensasi Penempatan *Harmonic Filter*

SUMMARY OF TOTAL GENERATION, LOADING & DEMAND				
	MW	Mvar	MVA	%PF
Swing Bus (cs)	5,875	1,217	6,000	97,92 Lagging
Generators	0,000	0,000	0,000	-
Total Demand	5,875	1,217	6,000	97,92 Lagging
Total Motor Load	5,512	4,233	6,950	79,31 Lagging
Total Static Load	0,056	-4,155		
Apparent Losses	0,307	1,139		
System Mismatch	0,000	0,000		
Number of Iterations	3			

4.3. Hasil dan Analisa Hasil Perbandingan Sebelum pemasangan Kompensasi Harmonik Filter Dan sesudah pemasangan Kompensasi Harmonik Filter.

Untuk mengetahui hasil kompensasi yang lebih baik maka hasil dari perbandingan sebelum dan sesudah pemasangan kompensasi ini dapat dibandingkan dengan melihat tabel 4.9. di bawah ini.

Tabel 4.9. Perbandingan Aliran Daya Aktif dan Reaktif Kompensasi Capacitor dan Kompensasi Harmonic Filter

	Kompensasi Capacitor				Kompensasi Harmonic Filter			
	MW	Mvar	MVA	%PF	MW	Mvar	MVA	%PF
Swing Bus (cs)	5,861	1,917	6,166	95,05 Lagging	5,875	1,217	6,000	97,92 Lagging
Generators	0,000	0,000	0,000	-	0,000	0,000	0,000	-
Total Demand	5,861	1,917	6,166	95,05 Lagging	5,875	1,217	6,000	97,92 Lagging
Total Motor Load	5,512	4,233	6,950	79,31 Lagging	5,512	4,233	6,950	79,31 Lagging
Total Static Load	0,053	-3,490			0,056	-4,155		
Apparent Losses	0,296	1,173			0,307	1,139		
System Mismatch	0,000	0,000			0,000	0,000		
Number of Iterations	3							

Berdasarkan tabel 4.9, di atas dapat kita ketahui seberapa besar kenaikan daya aktif, penurunan daya reaktif, penurunan *losses* serta penurunan daya semu melalui analisa berikut ini.

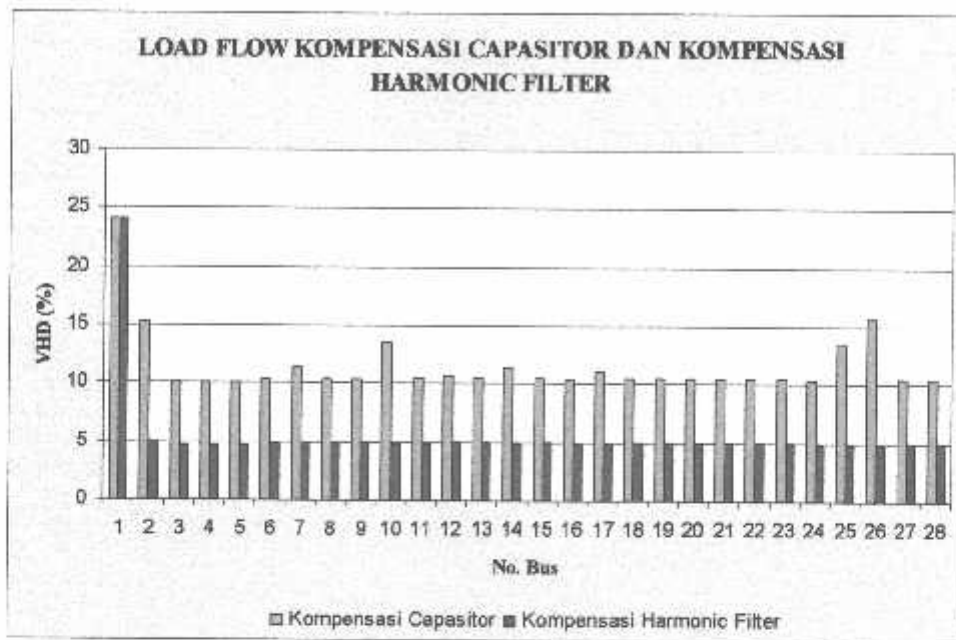
Dengan memperhatikan tabel di atas, maka dapat kita ketahui:

$$\begin{aligned} \text{Kenaikkan Daya Nyata / Aktif} &= 5.875 \text{ MW} - 5.861 \text{ MW} \\ &= 0.014 \text{ MW} \\ \text{Penurunan Daya Reaktif} &= 1.917 \text{ MVar} - 1.217 \text{ MVar} \\ &= 0.7 \text{ MVar} \\ \text{Penurunan Daya Semu (MVA)} &= 6.166 \text{ MVA} - 6.000 \text{ MVA} \\ &= 0.166 \text{ MVA} \\ &= 166 \text{ kVA} \end{aligned}$$

Pemasangan filter sebagai kompensator harmonik dan daya reaktif akan menyebabkan daya reaktif yang diserap oleh beban dari sumber akan berkurang dan pengurangan daya reaktif ini menyebabkan daya total (MVA) yang diserap beban dari sumber juga akan berkurang sehingga sejumlah kenaikan daya (MVA) dapat digunakan untuk menanggung beban lagi.

Tabel 4.10. Perbandingan *Voltage Individual Harmonic Distorsion (VIHD)* Sebelum dan Sesudah Pemasangan Kompensasi *Capasitor & Harmonic Filter*

Kompensasi Capasitor					Kompensasi Harmonic Filter				
Bus		Voltage Distortion			Bus		Voltage Distortion		
ID	KV	Fund %	VHD %	Order	ID	KV	Fund %	VHD %	Order
Bus1	20,000	100,00	24,13	9	Bus1	20,000	100,00	24,13	9
Bus2	0,380	92,42	15,22	7	Bus2	0,380	93,19	4,93	2
Bus3	0,380	90,09	10,11	5	Bus3	0,380	92,14	4,75	2
Bus4	0,380	90,07	10,11	5	Bus4	0,380	92,13	4,75	2
Bus5	0,380	90,09	10,11	5	Bus5	0,380	92,14	4,75	2
Bus6	0,380	92,56	10,32	5	Bus6	0,380	94,56	4,87	2
Bus7	0,380	92,83	11,42	5	Bus7	0,380	94,45	4,91	2
Bus8	0,380	90,49	10,27	5	Bus8	0,380	92,53	4,83	2
Bus9	0,380	92,99	10,36	5	Bus9	0,380	94,98	4,90	2
Bus11	0,380	90,70	13,59	7	Bus11	0,380	91,73	4,87	2
Bus12	0,380	92,05	10,51	5	Bus12	0,380	94,07	4,84	2
Bus13	0,380	92,05	10,66	5	Bus13	0,380	94,06	4,90	2
Bus14	0,380	91,95	10,50	5	Bus14	0,380	93,96	4,89	2
Bus15	0,380	90,11	11,43	5	Bus15	0,380	91,68	4,79	2
Bus16	0,380	92,52	10,43	5	Bus16	0,380	94,52	4,92	2
Bus18	0,380	90,81	10,27	5	Bus18	0,380	92,85	4,82	2
Bus19	0,380	89,37	11,11	5	Bus19	0,380	91,47	4,86	2
Bus20	0,380	93,37	10,43	5	Bus20	0,380	95,34	4,93	2
Bus21	0,380	93,43	10,43	5	Bus21	0,380	95,41	4,93	2
Bus22	0,380	93,40	10,43	5	Bus22	0,380	95,37	4,93	2
Bus23	0,380	93,34	10,43	5	Bus23	0,380	95,31	4,93	2
Bus24	0,380	93,23	10,43	5	Bus24	0,380	95,20	4,93	2
Bus25	0,380	92,88	10,44	5	Bus25	0,380	94,87	4,93	2
Bus26	0,380	92,31	10,36	5	Bus26	0,380	94,31	4,88	2
Bus27	0,380	90,70	13,59	7	Bus27	0,380	91,73	4,87	2
Bus28	0,380	88,76	15,73	7	Bus28	0,380	89,26	4,87	2
MDP P2.1	0,380	93,47	10,43	5	MDP P2.1	0,380	95,45	4,93	2
MDP P2.2	0,380	93,47	10,43	5	MDP P2.2	0,380	95,45	4,93	2

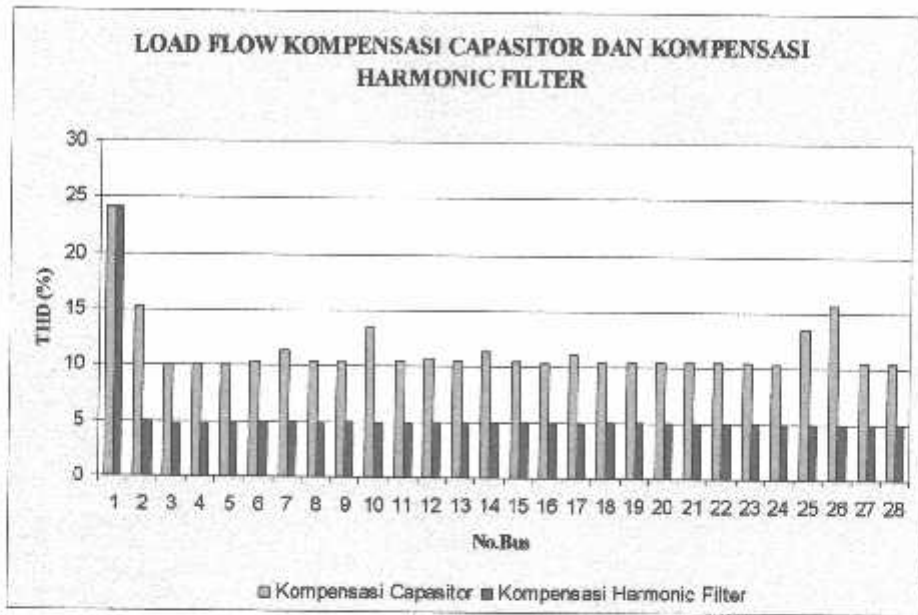


Grafik 4.3. Perbandingan *Voltage Individual Harmonic Distorsion (VIHD)* Sebelum dan Sesudah Kompensasi *Capasitor & Harmonic Filter*

Sebelum Pemasangan Kompensasi *Harmonic Filter*, sistem memiliki *Voltage Individual Harmonic Distorsion (VIHD)* rata-rata sebesar 11.09 %. Sedangkan dengan menggunakan kompensasi *harmonic filter* rata-rata *VIHD* secara rata-rata sebesar 4.88 %.

Tabel 4.11. Perbandingan *Voltage Total Harmonic Distorsion (VTHD)* Sebelum dan Sesudah Kompensasi *Capasitor & Harmonic Filter*

Kompensasi Capasitor				Kompensasi Harmonic Filter			
Bus		Voltage Distortion		Bus		Voltage Distortion	
ID	KV	Fund %	THD %	ID	KV	Fund %	THD %
Bus1	20,000	100,00	24,13	Bus1	20,000	100,00	24,13
Bus2	0,380	92,42	15,22	Bus2	0,380	93,19	4,93
Bus3	0,380	90,09	10,11	Bus3	0,380	92,14	4,75
Bus4	0,380	90,07	10,11	Bus4	0,380	92,13	4,75
Bus5	0,380	90,09	10,11	Bus5	0,380	92,14	4,75
Bus6	0,380	92,56	10,32	Bus6	0,380	94,56	4,87
Bus7	0,380	92,83	11,42	Bus7	0,380	94,45	4,91
Bus8	0,380	90,49	10,27	Bus8	0,380	92,53	4,83
Bus9	0,380	92,99	10,36	Bus9	0,380	94,98	4,90
Bus11	0,380	90,70	13,59	Bus11	0,380	91,73	4,87
Bus12	0,380	92,05	10,51	Bus12	0,380	94,07	4,84
Bus13	0,380	92,05	10,66	Bus13	0,380	94,06	4,90
Bus14	0,380	91,95	10,50	Bus14	0,380	93,96	4,89
Bus15	0,380	90,11	11,43	Bus15	0,380	91,68	4,79
Bus16	0,380	92,52	10,43	Bus16	0,380	94,52	4,92
Bus18	0,380	90,81	10,27	Bus18	0,380	92,85	4,82
Bus19	0,380	89,37	11,11	Bus19	0,380	91,47	4,86
Bus20	0,380	93,37	10,43	Bus20	0,380	95,34	4,93
Bus21	0,380	93,43	10,43	Bus21	0,380	95,41	4,93
Bus22	0,380	93,40	10,43	Bus22	0,380	95,37	4,93
Bus23	0,380	93,34	10,43	Bus23	0,380	95,31	4,93
Bus24	0,380	93,23	10,43	Bus24	0,380	95,20	4,93
Bus25	0,380	92,88	10,44	Bus25	0,380	94,87	4,93
Bus26	0,380	92,31	10,36	Bus26	0,380	94,31	4,88
Bus27	0,380	90,70	13,59	Bus27	0,380	91,73	4,87
Bus28	0,380	88,76	15,73	Bus28	0,380	89,26	4,87
MDP P2.1	0,380	93,47	10,43	MDP P2.1	0,380	95,45	4,93
MDP P2.2	0,380	93,47	10,43	MDP P2.2	0,380	95,45	4,93



Grafik 4.4. Perbandingan *Voltage Total Harmonic Distorsion (VTHD)* Kompensasi Kapasitor dan Kompensasi *Harmonic Filter*

Sebelum Pemasangan Kompensasi Harmonic Filter sistem memiliki *voltage total harmonic distorsion (VTHD)* rata-rata sebesar 11.09 %. Sedangkan dengan menggunakan kompensasi harmonik filter rata-rata VTHD secara rata-rata sebesar 4.88 %. Dapat kita katakan pemasangan Harmonic Filter dapat mereduksi harmonisa sehingga memenuhi ketentuan standarisasi dari IEEE std. 519-1992 yaitu dengan persentase THD tegangan $\leq 5\%$. Berdasarkan tabel diatas dapat dikatakan pentian ini berhasil untuk menurunkan THD tegangan.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

1. Peningkatan faktor daya dari 0,95 menjadi 0,97 membutuhkan *harmonic filter* dengan total daya sebesar 1632 Kvar pada kondisi beban puncak. Total rating kapasitor dapat di sesuaikan dengan kondisi beban.
2. Peningkatan faktor daya dari 0,95 menjadi 0,97 menyebabkan daya reaktif menurun dari 1,917 Mvar menjadi 1,217 Mvar dan pemakaian daya aktif mengalami sedikit meningkat dari 5,861 MW menjadi 5,875 MW.
3. Dengan Kompensasi kapasitor sistem memiliki *voltage individual harmonic distorsion* (VIHD) dan *voltage total harmonic distorsion* (VTHD) di atas standard yaitu rata – rata sebesar 11,09 %. Sedangkan dengan menggunakan kompensasi harmonik filter rata-rata VIHD dan VTHD masih dalam toleransi 5 % yaitu rata – rata sebesar 4,88 %.

5.2. Saran

Jika ingin dilakukan perluasan jaringan yang kemungkinan akan terjadi penambahan beban dalam jumlah besar, maka perlu terlebih dahulu dilakukan analisa load flow atau harmonik load flow agar sistem dapat tetap dipertahankan dalam kondisi stabil, rendah harmonik dan faktor daya yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

1. Stevenson, Jr. WD, Analisa Sistem Tenaga Listrik, Edisi-4, Erlangga, 1984.
2. Zuhul, "Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya", PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1995.
3. Basri, Hasan. 1997. Sistem Distribusi Daya Listrik. Jakarta : ISTN.
4. Djiteng, Marsudi, 1990. Operasi Sistem Tenaga Listrik. Jakarta : ISTN.
5. IEEE Standart 519, 1992. IEEE recommend Practice and Requirements for harmonic control in electric power system.
6. Data PT.KTI Probolinggo (single line, data saluran, data pembebanan)



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : I I M
Nim : 99.12.229/P
Masa Bimbingan : 16 Maret 2009 s/d 16 September 2009
Judul Skripsi : ANALISA PERBAIKAN KUALITAS DAYA DENGAN PEMASANGAN KAPASITOR DAN FILTER HARMONIK DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE ETAP POWER STATION DI PT.KTI PROBOLINGGO

No.	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1	20/09 3	Ace Bab I.	es.
2			
3	29/09 2	Ace Bab II	es.
4			
5	14/09 4	Ace Bab III	es.
6			
7	20/09 4	Bab N. perbaikan	es.
8		analisa + komput	
9	7/09 7	Ace Seminar	es.
10	5/09 10	Ace. karya komput	es.

Malang, 2009
Dosen Pembimbing


Ir. CHOIRUL SALEH, MT
NIP.Y.1018800190



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 : I I M
NIM : 99.12.229/P
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
Judul Skripsi : "ANALISA PERBAIKAN KUALITAS DAYA DENGAN
PEMASANGAN KAPASITOR DAN FILTER HARMONIK
DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE ETAP POWER
STATION DI PT. KTI PROBOLINGGO"

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

Hari : Rabu
Tanggal : 07 Oktober 2009
Dengan Nilai : 76.7 (B+) *84*



(Ir. H. Sidik Noertjahjono, MT)
NIP.Y. 1028700163

Panitia Ujian Skripsi

Sekretaris

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

Penguji Pertama

(Ir. M. Abdul Hamid, MT)
NIP. Y. 1018800188

Anggota Penguji

Penguji Kedua

(Irrine Budi S, ST, MT)
NIP. Y. 19770615.200501.2.002



PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

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

Hari : Rabu
Tanggal : 07 Oktober 2009

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

1. Nama : I I M
2. NIM : 99.12.229/p
3. Jurusan : Teknik Elektro
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
5. Judul Skripsi : ANALISA PERBAIKAN KUALITAS DAYA DENGAN PEMASANGAN KAPASITOR DAN FILTER HARMONIK DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE ETAP POWER STATION DI PT. KTI PROBOLINGGO

Perbaikan meliputi :

No	Materi Perbaikan	Ket.
1.	Tambahkan pembahasan mengenai kualitas daya	RF
2.	Masukkan data harmonisa di lapangan	RF
3.	Gambar satu garis yang sesungguhnya (lapangan) dan gambar di ETAP	RF
4.	Faktor daya di lapangan	RF

Anggota Penguji

(Ir. M. Abdul Hamid, MT)
NIP. Y. 1018800188

Dosen Pembimbing

(Ir. Choirul Saleh, MT)
NIP. Y. 1018800190



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 : Rabu
Tanggal : 07 Oktober 2009

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

1. Nama : I I M
2. NIM : 99.12.229/p
3. Jurusan : Teknik Elektro
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
5. Judul Skripsi : ANALISA PERBAIKAN KUALITAS DAYA DENGAN PEMASANGAN KAPASITOR DAN FILTER HARMONIK DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE ETAP POWER STATION DI PT. KTI PROBOLINGGO

Perbaikan meliputi :

No	Materi Perbaikan	Ket.
1.	Flowchart pemecahan masalah yang menunjukkan keterkaitan dengan software ETAP	
2.	Penunjukkan bus 1-28 pada program	
3.	Kenapa menggunakan 8 buah filter dan kapasitasnya berapa	
4.	Beri acuan besar kapasitas yang terpasang berdasarkan apa	

Anggota Penguji

(Irrine Budi S, ST, MT)
NIP. Y. 19770615.200501.2.002

Dosen Pembimbing

(Ir. Choirul Saleh, MT)
NIP. Y. 1018800190



Formulir Perbaikan Ujian Skripsi

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

NAMA

kim

NIM

Perbaikan melalui

- Tambahkan pembahasan mengenai Kualitas Daya
- Masukkan data harmonisa di Lapangan
- Gambar garis yg sesungguhnya (sesuai lapangan) & gambar di ETAP
- Faktor daya di lapangan.

Malang,

7-10-2019


H. M. Abdul Hamid, ST



Formulir Perbaikan Ujian Skripsi

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

NAMA

lima

NIM

Perbaikan meliputi

- Revisi hasil pembahasan mengenai yg menggunakan keterkaitan pascakont W.P. & softskill setiap
- Peninjauan bab 1-20 pd program
- Kenapa menggunakan 80% mat filter & kapasitornya
- Ben ataukah hasil kapasitor yg terpasang berdasarkan

Malang:


(Brini Kus)

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
Hari / Tanggal : Rabu / 07 Oktober 2009

Kel	Dosen Penguji	Peserta Ujian		Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II	Waktu Ujian	Ruang
		NIM	Nama				
I	Ir. M. Abd. Hamid, MT Irrine Budi Sulistyawati, ST, MT	9912229/P	lim	Ir. H. Choirul Saleh, MT		08.00	Ruang Dosen Keahlian Lantai 1
		0012004	Sigit Andi S.	Ir. H. Choirul Saleh, MT		09.00	
		0712911	Muhti Efendi	Ir. Eko Nurcahyo	Bambang Prio H, ST, MT	10.00	
		0312039	Suryo Puji K.	Ir. Eko Nurcahyo	Ir. H. Taufik Hidayat, MT	11.00	
		0112115	Diana Puspita Sari	Ir. H. Taufik Hidayat, MT		12.00	
		0112056	Alan Rozy	Ir. H. Taufik Hidayat, MT		13.00	
		0112023	Anditya Eka Rahma	Ir. H. Taufik Hidayat, MT		14.00	
		0112052	Hanang K. S.	Ir. Eko Nurcahyo		08.00	
		9512070	R. M. Guntur B. M.	Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT		09.00	
		0212014	Pieter Adji H.P.	Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT		10.00	
II	Ir. H. Choirul Saleh, MT Bambang Prio Hartono, ST, MT	0712905	Muh. Natsir B.	Ir. Eko Nurcahyo		11.00	Lab. SSTE Lantai 1
		0712901	Sonny Prayogi	Ir. Eko Nurcahyo		12.00	
		0312032	Agus Armanjaya	Ir. Eko Nurcahyo		13.00	
		0312036	Achmad Zainul	Ir. M. Abd. Hamid, MT		14.00	
		0312054	Partha Winata	Ir. M. Abdul Hamid, MT	Bambang Prio H, ST, MT	08.00	
		0312074	Rico Nurcahyadi	Ir. M. Abdul Hamid, MT	Bambang Prio H, ST, MT	09.00	
		0412036	Akhmad Choirul A.	Ir. M. Abdul Hamid, MT	Bambang Prio H, ST, MT	10.00	
		0712903	Royb Fatkhur R.	Ir. H. Choirul Saleh, MT	Bambang Prio H, ST, MT	11.00	
		0312038	Arik Seryo Nugroho	Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT	Ir. H. Choirul Saleh, MT	12.00	
		0612919	Sugiyanto H.P.	Irrine Budi S. ST, MT	Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT	13.00	
III	Ir. H. Taufik Hidayat, MT Ir. Eko Nurcahyo						Ruang Seminar Lantai 1

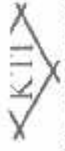
Ketua Majelis Penguji

Malang, 03 Oktober 2009
 Sekretaris Majelis Penguji

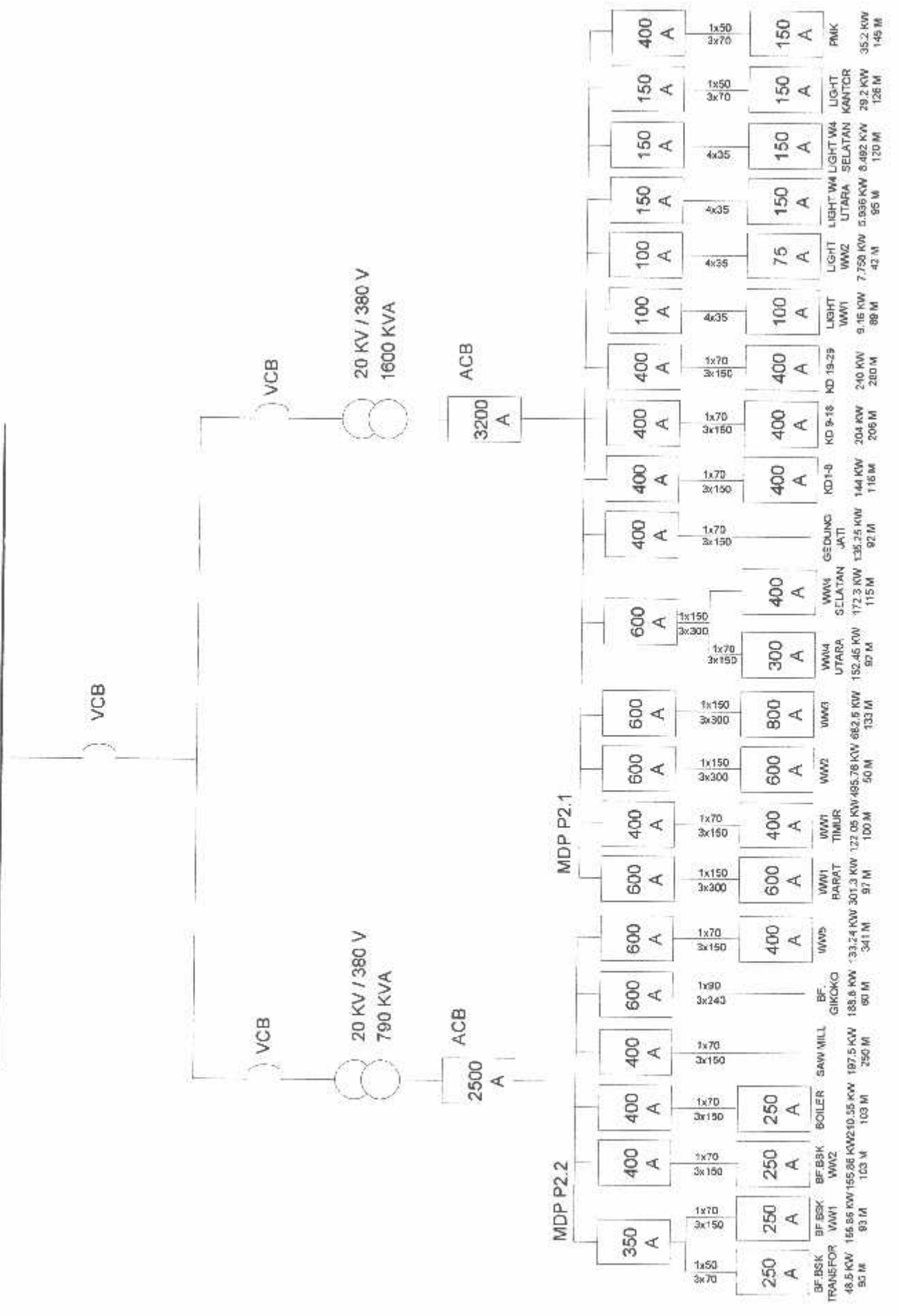


Ir. H. Sidik Noertjahjono, MT
 NIP. Y. 1028700163

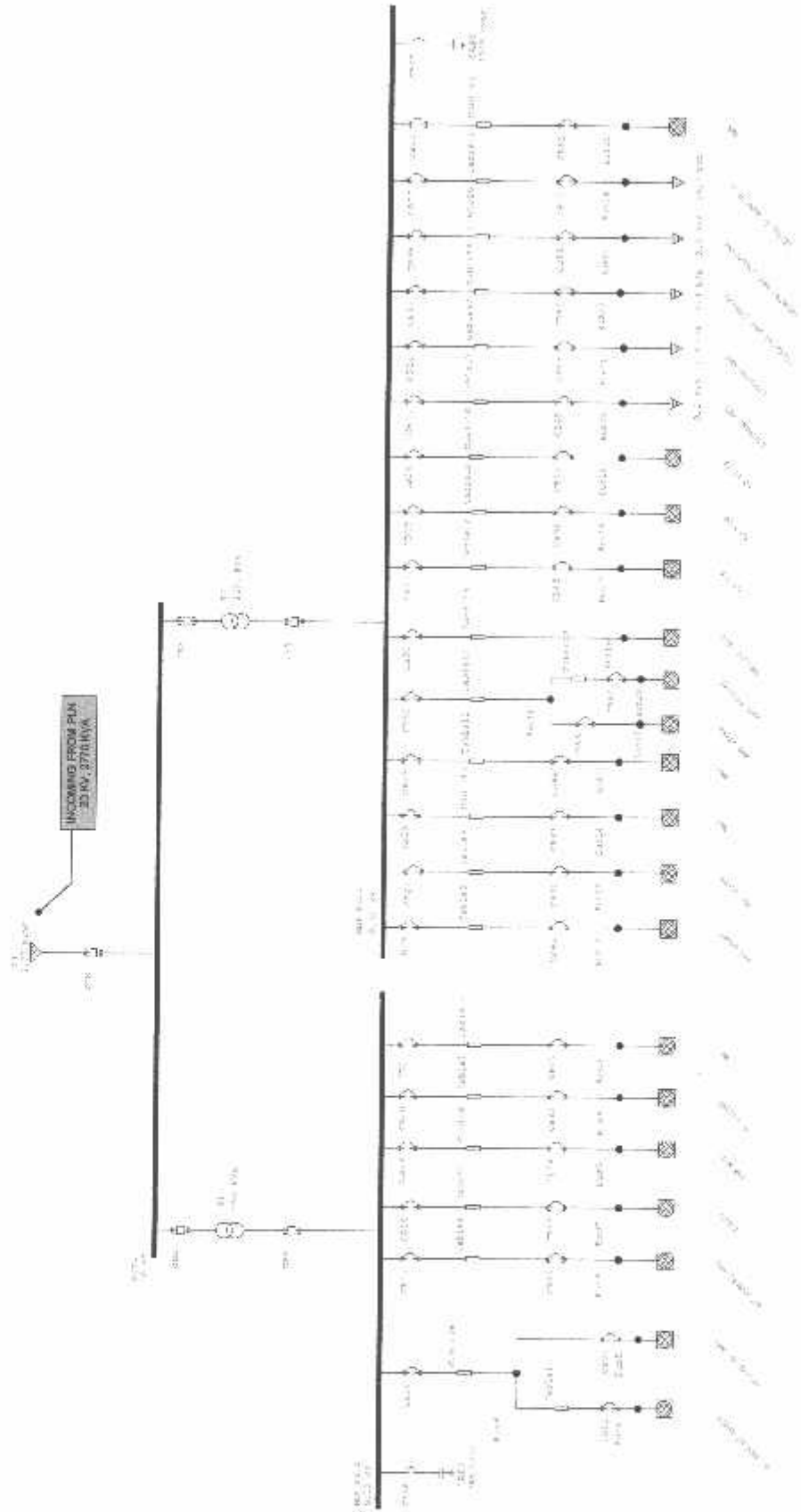
Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
 NIP. Y. 1039500274



2770 KVA



**SINGLE LINE
PT. KUTAI TIMBER INDONESIA**



1. Busbar 10 kV
 2. Busbar 10 kV
 3. Busbar 10 kV
 4. Busbar 10 kV
 5. Busbar 10 kV
 6. Busbar 10 kV
 7. Busbar 10 kV
 8. Busbar 10 kV
 9. Busbar 10 kV
 10. Busbar 10 kV
 11. Busbar 10 kV
 12. Busbar 10 kV
 13. Busbar 10 kV
 14. Busbar 10 kV
 15. Busbar 10 kV
 16. Busbar 10 kV
 17. Busbar 10 kV
 18. Busbar 10 kV
 19. Busbar 10 kV
 20. Busbar 10 kV
 21. Busbar 10 kV
 22. Busbar 10 kV
 23. Busbar 10 kV
 24. Busbar 10 kV
 25. Busbar 10 kV
 26. Busbar 10 kV
 27. Busbar 10 kV
 28. Busbar 10 kV
 29. Busbar 10 kV
 30. Busbar 10 kV
 31. Busbar 10 kV
 32. Busbar 10 kV
 33. Busbar 10 kV
 34. Busbar 10 kV
 35. Busbar 10 kV
 36. Busbar 10 kV
 37. Busbar 10 kV
 38. Busbar 10 kV
 39. Busbar 10 kV
 40. Busbar 10 kV
 41. Busbar 10 kV
 42. Busbar 10 kV
 43. Busbar 10 kV
 44. Busbar 10 kV
 45. Busbar 10 kV
 46. Busbar 10 kV
 47. Busbar 10 kV
 48. Busbar 10 kV
 49. Busbar 10 kV
 50. Busbar 10 kV
 51. Busbar 10 kV
 52. Busbar 10 kV
 53. Busbar 10 kV
 54. Busbar 10 kV
 55. Busbar 10 kV
 56. Busbar 10 kV
 57. Busbar 10 kV
 58. Busbar 10 kV
 59. Busbar 10 kV
 60. Busbar 10 kV
 61. Busbar 10 kV
 62. Busbar 10 kV
 63. Busbar 10 kV
 64. Busbar 10 kV
 65. Busbar 10 kV
 66. Busbar 10 kV
 67. Busbar 10 kV
 68. Busbar 10 kV
 69. Busbar 10 kV
 70. Busbar 10 kV
 71. Busbar 10 kV
 72. Busbar 10 kV
 73. Busbar 10 kV
 74. Busbar 10 kV
 75. Busbar 10 kV
 76. Busbar 10 kV
 77. Busbar 10 kV
 78. Busbar 10 kV
 79. Busbar 10 kV
 80. Busbar 10 kV
 81. Busbar 10 kV
 82. Busbar 10 kV
 83. Busbar 10 kV
 84. Busbar 10 kV
 85. Busbar 10 kV
 86. Busbar 10 kV
 87. Busbar 10 kV
 88. Busbar 10 kV
 89. Busbar 10 kV
 90. Busbar 10 kV
 91. Busbar 10 kV
 92. Busbar 10 kV
 93. Busbar 10 kV
 94. Busbar 10 kV
 95. Busbar 10 kV
 96. Busbar 10 kV
 97. Busbar 10 kV
 98. Busbar 10 kV
 99. Busbar 10 kV
 100. Busbar 10 kV

Data Lapangan Voltage Total Harmonic Distorsion Report
Di PT. KTI Probolinggo

VTHD (Total Harmonic Distortion) Report		
Bus		
ID	KV	THD %
Bus2	0,380	23,8
Bus3	0,380	2,00
Bus4	0,380	2,00
Bus5	0,380	2,10
Bus6	0,380	8,30
Bus7	0,380	2,30
Bus8	0,380	3,90
Bus9	0,380	3,20
Bus11	0,380	11,0
Bus12	0,380	5,30
Bus13	0,380	2,10
Bus14	0,380	5,20
Bus15	0,380	17,8
Bus16	0,380	3,20
Bus18	0,380	2,40
Bus19	0,380	3,30
Bus20	0,380	5,50
Bus21	0,380	5,45
Bus22	0,380	5,50
Bus23	0,380	5,50
Bus24	0,380	5,40
Bus25	0,380	34,6
Bus26	0,380	3,60
Bus27	0,380	5,40
Bus28	0,380	11,0

Data Lapangan Faktor Daya
Di PT. KTI Probolinggo

VTHD (Total Harmonic Distortion) Report		
Bus		
ID	KV	Cos. ϕ
Bus2	0,380	95.0
Bus3	0,380	90.0
Bus4	0,380	90.0
Bus5	0,380	91.0
Bus6	0,380	83.0
Bus7	0,380	91.0
Bus8	0,380	90.0
Bus9	0,380	92.0
Bus11	0,380	69.0
Bus12	0,380	86.0
Bus13	0,380	91.0
Bus14	0,380	85.0
Bus15	0,380	56.0
Bus16	0,380	91.0
Bus18	0,380	90.0
Bus19	0,380	91.5
Bus20	0,380	86.0
Bus21	0,380	85.0
Bus22	0,380	84.0
Bus23	0,380	85.0
Bus24	0,380	86.0
Bus25	0,380	82.0
Bus26	0,380	90.0
Bus27	0,380	84.0
Bus28	0,380	89.0

2.15. Kualitas Daya

Salah satu persyaratan kualitas daya terhadap sistem penyaluran tenaga listrik adalah kualitas tegangan yang baik dan stabil, sehingga rugi rugi energi listrik dapat dikurangi. Kualitas daya ditentukan oleh arus, tegangan, frekuensi, harmonisa, faktor daya dan pentanahan yang baik. Kualitas daya listrik dinyatakan baik jika arus, tegangan dan frekuensi selalu konstan. Dimana di PT. KTI Probolinggo sudah terpasang kapasitor, yang mana dengan pemasangan kapasitor bank dapat meminimkan rugi-rugi jaringan, memperbaiki faktor daya dan juga memperbaiki profil tegangan.