

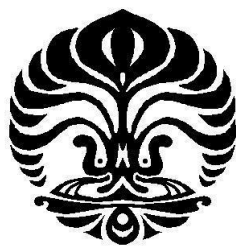
UNIVERSITAS INDONESIA

**RANCANG BANGUN SINGLE TUNED FILTER
SEBAGAI ALAT PEREDUKSI DISTORSI HARMONIK
UNTUK KARAKTERISTIK
BEBAN RUMAH TANGGA 2200VA**

SKRIPSI

**BESTION ALZARI
0706267572**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**RANCANG BANGUN SINGLE TUNED FILTER
SEBAGAI ALAT PEREDUKSI DISTORSI HARMONIK
UNTUK KARAKTERISTIK
BEBAN RUMAH TANGGA 2200VA**

SKRIPSI

diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**BESTION ALZARI
0706267572**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
2011**

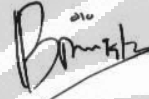
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Bestion Alzari

NPM : 0706267572

Tanda Tangan :



Tanggal : 10 Juni 2011

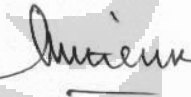
HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Bestion Alzari
NPM : 0706267572
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Rancang Bangun Single Tuned Filter Sebagai Alat
Pereduksi Distorsi Harmonik Pada Karakteristik
Beban Rumah Tangga 2200VA

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

DEWAN PENGUJI

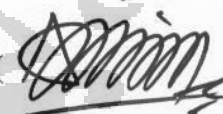
Pembimbing : Ir. Amien Rahardjo , MT

()

Penguji : Prof. Dr. Ir. Rudy Setiabudy, DEA

()

Penguji : Aji Nur Widyanto, ST, MT

()

Ditetapkan di : Kampus UI Depok

Tanggal : 4 Juli 2011

Kata Pengantar

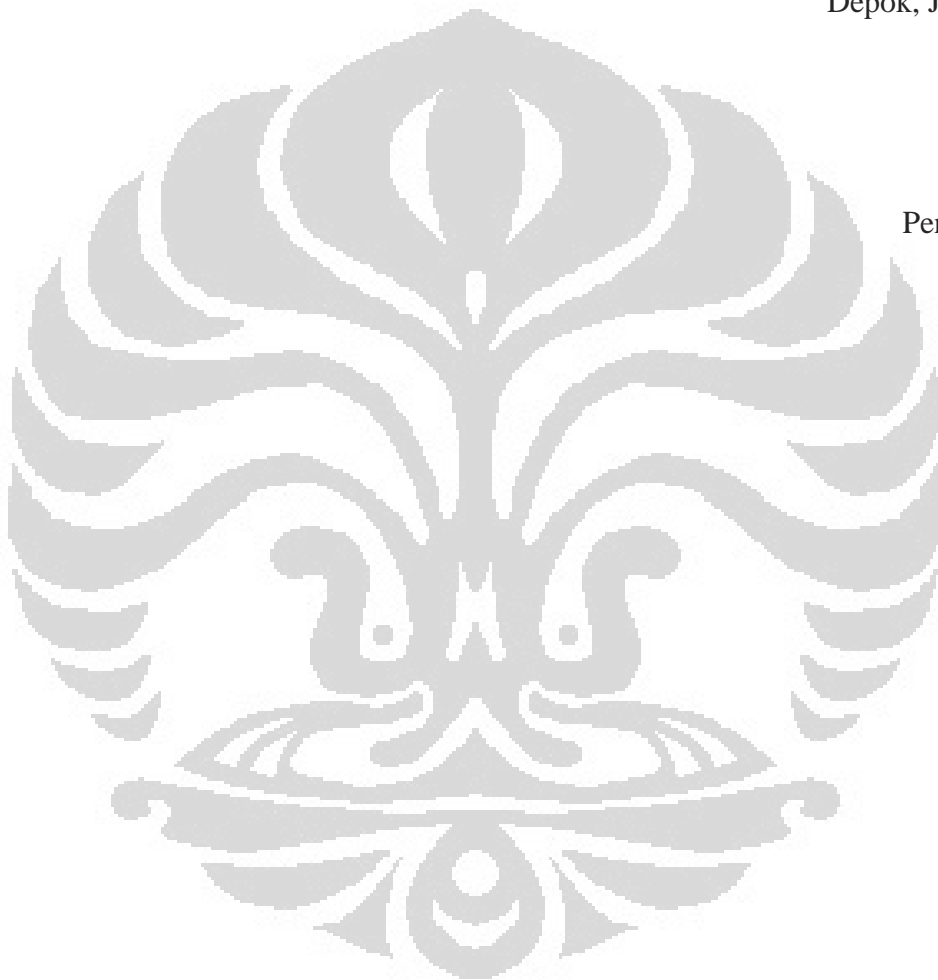
Puji syukur penulis sampaikan kepada Tuhan Yang Maha Kuasa karena atas berkah dan rahmatNya penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak dari masa perkuliahan hingga saat penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk dapat menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ir. Amien Rahardjo, MT., selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk membimbing penulis dalam penulisan skripsi ini
2. Budi Sudiarto, ST. MT., selaku dosen penasehat yang telah memberikan arahan dan bimbingan dalam penulisan skripsi ini
3. Kedua orang tua dan kakak penulis Zafril Gani, SE., Ir. Rita Fauzia, dan Wahyuli Riza Gani, SE., yang selalu memberikan dukungan moril dan materil, inspirasi, semangat, dan selalu memotivasi dalam menyelesaikan skripsi dan kuliah penulis.
4. Keluarga besar Laboratorium Tegangan Tinggi dan Pengukuran Listrik (LTTPL) terutama para asisten: Chairy, Andigan, Wilman, Pandu, Pungkie, Ary, Danyosh atas bantuannya menjadi teman diskusi selama menyelesaikan skripsi ini.
5. Semua pihak yang sudah membantu selama penulisan skripsi yang penulis tidak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun untuk membantu memperbaiki kekurangan dalam pembuatan skripsi ini. Akhir kata semoga skripsi ini bisa bermanfaat bagi yang membacanya.

Depok, Juli 2011

Penulis



HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Bestion Alzari
NPM : 0706267572
Program Studi : Teknik Elektro
Departemen : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

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

RANCANG BANGUN SINGLE TUNED FILTER SEBAGAI ALAT PEREDUKSI DISTORSI HARMONIK UNTUK KARAKTERISTIK BEBAN RUMAH TANGGA 2200VA

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di: Depok

Pada tanggal: 10 Juni 2010

Yang menyatakan,



(Bestion Alzari)

ABSTRAK

Nama : Bestion Alzari

Program studi : Teknik Elektro

Judul : RANCANG BANGUN SINGLE TUNED FILTER SEBAGAI ALAT PEREDUKSI DISTORSI HARMONIK UNTUK KARAKTERISTIK BEBAN RUMAH TANGGA 2200VA

Penggunaan beban non-linier pada beban rumah tangga dapat mengakibatkan distorsi harmonik yang berdampak pada buruknya kualitas daya. Pada skripsi ini, didesain sebuah *single tuned filter* untuk mengatasi distorsi harmonik pada beban rumah tangga 2200VA. Tahapan yang dilakukan yaitu: identifikasi jenis beban pelanggan dengan melakukan survey, melakukan pengukuran harmonik, melakukan rancang bangun filter harmonik, serta melakukan uji coba filter. Dari hasil pengujian dapat diketahui bahwa filter hasil rancangan dapat berfungsi dengan baik, dari pengujian terhadap 3 beban rumah tangga terdapat reduksi harmonik arus rata-rata yaitu dari 21,96% menjadi 12,94% dan diperoleh penghematan energi rata-rata sebesar 6,25 %.

Kata kunci : beban rumah tangga, distorsi harmonik, kualitas daya, *single tuned filter*, penghematan energi

ABSTRACT

Name : Bestion Alzari
Major : Electrical Engineering
Title : DESIGN OF SINGLE TUNED FILTER APPLICATION AS
DEVICE TO REDUCE HARMONIC DISTORTION PROBLEM
ON 2200VA HOUSEHOLD LOAD

Increasing number of non-linear loads in electric power system causes the high value of harmonic distortion which affects the poor quality of power in the system. In this paper, a single tuned filter has designed to reduce harmonic distortion in 2200VA household load. Steps being taken are: identification of types of customer load by conducting surveys, harmonic measurement, perform design and construction of harmonic filters, and tested a filter. Results of the filter tests are quite satisfactory. This single tuned filter work well, from testing on 3 household, load harmonic currents are reduced on average from 21.96% to 12.94% and obtained an average energy savings of 6.25%.

Key words : household load, harmonic distortion, power quality, *single tuned filter*, energy saving

DAFTAR ISI

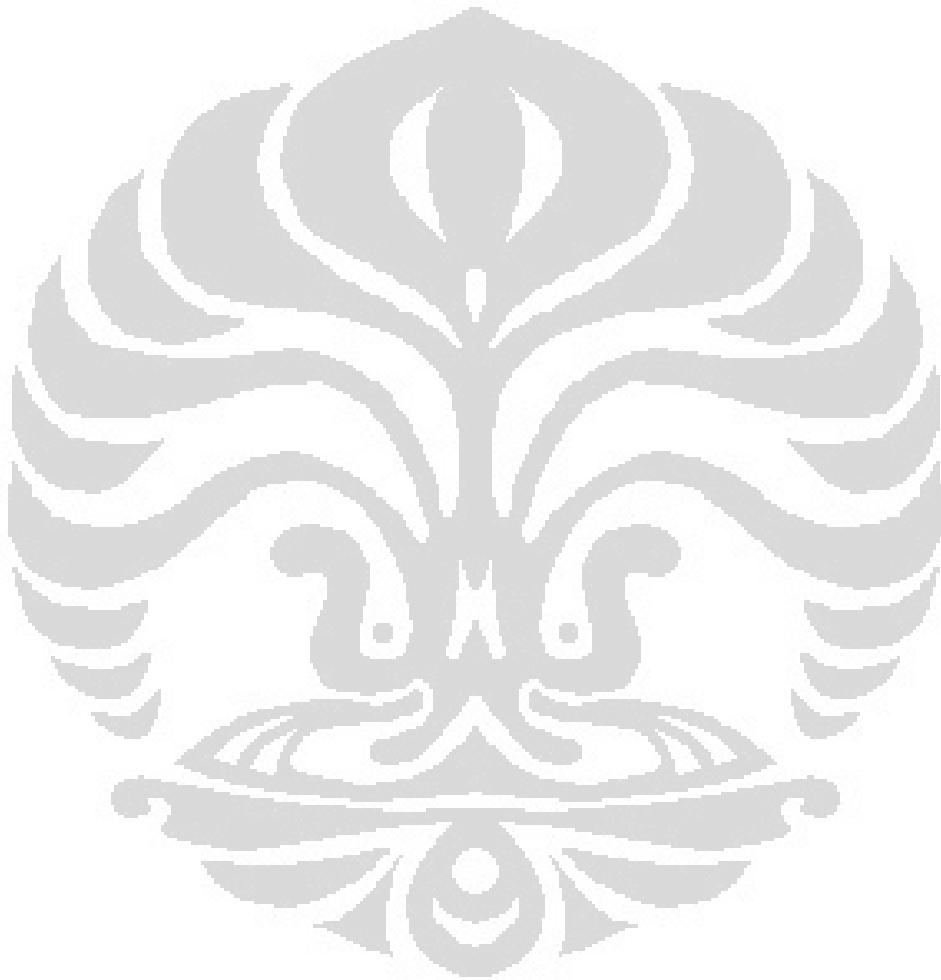
HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Tujuan.....	3
I.3 Batasan Masalah.....	3
I.4 Metodologi Penelitian.....	3
I.5 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 Dasar Harmonik.....	5
2.2 Istilah Istilah Harmonik.....	8
2.2.1 Komponen Harmonik.....	8
2.2.2 Orde Harmonik.....	8
2.2.3 Spektrum Harmonik.....	9
2.2.4 Individual Harmonik Distortion.....	9
2.2.5 Total Harmonik Distortion.....	10
2.2.6 Total Demand Distortion.....	10
2.2.7 Nilai RMS.....	11
2.2.8 Triplen Harmonik.....	11
2.2.9 Urutan Fasa Harmonik.....	13
2.3 Kuantitas Listrik dalam Keadaan Non-sinusoidal.....	14
2.4 Penyebab Timbulnya Harmonik.....	16
2.5 Akibat yang Ditimbulkan Oleh Harmonik.....	19
2.6 Efek Khusus Harmonik Pada Sistem Tenaga Listrik.....	20
2.6.1 Efek Negatif Jangka Pendek.....	20
2.6.2 Efek Negatif yang Kontiniu.....	21
2.7 Dasar Pengontrolan Harmonik.....	25
2.8 Filter Harmonik.....	27
2.9 Karakteristik Single Tuned Filter.....	35
BAB III OBJEK DAN METODOLOGI PENELITIAN.....	39
3.1 Objek Penelitian.....	39
3.2 Metodologi Penelitian.....	40
3.3 Peralatan Pengukuran.....	42

3.4	Rangkaian Pengukuran.....	43
3.5	Prosedur Pengukuran.....	44
BAB IV PERANCANGAN DAN ANALISIS KERJA FILTER.....		45
4.1	Perancangan Single Tuned Filter.....	45
4.1.1	Perhitungan Kerja Fundamental Filter.....	55
4.1.2	Perhitungan Kerja Filter Harmonik.....	55
4.1.3	Perhitungan Total Kerja Filter.....	56
4.2	Hasil Pengujian Filter Tanpa Beban.....	58
4.2.1	Tegangan dan Arus.....	59
4.2.2	THD Arus dan THD Tegangan.....	59
4.2.3	Daya dan Faktor Daya.....	60
4.3	Harmonik Tegangan Dengan Penggunaan Filter.....	61
4.4	Harmonik Arus Dengan Penggunaan Filter.....	64
4.5	Faktor Daya Dengan Penggunaan Filter.....	66
4.6	Arus, Tegangan, dan Daya Dengan Penggunaan Filter.....	68
4.7	Evaluasi Kerja Filter.....	70
BAB V KESIMPULAN.....		74
DAFTAR ACUAN.....		75
DAFTAR REFERENSI.....		76

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Bentuk Gelombang Hasil Distorsi Harmonik.....	6
Gambar 2.2	Representasi Deret Fourier Dari Gelombang.....	7
Gambar 2.3	Bentuk Spektrum Harmonik.....	9
Gambar 2.4	Arus Netral Pada Sistem Wye-Grounded.....	12
Gambar 2.4	Hubungan Komponen Daya Pada Kondisi Non-Sinusoidal.....	13
Gambar 2.5	Karakteristik gelombang arus pada beban linier.....	16
Gambar 2.6	Karakteristik gelombang arus pada beban non-linier.....	16
Gambar 2.7a	Permodelan Beban Non-linier Model Gelombang Dasar.....	18
Gambar 2.7b	Permodelan Beban Non-linier Model Gelombang Harmonik....	18
Gambar 2.8	Rangkaian Filter Beserta Konfigurasi dan Impedansinya.....	31
Gambar 2.9a	Rangkaian Single Tuned Filter.....	35
Gambar 2.9b	Kurva Impedansi Terhadap Frekuensi.....	35
Gambar 3.1	Metodologi Penelitian.....	40
Gambar 3.2	Hioki Power Analyzer 3169-20.....	42
Gambar 3.3	Rangkaian Pengukuran.....	43
Gambar 4.1	Grafik Daya Aktif Rata-Rata Terhadap Waktu.....	51
Gambar 4.2	Grafik Daya Reaktif Rata-Rata Terhadap Waktu.....	51
Gambar 4.3	Grafik Daya Total Rata-Rata Terhadap Waktu.....	52
Gambar 4.4	Single Tuned Filter Hasil Rancangan.....	58
Gambar 4.5	Grafik Harmonik Level Tegangan Tanpa dan Dengan Filter.....	63
Gambar 4.6	Harmonik Level Arus Tanpa dan Dengan Filter.....	65
Gambar 4.7	Model Sistem Filter pada Frekuensi 142.75 Hz.....	71

Gambar 4.8	Model Sistem Filter dengan Faktor Kualitas (Q).....	71
Gambar 4.9	Model Sistem Filter sebagai Beban.....	72



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Urutan Fasa Harmonik.....	24
Tabel 3.1	Batas Distorsi Tegangan Harmonik Maksimum.....	31
Tabel 3.2	Batas Distorsi Arus Harmonik Maksimum.....	31
Tabel 3.3	Harmonik Tegangan Pada Setiap Orde.....	33
Tabel 4.1	Besar THD-V Rata-rata Pada Beban.....	46
Tabel 4.2	Besar THD-I Rata-rata Pada Beba.....	46
Tabel 4.3	Besar THD-V Maksimum Pada Beban.....	47
Tabel 4.4	Besar THD-I Maksimum Pada Beba.....	48
Tabel 4.5	Data Daya dan Faktor Daya Rata-Rata Pengukuran 24 Jam.....	49
Tabel 4.5	Spesifikasi Induktansi dan Kapasitansi Filter.....	54
Tabel 4.7	Perbandingan Batasan Kerja Filter.....	57
Tabel 4.8	Tegangan dan Arus Filter.....	59
Tabel 4.9	Harmonik Tegangan dan Arus Filter.....	59
Tabel 4.10	Daya dan Faktor Daya Filter	60
Tabel 4.11	THD Tegangan Tanpa dan Dengan Filter.....	62
Tabel 4.12	Harmonik Level Tegangan Tanpa dan Dengan Filter.....	62
Tabel 4.13	THD Arus Tanpa dan Dengan Filter.....	64
Tabel 4.14	Harmonik Level Arus Tanpa dan Dengan Filter.....	64
Tabel 4.15	Faktor daya Tanpa dan Dengan Digunakan Filter.....	66
Tabel 4.16	Nilai Arus, Tegangan, dan Daya	68
Tabel 4.17	Perbandingan Penggunaan Energi Listrik Sebelum dipakai Filter dan Setelah digunakan Filter.....	69

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan salah satu komponen utama yang dibutuhkan dalam kehidupan manusia. Manusia mustahil bisa beraktivitas dengan sempurna sesuai dengan tuntutan zaman tanpa adanya energi listrik yang optimal. Seiring dengan kemajuan zaman, kebutuhan akan energi listrik semakin hari semakin meningkat. Hal ini berbanding lurus dengan kemajuan teknologi dimana terdapat beberapa perubahan dalam sistem yang dipakai untuk efektivitas, akan tetapi di sisi lain perubahan ini justru membutuhkan energi listrik yang lebih.

Secara umum parameter konkrit yang dapat dilihat dari energi listrik adalah kuantitas dan kualitas dari pada energi listrik tersebut. Kuantitas energi listrik jelas merupakan besarnya energi/daya listrik yang dipakai dimana energi listrik ini dihasilkan oleh pembangkit-pembangkit listrik. Sedangkan kualitas listrik merepresentasikan 3 elemen penting yaitu: arus, tegangan, dan frekuensi listrik. Segala bentuk penyimpangan nilai tegangan, arus, dan frekuensi listrik dapat memperburuk kualitas daya listrik yang dihantarkan. Perkembangan teknologi yang terjadi mulai memunculkan beban listrik baru yang memiliki karakteristik elektrik yang baru pula sehingga dapat mempengaruhi kestabilan energi listrik, terutama dalam hal kualitas.

Buruknya kualitas daya listrik ini dapat menyebabkan kegagalan atau kesalahan operasi beban listrik pada konsumen. PLN sebagai pihak penyedia jasa listrik di Indonesia selalu berusaha menjaga kualitas daya listrik yang dihantarkan dari mulai proses transmisi sampai distribusi ke konsumen. Akan tetapi, terkadang masalah kualitas daya listrik berasal dari beban listrik konsumen itu sendiri. Hal inilah yang menyebabkan PLN sulit dalam menjaga kualitas daya listriknya.

Salah satu masalah yang sering muncul yang berhubungan dengan kualitas daya listrik adalah adanya distorsi harmonik. Harmonik merupakan gejala pembentukan gelombang baru dengan frekuensi yang tidak sama dengan frekuensi dasarnya dimana biasanya frekuensi baru yang dimunculkan merupakan hasil kali bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya. Gelombang harmonik yang merupakan gelombang yang baru ini kemudian ber-superposisi dengan gelombang dasarnya sehingga terbentuk gelombang yang terdistorsi yang merupakan hasil superposisi dari gelombang-gelombang tersebut. Gelombang tegangan/arus AC yang sinusoidal murni dapat berubah menjadi sinusoidal terdistorsi ataupun lebih parahnya menjadi non-sinusoidal akibat distorsi harmonik tersebut. Hal ini tentu saja memperburuk kualitas listrik pada konsumen.

Distorsi harmonik ini bisa terjadi akibat adanya beban non-linier yaitu beban yang memiliki karakteristik arus yang tidak proporsional dengan tegangannya. Beban non-linier ini ada peralatan-peralatan semikonduktor, dan elektronika daya, dan komponen-komponen lain seperti: motor, trafo, *ballast* lampu penerangan, peralatan dengan kompresor seperti AC dan kulkas, dan peralatan-peralatan lain. Beban non-linier ini terdapat di hampir seluruh beban listrik, akan tetapi besarnya berbeda-beda.

Di Indonesia, penggunaan energi listrik terbesar adalah untuk keperluan rumah tangga [9]. Distorsi harmonik yang terjadi bila diakumulasi juga akan sangat besar. Oleh karena itu, perlu adanya identifikasi distorsi harmonik untuk kebutuhan rumah tangga di Indonesia sehingga PLN sebagai penyedia jasa listrik dapat mengidentifikasi, menganalisa, dan mencari solusi masalah ini dalam rangka menjaga kualitas daya listrik konsumen. Penggunaan *single tuned filter* merupakan salah satu metode yang baik dan mudah diterapkan dalam upaya mengurangi distorsi harmonik pada beban rumah tangga.

1.2 Tujuan Penulisan

Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah untuk menganalisis karakteristik kerja dari *single tuned filter* hasil rancangan dalam mereduksi distorsi harmonik pada beban rumah tangga 2200VA dengan tujuan memperbaiki kualitas daya listrik konsumen dan melakukan penghematan penggunaan energi .

1.3 Pembatasan masalah

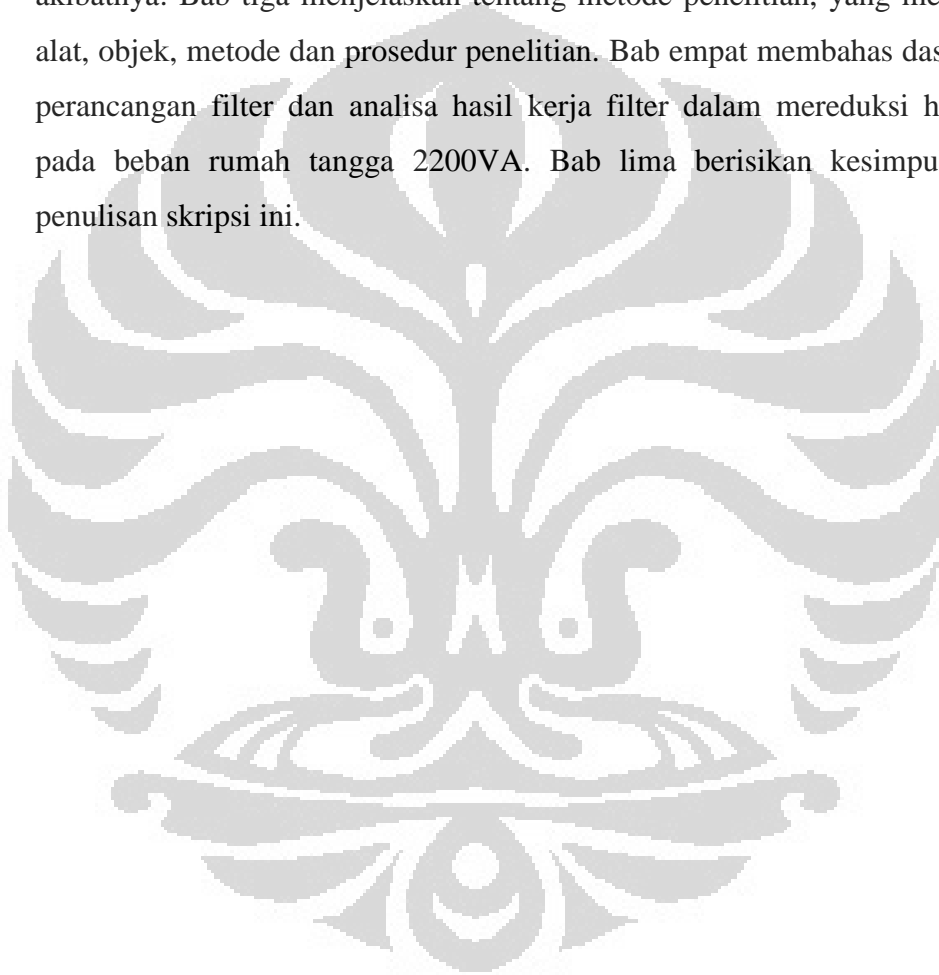
Pada penulisan skripsi ini hanya dibahas tentang penggunaan filter harmonik jenis *single tuned filter* sebagai peralatan pereduksi harmonik pada beban rumah tangga. Filter akan didesain sedemikian rupa berdasarkan kondisi pembebanan *real* di beban rumah tangga dengan kapasitas 2200VA. Adapun kinerja filter yang diuji antara lain kemampuan filter mereduksi harmonik tegangan dan arus, pengaruhnya terhadap daya dan faktor daya, serta pengaruhnya terhadap penghematan energi secara keseluruhan.

1.4 Metodologi Penelitian

Penulisan skripsi ini diawali dengan pengidentifikasian beban pelanggan yaitu dengan melakukan survey pada beban listrik rumah tangga 2200VA. Langkah berikutnya adalah melakukan pengukuran nilai harmonik tegangan dan arus untuk menentukan orde kerja dari filter. Kemudian dilakukan studi literatur untuk perancangan *single tuned filter*. Setelah filter selesai dirancang, kembali dilakukan pengujian untuk menganalisa kinerjanya dalam mereduksi distorsi harmonik pada beban beban yang telah ditentukan sebelumnya. Pengukuran menggunakan alat power analyzer.

1.5 Sistematika Penulisan

Skripsi ini dalam penyusunannya terbagi menjadi lima bab. Bab pertama merupakan pendahuluan dari skripsi ini yang menjelaskan latar belakang, tujuan penulisan, pembatasan masalah, dan metode penulisan. Bab kedua berisi dasar teori yang akan dijadikan landasan dalam penulisan skripsi ini, bab ini menjelaskan tentang distorsi harmonik meliputi penyebab dan akibatnya. Bab tiga menjelaskan tentang metode penelitian, yang merangkup alat, objek, metode dan prosedur penelitian. Bab empat membahas dasar dasar perancangan filter dan analisa hasil kerja filter dalam mereduksi harmonik pada beban rumah tangga 2200VA. Bab lima berisikan kesimpulan dari penulisan skripsi ini.



BAB II

DASAR TEORI

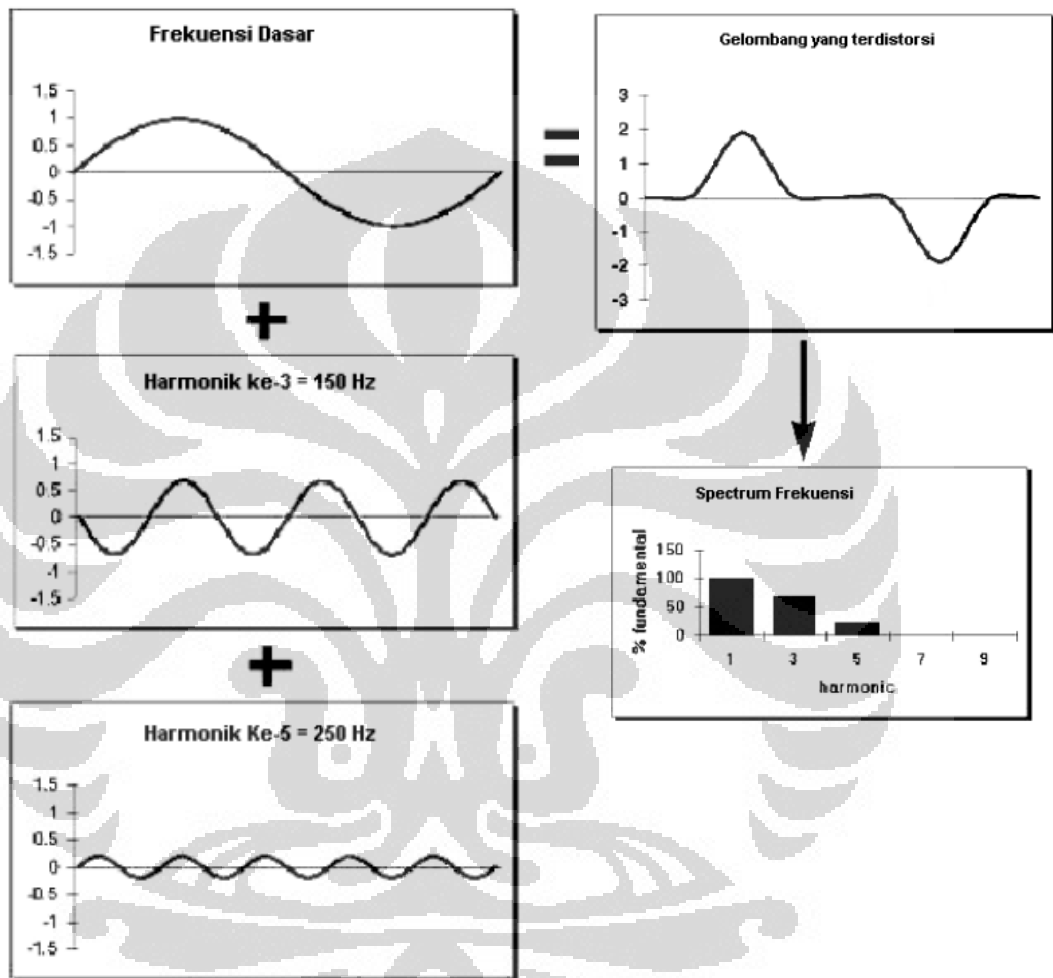
2.1 Dasar Harmonik

Secara umum ada 2 jenis sistem kelistrikan yang ada, yaitu sistem DC dan AC. Sistem DC (*direct current*) merupakan sistem kelistrikan dengan arus searah dimana tidak terdapat perubahan polaritas terhadap waktu, sedangkan sistem AC (*alternating current*) merupakan sistem dimana terdapat perubahan polaritas terhadap waktu dengan frekuensi tertentu. Di Indonesia sistem kelistrikan menggunakan sistem AC dengan frekuensi 50 Hz. Karena menggunakan sistem AC, maka idealnya gelombang tegangan dan arus yang ditransmisikan dan didistribusikan dari sumber ke beban adalah berbentuk sinusoidal murni.

Pada kenyataannya, bentuk gelombang yang seharusnya sinusoidal murni ini tidaklah sempurna seperti seharusnya. Terdapat gangguan-gangguan selama proses transmisi dan distribusi serta di beban sehingga terdapat distorsi pada gelombang sinusoidal ini sehingga bentuknya tidak lagi sinusoidal murni. Salah satu bentuk distorsi gelombang ini adalah distorsi harmonik.

Harmonik adalah gejala pembentukan gelombang sinusoidal baru dengan frekuensi yang merupakan perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya. Superposisi antara gelombang dasar dengan gelombang frekuensi harmonik menghasilkan gelombang yang terdistorsi sehingga bentuk gelombang tidak lagi sinusoidal murni, fenomena ini disebut dengan distorsi harmonik. Gelombang-gelombang ini kemudian menumpang pada gelombang murni/asli sehingga terbentuk gelombang cacat yang merupakan superposisi antara gelombang murni sesaat dengan gelombang-gelombang harmoniknya. Untuk nilai harmonik yang kecil, mungkin perubahan terhadap bentuk gelombangnya tidak terlalu signifikan, akan tetapi untuk nilai harmonik yang besar perubahannya bisa mengubah karakteristik gelombang. Harmonik

merupakan suatu fenomena yang timbul akibat terdistorsinya gelombang sinusoidal secara periodik, yang disebabkan oleh pengoperasian beban listrik yang bersifat nonlinier. Pembentukan gelombang non-sinusoidal hasil distorsi harmonik dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.1 Bentuk Gelombang Hasil Distorsi Harmonik [2]

Superposisi dari gelombang-gelombang sinusoidal tersebut menjadi gelombang non-sinusoidal (yang telah terdistorsi) dapat dianalisis menggunakan konsep deret fourier, sebagai berikut [1]:

$$Y(t) = Y_0 + \sum_{n=1}^{n=\infty} Y_n \sqrt{2} \sin(n2\pi ft - \varphi_n) \quad (2.1)$$

Keterangan :

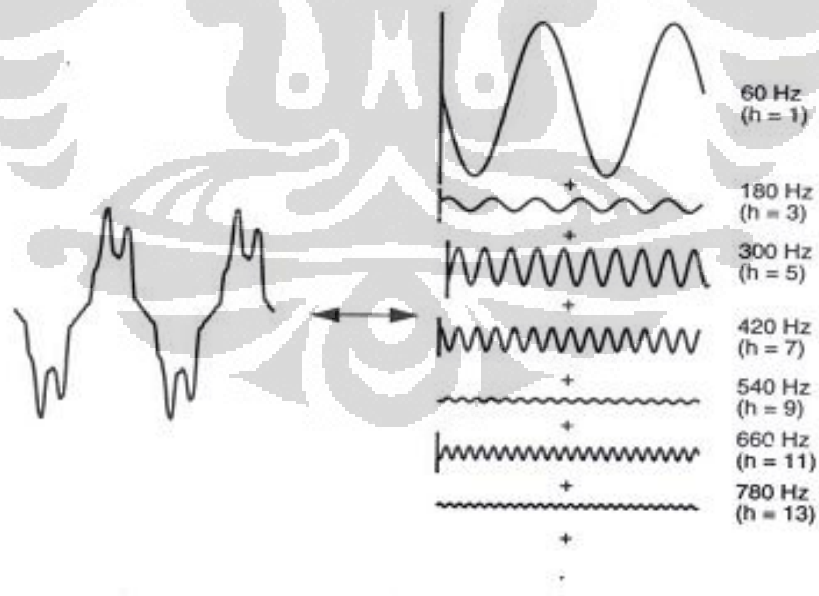
Y_0 = amplitudo dari komponen DC dimana biasanya dalam jaringan distribusi bernilai nol

Y_n = nilai rms dari harmonik komponen ke- n [volt/ampere]

f = frekuensi dasar (50 Hz)

φ_n = sudut fasa dari komponen harmonik ke- n

Hasil dari persamaan fourier diatas merepresentasikan gelombang yang telah terdistorsi. Persamaan di atas dapat digunakan untuk memisahkan gelombang yang telah terdistorsi menjadi gelombang dasar dan gelombang harmonik berdasarkan ordenya. Bentuk tegangan dan arus yang terdistorsi dapat diperoleh dengan menjumlahkan secara aljabar gelombang dasar dengan gelombang-gelombang harmonik yang mempunyai frekuensi, amplitudo, dan sudut fasa yang bervariasi [4]. Analisis Fourier juga digunakan untuk menganalisis amplitudo dan frekuensi dari gelombang yang terdistorsi. Representasi deret fourier dari gelombang yang terdistorsi dapat dilihat dari gambar tersebut:



Gambar 2.2 Representasi Deret Fourier Dari Gelombang yang Terdistorsi [1]

2.2 Istilah istilah harmonik

Pada bagian ini akan dijelaskan beberapa pengertian dan persamaan dasar harmonik.

2.2.1 Komponen Harmonik

Komponen harmonik biasa juga disebut harmonik adalah gelombang sinusoidal baru yang dihasilkan dimana gelombang yang baru ini mempunyai frekuensi perkalian antara bilangan bulat dengan frekuensi dasar

2.2.2 Orde Harmonik

Orde harmonik adalah bilangan bulat yang dimaksudkan pada pengertian harmonik sebagai faktor pengali frekuensi yang lama sehingga menghasilkan frekuensi yang baru. Nilainya merupakan perbandingan frekuensi harmonik dengan frekuensi dasar, dapat didefinisikan dengan persamaan berikut [1]:

$$n = \frac{f_n}{F} \quad (2.2)$$

Keterangan :

n = orde harmonik

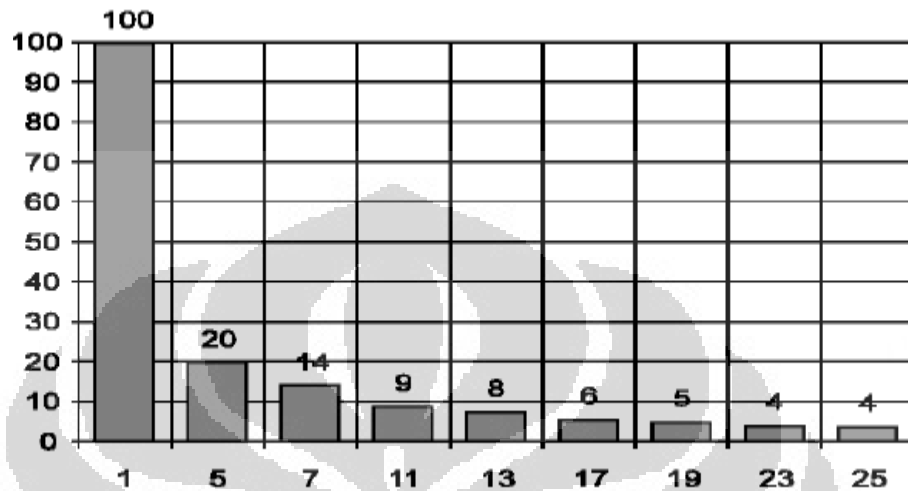
f_n = frekuensi harmonik ke- n [Hz]

F = frekuensi dasar [Hz]

Gelombang dengan frekuensi dasar tidak dianggap sebagai harmonik karena merupakan gelombang fundamental, yang dianggap sebagai harmonik adalah orde ke-2 sampai ke- n

2.2.3 Spektrum Harmonik

Spektrum adalah distribusi dari semua amplitudo komponen harmonik sebagai fungsi dari orde harmoniknya, dan direpresentasikan dengan histogram. [3]



Gambar 2.3 Bentuk Spektrum Harmonik [2]

Dari histogram diatas dapat ditarik pengertian bahwa spektrum merupakan perbandingan antara arus/tegangan frekuensi harmonik dengan arus/tegangan frekuensi dasar. Spektrum digunakan sebagai dasar merencanakan filter yang akan digunakan untuk mereduksi harmonik.

2.2.4 Individual Harmonic Distortion

Distorsi Harmonik Individu (IHD) merupakan rasio tegangan atau arus antara nilai RMS harmonik dengan nilai RMS dasar (fundamental). [5]

$$IHD_h = \sqrt{\frac{M_h^2}{M_1^2}} \quad (2.3)$$

Keterangan :

IHD_h = IHD orde harmonik ke-h ($h=2, 3, 4, 5, \dots$)

M_h = Nilai RMS arus atau tegangan harmonik ke-h [volt/ampere]

M_1 = Nilai RMS arus atau tegangan dasar [volt/ampere]

2.2.5 Total Harmonic Distortion (THD)

Total Harmonic Distortion (THD) merupakan rasio nilai rms dari komponen harmonik dengan nilai RMS dari komponen dasar yang biasanya dinyatakan dalam persen (%). Nilai THD dijadikan batasan tegangan atau arus harmonik yang masih dapat ditoleransi dalam suatu sistem tenaga listrik. Dengan parameter ini, dapat diketahui apakah distorsi yang terjadi berada pada tingkat yang dapat diterima atau pada tingkat yang merugikan. Nilai ini dapat dihitung untuk tegangan maupun arus, besarnya THD dapat didefinisikan dengan persamaan berikut [1] :

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{n=\infty} M_n^2}}{M_1} \quad (2.4)$$

Keterangan :

THD = *Total Harmonic Distortion* [%]

M_n = nilai rms arus atau tegangan harmonik ke-n [volt/ampere]

M_1 = nilai rms arus atau tegangan pada frekuensi dasar. [volt/ampere]

2.2.6 Total Demand Distortion (TDD)

Bila tingkat distorsi arus dapat dilihat dari nilai THD, namun hal tersebut dapat saja salah saat diinterpretasikan. Aliran arus yang kecil dapat memiliki nilai THD yang tinggi namun tidak menjadi ancaman yang dapat merusak sistem. Beberapa analisis mencoba untuk menghindari kesulitan seperti ini dengan melihat THD pada arus beban puncak frekuensi dasar dan bukan melihat sampel sesaat pada frekuensi dasar. Hal ini disebut total demand distortion atau distorsi permintaan total (TDD) dan masuk dalam Standar IEEE 519-1992, tentang “*Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*”.

TDD dapat didefinisikan dengan persamaan berikut [1] :

$$TDD = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{h_{\max}} I_n^2}{I_L}} \quad (2.5)$$

Keterangan :

I_n = arus harmonik orde ke-n [Ampere]

I_L = arus beban puncak pada frekuensi dasar yang diukur pada PCC

(*Point of Common Coupling*) [Ampere]

Terdapat dua cara untuk mengukur I_L , pertama yaitu pada beban yang telah terpasang pada sistem lalu dihitung nilai rata-rata dari arus beban maksimum dari 12 bulan pengukuran. Sedangkan untuk sistem yang baru, I_L harus diperkirakan berdasarkan profil beban yang akan dipasang [3].

2.2.7 Nilai rms harmonik

Nilai rms harmonik yang dihasilkan oleh gelombang arus/tegangan yang telah terdistorsi harmonik dapat didefinisikan dengan persamaan berikut [1]:

$$rms = \sqrt{\sum_{h=1}^{h_{\max}} M_h^2} = M_1 \sqrt{1 + THD^2} \quad (2.6)$$

Keterangan :

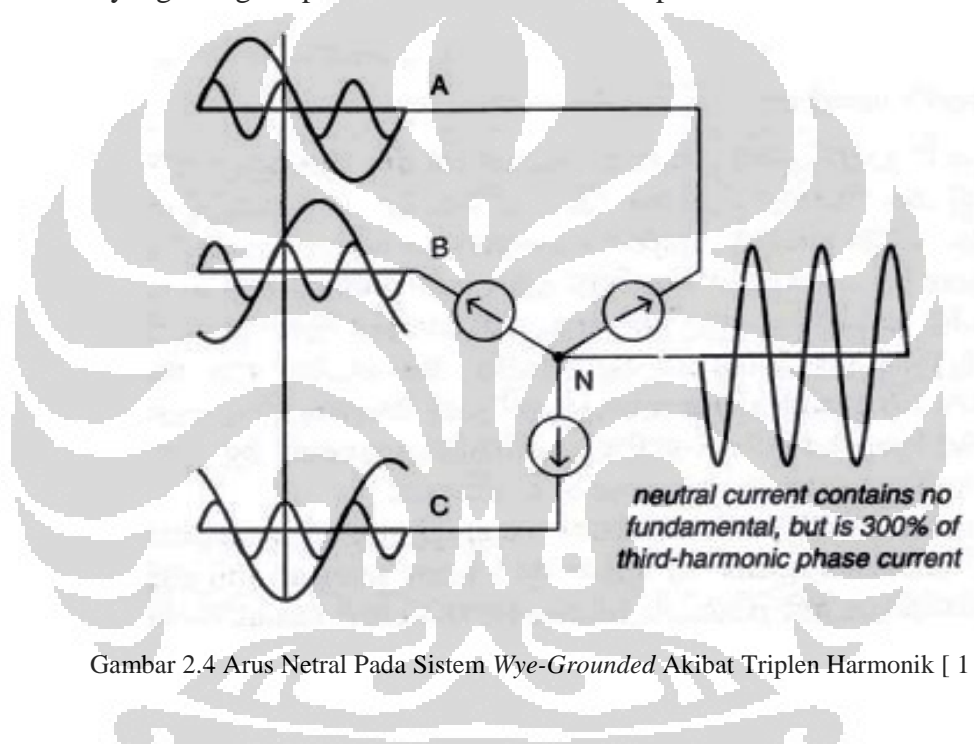
M_h = nilai rms dari arus/tegangan ke-h [volt/ampere]

2.2.8 Triplen Harmonik

Triplen harmonik merupakan kelipatan ganjil dari harmonik ketiga ($h = 3, 9, 15, 21, \dots$). Triplen harmonik harus mendapat perhatian khusus, karena respon sistem yang terjadi saat triplen harmonik umumnya berbeda dengan respon dari orde harmonik yang lain. Triplen harmonik menjadi persoalan yang penting bagi sistem jaringan bintang yang

ditanahkan (*grounded wye systems*) dengan arus yang mengalir pada netral sistem tersebut. Arus pada netral menjadi *overload*, karena arus antar fasanya tidak saling menghilangkan melainkan saling menjumlahkan. Terkadang, peralatan dapat salah beroperasi karena tegangan fasa yang terdistorsi cukup parah oleh triplen harmonik pada konduktor netral. [4]

Untuk lebih memahami triplen harmonik, berikut adalah gambar arus yang mengalir pada netral sistem akibat triplen harmonik:



Gambar 2.4 Arus Netral Pada Sistem *Wye-Grounded* Akibat Triplen Harmonik [1]

Sistem pada gambar ini merupakan sistem yang seimbang, diasumsikan komponen harmonik ketiga hadir dalam sistem. Komponen arus fundamental dari setiap fasa yang mengalir pada konduktor netral sistem akan saling menghilangkan, namun ternyata pada sistem ditemukan bahwa arus pada konduktor netral tidak nol, melainkan ada komponen arus triplen harmonik dari ketiga fasa yang saling menjumlahkan. Sehingga arus triplen harmonik yang mengalir pada konduktor netral adalah tiga kali dari arus triplen pada setiap fasanya. Hal ini disebabkan karena fasa dan waktu dari arus triplen yang sama dari setiap fasanya.[4]

2.2.9 Urutan Fasa Harmonik

Komponen-komponen simetris dapat digunakan untuk memberikan gambaran perilaku sistem tiga fasa. Sistem tiga fasa di transformasikan menjadi tiga sistem satu fasa yang lebih sederhana untuk dapat dianalisis. Metode komponen simetris dapat juga digunakan untuk analisis respon sistem terhadap arus harmonik [3]. Berikut adalah tabel urutan fasa harmonik:

Tabel 2.1 Urutan Fasa Harmonik

Orde Harmonik	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	...
Urutan Fasa Harmonik	+	-	0	+	-	0	+	-	0	+	...

2.3 Kuantitas Listrik pada kondisi non-sinusoidal

Pasca terjadinya distorsi harmonik dimana terdapat pembentukan gelombang baru dengan frekuensi yang berbeda dengan gelombang aslinya, terciptalah gelombang baru yang bentuknya menjadi gelombang non-sinusoidal hasil superposisi gelombang pada frekuensi dasar dengan gelombang harmoniknya. Oleh karena itu, komponen-komponen seperti arus dan tegangan pada kondisi non-sinusoidal juga harus diperhitungkan komponen harmoniknya. Untuk nilai rms arus dan tegangan saat kondisi non-sinusoidal dapat didefinisikan dengan persamaan berikut [1]:

$$Y_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T y^2(t) dt} = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} Y_h^2} = \sqrt{Y_1^2 + Y_h^2} \quad (2.7)$$

Keterangan ;

Y_{rms} = tegangan atau arus pada kondisi non-sinusoidal [volt/ampere]

T = periode v(t) dan i(t) [detik]

Y_1 = tegangan atau arus rms pada frekuensi dasar [volt/ampere]

Daya listrik yang dikirimkan dari sumber ke beban adalah berupa daya kompleks. Daya kompleks itu terdiri dari daya aktif dan daya reaktif. Komponen daya aktif (daya nyata) adalah daya yang diserap oleh beban untuk melakukan kerja yang sesungguhnya (daya yang dikonsumsi), sedangkan daya reaktif adalah daya yang tidak terlihat sebagai kerja nyata dan biasanya dipengaruhi oleh komponen yang bersifat reaktif.

Besarnya daya kompleks pada kondisi harmonik juga harus diperhitungkan. Persamaan untuk Daya aktif (P), daya reaktif (Q), dan daya kompleks (S) pada kondisi non-sinusoidal dapat didefinisikan sebagai berikut [2]:

$$P = \sum_{h=1}^{\infty} V_h I_h \cos(\phi_h - \theta_h) = \sum_{h=1}^{\infty} P_h \text{ Watt} \quad (2.8)$$

$$Q = \sum_{h=1}^{\infty} V_h I_h \sin(\phi_h - \theta_h) = \sum_{h=1}^{\infty} Q_h \text{ VAR} \quad (2.9)$$

$$S = \sqrt{P_1^2 + Q_1^2 + D^2} \quad (2.10)$$

Keterangan :

P = daya aktif pada kondisi non-sinusoidal [Watt]

Q = daya reaktif pada kondisi non-sinusoidal [VAR]

S = daya kompleks pada kondisi non-sinusoidal [VA]

P₁ = daya aktif pada frekuensi dasar [Watt]

Q₁ = daya reaktif pada frekuensi dasar [VAR]

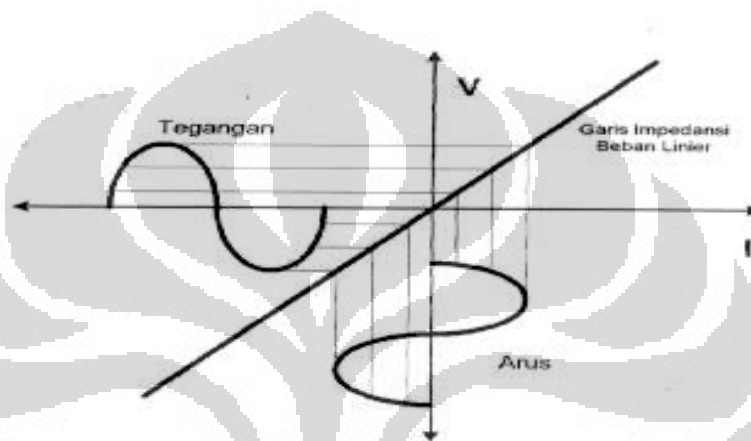
D = distorsi daya akibat harmonik [VA]

Untuk faktor daya pada kondisi non-sinusoidal dapat didefinisikan dengan persamaan berikut:

$$PF = \frac{P}{S} \quad (2.11)$$

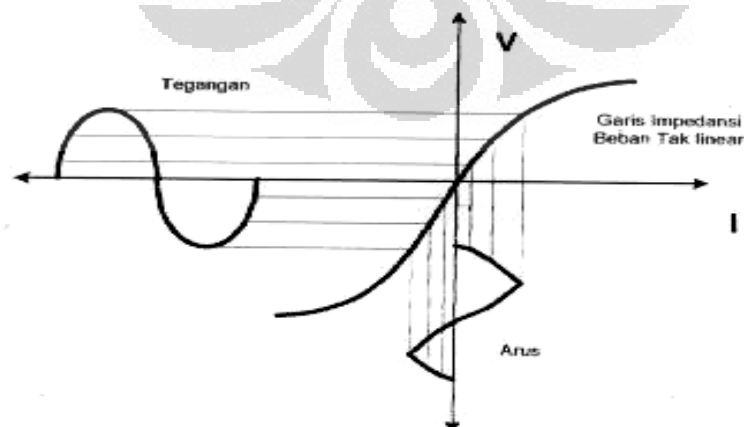
2.4 Penyebab Timbulnya Harmonik

Dalam sistem tenaga listrik dikenal dua jenis beban yaitu beban linier dan beban non-linier. Beban linier adalah beban yang memberikan bentuk gelombang keluaran yang linier artinya arus yang mengalir sebanding dengan impedansi dan perubahan tegangan. Hal ini dapat dijelaskan pada gambar berikut :



Gambar 2.5 Karakteristik Gelombang Arus Pada Beban Linier [2]

Sedangkan untuk beban non-linier, bentuk gelombang keluarannya tidak sebanding dengan tegangan dalam setiap setengah siklus sehingga bentuk gelombang arus maupun tegangan keluarannya tidak sama dengan gelombang masukannya (mengalami distorsi). Hal ini dapat dijelaskan pada gambar berikut:



Gambar 2.6 Karakteristik Gelombang Arus Pada Beban Non-Linier [2]

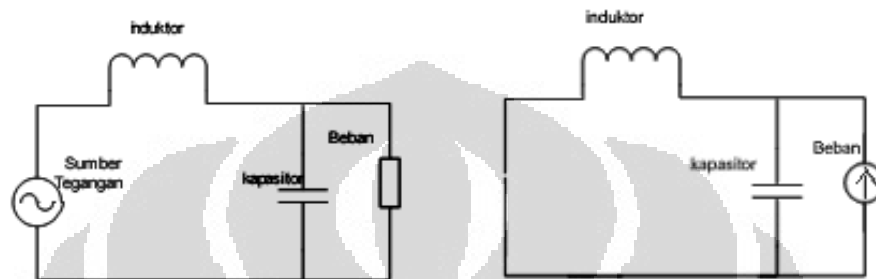
Beban non-linier adalah beban listrik yang dapat menyebabkan gelombang keluaran arus dan tegangan memiliki karakteristik yang berbeda dengan gelombang arus dan tegangan masukannya pada setiap siklusnya. Beban non-linier yang umumnya merupakan peralatan elektronik yang didalamnya banyak terdapat komponen semikonduktor, dalam proses kerjanya berlaku sebagai sakelar yang bekerja pada setiap siklus gelombang dari sumber tegangan. Proses kerja ini akan menghasilkan gangguan atau distorsi gelombang arus yang tidak sinusoidal. Bentuk gelombang ini tidak menentu dan dapat berubah menurut pengaturan pada parameter komponen semikonduktor dalam peralatan elektronik. Perubahan bentuk gelombang ini tidak terkait dengan sumber tegangannya.

Sumber harmonik secara garis besar terdiri dari 2 jenis yaitu peralatan yang memiliki kondisi saturasi dan peralatan elektronika daya [3]. Peralatan yang memiliki kondisi saturasi biasanya memiliki komponen yang bersifat magnetik seperti transformator, mesin-mesin listrik, tanur busur listrik, peralatan yang menggunakan *power supply*, dan *magnetic ballast*. Peralatan elektronika daya biasanya menggunakan komponen-komponen elektronika daya seperti tiristor, dioda, dan lain-lain. Contoh peralatan yang menggunakan komponen elektronika daya adalah konverter statik, konverter PWM, inverter, pengendali motor listrik, *electronic ballast*, dan sebagainya.

Pada rumah tangga, beban non-linier terdapat pada peralatan seperti lampu hemat energi, televisi, *video player*, ac, komputer, dan kulkas/dispenser. Peralatan ini dirancang untuk menggunakan arus listrik secara hemat dan efisien karena arus listrik hanya dapat melalui komponen semikonduktornya selama periode pengaturan yang telah ditentukan. Namun disisi lain hal ini akan menyebabkan gelombang mengalami gangguan gelombang arus dan tegangan yang pada akhirnya akan kembali ke bagian lain sistem tenaga listrik. Fenomena ini akan menimbulkan gangguan beban tidak linier satu fasa. Hal di atas banyak terjadi pada distribusi yang memasok pada areal perkantoran/komersial. Sedangkan pada areal perindustrian gangguan yang

terjadi adalah beban non-linier tiga fasa yang disebabkan oleh motor listrik, kontrol kecepatan motor, *batere charger*, *electroplating*, dapur busur listrik, dan lain-lain.

Beban non-linier dapat dimodelkan sebagai sumber arus harmonik seperti pada gambar berikut:



Gambar 2.7 Pemodelan Beban Non-Linier Sebagai Sumber Harmonik [2]

(a) Model Gelombang Dasar

(b) Model Gelombang Harmonik

2.5 Akibat yang Ditimbulkan Harmonik

Distorsi harmonik dapat menimbulkan efek yang signifikan namun berbeda-beda pada peralatan listrik yang terhubung dengan jaringan listrik tergantung karakteristik beban listrik itu sendiri. Secara umum pengaruh harmonik pada peralatan tenaga listrik ada tiga, yaitu :

1. Nilai rms tegangan dan arus lebih besar

Nilai rms lebih besar dapat menyebabkan pemanasan yang lebih tinggi pada konduktor, trafo, ataupun komponen listrik lainnya. Hal ini terjadi karena besarnya arus yang mengalir melebihi nilai normalnya. Pemanasan yang berlebihan ini berujung pada menurunnya daya tahan komponen sehingga biasanya rusak sebelum waktunya apabila nilai harmoniknya cukup besar.

2. Nilai puncak (*peak value*) tegangan dan arus lebih besar

Nilai puncak yang lebih besar dapat mengakibatkan pemanasan yang berlebihan sehingga dapat memperburuk daya tahan komponen. Selain itu, besar tegangan jatuh juga akan semakin besar karena kawat sering menerima tegangan puncak.

3. Mengubah nilai frekuensi sistem

Frekuensi mempengaruhi impedansi kawat, dimana semakin tinggi frekuensi (biasanya diatas 400 Hz) berarti semakin sering kawat menerima tegangan puncak sehingga semakin besar tegangan jatuh yang terjadi. Fenomena resonansi dapat terjadi pada frekuensi tertentu dan dapat menyebabkan arus meningkat. [4]

2.6 Efek Khusus Harmonik Pada Sistem Tenaga Listrik

Secara khusus efek yang ditimbulkan oleh distorsi harmonik pada sistem tenaga listrik dapat dibagi menjadi efek negatif jangka pendek dan efek negatif yang bersifat terus menerus.

2.6.1 Efek negatif jangka pendek

Efek negatif jangka pendek yang diakibatkan oleh terjadinya distorsi harmonik antara lain :

1. Timbulnya getaran mekanis pada panel listrik yang merupakan getaran resonansi mekanis akibat harmonik arus frekuensi tinggi. Pada mesin-mesin berputar seperti generator dan motor, torsi mekanik yang diakibatkan oleh arus harmonik dapat menyebabkan getaran dan suara pada mesin-mesin tersebut. Torsi sesaat dihasilkan oleh interaksi antara fluks celah udara (sebagian besar komponen dasar) dan fluks yang dihasilkan oleh arus harmonik didalam rotor [7]. Torsi ini dapat mempengaruhi bentuk kurva torsi kecepatan pada motor.
2. Tegangan harmonik dapat mengganggu kontrol yang digunakan pada sistem elektronik. Sebagai contoh, harmonik mengganggu *controller* yang digunakan pada elektronika daya. Yang terganggu adalah pada saat kondisi putus hubungan dari tiristor.
3. Harmonik dapat menimbulkan tambahan torsi pada kWh meter jenis elektromekanis yang menggunakan piringan induksi berputar [1]. Sebagai akibatnya, putaran piringan akan lebih cepat atau terjadi kesalahan ukur kWh meter karena piringan induksi tersebut dirancang hanya untuk beroperasi pada frekuensi dasar.

Pengaruh harmonik terhadap akurasi alat ukur adalah:

- Alat ukur menjadi sensitif terhadap frekuensi.
- Medan magnet dari koil tegangan dalam sebuah alat ukur non-linier dan mengandung beberapa komponen harmonik yang seharusnya dari kompensasi alat. Diyakini bahwa torsi tambahan

akan terbentuk, meskipun tidak ada tegangan dan arus harmonik pada jaringan distribusi.

- Alat ukur tidak mengukur komponen energi DC yang seharusnya.
4. Harmonik mengakibatkan Interferensi frekuensi pada sistem telekomunikasi karena biasanya kabel untuk keperluan telekomunikasi ditempatkan berdekatan dengan kawat netral. Triplen harmonik pada kawat netral dapat memberikan induksi harmonik yang mengganggu sistem telekomunikasi
 5. Harmonik juga dapat mengganggu alat-alat pengaman dalam sistem tenaga listrik seperti relay. Karena sifat relay yang sensitif terhadap perubahan arus dan frekuensi maka relay bisa salah beroperasi karena terjadi perubahan frekuensi ataupun arus walaupun tidak ada gangguan. Selain itu, harmonik dapat menyebabkan perubahan impedansi, arus dan tegangan dari sistem. Sedangkan relay jarak bekerja berdasarkan prinsip impedansi dan arus.
 6. Pemutusan beban. Pemutus beban dapat bekerja dibawah arus pengenalnya atau mungkin tidak bekerja pada arus pengenal. Pemutus beban yang dapat terhindar dari gangguan harmonik pada umumnya adalah pemutus beban yang mempunyai respon terhadap arus rms sebenarnya (*true-rms current*) atau kenaikan temperatur karena arus lebih

2.6.2 Efek yang Bersifat Kontinu

Kerusakan yang diakibatkan oleh distorsi harmonik ada juga yang bersifat kontinu yaitu :

1. Kerusakan pada alat koreksi faktor daya (*capasitor bank*)

Arus harmonik lebih suka mengalir pada impedansi rendah, misalkan pada kapasitor, karena kapasitor memiliki impedansi rendah untuk frekuensi tinggi. Kapasitor merupakan salah satu komponen listrik yang sangat sensitif terhadap perubahan beban. Jika terjadi harmonik

maka rugi-rugi akan meningkat. Ketika harmonik terjadi, beban akan semakin reaktif sehingga kapasitor harus mencatu lebih banyak daya reaktif kepada sistem. Satu hal lagi yang harus diperhatikan adalah terjadinya resonansi. Saat terjadi resonansi, impedansi sistem hanya dilihat resistif yang sangat kecil. Sehingga arus yang masuk akan sangat besar dan dapat mengakibatkan kerusakan.

2. Pemanasan pada motor-motor listrik

Tegangan input pada motor motor listrik AC idealnya adalah berbentuk sinusoidal murni, akan tetapi karena adanya distorsi harmonik tegangan input ini menjadi non-sinusoidal. Tegangan non-sinusoidal yang diterapkan pada motor listrik dapat menimbulkan masalah masalah berupa meningkatkan rugi inti dan rugi belitan dan pemanasan yang berlebihan. Tegangan atau arus harmonik meningkatkan rugi daya pada gulungan stator, rangkaian rotor, dan laminasi stator dan rotor. Rugi pada penghantar stator dan rotor lebih besar daripada resistansi DC-nya, karena adanya efek *eddy current* dan *skin effect*. Rugi daya tambahan merupakan efek harmonik yang paling serius dalam mesin arus bolak-balik. Rugi-rugi ini tergantung pada spektrum frekuensi dari tegangan yang diterapkan. Arus harmonik menimbulkan panas lebih. Bila mesin dioperasikan terus menerus pada kondisi ini, maka umur mesin akan berkurang dan lebih jauh dapat mengakibatkan kerusakan.

3. Pemanasan pada transformator

Transformator merupakan salah satu komponen yang penting dalam sistem tenaga listrik yang dirancang sesuai dengan frekuensi kerjanya karena frekuensi merupakan variabel tetap pada pengoperasian trafo.

Frekuensi harmonik yang lebih tinggi dari frekuensi kerjanya akan mengakibatkan beberapa efek buruk pada trafo antara lain:

- Panas lebih yang dibangkitkan oleh arus beban yang mengandung harmonik.
- Keberadaan arus harmonik yang signifikan dapat menyebabkan rugi-rugi dalam belitan dan bagian-bagian yang lain
- Pdc losses (Jika nilai rms dari arus beban naik yang disebabkan oleh adanya komponen harmonik, maka rugi-rugi tersebut akan naik sebanding dengan kuadrat dari arus).
- Meningkatnya *eddy current*. Kenaikan dari rugi-rugi arus eddy dihasilkan oleh arus beban yang non-sinusoidal dan dapat menyebabkan rugi belitan yang berlebih dan kenaikan temperatur yang tidak normal. Karena itu pengaruh dari arus harmonik sangat penting, tidak hanya karena diasumsikan tingkatan dari kuadrat harmonik tetapi juga disebabkan oleh kehadiran arus harmonik yang relatif besar dalam sistem tenaga.
- Kemungkinan resonansi paralel transformator dengan kapasitansi sistem. Transformator distribusi yang menyuplai daya ke beban non-linier menimbulkan arus harmonik kelipatan tiga ganjil. Harmonik ini dapat menghasilkan arus netral yang lebih tinggi dari arus fasa. Akibatnya terjadi peningkatan temperatur pada kawat netral. Sebagai dampak lanjutnya, akan terjadi sirkulasi arus urutan nol pada belitan delta transformator sehingga temperaturnya akan meningkat. Peningkatan temperatur ini akan menurunkan efisiensi transformator dan lebih jauh lagi dapat mengakibatkan kerusakan. Rugi-rugi yang terjadi pada transformator adalah rugi-rugi inti dan rugi-rugi belitan. Rugi-rugi inti karena fluks yang dibangkitkan didalam inti bila transformator dieksitasi. Rugi-rugi belitan yang terdiri dari I^2R dan *stray losses* dibangkitkan oleh arus yang mengalir melalui transformator.

4. Pemanasan Pada kabel dan peralatan lain

Rugi-rugi kabel yang dilewati oleh arus harmonik akan semakin besar. Hal ini disebabkan meningkatnya resistansi dari tembaga akibat meningkatnya frekuensi (*skin effect*). Akibatnya akan terjadi pemanasan pada kawat penghantar. Ada dua mekanisme dimana arus harmonik dapat menyebabkan pemanasan dalam penghantar yang lebih besar dari nilai arus rms yang diharapkan. Mekanisme pertama disebabkan distribusi arus dalam penghantar, termasuk efek kulit (*skin effect*) dan efek kedekatan (*proximity effect*). *Skin effect* disebabkan distribusi arus dipermukaan lebih besar daripada didalam penghantar, sehingga resistansi efektif meningkat. *Skin effect* meningkat dengan kenaikan frekuensi dan diameter penghantar. Sedangkan *proximity effect* disebabkan medan magnet penghantar mengganggu distribusi arus pada penghantar-penghantar yang berdekatan. Mekanisme kedua disebabkan arus yang tinggi pada penghantar netral pada sistem distribusi tiga fasa empat kawat yang menyuplai beban-beban satu fasa. Beberapa beban seperti *power supply switch mode* menghasilkan arus harmonik ketiga yang cukup berarti. Untuk beban konverter, arus harmonik ketiga dalam rangkaian tiga fasa menghasilkan arus netral yang lebih besar dari arus fasanya. Karena penghantar netral biasanya sama ukurannya dengan penghantar fasa, maka penghantar netral menjadi berbeban lebih dan akhirnya terjadi panas lebih. Cara yang paling umum untuk mengatasi hal ini adalah dengan memperbesar ukuran penghantar netral dua kali atau lebih besar dari penghantar fasanya.

2.7 Dasar Pengontrolan Harmonik

Apabila sebuah sistem tenaga listrik mengalami permasalahan distorsi harmonik, ada beberapa cara dasar untuk mengatasinya, yaitu dengan:

1. Mengurangi arus harmonik yang dihasilkan oleh beban.

Pada dasarnya ada beberapa hal yang dapat dilakukan terhadap peralatan beban untuk mengurangi kuantitas harmonik yang dihasilkan. Suatu transformator yang overeksitasi dapat dikembalikan kepada kondisi normal dengan menurunkan tegangan yang diberikan kepadanya [8], sedangkan peralatan *arching* dan kebanyakan konverter elektronika daya sudah fix kondisinya sesuai dengan karakteristik rancangannya. Berbeda dengan PWM drives yang melakukan *charging* dc bus kapasitor langsung dari line tanpa ada impedansi tambahan, menambahkan suatu reaktor pada line secara seri dapat secara signifikan mengurangi harmonik. Hubungan transformator dapat digunakan untuk mengurangi harmonik pada sistem tiga fasa. Hubungan delta pada transformator dapat memblok aliran arus urutan nol harmonik (khususnya triplen harmonik) dari line. [4]

2. Menambah filter untuk mengalihkan arus harmonik dari sistem, memblok arus yang memasuki sistem, atau melokalisir arus harmonik.

Filter Shunt bekerja dengan menshort-circuitkan arus harmonik sedekat mungkin kepada sumber distorsi secara praktis. Hal ini menjaga arus agar tetap jauh dari sistem. Ini merupakan tipe filter yang banyak diaplikasikan karena pertimbangan ekonomis dan juga karena filter cenderung memperhalus tegangan pada sisi beban sebaik cara memindahkan/meredam arus harmonik. Pendekatan lain adalah dengan memakai filter seri yang dapat memblok arus harmonik. Cara semacam ini merupakan rangkaian *parallel-tuned* yang memberikan impedansi yang besar kepada arus harmonik. Filter semacam ini jarang digunakan karena sulit untuk mengisolasinya dari jalur listrik dan tegangan pada sisi beban dapat sangat terdistorsi. Aplikasi yang umum adalah pada sisi netral

kapasitor terhubung bintang yang ditanahkan yang dapat memblokir aliran dari arus triplen harmonik. [4]

3. Merubah respon frekuensi dengan menggunakan filter, induktor, dan kapasitor [5]. Respon sistem yang merugikan terhadap harmonik dapat dimodifikasi dengan beberapa metoda : Menambah filter shunt. Filter ini tidak hanya meredam arus harmonik, tetapi juga seringkali merubah respon sistem.
 - Menambah reaktor untuk memperbaiki sistem. Resonansi yang merugikan biasanya terjadi antara induktansi sistem dengan kapasitor yang digunakan sebagai perbaikan faktor daya sistem. Reaktor harus diletakkan diantara kapasitor dan sistem. Metoda untuk meletakkan reaktor secara seri dengan kapasitor dapat menghindari terjadinya resonansi sistem tanpa menyetel kapasitor untuk membuat filter.
 - Mengubah ukuran dari kapasitor. Hal ini merupakan pilihan terakhir yang mahal bagi kedua sisi, penyedia listrik dan pelanggan industri.
 - Memindahkan kapasitor pada titik dengan impedansi hubung singkat yang berbeda atau pada titik dengan losses terbesar. Bagi penyedia listrik hal ini dapat menimbulkan masalah yakni menimbulkan interferensi telepon walaupun hal ini dapat mengatasi masalah respon sistem.

2.8 Filter Harmonik

Tujuan utama dari perancangan filter harmonik adalah untuk mengurangi amplitudo satu atau lebih frekuensi tertentu dari sebuah tegangan atau arus. Dengan penambahan filter harmonik pada suatu sistem ataupun komponen dari sistem tenaga listrik yang mengandung sumber sumber harmonik, maka penyebaran arus harmonik ke seluruh jaringan dapat ditekan sekecil mungkin. Selain itu filter harmonik pada frekuensi fundamental dapat mengkompensasi daya reaktif dan dipergunakan untuk memperbaiki faktor daya sistem secara umum.

Didalam merancang suatu filter, perlu dilakukan studi untuk menentukan kompensasi daya reaktif yang diperlukan oleh sistem dan menganalisis bentuk gelombangnya. Filter harus didesain untuk menyediakan daya reaktif dalam jumlah yang tepat. Jika tidak diperlukan daya reaktif, filter harus didesain minimum, artinya filter harus cukup menekan harmonik pada biaya yang paling rendah dan menyuplai beberapa daya reaktif, tapi tidak semua yang diperlukan. Selain itu satu hal yang penting juga untuk dianalisis dalam perancangan filter pasif adalah menganalisis bentuk gelombangnya. Untuk bisa merancang filter dengan baik, terlebih dahulu kita harus bisa menganalisis bentuk gelombangnya, besarnya riak (gelombang selain fundamentalnya) secara akurat. Banyak cara telah diusulkan untuk menganalisis riak. Saat ini analisis riak lebih sering menggunakan deret Fourier. [4]

Mengurangi distorsi harmonik dari sistem dapat dilakukan salah satunya dengan menggunakan filter harmonik. Salah satu cara jenis filter yang paling populer adalah filter pasif (filter L, C maupun L dan C). Aplikasi filter pasif merupakan metode penyelesaian yang efektif dan ekonomis untuk masalah harmonik. Filter pasif sebagian besar didesain untuk memberikan bagian khusus untuk mengalihkan arus harmonik yang tidak diinginkan dalam sistem tenaga listrik. Filter pasif banyak digunakan untuk mengkompensasi kerugian daya reaktif akibat adanya harmonik pada sistem instalasi. Pada filter pasif

arus akan mengalir pada reaktansi yang lebih rendah. Dengan pemasangan C, arus dengan frekuensi tinggi akan mengalir melalui kapasitor karena kapasitor memiliki impedansi yang rendah pada frekuensi tinggi. Agar tegangan beban bebas harmonik, dipasang kapasitor yang paralel dengan beban. Dengan menggunakan kapasitor ini semua riak arus dengan frekuensi tinggi akan mengalir melewati kapasitor bukan ke beban. Sedangkan induktor biasanya dipasang secara seri terhadap beban. Dengan menggunakan induktor, arus yang mengalir melalui rangkaian akan sulit berubah berbanding lurus dengan besarnya induktor.

Pada filter pasif kapasitor dihubungkan seri atau paralel untuk memperoleh sebuah total rating tegangan dan kVAR yang diinginkan. Sedangkan induktor digunakan dalam rangkaian filter dirancang mampu menahan selubung frekuensi tinggi yaitu efek kulit (*skin effect*).[2]

Besarnya daya reaktif yang disuplai oleh kapasitor ditentukan oleh [1] :

$$Q_{VAR} = \sqrt{\left[\frac{P_1}{PF_0}\right]^2 - P_1^2} - \sqrt{\left[\frac{P_1}{PF}\right]^2 - P_1^2} \quad (2.12)$$

keterangan:

P_1 = daya aktif sistem [watt]

PF_0 = faktor daya sebelum ada kompensasi daya reaktif

PF = faktor daya setelah ada kompensasi daya reaktif

Prosedur umum dalam menganalisis harmonik adalah sebagai berikut :

1. Mengidentifikasi kondisi harmonik

Sebelum merancang sebuah filter harmonik, ada satu hal penting yang harus dilakukan. Salah satunya adalah pengidentifikasian harmonik itu sendiri. Untuk mengantisipasi harmonik, perlu dilakukan langkah-langkah pengidentifikasian masalah dengan peralatan ukur yang memadai. Ada dua cara untuk membentuk transformasi fourier dari gelombang tegangan dan arus pada sistem tenaga listrik.

Cara pertama adalah dengan menggunakan penganalisis spektrum (*spectrum analyzer*) dan mengukur harmonik pada kondisi *on-line*. Namun cara ini tidak memberikan informasi sudut fasa harmonik. Metode lain adalah dengan mengukur contoh gelombang dan menyimpan gelombang tersebut dalam daerah waktu (*time domain*) sebagai data diskrit dan menghitung komponen harmonik secara digital dengan menggunakan mikroprocessor dalam kondisi *off-line*.

Selain cara-cara lain di atas, keberadaan harmonik dapat diidentifikasi dengan cara sederhana, yaitu:

- Identifikasi jenis beban

Bila banyak peralatan yang mempunyai komponen utama terbuat dari bahan semikonduktor seperti : komputer, pengatur kecepatan motor, dan peralatan lain yang menggunakan arus searah, maka diperkirakan masalah harmonik ada di instalasi itu.

- Pemeriksaan arus sekunder transformator (pada trafo)

Pengukuran arus sekunder transformator perlu dilakukan, baik fasa maupun netral. Bila arus netral lebih besar dari arus fasa, maka dapat diperkirakan adanya triplen harmonik dan kemungkinan turunnya efisiensi transformator.

- Pemeriksaan tegangan netral-tanah

Dengan melakukan pengukuran tegangan netral-tanah pada keadaan berbeban maka terjadinya arus lebih pada kawat netral (untuk sistem 3 fasa 4 kawat) dapat diketahui. Bila tegangan terukur lebih besar dari dua volt, maka terdapat indikasi adanya masalah harmonik pada beban.

Setelah dilakukan identifikasi berdasarkan metode metode diatas barulah ditentukan apakah besarnya harmonik pada sistem/komponen tersebut perlu ditindaklanjuti atau tidak. Besarnya harmonik pada suatu sistem/komponen listrik memiliki batasan ataupun standar tertentu dimana apabila besarnya melewati standar yang telah ditentukan maka perlu dilakukan suatu tindakan untuk meredamnya. Berikut standar batas distorsi tegangan harmonik maksimum berdasarkan standar IEEE 519-1992:

Tabel 2.2 Batas Distorsi Tegangan Harmonik Maksimum [10]

PCC VOLTAGE	INDIVIDUAL HARMONIC MAGNITUDE	THD _v (%)
≤ 69 kV	3.0	5.0
69-161 kV	1.5	2.5
≥161 kV	1.0	1.5

dan berikut batas distorsi arus harmonik maksimum :

Tabel 2.3 Batas Distorsi Arus Harmonik Maksimum [10]

I _{sc} /I _L	Odd Harmonic Order in % of I _L					TDD
	<11	11 ≤ h < 17	17 ≤ h < 23	23 ≤ h < 25	35 ≥ h	
< 20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50-100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100-1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0
Even order harmonics are limited to 25% of the odd order harmonics						

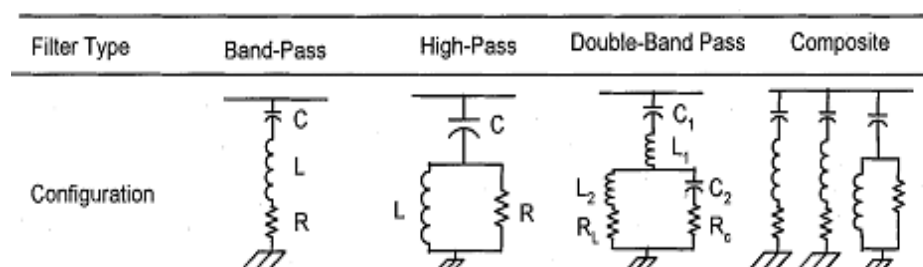
Setelah dilakukan pengukuran pada beban yang sudah diidentifikasi sebelumnya, maka nilai THD arus dan tegangan akan dibandingkan dengan standar yang sudah ada. Apabila nilai tersebut jauh dibawah standar yang ada maka tidak perlu dipasang filter, akan tetapi apabila nilai THDnya melebihi standar yang sudah ditetapkan maka perlu dirancang filter untuk mereduksi distorsi harmonik pada beban tersebut.

2. Mendesain skema filter untuk menekan harmonik

Pemasangan filter memiliki dua tujuan, yaitu [6] :

- Untuk mengurangi tegangan harmonik dan injeksi arus harmonik dalam jaringan AC sampai ke level yang dapat diterima,
- Untuk menyediakan semua atau sebagian daya reaktif yang dikonsumsi oleh sumber harmonik atau yang dikonsumsi oleh beban-beban lainnya.

Ada dua jenis filter, yaitu filter aktif dan filter pasif. Filter pasif banyak digunakan di industri. Komponen utama yang terdapat pada filter pasif adalah kapasitor dan induktor. Namun, filter ini memiliki beberapa kelemahan, terutama filter pasif tergantung pada impedansi sumber sistem tenaga, frekuensi sistem dan toleransi komponen. Lebih jauh, filter ini menarik harmonik dari beban lain dalam sistem [6]. Ada beberapa jenis filter pasif yang dapat dimanfaatkan untuk mereduksi harmonik, antara lain : Band pass filter, high pass filter, double band-pass filter dan composite filter. Berikut rangkaian untuk masing masing filter tersebut beserta konfigurasi dan impedansinya :



Gambar 2.8 Rangkaian Filter Beserta Konfigurasi dan Impedansinya [6]

Single-tuned filter atau *bandpass* filter adalah yang paling umum digunakan. Dua buah *Single-tuned* filter akan memiliki karakteristik yang mirip dengan *double bandpass* filter. Filter umum ini biasa digunakan pada tegangan rendah. Rangkaian filter ini mempunyai impedansi yang rendah. *Single tuned filter* hanya membawa arus harmonik dan sebagian arus fundamental yang jauh lebih kecil dari arus di rangkaian utama. Karena itu filter jenis ini lebih murah daripada filter-filter lainnya untuk efektifitas yang sama. *Single-tuned filter* ini memiliki keuntungan lain yaitu dapat mensuplai daya reaktif pada frekuensi dasar.

Ukuran Filter didefinisikan sebagai daya reaktif yang disuplai oleh filter pada frekuensi dasar. Pada dasarnya sama dengan daya reaktif pada frekuensi dasar yang disuplai oleh kapasitor. Ukuran total dari semua cabang filter ditentukan oleh daya reaktif yang dibutuhkan oleh sumber harmonik dan oleh berapa banyak kebutuhan ini dapat disuplai dari jaringan AC. [2]

Kriteria desain filter yang ideal adalah dapat mengeliminasi semua pengaruh buruk yang disebabkan oleh distorsi gelombang, termasuk interferensi telepon yang merupakan efek yang sulit dieliminasi secara lengkap [6]. Namun, kriteria ideal tersebut tidak realistis, baik dari alasan teknis maupun ekonomis. Kriteria desain yang lebih praktis mengusulkan pengurangan masalah ke suatu level yang dapat diterima pada titik hubung bersama dengan konsumen lain, masalah tersebut dinyatakan dalam bentuk tegangan harmonik, arus harmonik atau keduanya. Kriteria yang didasarkan pada tegangan harmonik lebih tepat untuk desain filter, karena lebih mudah menjamin berada dalam batas tegangan yang layak daripada membatasi tingkat arus karena adanya perubahan impedansi jaringan AC.

Faktor-faktor yang perlu diperhatikan ketika mendesain filter untuk mengatasi masalah-masalah harmonik adalah [6] :

➤ Daya reaktif yang diperlukan untuk perbaikan faktor daya

Sebelum merancang suatu filter pasif, maka perlu diketahui besarnya kebutuhan daya reaktif pada sistem. Daya reaktif sistem ini diperlukan untuk menghitung besarnya nilai kapasitor yang diperlukan untuk memperbaiki sistem tersebut.

- Untuk menghitung nilai kapasitas pada filter :

$$C_n = \frac{Q_n}{V_{LN}^2 \cdot \omega} \quad (2.13)$$

- Untuk menghitung nilai induktif pada filter pasif :

$$L_n = \frac{1}{(2 \times \pi \times f)^2 \times C_n} \quad (2.14)$$

Puncak resonansi paralel yang dihasilkan dari interaksi antara filter dan impedansi sumber. Hal ini perlu diwaspadai karena filter dan impedansi sumber menghasilkan resonansi yang cukup signifikan sehingga bisa mempengaruhi

➤ Rating dan toleransi komponen-komponen filter

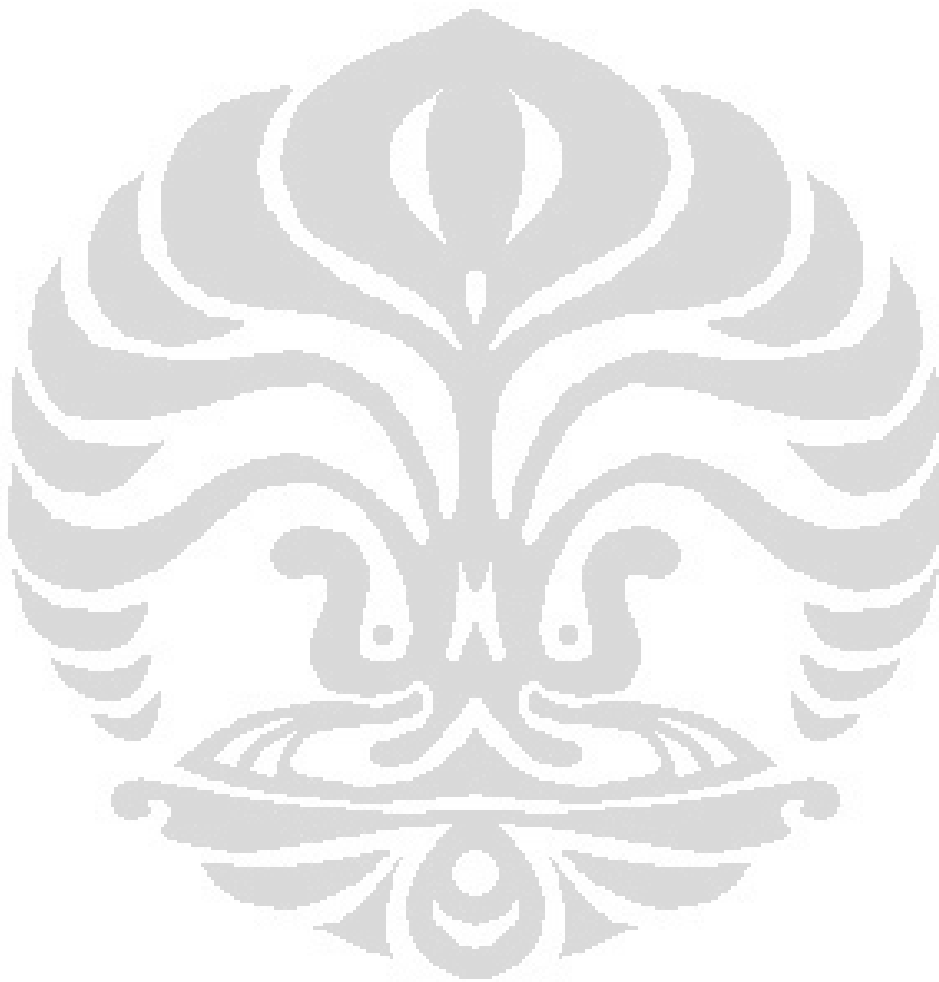
Setiap filter pasti memiliki kemampuan kerja yang berbeda beda dengan toleransi yang berbeda pula. Hal ini perlu diperhatikan, idealnya sebuah filter harmonik (yang telah sesuai dengan perhitungan) dapat mengurangi besarnya tegangan dan arus harmonik dengan nilai toleransi tertentu yang bisa dilihat dari hasil pengujian kerja filter.

➤ Rugi-rugi filter

Seperti yang telah dibahas pada dasar teori, bahwa filter harmonik juga bersifat sebagai beban listrik sehingga filter harmonik juga mengkonsumsi daya dari sistem. Hal ini harus diperhitungkan selain rugi rugi yang berasal dari ketidaksempurnaan konstruksi dan hal hal lainnya

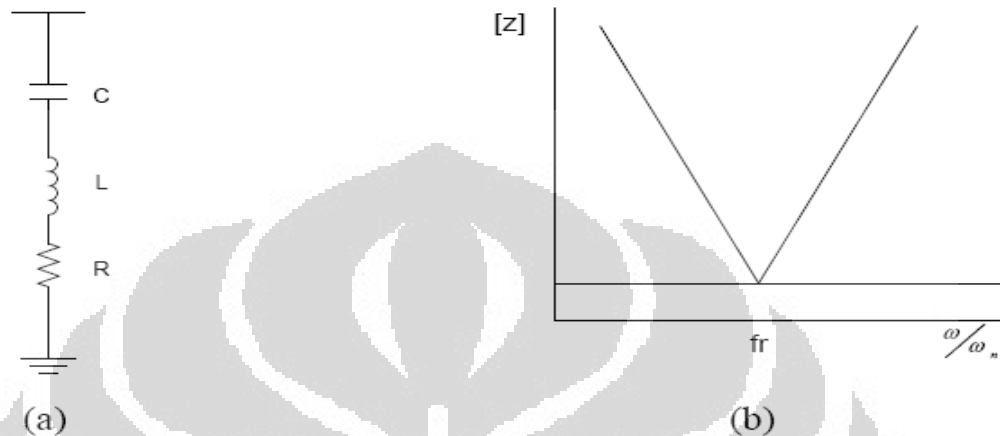
3. Menganalisis unjuk kerja filter

Begitu filter telah selesai di rancang, filter tersebut dipasang dibeban kemudian dilakukan kembali pengukuran untuk membuktikan apakah kinerja filter (meliputi karakteristik perubahan yang diinginkan seperti : arus, daya, dan nilai harmonik dari beban) sesuai dengan yang diharapkan atau tidak untuk kemudian dianalisis lebih lanjut.



2.9 Karakteristik Single tuned filter

Rangkaian single tuned filter dan kurva impedansi terhadap frekuensi terlihat pada gambar berikut [2]:



Gambar 2.9 [2]

(a). Rangkaian Single Tuned Filter

(b). Kurva Impedansi terhadap Frekuensi

Impedansi single tuned filter diberikan oleh persamaan berikut [3] :

$$Z_f = R + j \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right) \quad (2.15)$$

Sedangkan magnitudo impedansi single tuned filter adalah [3]:

$$|Z_f| = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2} \quad (2.16)$$

Pada bagian sebelumnya sudah dijelaskan bahwa pada filter ini bisa terjadi resonansi. Resonansi terjadi pada kondisi nilai reaktansi sama dengan kapasitansi. Filter disetel pada frekuensi f_r , yang menghasilkan resonansi seri. Frekuensi ini diberikan oleh persamaan [3]:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.17)$$

Pada frekuensi f_r , *single tuned filter* memiliki impedansi minimum, sebesar nilai resistansi R dari induktor. Oleh karena itu, filter ini menyerap semua arus harmonik yang dekat dengan frekuensi f_r yang diinjeksikan, dengan distorsi tegangan harmonik yang rendah pada frekuensi ini [3]. Pada prinsipnya, sebuah *single tuned filter* dipasang untuk setiap harmonik yang akan dihilangkan. Filter-filter ini dihubungkan pada busbar dimana pengurangan tegangan harmonik ditentukan. Bersama-sama, filter-filter ini membentuk filter bank.

Ada dua parameter yang perlu dipertimbangkan dalam menentukan nilai R , L dan C , yaitu [1]:

1. faktor kualitas (*Quality factor, Q*)
2. Penyimpangan frekuensi relatif (*Relative Frequency Deviation, δ*)

Kualitas dari sebuah filter (Q) adalah ukuran ketajaman penyetelan filter tersebut dalam mengeliminasi harmonik. Filter dengan Q tinggi disetel pada frekuensi rendah (misalnya harmonik kelima), dan nilainya biasanya terletak antara 30 dan 60. Dalam *single tuned filter*, faktor kualitas Q didefinisikan sebagai perbandingan antara induktansi atau kapasitansi pada frekuensi resonansi terhadap resistansi. Faktor kualitas ditentukan dengan persamaan berikut [2]:

$$Q = \frac{X_0}{R} \quad (2.18)$$

Filter yang efektif harus memiliki induktor dengan faktor kualitas yang besar, oleh karena itu $R \ll X_0$ pada frekuensi resonansi. Perkiraan nilai Q untuk reaktor inti udara (*air core reactors*) adalah 75 dan lebih besar 75 untuk reaktor inti besi (*iron-core reactors*).

Penyimpangan frekuensi relatif (δ), disebut juga faktor de-tuning, menyatakan perubahan frekuensi dari frekuensi nominal penyetelannya, yang dinyatakan oleh [3] :

$$\delta = \frac{\omega - \omega_n}{\omega} \quad (2.19)$$

Faktor δ dipengaruhi oleh :

1. Variasi frekuensi dasar
2. Variasi kapasitansi dan induksi dari filter karena pengaruh suhu dan penuaan
3. Initial off-tuning yang disebabkan oleh toleransi pabrik dan batas ukuran langkah penyetelan

2.9 Batas Komponen Filter

1. Kapasitor

Kapasitor adalah komponen elektronika yang dapat menyimpan energi dalam bentuk muatan listrik, dan sifat lainnya dilihat dari hubungan arus dan tegangan adalah arus mendahului tegangan. Kapasitor digunakan untuk memperbaiki faktor daya. Apabila dilihat dari sisi PLN sebagai penyedia jasa listrik di Indonesia, pemakaian kapasitor sangat berguna sekali yaitu bertujuan untuk mengurangi *losses*, memperbaiki kondisi tegangan dan mempertinggi kapasitas pembebanan pada jaringan [11]. Struktur sebuah kapasitor terbuat dari 2 buah plat metal yang dipisahkan oleh suatu bahan dielektrik. Batas beban yang diperbolehkan berdasarkan standard ANSI/IEEE 18- 1980 adalah sebagai berikut [2] :

- kVAR = 135 %
- tegangan efektif = 110 %
- jumlah tegangan puncak = 120 %
- arus efektif = 180 %

Walaupun dalam standar batas arus efektif adalah 180 %, namun aplikasinya mungkin lebih rendah karena masing-masing unit kapasitor diproteksi pada 125-165 % dari rating arusnya. Dalam mendesain filter, batas arus dan tegangan efektif dan jumlah tegangan puncak pada kapasitor bank sebaiknya berkisar 100 % dari rating kondisi normal. Hal ini dilakukan agar kapasitor dapat mengkompensasi tegangan lebih sistem dan kondisi tidak seimbang pada kapasitor. Komponen harmonik meningkat secara signifikan untuk kondisi ketidakseimbangan kapasitor bank [2].

2. Induktor

Sebuah induktor ideal memiliki induktansi, tetapi tanpa resistansi atau kapasitansi, dan tidak memboroskan daya. Namun pada kenyataannya Sebuah induktor merupakan gabungan dari induktansi, beberapa resistansi karena resistivitas kawat, dan beberapa kapasitansi. Pada suatu frekuensi, induktor dapat menjadi sirkuit resonansi karena kapasitas parasitnya. Induktor yang digunakan untuk aplikasi filter biasanya dari tipe inti udara yang memberikan karakteristik linier berkenaan dengan frekuensi dan arus. Toleransi reaktansi ± 5 % dapat diterima untuk aplikasi sistem tenaga di industri. [2]

Parameter-parameter yang dipakai untuk menentukan spesifikasi induktor adalah:

- Arus pada frekuensi dasar
- Spektrum arus harmonik
- Arus hubung singkat
- Rasio X/R
- Tegangan sistem
- BIL (*Basic Insulation Level*)

BAB III

OBJEK DAN METODOLOGI PENELITIAN

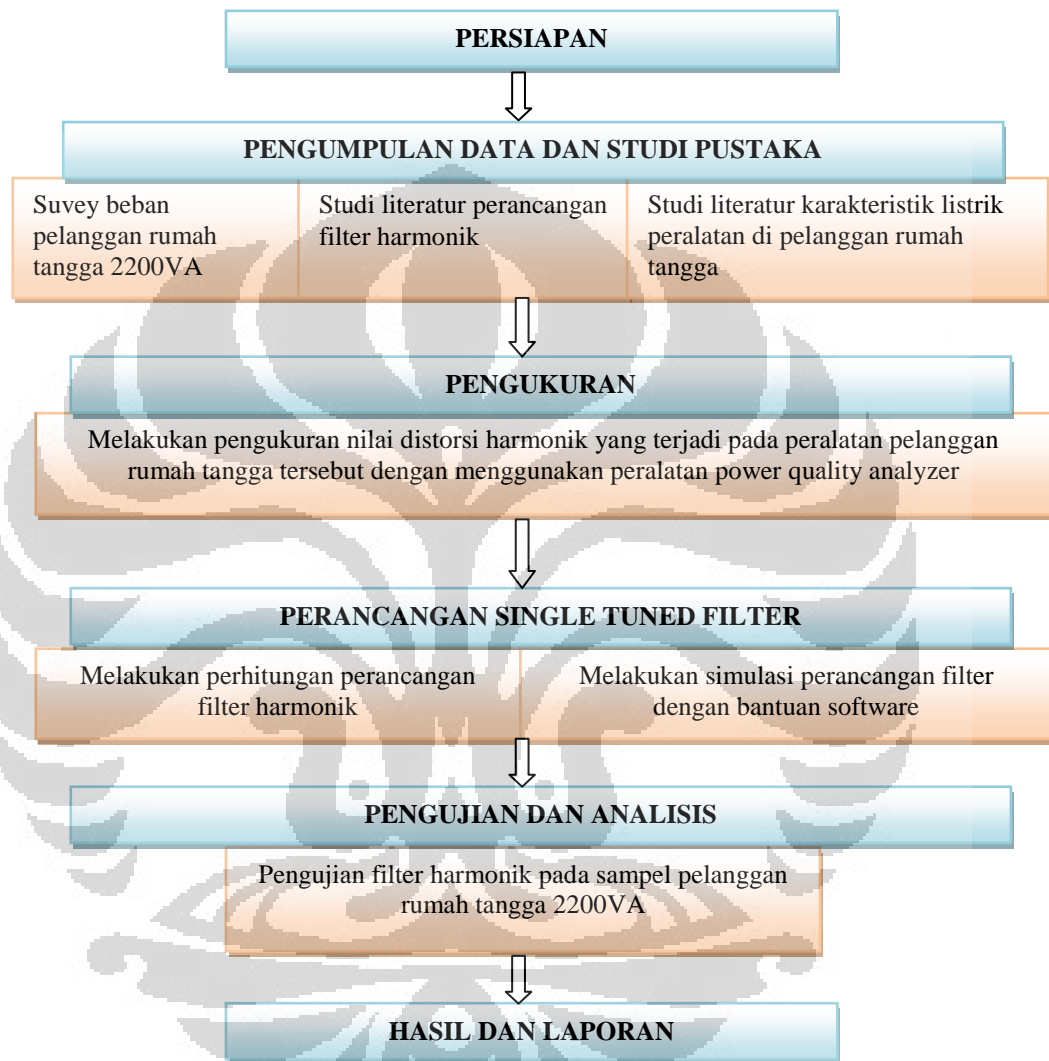
3.1 Objek Penelitian

Pada skripsi ini dibahas masalah distorsi harmonik yang terjadi pada sisi beban sistem tenaga listrik khususnya beban rumah tangga 2200VA. Pada dasarnya masalah distorsi harmonik yang terjadi di setiap beban rumah tangga relatif kecil, akan tetapi bila diakumulasi maka besarnya distorsi ini akan cukup besar mengingat sebagian besar daripada penggunaan listrik PLN merupakan untuk penggunaan beban rumah tangga yang tentunya akan memiliki dampak yang signifikan pada sistem tenaga listrik secara umum.

Pada dasarnya hampir seluruh peralatan rumah tangga menghasilkan distorsi harmonik. Identifikasi jenis beban dilakukan dengan mengenali peralatan listrik rumah tangga yang bersifat non-linier. Peralatan listrik dalam rumah tangga inilah yang menjadi objek pengukuran dalam skripsi ini. Peralatan-peralatan ini diukur secara komunal dalam pembebanan listrik rumah tangga 2200VA secara *real* selama 24 jam. Pengukuran dilakukan pada beban rumah tangga 2200VA untuk mengetahui berbagai karakteristik seperti arus, tegangan, daya, dan harmonik. Jadi pengukuran dilakukan masing masing dua kali, yaitu pada kondisi tanpa filter dan pada kondisi saat ditambahkan filter

3.2 METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah seperti terlihat pada gambar berikut :



Gambar 3.1 Metodologi Penelitian

Tahap 1 : Persiapan

Pada tahap ini dilakukan identifikasi permasalahan yang terkait dengan distorsi harmonik dan filter harmonik, serta menyiapkan perangkat yang digunakan pada tahap selanjutnya seperti kuisisioner dan peralatan pengukuran.

Tahap 2 : Pengumpulan Data dan Studi Pustaka

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data-data dan studi pustaka yang terkait dengan karakteristik beban rumah tangga serta perancangan filter harmonik yang meliputi :

- Melakukan survey ke pelanggan rumah tangga 2200 VA untuk mencari data peralatan listrik yang umumnya digunakan/ada di kelompok pelanggan ini
- Melakukan studi literatur mengenai perhitungan dan perancangan filter harmonik
- Melakukan studi literatur mengenai karakteristik listrik peralatan yang umumnya terpasang pada pelanggan rumah tangga seperti lampu, kulkas, TV dan lainnya
- Melakukan studi literatur mengenai pengaruh distorsi harmonik terhadap sistem kelistrikan (kualitas listrik dan penghematan energi) baik di sisi pelanggan maupun sisi penyedia listrik (PLN).

Tahap 3 : Pengukuran

Pada tahap ini kegiatan yang dilakukan yaitu : Melakukan pengukuran nilai distorsi harmonik yang terjadi pada peralatan pelanggan rumah tangga tersebut dengan menggunakan peralatan power quality analyzer di laboratorium untuk dapat menentukan orde harmonik mana yang memiliki nilai paling buruk. Hasil pada tahap ini menjadi dasar untuk perancangan filter harmonik tahap selanjutnya.

Tahap 4 : Perancangan Filter Harmonik

Berdasarkan karakteristik beban pelanggan rumah tangga 2200 VA dan penentuan orde harmonik yang akan di filter yang diperoleh pada tahap 3 selanjutnya dilakukan perhitungan dan rancang bangun filter harmonik yang sesuai. Perancangan filter harmonik ini selain dilakukan dengan perhitungan. Pada tahap ini akan dibuat peralatan filter harmonik berupa *hardware* yang pada tahap selanjutnya dilakukan pengujian unjuk filter harmonik ini.

Tahap 5 : Pengujian dan Analisis

Pada tahap ini dilakukan pengujian filter harmonik yang telah dibuat dengan memasang pada beban simulasi di laboratorium dan pada beban pelanggan (sampel) yang kemudian diukur untuk melihat pengaruhnya terhadap kualitas daya dan penghematan energi listrik.

Tahap 6 : Hasil Dan Pelaporan

Pada tahap ini dilakukan penyusunan hasil penelitian yang telah dilakukan.

3.3 Peralatan Pengukuran

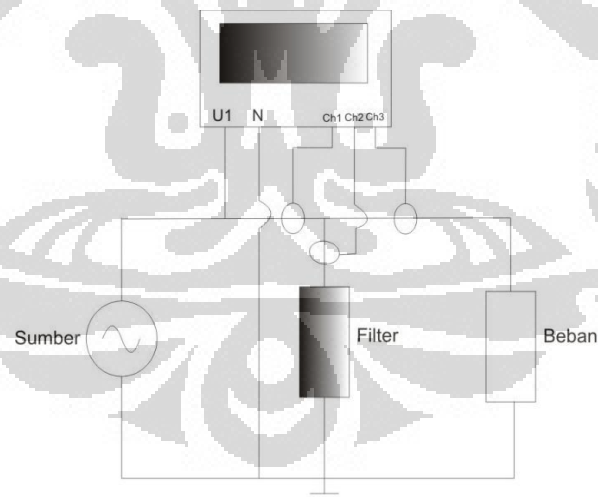
Peralatan pengukuran yang digunakan dalam pengambilan data ini ialah Power Analyzer Hioki seri 3169-20. Alat ini bisa menampilkan dan menyimpan nilai dari parameter-parameter kualitas daya yang dibutuhkan yang meliputi tegangan (V), arus (I), frekuensi (f), daya kompleks (S), daya nyata (P), daya reaktif (Q), konsumsi energi, dan faktor daya (PF). Selain itu, alat ini juga mampu mengukur komponen harmonik arus dan tegangan sampai dengan orde ke-40. Alat ini dilengkapi dengan *PC card* sebagai memori penyimpanan data pengukuran, sehingga alat ini mampu menyimpan data pengukuran secara otomatis.

Data hasil pengukuran disimpan di PCcard dan dengan mudah dapat ditransfer ke komputer melalui *universal card reader*. Dengan bantuan program “HIOKI 9625 Power Measurement Support Software”, hasil pengukuran dapat dilihat dikomputer untuk kemudian dianalisis. Dengan software diatas kita bisa melihat data hasil pengukuran berupa ringkasan data yang dicuplik berdasarkan interval waktu yang ditentukan, grafik gelombang, dan spektrum untuk lebih memudahkan analisa. Berikut gambar alat yang digunakan dalam pengukuran:



Gambar 3.2. Hioki Power Analyzer 3169-20

3.3. Rangkaian Pengukuran



Gambar 3.3. Rangkaian Pengukuran

Untuk mendapatkan karakteristik beban dalam hal ini peralatan listrik rumah tangga, digunakan rangkaian sederhana diatas. Prinsip dasar pemasangan *power analyzer* sama seperti pemasangan voltmeter dan amperemeter. Input tegangan dipasang paralel terhadap beban dan input arus menggunakan

teknik *clamping* sehingga memungkinkan pengukuran secara seri tanpa melepas rangkaian.

3.4. Prosedur Pengukuran

Sebelum melakukan pengukuran dilakukan langkah-langkah yang dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Memasang rangkaian seperti pada rangkaian pengukuran diatas.
2. Mengaktifkan peralatan dan beban dengan memberikan tegangan sumber 220 Volt dan frekuensi 50 Hz pada sistem.
3. Menyetel peralatan (*power analyzer*) sesuai kondisi yang diperlukan dalam pengukuran, yaitu:
 - a. Menyetel sistem jaringan listrik yang akan diukur dengan *1 phase-2 wire*
 - b. Menyetel frekuensi sistem yang akan diukur dengan frekuensi 50 Hz
 - c. Menyetel waktu pengukuran manual dan interval pengambilan data tiap 1 menit.
 - d. Menyetel rating arus input sampai 500 A dengan rasio CT 1
 - e. Menyetel rating tegangan input sampai 300 V dengan rasio PT 1
 - f. Mengaktifkan semua parameter pengukuran dan harmonik sampai orde 40
 - g. Menyetel nama file data pengukuran dan tempat penyimpanan pada *PC card*
 - h. Memastikan sistem berjalan dengan baik
4. Menjankan pengukuran secara manual dan mengakhirinya setelah 24jam
5. Setelah pengukuran selesai, peralatan di-nonaktifkan dari pencatatan pengukuran ke memorinya.
6. Data hasil pengukuran ditransfer ke komputer untuk dianalisa.

BAB IV

PERANCANGAN DAN ANALISA KERJA FILTER

4.1 Perancangan Single Tuned Filter

Pada skripsi ini akan dirancang *single tuned filter* yang merupakan bentuk filter pasif harmonik yang paling sederhana. Jenis filter ini adalah jenis yang paling sesuai untuk mereduksi nilai harmonik pada satu orde karena filter ini hanya akan mereduksi harmonik pada satu frekuensi saja. Filter jenis ini cukup banyak digunakan karena konstruksinya yang sederhana dan harganya yang relatif murah. *Single Tuned Filter* terdiri dari 2 komponen sederhana yaitu kapasitor yang berfungsi memberi kompensasi daya reaktif pada sistem untuk memperbaiki faktor daya dan komponen induktor sebagai reaktor filter.

Pada peneitian ini filter dirancang khusus untuk digunakan pada beban rumah tangga 2200VA, oleh karena itu sebagai acuan dalam perancangannya harus berdasarkan data aktual dan pembebanan *real* di beban bersangkutan selama 1x24 jam. Sebenarnya filter ini akan tetap akan berfungsi apabila digunakan pada beban lain, misalnya beban rumah tangga 4500VA,1300VA atau beban beban lainnya, akan tetapi filter tersebut hanya akan bekerja optimal nantinya pada objek yang telah ditentukan berdasarkan orde kerjanya.

Idealnya sebuah *single tuned filter* hanya akan bekerja mereduksi distorsi harmonik pada satu orde saja, yaitu pada orde kerjanya. Oleh karena itu hal pertama yang dibutuhkan dalam merancang filter ini adalah data acuan level distorsi harmonik tegangan (THD V) dan harmonik arus (THD I) rata-rata dan maksimum di setiap ordenya pada beban rumah tangga 2200VA. Data acuan ini dibutuhkan agar filter tidak bekerja di orde kerja yang salah yang tentu mengakibatkan kurang optimalnya kinerja filter.

Berikut ini akan ditampilkan data level harmonik tegangan (THD-V) dan arus (THD-I) rata-rata untuk setiap ordenya dari beban-beban rumah tangga 2200VA :

Tabel 4.1 Besar THD-V Rata-Rata Pada Beban Rumah Tangga 2200VA

orde	THD-V rata-rata (%)			
	beban 1	beban 2	beban 3	rata-rata
2	0.06	0.08	0.09	0.08
3	2.42	2.24	2.56	2.41
4	0.02	0.02	0.02	0.02
5	1.48	1.38	1.42	1.43
6	0.02	0.02	0.02	0.02
7	0.89	0.93	0.91	0.91
8	0.02	0.03	0.02	0.02
9	0.80	0.79	0.68	0.76
10	0.01	0.02	0.02	0.02
11	0.34	0.34	0.32	0.33
12	0.01	0.02	0.02	0.02
13	0.30	0.27	0.32	0.30
14	0.01	0.02	0.01	0.01
15	0.26	0.26	0.28	0.27

Tabel 4.2 Besar THD-I Rata-Rata Pada Beban Rumah Tangga 2200VA

orde	THD-I rata-rata (%)			
	beban 1	beban 2	beban 3	rata-rata
2	1.42	1.56	1.49	1.49
3	16.82	18.17	19.00	18.00
4	0.69	0.73	0.71	0.71
5	8.37	9.07	10.22	9.22
6	0.58	0.57	0.58	0.58
7	6.00	5.63	6.32	5.98
8	0.60	0.56	0.58	0.58
9	7.57	6.27	6.92	6.92
10	0.47	0.49	0.48	0.48
11	3.63	3.49	3.06	3.39
12	0.48	0.44	0.46	0.46
13	2.94	2.60	2.27	2.60
14	0.47	0.43	0.45	0.45
15	2.04	2.74	1.89	2.22

Berikut ini akan ditampilkan data level harmonik tegangan (THD-V) dan arus (THD-I) maksimum untuk setiap ordenya dari beban-beban rumah tangga 2200VA :

Tabel 4.3 Besar THD-V Maksimum Pada Beban Rumah Tangga 2200VA

Orde	THD-V (%)			rata-rata (%)
	beban 1	beban 2	beban 3	
2	0.08	0.07	0.07	0.070
3	3.36	3.42	3.25	3.343
4	0.01	0.02	0.04	0.020
5	1.20	1.31	1.34	1.282
6	0.01	0.02	0.02	0.015
7	1.57	1.26	0.89	1.240
8	0.04	0.01	0.02	0.018
9	0.78	0.99	1.00	0.922
10	0.03	0.02	0.02	0.020
11	0.16	0.11	0.12	0.125
12	0.01	0.02	0.02	0.013
13	0.40	0.38	0.49	0.423
14	0.02	0.02	0.01	0.017
15	0.08	0.14	0.17	0.127
16	0.01	0.02	0.02	0.012
17	0.07	0.05	0.08	0.065
18	0.01	0.03	0.01	0.013
19	0.12	0.11	0.17	0.133
20	0.01	0.02	0.01	0.012
21	0.04	0.04	0.13	0.067
22	0.01	0.02	0.02	0.015
23	0.13	0.15	0.08	0.120
24	0.01	0.02	0.01	0.010
25	0.04	0.08	0.12	0.077
26	0.01	0.01	0.01	0.007
27	0.09	0.07	0.06	0.070
28	0.01	0.01	0.02	0.012
29	0.06	0.06	0.06	0.060
30	0.01	0.01	0.01	0.007
31	0.04	0.04	0.03	0.032
32	0.01	0.01	0.01	0.007
33	0.04	0.03	0.05	0.040
34	0.00	0.00	0.02	0.005
35	0.05	0.06	0.05	0.048
36	0.01	0.01	0.01	0.007
37	0.02	0.02	0.03	0.020
38	0.01	0.01	0.00	0.005
39	0.03	0.05	0.03	0.032
40	0.01	0.01	0.01	0.007

Tabel 4.4 Besar THD-I Maksimum Pada Beban Rumah Tangga 2200VA

Orde	THD-I (%)			rata-rata (%)
	Beban 1	Beban 2	Beban 3	
2	0.78	1.05	1.09	0.973
3	42.09	48.51	45.87	45.490
4	1.32	1.09	1.14	1.183
5	23.41	36.94	32.62	30.990
6	0.52	0.82	1.34	0.893
7	9.79	18.31	16.91	15.003
8	0.61	0.72	1.05	0.793
9	3.94	3.64	5.96	4.513
10	0.20	0.89	1.19	0.760
11	0.96	4.34	2.12	2.473
12	0.12	1.30	0.35	0.590
13	3.41	6.37	4.19	4.657
14	0.29	0.64	0.84	0.590
15	2.34	4.02	2.45	2.937
16	0.61	0.34	0.58	0.510
17	0.31	2.04	1.02	1.123
18	0.18	0.33	0.34	0.283
19	0.63	1.99	1.16	1.260
20	0.23	0.40	0.37	0.333
21	0.86	1.49	1.25	1.200
22	0.25	0.49	0.69	0.477
23	1.24	0.98	0.21	0.810
24	0.31	0.82	0.65	0.593
25	1.18	0.56	0.55	0.763
26	0.54	0.29	0.58	0.470
27	1.10	0.61	0.83	0.847
28	0.23	0.55	1.67	0.817
29	0.95	0.61	0.52	0.693
30	0.28	0.26	0.11	0.217
31	0.25	0.94	1.50	0.897
32	0.55	0.70	0.31	0.520
33	0.32	1.01	1.14	0.823
34	0.38	0.39	1.19	0.653
35	1.07	0.66	0.61	0.780
36	0.56	0.71	0.95	0.740
37	0.86	0.43	1.89	1.060
38	0.09	0.78	1.05	0.640
39	0.29	0.34	0.68	0.437
40	0.73	0.62	0.07	0.473

Kriteria untuk menentukan orde kerja filter lebih baik jika didasarkan pada nilai harmonik tegangan pada setiap orde. Hal ini disebabkan karena lebih mudah menjamin berada dalam batas tegangan yang layak daripada membatasi tingkat arus akibat adanya perubahan impedansi jaringan AC [11]. Akan tetapi bila dilihat dari tabel 4.1 dan 4.2 diatas, orde dengan nilai harmonik terbesar pada THD-V dan THD-I itu ternyata sama sehingga semakin mudah untuk menentukan orde kerja filter tersebut.

Berdasarkan data pada tabel 4.1 dan 4.2 diatas, dapat dilihat bahwa harmonik tegangan terbesar ada pada orde 3, begitu juga dengan harmonik arus, sehingga *single tuned filter* ini akan didesain untuk mereduksi arus harmonik pada orde 3 dengan kata lain orde kerja filter ini adalah pada orde 3. Dapat dilihat pada data sebenarnya nilai harmonik pada orde 5 cukup besar, dan beberapa kondisi justru lebih besar dibandingkan dengan orde 3. Akan tetapi secara rata-rata harmonik orde 3 masih yang paling besar.

Setelah menentukan orde kerja filter, langkah berikutnya adalah menentukan besarnya daya reaktif untuk memperbaiki faktor daya yang akan disuplai ke sistem. Untuk itu dilakukan pengukuran di beban rumah tangga 2200VA selama 24 jam untuk melihat karakteristik nilai daya dan faktor daya pada objek filter tersebut, berikut hasil pengukurannya :

Tabel 4.5 Data Daya dan Faktor Daya Rata-Rata Pengukuran
Beban Rumah Tangga 2200VA Selama 24jam

Parameter/beban		beban 1	beban 2	beban 3	rata-rata
P (kW)	maksimum	4.5	5.7	5.1	5.100
	rata-rata	1.6	1.7	1.6	1.633
	minimum	0.5	0.4	0.4	0.433
Q (kVAR)	maksimum	3.9	5.2	4.8	4.633
	rata-rata	1.0	1.3	1.2	1.167
	minimum	0.3	0.4	0.4	0.367
S (kVA)	maksimum	4.9	6.9	6.4	6.067
	rata-rata	1.9	2.3	2.1	2.100
	minimum	0.7	0.6	0.8	0.700
PF	maksimum	0.987	0.982	0.979	0.983
	rata-rata	0.807	0.776	0.762	0.782
	minimum	0.474	0.393	0.492	0.453

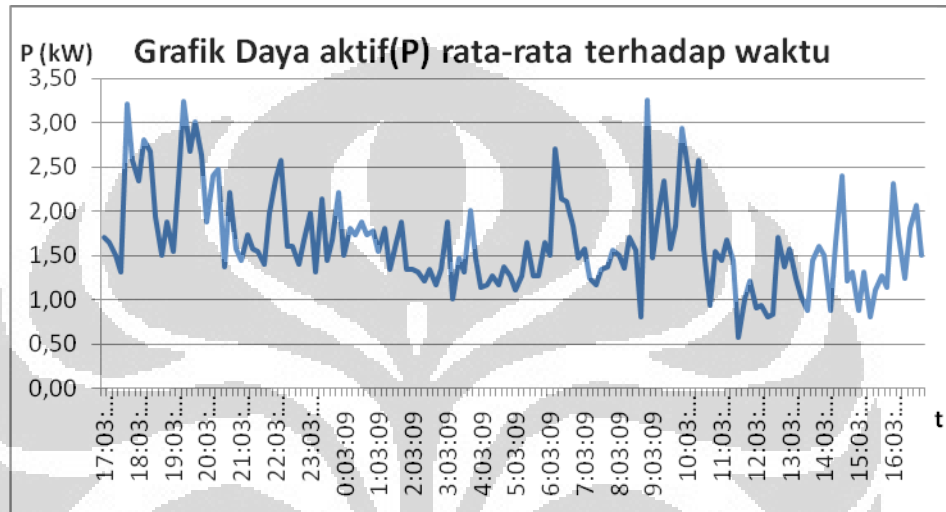
Dari data nilai daya aktif, daya reaktif dan daya total berdasarkan tabel diatas, didapatkan nilai faktor daya rata-rata yaitu sebesar 0.782. Nilai faktor daya sebesar 0.782 ini bisa dibilang cukup buruk dan berbahaya untuk penggunaan komponen-komponen listrik di rumah tangga. Dari tabel juga dapat dilihat kondisi terburuk dari faktor daya di beban rumah tangga 2200VA yaitu mencapai 0.393. Jika faktor daya pelanggan jelek (rendah) maka kapasitas daya aktif (kW) yang dapat digunakan pelanggan akan berkurang. Kapasitas itu akan terus menurun seiring dengan semakin menurunnya faktor daya pada sistem kelistrikan pelanggan. Akibat rendahnya faktor daya itu maka akan muncul beberapa persoalan sebagai berikut [5]:

- Membesarnya penggunaan daya listrik kWh karena rugi-rugi
- Membesarnya penggunaan daya listrik kVAR
- Mutu listrik menjadi rendah karena jatuh tegangan

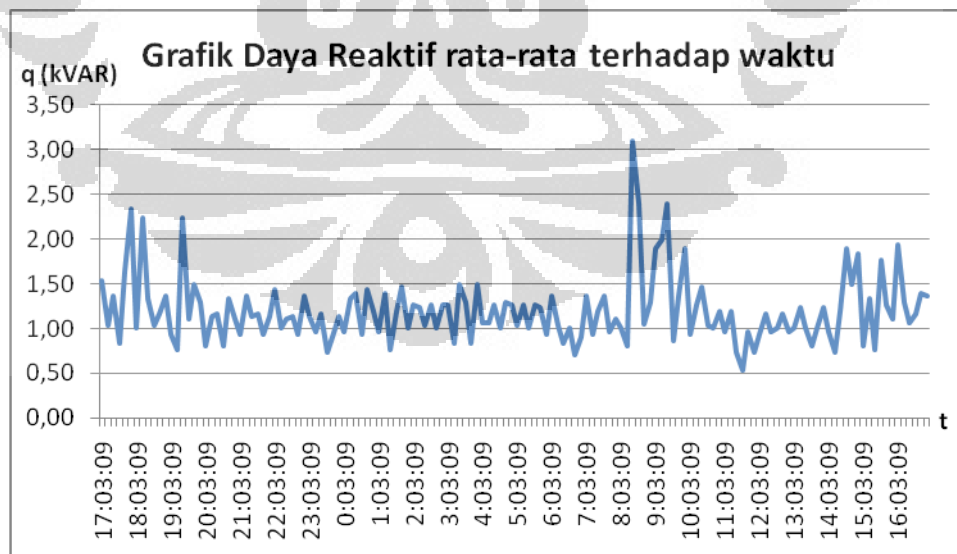
Sistem dengan faktor daya rendah tentunya akan menyebabkan arus yang dibutuhkan dari penyuplai menjadi besar. Untuk harga $P = V I \cos\Phi$, dimana P adalah daya aktif, V adalah tegangan, dan I adalah arus. Bila daya reaktif tinggi maka faktor daya rendah dan arus tinggi, bila Q rendah maka faktor daya tinggi dan arus rendah. Dari tabel 4.5 bisa dilihat bahwa daya reaktif pada beban cukup besar, untuk itu perlu ditambahkan kompensator agar faktor dayanya membaik.

Langkah selanjutnya akan dicari besarnya QVAR yang akan dijadikan kompensator filter. Dalam menentukan besarnya QVAR yang akan diberikan kepada sistem melalui filter, perlu diperhatikan nilai daya reaktif pada beban tanpa filter. Idealnya QVAR yang diberikan tersebut mampu memperbaiki faktor daya sampai nilai maksimum, akan tetapi sebisa mungkin jangan sampai melewati batas maksimum (kondisi leading), karena kondisi tersebut juga dapat berdampak buruk bagi komponen-komponen listrik di rumah tangga.

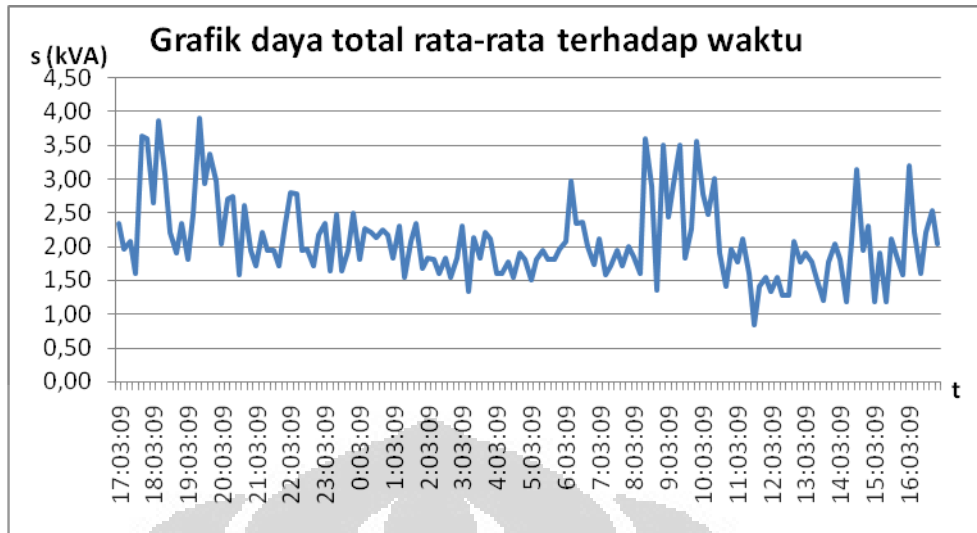
Untuk menganalisis lebih lanjut mengenai karakteristik daya pada beban rumah tangga 2200VA, berikut ini akan ditampilkan grafik besarnya daya terhadap waktu pada beban rumah tangga tersebut. Dari grafik ini juga dapat dilihat nilai rata-rata minimal dari daya reaktif pada beban rumah tangga dengan pembebanan real untuk dijadikan sebagai acuan untuk menentukan nilai QVAR yang akan ditambahkan kepada sistem melalui filter ini.



Gambar 4.1 Grafik Daya Aktif Rata-Rata Terhadap Waktu



Gambar 4.2 Grafik Daya Reaktif Rata-Rata Terhadap Waktu



Gambar 4.3 Grafik Daya Total Rata-Rata Terhadap Waktu

Dari grafik 4.2 dapat dilihat bahwa nilai rata-rata daya reaktif cukup besar yaitu 1.167 kVAR, sehingga rasanya wajar apabila rata-rata dari faktor daya dibeban rumah tangga 2200VA ini hanya sebesar 0.782. Hal ini sesuai dengan teori dimana apabila besar daya reaktif pada sistem tersebut besar, maka faktor dayanya akan kecil. Rendahnya nilai faktor daya ini juga akan berdampak pada turunnya nilai tegangan di beban. Hal ini sebenarnya wajar terjadi karena memang rata-rata komponen komponen listrik yang menjadi beban listrik di rumah tangga bersifat induktif, sehingga faktor daya menjadi lagging cukup besar.

Pada grafik 4.2 dapat dilihat juga bahwa nilai daya reaktif terkecil adalah 0.53 kVAR. Seperti yang telah dibahas pada bagian sebelumnya bahwa selain untuk mereduksi harmonik, filter ini juga dirancang untuk memperbaiki faktor daya sampai kepada nilai maksimum. Oleh karena itu akan dikompensasikan daya reaktif melalui filter ini kepada sistem sesuai dengan kebutuhan sistem tersebut. Akan tetapi, untuk mencegah kondisi faktor daya leading pada kondisi pasca pemasangan filter, maka nilai minimum lah yang diambil sebagai nilai kompensator pada filter yang akan dirancang. Jadi, besar QVAR yang diberikan kepada sistem adalah sebesar 0.53 kVAR. Dengan

penambahan kompensator daya reaktif kepada sistem sebesar 0.53kVAR, filter ini akan memperbaiki faktor daya sistem. Berikut persamaannya:

$$Q_{VAR} = \sqrt{\left[\frac{P_1}{PF_0}\right]^2 - P_1^2} - \sqrt{\left[\frac{P_1}{PF}\right]^2 - P_1^2} \quad (4.1)$$

Secara teoritis, berdasarkan perhitungan dari persamaan diatas faktor daya sistem akan membaik dari 0.782 menjadi 0.889.

Berdasarkan besarnya daya reaktif yang dibutuhkan kemudian ditentukan impedansi dari kapasitor dengan persamaan berikut [1]:

$$X_C = \frac{kV_{rated}^2}{M \text{ var}_{rated}} \quad (4.2)$$

Dengan besar rating tegangan adalah 220 V dan rating VAR adalah 530 VAR, didapatkan impedansi kapasitor sebesar 91.32 Ω . Besar kapasitansi kapasitor dapat dihitung dengan persamaan berikut [1]:

$$C = \frac{1}{2\pi f X_C} \quad (4.3)$$

Dengan : f = frekuensi fundamental 50 Hz

Dari perhitungan didapatkan kapasitansi sebesar 35.87 μF . Setelah itu ditentukan besar impedansi reaktor filter dengan persamaan berikut [1]:

$$X_L = \frac{X_C}{n^2} \quad (4.4)$$

dengan : n = orde harmonik tegangan yang difilter (disetel sedikit dibawah ordenya)

Seperti yang telah dibahasakan sebelumnya bahwa orde harmonik yang akan difilter adalah orde 3. Penyetelan diturunkan sedikit dibawahnya yakni pada nilai 2.9. Hal ini perlu dilakukan sebagai toleransi komponen filter untuk mencegah resonansi yang terjadi dalam sistem pada frekuensi yang

mengganggu [2]. Berdasarkan perhitungan didapatkan impedansi reaktor filter sebesar 10.85 Ω .

Besar induktansi induktor dapat dihitung dengan persamaan berikut [1]:

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} \quad (4.5)$$

Dari perhitungan didapatkan induktansi sebesar 34.28 mH.

Setelah desain selesai, digunakan model filter untuk pengujian dengan spesifikasi yang sedikit berbeda dengan spesifikasi desain awal. Berikut adalah spesifikasi induktansi dan kapasitansi desain awal dan model pengujian filter:

Tabel 4.6. Spesifikasi Induktansi dan Kapasitansi Filter

	Desain	Model
L	34.27 mH	32 mH
X _L	10.85	10.05
C	34.87 μ F	35 μ F
X _C	91.32	90.99

4.1.1 Perhitungan kerja fundamental filter

Parameter kerja fundamental filter terdiri dari :

- Impedansi fundamental [1]:

$$X_{fund} = |X_L - X_C| \quad (4.6)$$

Dari perhitungan sebesar 80.94 Ω

- Arus fundamental [1]:

$$I_{fund} = \frac{V_{actual}}{X_{fund}} \quad (4.7)$$

Dari perhitungan sebesar 2.71 A

- Tegangan kapasitor [1]:

$$V_C = I_{fund} \times X_C \quad (4.8)$$

Dari perhitungan sebesar 246.58 V

- Rating kapasitor [1]:

$$VAR_{fund} = I_{fund} \times V_{rated} \quad (4.9)$$

Dari perhitungan sebesar 668.23 VAR

4.1.2 Perhitungan kerja filter harmonik

Dalam menghitung perhitungan kerja filter harmonik ada hal yang perlu diperhatikan, yaitu nilai arus harmonik. Arus harmonik pada sistem terdiri atas 2 jenis, yaitu harmonik dari sumber dan harmonik dari beban. Pada perhitungan kerja filter harmonik di skripsi ini diasumsikan harmonik yang berasal dari sumber sangat kecil, sehingga tidak diperhitungkan.

- Arus harmonik total filter

Karena arus harmonik dari sumber diasumsikan sangat kecil, maka arus harmonik total hanya berasal dari beban saja. Dari data hasil pengukuran didapatkan bahwa harmonik terbesar pada orde 3 dan besar rata-rata arus harmoniknya yaitu sebesar 18.00 %, maka besar arus harmonik yang dihasilkan beban dapat dihitung dengan persamaan berikut [1]:

$$I_h = I_h (pu) \times \frac{VA}{V_{actual}} \quad (4.10)$$

Dari perhitungan sebesar 1.72 A

- Tegangan harmonik kapasitor [1]:

$$V_{Ch} = I_h \times X_C \div h \quad (4.11)$$

Dari perhitungan sebesar 52.17 V

4.1.3 Perhitungan total kerja filter

- Arus rms total [1]:

$$I_{rms} = \sqrt{I_{fund}^2 + I_h^2} \quad (4.12)$$

Dari perhitungan sebesar 3.21 A

- Tegangan puncak [1]:

$$V = V_C + V_{Ch} \quad (4.13)$$

Dari perhitungan sebesar 298.75 V

- Tegangan rms [1]:

$$V_{rms} = \sqrt{V_C^2 + V_{Ch}^2} \quad (4.14)$$

Dari perhitungan sebesar 252.04 V

- VAR total [1]:

$$VAR_{total} = I_{rms} \times V_{rms} \quad (4.15)$$

Dari perhitungan sebesar 809.05 VAR

Dari perhitungan di atas, bisa didapatkan tabel perbandingan untuk melihat apakah filter hasil rancangan itu layak untuk digunakan serta untuk mengevaluasi batasan kerja filter. Berikut adalah tabel perbandingan batasan kerja filter:

Tabel 4.7. Perbandingan Batasan Kerja Filter [1]

Kerja	Definisi	Batasan (%)	Nilai aktual	Nilai aktual (%)
Tegangan puncak	$V / V \text{ rated}$	120	298.75/250	119.50
Tegangan RMS	$V \text{ rms} / V \text{ rated}$	110	252.04/250	100.82
Arus RMS	$I \text{ rms} / I \text{ fund.}$	180	3.21/2.71	118.45
VAR	$\text{VAR total} / \text{VAR fund.}$	135	809.05/668.23	121.07

Dari tabel 4.7 dapat disimpulkan bahwa filter hasil rancangan ini layak untuk digunakan karena tidak melebihi batas kerja filter berdasarkan standar yang ada.

Karakteristik penyetelan filter digambarkan oleh faktor kualitas (Q). Kualitas dari sebuah filter adalah ukuran ketajaman penyetelan filter dalam mereduksi harmonik. Sehingga diharapkan nilai Q setinggi mungkin. Nilai Q yang tinggi didapatkan dengan memberikan nilai R yang kecil. Pada desain filter yang telah dilakukan, nilai R hanya merupakan nilai resistansi dari reaktor sehingga dalam perancangannya tidak perlu menambahkan resistor pada filter. Dalam desain yang telah dilakukan, nilai Q yang digunakan adalah 80. Reaktor diasumsikan berinti besi yang berarti nilai dari Q di atas 75 [1]



Gambar 4.4 *Single tuned filter* Hasil Rancangan

4.2 Hasil Pengujian Filter Tanpa Beban

Seperti telah dibahas pada bab sebelumnya, komponen *single tuned filter* terdiri dari kapasitor dan induktor. Idealnya sebuah *single tuned filter* yang baik itu tidak memiliki hambatan. Akan tetapi sulit sekali untuk mewujudkan kondisi ideal tersebut karena komponen induktor pasti memiliki hambatan yang akhirnya justru menjadi beban. Hal ini lah yang mengakibatkan filter ini dihitung juga sebagai beban karena menyerap daya dari sistem. Daya kompleks (S) yang diserap dari sistem digunakan untuk menyuplai daya reaktif (Q) ke sistem untuk memperbaiki faktor daya pada sistem.

Filter yang memiliki komponen induktor dan kapasitor ini berfungsi untuk mengurangi arus harmonik pada sistem pada orde kerja yang telah ditentukan, meskipun filter ini sebenarnya juga merupakan sumber harmonik. Berikut adalah gambaran hasil pengujian filter sebagai salah satu beban sumber harmonik.

4.2.1 Tegangan dan arus

Tabel 4.8 Tegangan dan Arus Filter

	rata-rata	maksimum	Minimum
Tegangan (V)	215.15	215.96	213.48
Arus (A)	2.7183	2.7214	2.7108

Data diatas dapat dilihat tegangan rms dan arus rms yang diukur tanpa ada beban lain. Filter ini dirancang dengan rating tegangan sumber 220 volt, akan tetapi tegangan aktual yang terukur hanya mencapai 215.96 volt pada kondisi maksimum. Drop tegangan ini terjadi karena beberapa faktor pada sisi sumber, hambatan pada saluran dan hal hal lainnya yang sebenarnya tidak akan mempengaruhi kerja filter secara signifikan. Pada perhitungan kerja fundamental filter pada bagian sebelumnya didapatkan bahwa arus fundamental sebesar 2.71 A, sedangkan dari hasil pengukuran filter didapat arus rms rata-rata mencapai 2.7183 A. Perbedaan nilai arus fundamental dan arus rms ini merupakan indikasi

bahwa terdapat rugi-rugi pada filter hasil rancangan tersebut. Rugi-rugi ini dalam bentuk adanya arus harmonik. Idealnya nilai arus fundamental filter itu sama dengan arus rmsnya, akan tetapi terdapat perbedaan sebesar 0.83%. Dapat disimpulkan bahwa filter itu sendiri ternyata bersifat sebagai beban dan menghasilkan arus harmonik sebesar 0.2122A, berarti ada arus harmonik arus sebesar 7.83%. Meskipun demikian, nilai arus harmonik ini terbilang kecil dan tidak terlalu berdampak signifikan terhadap besarnya harmonik pada sistem secara keseluruhan.

4.2.2 THD arus dan THD tegangan

Tabel 4.9. Harmonik Tegangan dan Arus Filter

	rata-rata	maksimum	Minimum
THD V (%)	1.66	1.76	1.57
THD I (%)	7.71	8.21	6.79

Berdasarkan data THD arus dan tegangan berdasarkan filter diatas, filter harmonik yang fungsinya adalah untuk mereduksi harmonik ternyata juga memiliki komponen harmonik sendiri. Bahkan untuk THD arus bisa mencapai 8.21 % pada kondisi maksimum. Rata-rata nilai THD arus adalah sebesar 7.71%. Nilai THD-arus ini kurang lebih sesuai dengan perhitungan arus harmonik pada bagian sebelumnya yaitu sebesar 7.83%. Untuk THD tegangan masih sangat kecil hanya sampai level 1.76%. Harmonik arus yang cukup besar itu mempengaruhi terbentuknya harmonik tegangan. Hal ini disebabkan karena komponen filter juga terhitung sebagai beban. Dengan adanya komponen harmonik pada filter ini dank arena filter ini juga memiliki nilai harmonik sendiri, maka komponen harmonik pada sistem merupakan penjumlahan dari komponen harmonik beban dan filter. Besar komponen harmonik pada sistem otomatis akan menjadi lebih besar. Akan tetapi karena nilai harmonik yang dihasilkan oleh filter relatif kecil maka tidak akan terlalu menghalangi tugas utama filter tersebut

4.2.3 Daya dan Faktor daya

Tabel 4.10. Daya dan Faktor Daya Filter.

	rata-rata	maksimum	Minimum
P (W)	5.9	5.9	5.8
Q (VAR)	-516.0	-508.7	-519.3
S (VA)	516.0	519.4	508.7
PF	0.0101	0.0102	0.0099

Filter ini terdiri dari komponen kapasitor dan induktor, sebagian besar berupa impedansi kapasitif (dari kapasitor) dan sebagian kecil lainnya berupa impedansi induktif (dari induktor). Sedangkan impedansi resistif pada prakteknya tidak digunakan (dari rugi-rugi filter). Daya reaktif yang bernilai negatif menunjukkan bahwa filter tidak menyerap daya reaktif pada sistem, melainkan menyuplai daya reaktif ke sistem. Hal ini juga menunjukkan bahwa filter bersifat kapasitif, sehingga sangat baik untuk sistem dengan objek beban rumah tangga karena rata-rata bebannya bersifat induktif seperti yang dapat dilihat pada tabel data hasil pengukuran di beban rumah tangga 2200VA. Karena sebagian besar daya digunakan untuk menyuplai daya reaktif ke sistem, faktor daya filter sangat kecil yaitu hanya 0.0101, hal ini membuat konsumsi energi oleh filter sangat kecil.

4.3 Harmonik Tegangan Dengan Penggunaan Filter

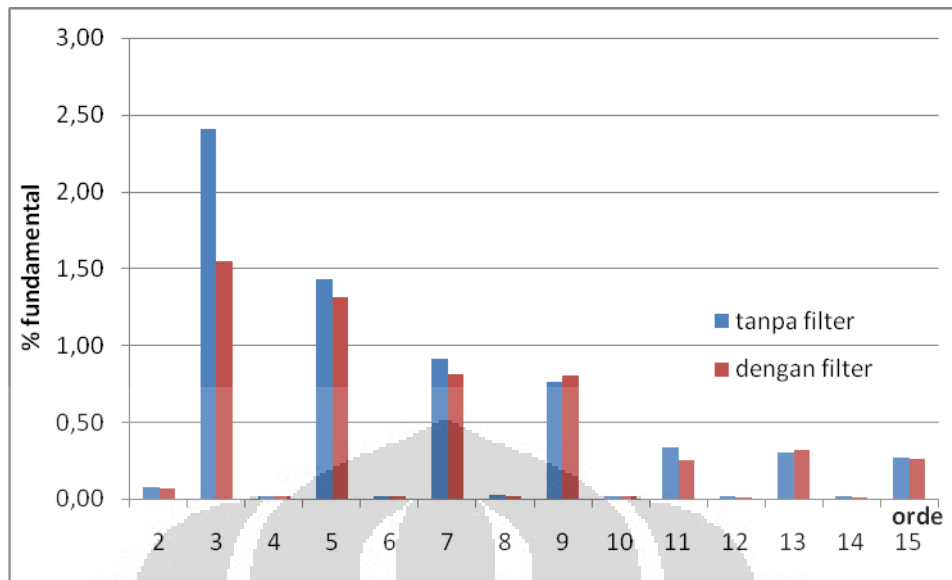
Secara keseluruhan besar *Total Harmonik Distortion (THD)* tegangan pada setiap beban berkurang dengan penggunaan filter. Pengurangan nilai THD tegangan ini cukup signifikan yaitu mencapai 22.95%. Secara perhitungan memang nilai THD tegangan tidak mungkin berkurang secara terlalu drastis karena filter yang dirancang hanya akan bekerja pada satu orde saja. Untuk lebih jelasnya berikut adalah tabel perbandingan THD tegangan setiap beban, pada saat tanpa filter dan dengan penggunaan filter harmonik.

Tabel 4.11. THD Tegangan Tanpa Filter dan Dengan Penggunaan Filter

Beban	THD-V rata-rata (%)	
	tanpa filter	dengan Filter
rumah 1	3.12	2.45
rumah 2	2.94	2.22
rumah 3	3.08	2.38
rata-rata	3.05	2.35

Tabel 4.12 Harmonik Level Tegangan Tanpa Filter dan Dengan Penggunaan Filter

Orde	THD-V rata-rata (%)							
	tanpa filter				dengan filter			
	beban 1	beban 2	beban 3	rata-rata	beban 1	beban 2	beban 3	rata-rata
2	0.06	0.08	0.09	0.08	0.06	0.06	0.07	0.06
3	2.42	2.24	2.56	2.41	1.58	1.17	1.88	1.54
4	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
5	1.48	1.38	1.42	1.43	1.34	1.35	1.25	1.31
6	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
7	0.89	0.93	0.91	0.91	0.86	0.79	0.79	0.81
8	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02
9	0.80	0.79	0.68	0.76	0.76	0.83	0.81	0.80
10	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02
11	0.34	0.34	0.32	0.33	0.25	0.27	0.24	0.25
12	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
13	0.30	0.27	0.32	0.30	0.31	0.30	0.35	0.32
14	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
15	0.26	0.26	0.28	0.27	0.24	0.28	0.26	0.26



Gambar 4.5 Grafik Harmonik Level Tegangan Tanpa Filter dan Dengan Filter

Dari tabel dan grafik diatas dapat dilihat bahwa level harmonik pada orde 3 berkurang sebesar 36.1% dengan dipasangnya filter. Idealnya *single tuned filter* hasil rancangan ini hanya akan mereduksi distorsi harrmonik pada orde kerjanya, yaitu orde 3 sampai benar-benar tidak terjadi harmonik. Akan tetapi berdasarkan hasil pengujian ternyata masih ada nilai harmonik pada orde 3 walaupun memang tergolong kecil dan tidak melewati batasan harmonik. Hal ini berarti filter yang dirancang kurang tajam untuk mereduksi harmonik pada orde kerjanya. Meskipun demikian dengan pengurangan besar level tegangan harmonik orde 3 sebesar 36.1% dan turunya THD tegangan secara keseluruhan sebesar 22.95%, filter harmonik ini bisa dibilang sukses dalam mereduksi harmonik pada beban yang telah ditentukan

Dari tabel dan grafik dapat kita lihat, bahwa sebenarnya ada efek positif dari kurang tajamnya penyetelan filter yaitu berkurangnya harmonik tegangan di orde lain yang bukan orde kerja filter tersebut. Memang tidak di semua orde nilai harmoniknya berkurang akan tetapi pereduksian nilai harmonik ini terjadi di hampir seluruh orde. Hal ini tentu saja sesuatu yang baik dan memberikan kontribusi pada turunya besar THD total tegangan yaitu turun sebesar 22.95%.

4.4 Harmonik Arus Dengan Penggunaan Filter

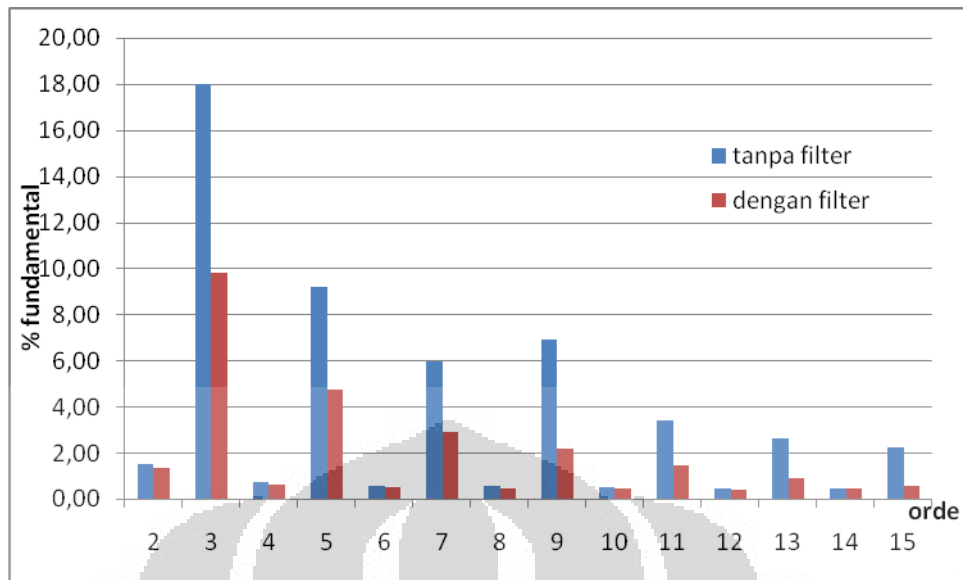
Inti dari penggunaan *Single tuned filter* ini adalah mengurangi arus harmonik yang mengalir pada sistem. Arus harmonik pada sistem akan dilewatkan pada filter untuk kemudian di-groundkan. Pengurangan nilai THD arus ini cukup signifikan yaitu mencapai 41.07%. Secara perhitungan memang nilai THD arus tidak mungkin berkurang secara terlalu drastis karena filter yang dirancang hanya akan bekerja pada satu orde saja. Untuk lebih jelasnya berikut adalah tabel perbandingan THD arus setiap beban, pada saat tanpa filter dan dengan penggunaan filter harmonik.

Tabel 4.13 THD Arus Tanpa Filter dan Dengan Penggunaan Filter

Beban	THD-I rata-rata (%)	
	tanpa filter	dengan filter
rumah 1	18.88	9.40
rumah 2	22.89	15.23
rumah 3	24.12	14.18
rata-rata	21.96	12.94

Tabel 4.14 Harmonik Level Arus Tanpa Filter dan Dengan Penggunaan Filter

Orde	THD-I rata-rata (%)							
	tanpa filter				dengan filter			
	beban 1	beban 2	beban 3	rata-rata	beban 1	beban 2	beban 3	rata-rata
2	1.42	1.56	1.49	1.49	1.18	1.54	1.27	1.33
3	16.82	18.17	19.00	18.00	8.00	12.11	9.32	9.81
4	0.69	0.73	0.71	0.71	0.55	0.70	0.53	0.59
5	8.37	9.07	10.22	9.22	4.65	4.52	5.11	4.76
6	0.58	0.57	0.58	0.58	0.44	0.56	0.48	0.49
7	6.00	5.63	6.32	5.98	2.88	2.93	2.87	2.89
8	0.60	0.56	0.58	0.58	0.45	0.47	0.42	0.45
9	7.57	6.27	6.92	6.92	1.55	2.62	2.38	2.18
10	0.47	0.49	0.48	0.48	0.41	0.45	0.40	0.42
11	3.63	3.49	3.06	3.39	1.20	1.45	1.73	1.46
12	0.48	0.44	0.46	0.46	0.43	0.41	0.40	0.41
13	2.94	2.60	2.27	2.60	0.66	0.57	1.46	0.90
14	0.47	0.43	0.45	0.45	0.43	0.43	0.42	0.43
15	2.04	2.74	1.89	2.22	0.22	0.39	1.00	0.54



Gambar 4.6 Harmonik Level Arus Tanpa Filter dan Dengan Penggunaan Filter

Dari tabel dan grafik diatas dapat dilihat bahwa level harmonik pada orde 3 berkurang sebesar 45.5% dengan digunakan filter. Idealnya *single tuned filter* hasil rancangan ini hanya akan mereduksi distorsi harmonik pada orde kerjanya, yaitu orde 3 sampai benar-benar tidak terjadi harmonik. Akan tetapi berdasarkan hasil pengujian ternyata masih ada nilai harmonik pada orde 3 walaupun memang tergolong kecil dan tidak melewati batasan harmonik. Hal ini berarti filter yang dirancang kurang tajam dalam mereduksi harmonik pada orde kerjanya. Meskipun demikian dengan pengurangan besar level arus harmonik orde 3 sebesar 45.5% dan turunnya THD arus secara keseluruhan sebesar 41.07%, filter harmonik ini bisa dibilang sukses dalam mereduksi harmonik pada beban rumah tangga

Dari tabel dan grafik dapat kita lihat, bahwa sebenarnya ada efek positif dari kurang tajamnya penyetelan filter yaitu berkurangnya harmonik arus di orde lain yang bukan orde kerja filter tersebut. Memang tidak di semua orde nilai harmoniknya berkurang akan tetapi pereduksian nilai harmonik ini terjadi di hampir seluruh orde. Hal ini tentu saja sesuatu yang baik dan memberikan kontribusi pada turunnya besar THD total arus yaitu turun sebesar 41.07%.

4.5 Faktor Daya Dengan Penggunaan Filter

Seperti yang telah dibahas pada bagian dasar teori bahwa selain berfungsi untuk mereduksi harmonik pada beban, *single tuned filter* ini juga dapat memperbaiki faktor daya karena filter dapat mengkompensasi daya reaktif yang bersifat kapasitif kepada sistem yang rata-rata bebannya bersifat induktif. Berikut tabel perbandingan antara faktor daya tanpa digunakan filter dan dengan digunakan filter :

Tabel 4.15 Faktor daya tanpa filter dan dengan digunakan filter

	tanpa filter	dengan filter
beban 1	0.807	0.940
beban 2	0.776	0.963
beban 3	0.762	0.955
rata-rata	0.782	0.952

Dari tabel 4.15 dapat dilihat bahwa dengan penggunaan filter, faktor daya menjadi lebih baik yaitu dari 0.782 menjadi 0.952. Hal ini berarti besarnya kompensasi daya reaktif yang diberikan kepada sistem sesuai dengan kondisinya, tidak berlebihan dan tidak kekurangan juga meskipun sebenarnya masih bisa dinaikan sampai nilai $pf=1$ tapi terlalu beresiko karena dapat mengakibatkan kondisi leading. Apabila leadingnya berlebihan dapat mengakibatkan naiknya tegangan pada beban yang pastinya akan berdampak buruk pada komponen-komponen listrik di rumah tangga.

Dengan penambahan kompensator sesuai dengan spesifikasi filter, sebenarnya cukup sering terjadi kondisi leading pada beban. Hal ini terjadi karena besar nilai daya reaktif yang diberikan oleh filter itu bersifat konstan terhadap waktu, artinya tidak mengikuti karakteristik beban. Oleh karena itu saat beban yang digunakan sedikit (misalnya pada waktu waktu beban minimum), faktor daya menjadi leading. Sebenarnya hal ini telah diantisipasi dari awal perancangan filter, yaitu dengan mengatur besarnya daya reaktif yang akan diberikan pada kondisi minimum pembebanan di rumah tangga. Akan tetapi karena memang beban yang digunakan itu diukur secara *real* pembebanan di

rumah tangga 2200VA, maka beban apa saja yang digunakan pada waktu tertentu bisa saja tidak sesuai dengan prediksi awal.

Perubahan kondisi penggunaan listrik di beban rumah tangga ini bisa diprediksi tapi tidak bisa dipastikan nilainya. Karena penggunaan komponen listrik di rumah tangga berbeda beda dari waktu ke waktu. Meskipun demikian, nilai leading tersebut juga masih kecil yaitu berkisar pada $\text{pf} = -0.94$ hingga $\text{pf} = -0.99$ sehingga masih bisa ditolerir. Kenaikan tegangan yang terjadi pun tidak terlalu signifikan, bahkan sebenarnya kenaikan tegangan ini bersifat positif karena rata-rata tegangan di beban rumah tangga pada keadaan normal jarang sekali yang sesuai ratingnya (220V), dengan terjadinya kondisi leading kecil ini justru nilai tegangan di rumah tangga mendekati rating tegangan yang seharusnya yaitu 220V. Selain itu bila dilihat rata-rata juga sebenarnya masih sangat bagus, hal ini disebabkan karena pada waktu tertentu adakalanya justru daya reaktif yang diberikan filter tidak bisa menaikkan faktor daya secara signifikan sehingga pada kondisi tersebut lagging-nya masih cukup besar.

4.6 Arus, Tegangan, dan Daya Dengan Penggunaan Filter

Pada skripsi ini beban yang digunakan sebagai objek pengukuran adalah beban rumah tangga secara komunal dalam pembebanan *real*. Sedikit sulit untuk mencari perbandingan besarnya arus, tegangan, dan daya pada beban rumah tangga karena memang penggunaan listriknya tidak tetap selama 1x24 jam. Oleh karena itu dilakukan pengujian ulang selama 10 menit untuk melihat perbedaan arus, tegangan dan daya tanpa digunakan filter dan dengan penggunaan filter dengan beban yang sama secara komunal. Tabel di bawah ini merepresentasikan perbedaan arus, tegangan, dan daya :

Tabel 4.16 Nilai Arus, tegangan, dan daya tanpa filter dan dengan penggunaan filter

Parameter	tanpa filter	dengan filter
Arus (A)	11.42	10.53
Tegangan (V)	212.82	213.31
Daya aktif (kW)	2.21	2.07
Daya reaktif (kVAR)	1.21	0.1
Daya total (kVA)	2.47	2.25
Konsumsi Energi kWh)	0.368	0.345

Dari data diatas dapat dilihat bahwa daya aktif yang digunakan berkurang, hal ini karena adanya kompensasi oleh filter yang membuat arus rms beban total berkurang. Besarnya daya reaktif juga berkurang dari 1.21 kVAR menjadi 0.1 kVAR. Hal ini terjadi karena adanya kompensasi daya reaktif yang bersifat kapasitif dari filter sehingga daya reaktifnya menjadi kecil. Berkurangnya nilai daya aktif dan reaktif secara otomatis akan mengubah juga nilai daya total menjadi lebih kecil.

Berkurangnya nilai arus rms yang disebabkan karena terserapnya sebagian arus harmonik ke filter yang dipasang, mengakibatkan turunnya konsumsi energi listrik. Hal ini menunjukkan telah terjadinya penghematan pasca pemasangan filter. Pada 10 menit pengukuran, konsumsi energi listrik turun dari 0.368 kWh menjadi 0.345 kWh.

Berikut data perbandingan penggunaan energi listrik tanpa digunakan filter dan setelah digunakan filter :

Tabel 4.17 perbandingan penggunaan energi listrik tanpa filter dan dengan filter

menit ke	P awal (kW)	P new (kW)	kWh awal	kWh new
1	2.2	2.2	0.037	0.037
2	2.3	2.2	0.038	0.037
3	2.2	2.2	0.037	0.037
4	2.2	1.9	0.037	0.032
5	2.2	2.0	0.037	0.033
6	2.2	2.0	0.037	0.033
7	2.2	2.0	0.037	0.033
8	2.2	2.1	0.037	0.035
9	2.2	2.1	0.037	0.035
10	2.2	2.0	0.037	0.033
Jumlah			0.368	0.345

Penghematan penggunaan energi listrik di beban rumah tangga 2200VA dengan penambahan filter sesuai rancangan ini adalah sekitar dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini :

$$\% \text{ saving} = \left(1 - \frac{kwh_{-new}}{kwh} \right) \times 100\% \quad (4.16)$$

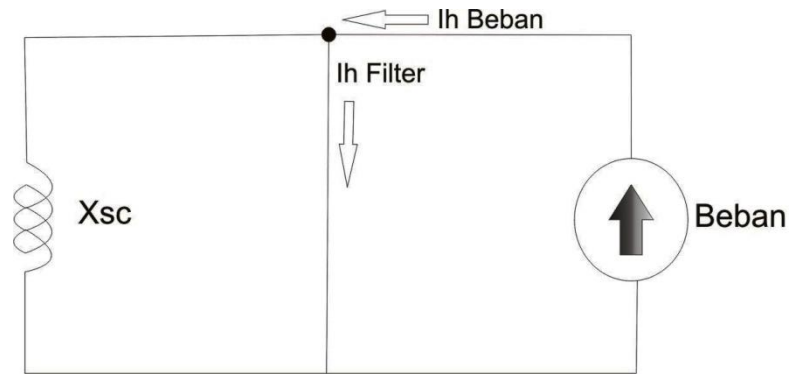
Dari perhitungan didapatkan penghematan sebesar 6.25%

4.7 Evaluasi Kerja Filter

Single tuned filter adalah sebuah filter pasif harmonik yang memiliki kemampuan untuk mereduksi distorsi harmonik pada beban listrik. Selain mereduksi harmonik, filter ini juga dapat memperbaiki faktor daya sistem sehingga dapat menghemat penggunaan energi listrik. Idealnya sebuah *single tuned filter* hanya akan mereduksi distorsi harmonik pada satu orde yang ditentukan saja, yaitu orde kerjanya. Orde kerja filter ini ditentukan dengan melihat karakteristik distorsi harmonik terbesar pada beban yang telah ditentukan.

Pada penelitian dirancang sebuah *single tuned filter* untuk karakteristik beban rumah tangga 2200VA. Seperti yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya bahwa filter ini hanya akan bekerja optimal orde kerjanya dan pada beban yang telah ditentukan, karena perancangannya menggunakan data dari beban tersebut. Pada saat pengambilan data, ini didapatkan bahwa pada beban rumah tangga, harmonik tegangan dan harmonik arus terbesar berada pada orde 3. Penyetelan orde *single tuned filter* diturunkan sedikit dibawahnya yakni sebesar 2.9. Hal ini perlu dilakukan sebagai toleransi komponen filter untuk mencegah resonansi yang terjadi dalam sistem pada frekuensi yang mengganggu [2]. Prinsip kerja *single tuned filter* dapat ditentukan oleh kurva impedansi filter.

Impedansi pada filter minimum pada saat frekuensi f_r atau frekuensi resonansi yaitu frekuensi orde harmonik yang ditentukan dalam hal ini f_r adalah 142.75 Hz. Karena pada rangkaian filter tidak terdapat komponen resistor, idealnya pada frekuensi 142.75 Hz besar impedansi filter Z adalah 0Ω atau filter dalam keadaan *short circuit*. Pada frekuensi ini, diharapkan semua arus harmonik pada orde ke-3 akan melalui filter dan tidak masuk ke dalam sistem. Prinsip kerja filter saat frekuensi 142.75 Hz pada kondisi ideal dapat dijelaskan pada gambar berikut:



Gambar 4.7 Model Sistem Filter Pada Frekuensi 142.75 Hz

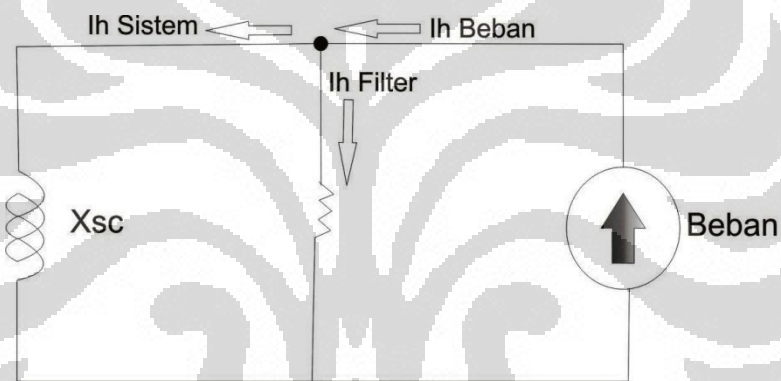
Dari model beban non-linier diatas, beban merupakan sumber arus harmonik pada sistem, filter dalam keadaan *short circuit*, dan X_{sc} merupakan reaktansi *short circuit* dari busbar atau sumber pada sistem. Pada kondisi ideal, semua arus harmonik dari beban lebih memilih melalui filter karena impedansinya 0 sehingga tidak ada arus harmonik yang mengalir ke sistem. Dari pernyataan ini, bisa dihitung besar arus harmonik yang mengalir pada filter sama dengan besar arus harmonik yang dihasilkan beban total dengan menggunakan persamaan 4.10. berikut [1]:

$$I_h = I_h (pu) \times \frac{VA}{V_{actual}} \quad (4.17)$$

Dari data awal didapatkan bahwa arus harmonik terbesar pada orde 3 sebesar 18.00 % sehingga I_h (pu) adalah 0.18A dengan besar VA maksimum beban total 2.1 KVA dan tegangan actual 220 V tanpa memperhitungkan drop tegangan, maka besar arus harmonik pada beban dan filter hasil perhitungan sebesar 1.72 A. Arus harmonik yang mengalir pada sistem 0 A.

Pada pengujian filter tanpa beban, didapatkan besarnya arus harmonik pada beban dan filter adalah sebesar 0.2122A dengan presentase 7.83% dari nilai fundamentalnya. Akan tetapi dari hasil pengujian pada filter didapatkan data bahwa besarnya THD arus pada sistem setelah penggunaan *single tuned filter* adalah 0.2089A dengan persentase 7.71% terhadap arus fundamental. Perbedaan ini menunjukkan bahwa arus harmonik tidak seluruhnya melewati

filter. Hal ini disebabkan adanya resistansi pada filter yang membuat impedansi filter pada orde yang diinginkan tidak 0 ohm. Inilah yang disebut dengan faktor kualitas (Q) dari *single tuned filter*. Faktor Kualitas dari sebuah filter adalah ukuran ketajaman penyetelan filter tersebut dalam mengeliminasi harmonik. Dalam *single tuned filter*, faktor kualitas didefinisikan sebagai perbandingan antara induktansi atau kapasitansi pada frekuensi resonansi terhadap resistansi. Filter yang efektif harus memiliki induktor dengan faktor kualitas yang besar, oleh karena itu resistansi harus jauh lebih kecil daripada induktansi pada frekuensi resonansi. Perkiraan nilai faktor kualitas untuk reaktor inti udara adalah 75 dan lebih besar 75 untuk reaktor inti besi [1]. Berikut adalah model filter dengan faktor kualitas :



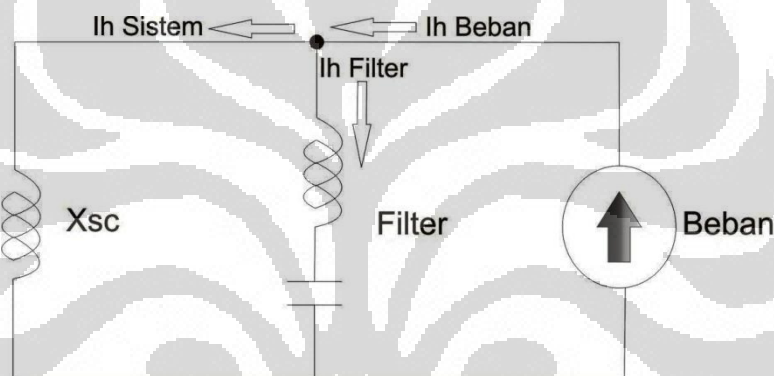
Gambar 4.8. Model Sistem Filter Dengan Faktor Kualitas

Karena adanya resistansi pada filter, sebagian arus harmonik melewati filter dan sebagian lainnya masuk ke sistem. Resistansi filter sangat mempengaruhi faktor kualitas filter. Semakin kecil resistansi filter, semakin besar faktor kualitas filter, dan semakin besar pula arus harmonik yang dilewatkan ke filter atau semakin kecil arus harmonik yang masuk ke sistem.

Dengan asumsi pada kondisi ideal tidak terdapat resistansi pada filter ($R = 0 \Omega$), kapasitansi dan induktansi dari model pengujian filter, dan frekuensi dasar 50 Hz. Pada orde harmonik selain orde 3, filter berperan sebagai beban. Sehingga filter juga memiliki impedansi yang besarnya tergantung pada frekuensi orde harmonik itu sendiri. Idealnya, saat filter sebagai beban, arus

harmonik dari beban akan masuk kedalam sistem karena impedansi sistem yang sangat kecil (hanya terdiri dari impedansi kabel saja).

Akan tetapi dari hasil pengujian ternyata hampir semua orde mengalami penurunan arus harmonik. Hal ini terjadi karena meskipun impedansi kabel sangat kecil, tetapi masih memiliki nilai, dengan kata lain impedansi $Z \neq 0 \Omega$. Impedansi kabel ini direpresentasikan dengan reaktansi *short circuit* dari busbar. Pada beban rumah tangga dengan kapasitas daya yang relatif kecil, busbar memiliki impedansi yang cukup untuk memungkinkan pembagian arus harmonik (*current divider*) dari beban sebagai sumber harmonik ke filter dan ke sistem. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.9 Model Sistem Filter Sebagai Beban

Besar arus harmonik yang melewati sistem didapat dengan persamaan berikut:

$$I_{h_{sistem}} = \frac{Z_{filter}}{Z_{filter} + X_{sc}} \times I_{h_{beban}} \quad (4.16)$$

Arus harmonik dari beban terbagi ke dalam 2 jalur, ada yang melewati filter dan ada yang masuk ke sistem. Karena reaktansi *short-circuit* busbar lebih kecil dari impedansi filter, maka sebagian besar arus harmonik akan masuk ke dalam sistem dan hanya sedikit yang melewati filter.

BAB V

KESIMPULAN

1. Dari pengujian nilai Nilai Total Harmonic Distortion (THD) arus pada 3 sampel beban rumah tangga, pemasangan filter harmonik hasil rancangan berhasil menurunkan Nilai THD-arus dari 21.96% menjadi 12,94%
2. Pada orde kerjanya yaitu orde 3, *single tuned filter* hasil rancangan ini mampu mereduksi harmonik arus sebesar 45.50 %
3. Dari pengujian nilai Total Harmonic Distortion (THD) tegangan pada 3 sampel beban rumah tangga, pemasangan filter harmonik hasil rancangan berhasil menurunkan Nilai THD-tegangan dari 3.05% menjadi 2.35%
4. Pada orde kerjanya yaitu orde 3, *single tuned filter* hasil rancangan ini mampu mereduksi harmonik tegangan sebesar 36.10 %
5. Nilai Faktor daya pada 3 sampel beban rumah tangga berhasil ditingkatkan dengan penggunaan filter hasil rancangan yaitu dari 0.782 menjadi 0.952
6. Penghematan penggunaan energi listrik di beban rumah tangga 2200VA dengan penambahan filter adalah sebesar 6.25%

DAFTAR ACUAN

- [1] Roger C. Dugan, et al., *Electrical Power systems Quality* (New York: McGraw Hill, 2002), hal. 233-252
- [2] Rifky Cahyadi. “Upaya Penghematan Energi Listrik Dengan Cara Mereduksi Distorsi Harmonik Menggunakan *Single Tuned Notch Filter*.” Skripsi, Program sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, hal. 28-36
- [3] Adrianto. “Optimalisasi Penempatan Filter Pasif Untuk Mereduksi Rugi-Rugi daya Akibat Arus Harmonik Pada Industri Baja.” Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI Depok, hal. 5-19
- [4] Aris Pramnanto. “Analisis Penggunaan *Single tuned filter* Sebagai Salah Satu Solusi Masalah Harmonik Pada Beban Rumah Tangga .“ Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, hal 6-26
- [5] Pujiantara, Margo, “Penyempurnaan Desain Filter Harmonisa menggunakan kapasitor Eksisting pada Pabrik Soda kaustik Serang –Baten”, *JAVA Journal of Electrical and Electronics Engineering*, Vol. 1, No. 2, Oct 2003, ISSN 1412-8306
- [6] IEEE Std. 519-1992 - Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems
- [7] Nguyen, T.T., ” *Optimal Harmonic Filter Design Procedure*”, *Electric Power Systems Research*, 23 page 217-22, Elsevier, 1992.
- [8] R.L. Almonte and A.W. Ashley (1995) “Harmonics at the utility industrial interface: a real world example,” *IEEE Trans. on Ind. Appl.*, Vol. 31, No. 6, pp. 1419-1426
- [9] <http://www.mediaindonesia.com/read/2009/06/06/80225/4/2/Pelanggan-PLN-Rumah-Tangga-Meningkat-595-Persen>
- [10] C.J. Chou, C.W. Liu, J.Y. Lee, K.D. Lee, Optimal planning of large passive harmonic filters set at high voltage level, *IEEE Trans. On Power Systems*, Vol.15, 2000, pp. 433-439.
- [11] D. A. Gonzalez and J. C. McCall, “Design of filters to reduce harmonic distortion in industrial power systems,” *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol.IA-23, pp. 504–511, May/June 1987.

DAFTAR REFERENSI

- Roger C. Dugan, et al., *Electrical Power Systems Quality* (New York: McGraw Hill, 2002)
- Weedy, B.M., Corry, B.J., *Electrical Power System* (London: John Wiley & Sons ltd, 2001)
- Kun-Ping Lin, Ming-Hoon Lin, Tung-Pong Lin,. “An Advanced Code for Single Tuned Harmonic filter Design”, *IEEE Transactions on Power Electronics*, Agustus 1998
- Rifky Cahyadi. “Upaya Penghematan Energi Listrik Dengan Cara Mereduksi Distorsi Harmonik Menggunakan *Single Tuned Notch Filter*.” Skripsi, Program sarjana Fakultas Teknik UI, Depok
- Adrianto. “Optimalisasi Penempatan Filter Pasif Untuk Mereduksi Rugi-Rugi daya Akibat Arus Harmonik Pada Industri Baja.” Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI Depok
- Aris Pramnanto. “Analisis Penggunaan *Single tuned filter* Sebagai Salah Satu Solusi Masalah Harmonik Pada Beban Rumah Tangga .“ Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok
- Pujiantara, Margo, “Penyempurnaan Desain Filter Harmonisa menggunakan kapasitor Eksisting pada Pabrik Soda kaustik Serang –Baten”, *JAVA Journal of Electrical and Electronics Engineering*, Vol. 1, No. 2, Oct 2003, ISSN 1412-8306
- IEEE Std. 519-1992 - Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems
- Nguyen,
T.T., ” *Optimal Harmonic Filter Design Procedure*”, *Electric Power Systems Research*, 23 page 217-22, Elsevier, 1992.
- R.L. Almonte and A.W. Ashley (1995) “Harmonics at the utility industrial interface: a real world example,” *IEEE Trans. on Ind. Appl.*, Vol. 31, No. 6, pp. 1419-1426
- <http://www.mediaindonesia.com/read/2009/06/06/80225/4/2/Pelanggan-PLN-Rumah-Tangga-Meningkat-595-Persen>

- C.J. Chou, C.W. Liu, J.Y. Lee, K.D. Lee, Optimal planning of large passive harmonic filters set at high voltage level, *IEEE Trans. On Power Systems*, Vol.15, 2000
- D. A. Gonzalez and J. C. McCall, “Design of filters to reduce harmonic distortion in industrial power systems,” *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol.IA-23, pp. 504–511, May/June 1987.
- Achmad, Reza.”Pengaruh Harmonik Pada Power Factor.” Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2003
- Prihadi, Toni.”Simulasi dan Analisa Desain filter Pasif Untuk Mengurangi Distorsi Harmoni Pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik.” Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2005
- Hermawanto, Bambang.”Fenomena Harmonik Di Sistem Distribusi Tenaga Listrik.” *Energi dan Listrik* Vol. IV, Juni 1996



LAMPIRAN

1. Daya beban Rumah 1 (sebelum filter)

waktu	P	Q	S	Waktu	P	q	S
9:03:09	1.7	1.7	2.4	20:23:09	2.4	1.2	2.7
9:08:09	1.3	0.9	1.6	20:28:09	2	0.7	2.1
9:13:09	0.8	0.6	1	20:33:09	1.3	0.7	1.5
9:18:09	1.8	0.9	2	20:38:09	1.6	1.1	1.9
9:23:09	1.3	0.9	1.5	20:43:09	1.6	1.1	1.9
9:28:09	1.3	1	1.6	20:48:09	1.5	1.1	1.9
9:33:09	1.3	0.9	1.6	20:53:09	1.5	1.1	1.9
9:38:09	2.6	0.9	2.8	20:58:09	1.5	1.1	1.9
9:43:09	1.3	0.9	1.5	21:03:09	1.1	0.6	1.2
9:48:09	2.1	3.9	4.5	21:08:09	1.1	0.6	1.3
9:53:09	1.2	0.9	1.5	21:13:09	1.6	1.2	2
9:58:09	1.6	2.5	2.9	21:18:09	1.6	1.2	2
10:03:09	1.3	1.1	1.7	21:23:09	1.5	1.2	1.9
10:08:09	0.8	0.3	0.8	21:28:09	1.5	1.2	1.9
10:13:09	0.8	0.3	0.9	21:33:09	1.1	0.6	1.3
10:18:09	1.8	3.4	3.8	21:38:09	2.4	0.6	2.4
10:23:09	2	1.5	2.5	21:43:09	1.1	0.7	1.3
10:28:09	1.2	0.9	1.5	21:48:09	1.5	1.2	1.9
10:33:09	1	0.9	1.3	21:53:09	1.5	1.2	2
10:38:09	1	1.1	1.5	21:58:09	1.7	1.2	2.1
10:43:09	0.6	0.6	0.8	22:03:09	1.7	1.2	2.1
10:48:09	0.6	0.6	0.9	22:08:09	1.3	0.6	1.4
10:53:09	1.1	1.2	1.6	22:13:09	1.3	0.6	1.5
10:58:09	1	1.1	1.5	22:18:09	1.8	1.2	2.1
11:03:09	1.2	1.1	1.6	22:23:09	1.8	1.2	2.2
11:08:09	2.6	1.1	2.8	22:28:09	1.8	1.2	2.2
11:13:09	2.5	1.1	2.8	22:33:09	1.8	1.2	2.2
11:18:09	1.1	0.4	1.2	22:38:09	1.3	0.6	1.5
11:23:09	1.1	0.5	1.2	22:43:09	1.3	0.6	1.5
11:28:09	1	0.5	1.1	22:48:09	1.7	1.2	2.1
11:33:09	0.9	0.5	1.1	22:53:09	1.7	1.2	2.1
11:38:09	0.9	0.5	1	22:58:09	1.7	1.2	2.1
11:43:09	1	0.5	1.1	23:03:09	3.1	1.2	3.4
11:48:09	0.6	0.5	0.8	23:08:09	2.6	0.6	2.6
11:53:09	0.6	0.5	0.8	23:13:09	1.2	0.7	1.4
11:58:09	1.1	1.1	1.6	23:18:09	1.2	0.7	1.4
12:03:09	1.1	1.1	1.6	23:23:09	1.6	0.7	1.8

12:08:09	1.1	1.1	1.5	23:28:09	1.6	0.7	1.8
12:13:09	1	1.1	1.5	23:33:09	2	0.6	2.1
12:18:09	1	1.1	1.5	23:38:09	2.3	0.6	2.4
12:23:09	1.1	1.1	1.5	23:43:09	2.2	0.6	2.3
12:28:09	1	1.1	1.5	23:48:09	2.2	0.6	2.3
12:33:09	1	1.1	1.5	23:53:09	1.9	0.6	2
12:38:09	1	1.1	1.5	23:58:09	1.9	0.7	2
12:43:09	2.5	1.1	2.7	0:03:09	2.2	1.3	2.6
12:48:09	1	1.1	1.5	0:08:09	2.1	1.2	2.5
12:53:09	1	1.1	1.5	0:13:09	2.1	1.2	2.5
12:58:09	1.1	1.2	1.6	0:18:09	2.1	1.2	2.4
13:03:09	1.1	1.2	1.6	0:23:09	2.1	1.2	2.4
13:08:09	1.1	1.1	1.6	0:28:09	2	1.3	2.4
13:13:09	1.1	1.1	1.6	0:33:09	3.5	1.2	3.7
13:18:09	1	1.1	1.5	0:38:09	3.5	1.3	3.7
13:23:09	1	1.1	1.5	0:43:09	1.5	1.3	2
13:28:09	0.5	0.5	0.7	0:48:09	1.6	1.3	2.1
13:33:09	0.5	0.5	0.7	0:53:09	1.6	1.3	2.1
13:38:09	1	1.1	1.5	0:58:09	1.6	1.4	2.1
13:43:09	1	1.1	1.5	1:03:09	1.6	1.3	2.1
13:48:09	1	1.1	1.5	1:08:09	1.5	1.3	2
13:53:09	1	1.1	1.5	1:13:09	1.5	1.3	2
13:58:09	1.1	1.2	1.6	1:18:09	1.1	0.7	1.3
14:03:09	1.1	1.1	1.5	1:23:09	1.1	0.7	1.3
14:08:09	0.6	0.5	0.8	1:28:09	1.1	0.7	1.3
14:13:09	0.6	0.5	0.8	1:33:09	1.5	1.3	2
14:18:09	2.5	1.1	2.7	1:38:09	1.6	1.4	2.1
14:23:09	2.4	1.1	2.6	1:43:09	1.6	1.4	2.1
14:28:09	1	1.1	1.5	1:48:09	1.6	1.4	2.1
14:33:09	1.1	1.1	1.5	1:53:09	1.6	1.4	2.1
14:38:09	1	1.1	1.5	1:58:09	1.1	0.7	1.3
14:43:09	0.6	0.5	0.8	2:03:09	1.1	0.7	1.3
14:48:09	0.6	0.5	0.8	2:08:09	2.9	1.3	3.2
14:53:09	1	1.1	1.5	2:13:09	1.5	1.3	2
14:58:09	1.1	1.1	1.5	2:18:09	1.5	1.3	2
15:03:09	1	1.1	1.5	2:23:09	1.5	1.4	2.1
15:08:09	1	1.1	1.5	2:28:09	1.5	1.4	2.1
15:13:09	1	1.1	1.5	2:33:09	1.1	0.7	1.3
15:18:09	0.6	0.5	0.8	2:38:09	1.1	0.7	1.3
15:23:09	0.6	0.5	0.8	2:43:09	1.5	1.3	2
15:28:09	1	1.1	1.5	2:48:09	1.5	1.3	2
15:33:09	1	1.1	1.5	2:53:09	1.6	1.4	2.1
15:38:09	1	1.1	1.5	2:58:09	1.5	1.4	2

15:43:09	1	1.1	1.5	3:03:09	1.6	1.4	2.1
15:48:09	1	1.1	1.5	3:08:09	1.1	0.7	1.3
15:53:09	0.6	0.5	0.7	3:13:09	1.1	0.8	1.3
15:58:09	2	0.5	2	3:18:09	1.6	1.4	2.1
16:03:09	2.4	1	2.6	3:23:09	1.5	1.4	2.1
16:08:09	1	1.1	1.5	3:28:09	1.6	1.4	2.1
16:13:09	1	1.1	1.5	3:33:09	1.6	1.4	2.1
16:18:09	1	1.1	1.5	3:38:09	1.1	0.8	1.3
16:23:09	1	1.1	1.5	3:43:09	2.6	0.8	2.7
16:28:09	0.5	0.5	0.7	3:48:09	2.5	0.8	2.7
16:33:09	0.6	0.5	0.7	3:53:09	1.6	1.4	2.1
16:38:09	1	1.1	1.5	3:58:09	1.5	1.3	2
16:43:09	1	1.1	1.5	4:03:09	1.5	1.4	2.1
16:48:09	1	1.1	1.5	4:08:09	1	0.7	1.2
16:53:09	1	1.1	1.5	4:13:09	1.1	0.7	1.3
16:58:09	0.6	0.5	0.7	4:18:09	1	0.7	1.3
17:03:09	0.6	0.5	0.8	4:23:09	1.5	1.3	2
17:08:09	0.6	0.5	0.8	4:28:09	1.5	1.3	2
17:13:09	1	1.1	1.5	4:33:09	1.5	1.3	2
17:18:09	1	1.1	1.5	4:38:09	1.1	0.7	1.3
17:23:09	1	1.1	1.5	4:43:09	1.1	0.7	1.3
17:28:09	1.1	1.1	1.5	4:48:09	1.1	0.7	1.3
17:33:09	0.6	0.5	0.8	4:53:09	1.5	1.4	2.1
17:38:09	0.6	0.6	0.9	4:58:09	1.5	1.4	2
17:43:09	2.8	1.2	3.1	5:03:09	1.5	1.4	2
17:48:09	1.3	1.3	1.9	5:08:09	1	0.7	1.3
17:53:09	3.2	1.3	3.4	5:13:09	1	0.7	1.2
17:58:09	4.2	1.3	4.4	5:18:09	1	0.7	1.2
18:03:09	3.8	0.7	3.9	5:23:09	3	1.4	3.3
18:08:09	3.8	0.7	3.9	5:28:09	1.5	1.4	2
18:13:09	3.7	0.6	3.8	5:33:09	1.5	1.4	2
18:18:09	4.3	1.2	4.4	5:38:09	1	0.7	1.2
18:23:09	4.2	1.2	4.4	5:43:09	1.1	0.6	1.2
18:28:09	2.5	1	2.7	5:48:09	1	0.6	1.2
18:33:09	2.5	1	2.7	5:53:09	1.5	1.2	2
18:38:09	2.1	0.5	2.1	5:58:09	1.5	1.2	2
18:43:09	0.9	0.5	1	6:03:09	1.6	1.2	2
18:48:09	0.9	0.5	1	6:08:09	1.6	1.2	2
18:53:09	1.3	1	1.7	6:13:09	3	0.7	3.1
18:58:09	1.4	1	1.7	6:18:09	3.2	0.7	3.3
19:03:09	1.4	1	1.7	6:23:09	3.6	1.2	3.8
19:08:09	2.7	1	2.9	6:28:09	3.3	1.2	3.5
19:13:09	2.3	0.5	2.4	6:33:09	2.8	1	3

19:18:09	1.8	0.5	1.8	6:38:09	3	1.1	3.2
19:23:09	2.3	1.3	2.6	6:43:09	1.7	0.6	1.8
19:28:09	2	1.2	2.3	6:48:09	1.5	0.6	1.6
19:33:09	2.1	1.2	2.5	6:53:09	2.1	1.2	2.4
19:38:09	2.3	1.2	2.5	6:58:09	2	1.2	2.4
19:43:09	2.4	1.2	2.7	7:03:09	1.9	1.2	2.2
19:48:09	2.3	1.1	2.5	7:08:09	2	1.2	2.3
19:53:09	1.8	0.6	1.9	7:13:09	1.5	0.6	1.6
19:58:09	1.8	0.6	1.9	7:18:09	1.6	0.6	1.8
20:03:09	1.9	0.7	2	7:23:09	0.9	0.6	1.1
20:08:09	3.6	1.2	3.8	7:28:09	1.3	1.2	1.8
20:13:09	3.6	1.2	3.8	7:33:09	1.3	1.2	1.8
20:18:09	2.4	1.2	2.7	7:38:09	1.3	1.3	1.8
20:23:09	2.4	1.2	2.7	7:43:09	0.9	0.6	1.1



2. Daya beban Rumah 2 (sebelum filter)

waktu	p	q	S	waktu	p	q	S
13:13:09	1.6	1.2	2	1:23:09	1.4	0.8	1.6
13:23:09	1.1	0.5	1.2	1:33:09	1.9	1.4	2.4
13:33:09	1.6	1.2	2	1:43:09	2	1.5	2.4
13:43:09	1.1	0.5	1.2	1:53:09	0.9	0.8	1.2
13:53:09	1.7	1.2	2.1	2:03:09	1.4	1.5	2
14:03:09	1.6	1.2	2	2:13:09	0.9	0.8	1.2
14:13:09	0.9	0.5	1	2:23:09	0.9	0.8	1.2
14:23:09	1.4	1.3	1.9	2:33:09	1.3	1.5	2
14:33:09	4	4	5.7	2:43:09	0.9	0.8	1.2
14:43:09	1.8	2.8	3.3	2:53:09	1.3	1.5	2
14:53:09	1.7	3.2	3.7	3:03:09	0.8	0.8	1.2
15:03:09	1.1	0.6	1.2	3:13:09	0.8	0.8	1.2
15:13:09	1.9	1.6	2.5	3:23:09	1.3	1.5	2
15:23:09	0.8	0.5	1	3:33:09	0.8	0.9	1.2
15:33:09	1.8	3.5	3.9	3:43:09	2.4	0.8	2.5
15:43:09	1.5	1.3	2	3:53:09	1.3	1.5	2
15:53:09	1.5	1.4	2.1	4:03:09	0.8	0.9	1.2
16:03:09	2.2	4.1	4.6	4:13:09	1.3	1.6	2.1
16:13:09	2.9	1.4	3.2	4:23:09	0.9	0.9	1.2
16:23:09	0.9	0.7	1.1	4:33:09	0.9	0.9	1.2
16:33:09	1.5	1.9	2.4	4:43:09	1.3	1.6	2.1
16:43:09	1.5	1.3	2	4:53:09	0.9	0.8	1.2
16:53:09	1.7	1.6	2.3	5:03:09	0.9	0.8	1.2
17:03:09	2.4	3	3.8	5:13:09	1.4	1.5	2.1
17:13:09	2	1.4	2.4	5:23:09	0.9	0.8	1.2
17:23:09	1.7	1.7	2.4	5:33:09	1.3	1.6	2.1
17:33:09	1.9	1.4	2.4	5:43:09	1.3	1.6	2.1
17:43:09	3.8	2.8	4.7	5:53:09	0.9	0.8	1.3
17:53:09	2.5	4.2	4.9	6:03:09	1.4	1.5	2.1
18:03:09	1.9	1.4	2.4	6:13:09	3.5	1.1	3.7
18:13:09	2.8	4.5	5.3	6:23:09	1.6	0.7	1.8
18:23:09	2	1.2	2.4	6:33:09	2	0.7	2.1
18:33:09	2	1.2	2.3	6:43:09	2.9	0.7	3
18:43:09	1.9	1.5	2.4	6:53:09	1.5	0.7	1.6
18:53:09	2.4	1.6	2.9	7:03:09	1.5	1.4	2.1
19:03:09	1.9	0.9	2.1	7:13:09	1.4	1.4	2
19:13:09	1.9	0.9	2.1	7:23:09	1.3	1.5	2
19:23:09	5.7	3.9	6.9	7:33:09	1.4	1.4	2
19:33:09	4.8	1.3	4.9	7:43:09	2.4	1.5	2.8
19:43:09	5.2	2.5	5.7	7:53:09	1.9	0.7	2

19:53:09	4.2	1.8	4.6	8:03:09	2.3	1.2	2.6
20:03:09	1.9	0.9	2.1	8:13:09	1.8	0.8	2
20:13:09	1.8	1.4	2.3	8:23:09	2	4.8	5.2
20:23:09	3.2	1.4	3.5	8:33:09	2.2	4	4.6
20:33:09	1.4	0.8	1.6	8:43:09	0.6	1.2	1.4
20:43:09	1.7	1.5	2.3	8:53:09	2.6	1.3	2.9
20:53:09	1.4	0.8	1.6	9:03:09	1	1.3	1.7
21:03:09	1.4	0.8	1.6	9:13:09	1.7	3.6	3.9
21:13:09	1.8	1.5	2.3	9:23:09	2.3	4.6	5.2
21:23:09	1.4	0.8	1.6	9:33:09	0.5	0.6	0.8
21:33:09	1.7	1.5	2.2	9:43:09	0.6	0.7	0.9
21:43:09	1.9	1.4	2.4	9:53:09	4.2	3.8	5.7
21:53:09	2.7	0.8	2.8	10:03:09	3.6	1	3.8
22:03:09	1.8	1.4	2.3	10:13:09	3.7	2.2	4.3
22:13:09	1.3	0.8	1.5	10:23:09	4.3	1.5	4.5
22:23:09	1.3	0.8	1.5	10:33:09	2.4	0.8	2.5
22:33:09	1.8	1.5	2.3	10:43:09	0.9	1.1	1.5
22:43:09	1.3	0.8	1.5	10:53:09	2.2	1.1	2.5
22:53:09	1.7	1.5	2.3	11:03:09	1.8	0.4	1.8
23:03:09	1.7	1.5	2.3	11:13:09	1.2	1.1	1.6
23:13:09	1.2	0.9	1.5	11:23:09	0.7	0.4	0.8
23:23:09	3.2	1.5	3.5	11:33:09	0.4	0.5	0.6
23:33:09	1.2	0.9	1.5	11:43:09	1.1	1.1	1.6
23:43:09	1.2	0.8	1.4	11:53:09	2.1	0.4	2.2
23:53:09	1.7	1.5	2.2	12:03:09	1.2	1.1	1.6
0:03:09	1.2	0.9	1.5	12:13:09	0.9	1.1	1.5
0:13:09	1.7	1.5	2.3	12:23:09	0.4	0.5	0.7
0:23:09	1.7	1.6	2.3	12:33:09	1	1.2	1.5
0:33:09	1	0.9	1.4	12:43:09	1.6	1.1	1.9
0:43:09	2.1	1.6	2.6	12:53:09	2.1	0.4	2.1
0:53:09	1.5	0.8	1.7	13:03:09	1.5	1.1	1.9
1:03:09	1.5	0.8	1.7	13:13:09	1.6	1.1	1.9
1:13:09	1.9	1.4	2.4				

3. Daya beban Rumah 3 (sebelum filter)

waktu	p	q	S
17:03:09	2.1	1.1	2.4
17:13:09	1.9	0.6	2
17:23:09	1.8	1.3	2.3
17:33:09	1.4	0.6	1.6
17:43:09	3	0.9	3.1
17:53:09	2	1.5	2.5
18:03:09	1.3	0.9	1.6
18:13:09	1.9	1.6	2.5
18:23:09	1.8	1.6	2.4
18:33:09	1.3	0.9	1.6
18:43:09	1.7	1.5	2.3
18:53:09	1.9	1.5	2.4
19:03:09	1.3	0.9	1.6
19:13:09	2.8	0.9	2.9
19:23:09	1.7	1.5	2.2
19:33:09	1.1	0.8	1.4
19:43:09	1.4	0.8	1.7
19:53:09	1.9	1.5	2.4
20:03:09	1.8	0.8	2
20:13:09	1.8	0.8	2
20:23:09	1.8	0.9	2
20:33:09	1.4	0.9	1.6
20:43:09	3.3	1.4	3.6
20:53:09	1.8	1.4	2.3
21:03:09	1.8	1.4	2.3
21:13:09	1.8	1.4	2.3
21:23:09	1.8	1.4	2.3
21:33:09	1.8	1.4	2.3
21:43:09	1.2	0.7	1.4
21:53:09	1.7	1.4	2.2
22:03:09	3.6	1.7	4
22:13:09	5.1	1.6	5.3
22:23:09	1.7	1.3	2.1
22:33:09	1.2	0.7	1.4
22:43:09	1.6	1.4	2.1
22:53:09	1.6	1.4	2.1
23:03:09	1.1	0.7	1.3
23:13:09	1.5	1.3	2
23:23:09	1.6	1.3	2.1
23:33:09	1.1	0.7	1.3

waktu	p	q	s
5:13:09	1.4	1.6	2.1
5:23:09	1	0.8	1.3
5:33:09	1	0.8	1.3
5:43:09	1.4	1.5	2.1
5:53:09	2.5	0.8	2.6
6:03:09	1.5	1.4	2.1
6:13:09	1.6	1.3	2.1
6:23:09	1.2	0.6	1.4
6:33:09	1.5	1.3	2
6:43:09	0.9	0.8	1.2
6:53:09	0.8	0.8	1.2
7:03:09	1.3	1.5	2
7:13:09	0.8	0.8	1.1
7:23:09	1.3	1.5	2
7:33:09	1.3	1.5	2
7:43:09	0.8	0.8	1.2
7:53:09	1.2	1.5	2
8:03:09	0.7	0.8	1.1
8:13:09	0.9	0.8	1.2
8:23:09	1.4	1.4	2
8:33:09	0.9	0.8	1.2
8:43:09	1	0.9	1.3
8:53:09	3.9	1.3	4.1
9:03:09	1.7	2.7	3.2
9:13:09	3.5	1.8	3.9
9:23:09	3.4	1.7	3.8
9:33:09	2.9	1.1	3.1
9:43:09	3.6	2.5	4.4
9:53:09	3.4	1	3.5
10:03:09	2.7	0.7	2.8
10:13:09	1.7	1.3	2.2
10:23:09	1.4	1.4	2
10:33:09	1.3	1.4	1.9
10:43:09	1.3	1.3	1.9
10:53:09	1.3	1.3	1.8
11:03:09	1.3	1.4	1.9
11:13:09	1.3	1.4	1.9
11:23:09	2.5	1.3	2.8
11:33:09	0.4	0.6	0.8
11:43:09	0.9	1.3	1.5

23:43:09	1.6	1.3	2.1	11:53:09	0.9	1.3	1.6
23:53:09	3	1.3	3.3	12:03:09	0.4	0.6	0.8
0:03:09	1.1	0.7	1.3	12:13:09	0.9	1.3	1.6
0:13:09	1.6	1.3	2	12:23:09	0.9	1.3	1.6
0:23:09	1.4	1.4	1.9	12:33:09	0.5	0.7	0.8
0:33:09	1.1	0.7	1.3	12:43:09	1	1.3	1.6
0:43:09	1.6	1.4	2.1	12:53:09	1	1.4	1.7
0:53:09	2.2	1.5	2.7	13:03:09	2.1	0.7	2.2
1:03:09	1.5	0.8	1.7	13:13:09	1	1.4	1.7
1:13:09	2	1.5	2.5	13:23:09	1	1.4	1.8
1:23:09	1.5	0.8	1.7	13:33:09	0.5	0.7	0.9
1:33:09	1.5	0.9	1.8	13:43:09	2.2	1.4	2.6
1:43:09	2	1.5	2.5	13:53:09	2.1	1.4	2.5
1:53:09	1.5	0.8	1.7	14:03:09	1.8	0.6	1.9
2:03:09	1.5	1.6	2.2	14:13:09	1.1	1.2	1.7
2:13:09	1.5	1.6	2.2	14:23:09	1.1	1.2	1.7
2:23:09	1.2	0.9	1.5	14:33:09	2.1	0.6	2.2
2:33:09	1.6	1.6	2.2	14:43:09	1.2	1.2	1.7
2:43:09	1.1	0.9	1.4	14:53:09	1.2	1.2	1.7
2:53:09	1.1	0.9	1.4	15:03:09	0.5	0.7	0.8
3:03:09	3.2	1.6	3.6	15:13:09	1	1.3	1.7
3:13:09	1.1	0.9	1.5	15:23:09	1	1.3	1.7
3:23:09	1.6	1.6	2.3	15:33:09	0.5	0.7	0.9
3:33:09	1.5	1.6	2.2	15:43:09	1.3	1.4	1.9
3:43:09	1	0.9	1.4	15:53:09	1.3	1.4	1.9
3:53:09	1.5	1.6	2.2	16:03:09	2.3	0.7	2.4
4:03:09	1.1	0.9	1.5	16:13:09	1.3	1.4	1.9
4:13:09	1.1	0.9	1.4	16:23:09	1.8	1.4	2.2
4:23:09	1.4	1.6	2.1	16:33:09	3.3	1.1	3.5
4:33:09	1.1	0.8	1.4	16:43:09	3.7	1.8	4.1
4:43:09	1.7	1.6	2.3	16:53:09	1.8	1.4	2.3
4:53:09	1.4	1.6	2.1	17:03:09	1.3	0.7	1.5
5:03:09	0.9	0.9	1.3				

:

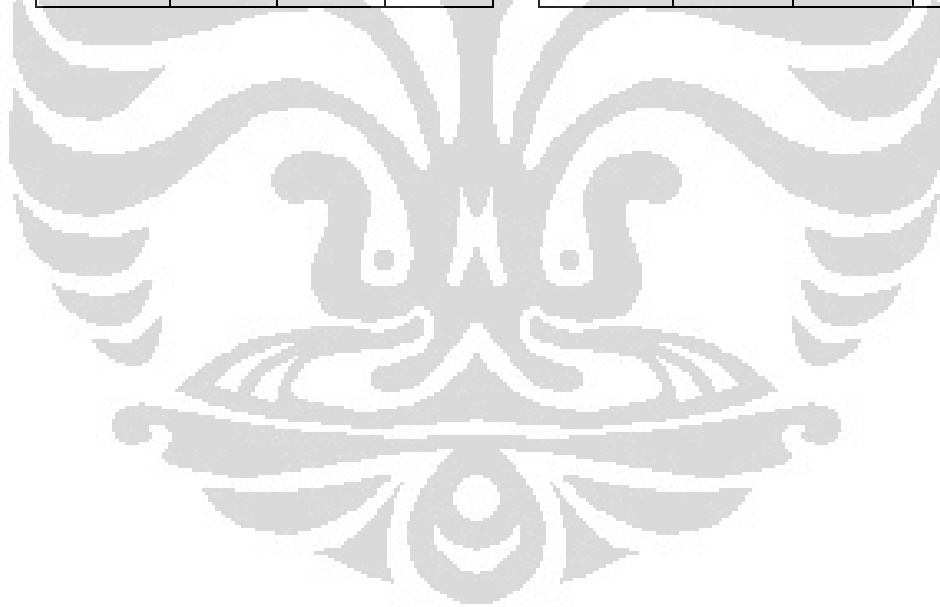
4. Daya beban Rumah 1 (setelah filter)

waktu	P	Q	S	waktu	P	Q	S
3:06:17	2.2	0.3	2.3	15:11:17	1.6	0.3	1.7
3:11:17	2.1	0.3	2.1	15:16:17	1.6	0.3	1.6
3:16:17	1.5	-0.4	1.6	15:21:17	1.5	0.3	1.5
3:21:17	1.6	-0.4	1.7	15:26:17	1.5	-0.5	1.7
3:26:17	2	0.3	2	15:31:17	1.5	-0.5	1.6
3:31:17	2.1	0.3	2.1	15:36:17	1.5	-0.5	1.5
3:36:17	2.1	0.3	2.2	15:41:17	1.5	-0.5	1.6
3:41:17	2.1	0.3	2.1	15:46:17	1.5	-0.5	1.7
3:46:17	2.1	0.3	2.1	15:51:17	1	-0.4	1.1
3:51:17	2	0.3	2	15:56:17	1.6	0.3	1.6
3:56:17	1.6	-0.5	1.8	16:01:17	1.6	0.3	1.7
4:01:17	3.2	-0.5	3.4	16:06:17	1.6	0.3	1.6
4:06:17	2.5	0.4	2.5	16:11:17	1.5	0.3	1.5
4:11:17	2.2	0.4	2.3	16:16:17	1.6	0.3	1.7
4:16:17	2.5	-0.3	2.5	16:21:17	3.2	0.2	3.2
4:21:17	2.5	0.4	2.5	16:26:17	1.6	0.3	1.6
4:26:17	2.4	0.4	2.4	16:31:17	1.5	0.3	1.5
4:31:17	2	-0.3	2.1	16:36:17	1.5	0.3	1.6
4:36:17	1.9	-0.4	2	16:41:17	1	-0.4	1.1
4:41:17	2.6	0.4	2.7	16:46:17	1	-0.4	1.2
4:46:17	2.5	0.4	2.5	16:51:17	3	-0.2	3
4:51:17	2.5	0.4	2.5	16:56:17	3.4	0.5	3.5
4:56:17	2.2	0.4	2.2	17:01:17	3.4	0.4	3.5
5:01:17	1.7	-0.3	1.8	17:06:17	3.4	0.5	3.5
5:06:17	1.7	-0.3	1.8	17:11:17	2.9	-0.2	3.1
5:11:17	1.6	-0.3	1.7	17:16:17	3	-0.3	3
5:16:17	3.7	0.3	3.7	17:21:17	3	-0.3	3
5:21:17	3.7	0.3	3.7	17:26:17	3.8	0.4	3.9
5:26:17	2.2	0.3	2.2	17:31:17	3.6	0.4	3.7
5:31:17	1.7	-0.3	1.8	17:36:17	1.7	0.3	1.7
5:36:17	1	-0.3	1.1	17:41:17	2.8	-0.5	2.9
5:41:17	1	-0.3	1.1	17:46:17	1.2	-0.5	1.3
5:46:17	1.5	0.3	1.5	17:51:17	1.1	-0.5	1.2
5:51:17	1.5	0.4	1.5	17:56:17	1.6	0.3	1.7
5:56:17	1.5	0.4	1.5	18:01:17	1.6	0.3	1.6
6:01:17	1	-0.3	1.1	18:06:17	1.1	-0.5	1.2
6:06:17	1	-0.4	1.2	18:11:17	1.2	-0.5	1.2
6:11:17	1.6	0.3	1.6	18:16:17	1.1	-0.5	1.2
6:16:17	1.8	0.3	1.8	18:21:17	1.7	0.2	1.7
6:21:17	1.8	0.3	1.8	18:26:17	2.8	0.2	2.9

6:26:17	1.8	0.3	1.7	18:31:17	2.9	0.2	2.9
6:31:17	1.3	-0.4	1.4	18:36:17	1.9	-0.6	2.2
6:36:17	1.3	-0.4	1.4	18:41:17	1.9	-0.6	2.1
6:41:17	1.8	0.4	1.9	18:46:17	2.9	2.1	3.6
6:46:17	1.8	0.3	1.8	18:51:17	3	1.9	3.5
6:56:17	3.2	0.3	3.2	18:56:17	4.1	3.4	5.2
7:01:17	1.2	-0.4	1.3	19:01:17	3.2	1.6	3.6
7:06:17	1.2	-0.4	1.3	19:06:17	1.2	1.2	1.5
7:11:17	1.2	-0.4	1.4	19:11:17	2.5	1.4	2.9
7:16:17	1.7	0.3	1.7	19:16:17	1.3	0.3	1.3
7:21:17	1.7	0.3	1.7	19:21:17	1.4	0.2	1.4
7:26:17	1.6	0.2	1.7	19:26:17	2.5	0.3	2.5
7:31:17	1.1	-0.5	1.2	19:31:17	2.5	0.3	2.6
7:36:17	1.1	-0.5	1.3	19:36:17	2.5	0.2	2.5
7:41:17	1.1	-0.5	1.2	19:41:17	2.5	0.3	2.5
7:46:17	1.6	0.2	1.6	19:46:17	2	-0.5	2.1
7:51:17	1.6	0.2	1.7	19:51:17	1.2	-0.3	1.3
7:56:17	1.6	0.2	1.6	19:56:17	1.7	0.4	1.8
8:01:17	1.2	-0.5	1.4	20:01:17	1.7	0.4	1.8
8:06:17	1.1	-0.5	1.3	20:06:17	2.6	3.5	3.7
8:11:17	1.7	0.2	1.7	20:11:17	1.7	0.5	1.8
8:16:17	1.6	0.2	1.7	20:16:17	1.7	0.5	1.9
8:21:17	1.7	0.2	1.7	20:21:17	2.5	1.6	2.9
8:26:17	2.7	-0.6	2.8	20:26:17	2.6	-0.5	2.7
8:31:17	1.1	-0.6	1.2	20:31:17	1	-0.4	1.1
8:36:17	1.2	-0.4	1.3	20:36:17	1.5	0.2	1.5
8:41:17	1.7	0.3	1.7	20:41:17	2.2	0.9	2.4
8:46:17	1.7	0.3	1.7	20:46:17	2	2.6	2.6
8:51:17	1.7	0.3	1.8	20:51:17	1.4	1.4	1.6
8:56:17	1.2	-0.5	1.3	20:56:17	2.3	2.5	3.3
9:01:17	1.3	-0.5	1.4	21:01:17	3.2	4.2	4.9
9:06:17	1.3	-0.5	1.5	21:06:17	1.6	0.2	1.7
9:11:17	1.8	0.2	1.8	21:11:17	2.4	3.2	3.5
9:16:17	1.7	0.2	1.8	21:16:17	2.2	2.9	3
9:21:17	1.7	0.3	1.8	21:21:17	1.6	0.2	1.7
9:26:17	2.8	-0.5	3	21:26:17	3.2	0.4	3.3
9:31:17	1.2	-0.5	1.3	21:31:17	3.3	0.5	3.4
9:36:17	1.7	0.2	1.8	21:36:17	3.2	0.5	3.3
9:41:17	1.7	0.3	1.7	21:41:17	2.8	0.6	2.9
9:46:17	1.7	0.3	1.7	21:46:17	2.6	-0.3	2.6
9:51:17	1.2	-0.4	1.3	21:51:17	4.8	2.2	5.5
9:56:17	1.2	-0.5	1.4	21:56:17	3.4	2.1	4.1
10:01:17	1.2	-0.5	1.3	22:01:17	3.3	1.2	3.7

10:06:17	1.7	0.2	1.7
10:11:17	1.8	0.2	1.8
10:16:17	1.8	0.3	1.9
10:21:17	1.9	-0.5	2
10:26:17	1.8	-0.5	1.9
10:31:17	1.8	-0.5	2
10:36:17	2.4	0.2	2.4
10:41:17	2.2	0.2	2.2
10:46:17	1.8	-0.5	1.9
10:51:17	3.3	-0.5	3.4
10:56:17	1.8	-0.5	1.9
11:01:17	2.2	0.3	2.2
11:06:17	2.2	0.3	2.2
11:11:17	2.2	0.3	2.2
11:16:17	1.6	-0.4	1.7
11:21:17	1.6	-0.3	1.7
11:26:17	1.6	-0.4	1.7
11:31:17	2.1	0.4	2.1
11:36:17	2.3	0.3	2.3
11:41:17	2.2	0.3	2.2
11:46:17	1.6	-0.4	1.7
11:51:17	1.7	-0.4	1.8
11:56:17	1.7	0.3	1.8
12:01:17	2	0.3	2
12:06:17	2	0.3	2.1
12:11:17	1.5	-0.4	1.6
12:16:17	3.2	-0.5	3.3
12:21:17	3	-0.5	3.1
12:26:17	2	0.3	1.9
12:31:17	2	0.3	2.1
12:36:17	1.9	0.4	2
12:41:17	1	-0.4	1.1
12:46:17	1.1	-0.4	1.2
12:51:17	1	-0.4	1.2
12:56:17	1.6	0.3	1.7
13:01:17	1.6	0.3	1.6
13:06:17	1	-0.4	1.1
13:11:17	1	-0.5	1.1
13:16:17	2.6	-0.5	2.8
13:21:17	1.6	0.3	1.6
13:26:17	1.5	0.3	1.6
13:31:17	1.6	0.3	1.6
13:36:17	1	-0.5	1.1
22:06:17	3.1	0.4	3.2
22:11:17	3.5	2	4.5
22:16:17	2.5	-0.3	2.6
22:21:17	2.5	-0.3	2.5
22:26:17	0.5	-0.6	0.6
22:31:17	1	0.2	1.1
22:36:17	1	0.2	1
22:41:17	1	0.2	1.1
22:46:17	2.3	0.1	2.3
22:51:17	1.7	-0.6	1.9
22:56:17	0.5	-0.6	0.7
23:01:17	2.3	0.1	2.3
23:06:17	2.3	0.1	2.3
23:11:17	1	0.2	1
23:16:17	1	0.2	1.1
23:21:17	2.7	0.1	2.7
23:26:17	0.6	-0.6	0.8
23:31:17	0.5	-0.6	0.7
23:36:17	1	0.2	1.1
23:41:17	1	0.2	1
23:46:17	1.1	0.2	1.1
23:51:17	1.1	0.2	1.2
23:56:17	0.9	-0.6	1.1
0:01:17	0.9	-0.7	1.1
0:06:17	0.9	-0.6	1
0:11:17	1.4	0.1	1.4
0:16:17	1.4	0.1	1.5
0:21:17	1.4	0.1	1.5
0:26:17	1.7	0.2	1.7
0:31:17	1.7	0.2	1.7
0:36:17	1.7	0.2	1.8
0:41:17	1.2	-0.6	1.4
0:46:17	1.1	-0.6	1.3
0:51:17	1.1	-0.6	1.3
0:56:17	3.4	0.1	3.4
1:01:17	3.2	0.1	3.3
1:06:17	1.8	0.1	1.8
1:11:17	1.7	0.2	1.8
1:16:17	1.2	-0.5	1.3
1:21:17	1.3	-0.6	1.5
1:26:17	0.7	-0.5	0.9
1:31:17	1.7	0.1	1.7
1:36:17	1.7	0.1	1.8

13:41:17	1	-0.5	1.2	1:41:17	1.7	0.1	1.8
13:46:17	1	-0.5	1.2	1:46:17	1.6	0.2	1.6
13:51:17	1.6	0.3	1.6	1:51:17	1.3	-0.5	1.5
13:56:17	1.6	0.3	1.7	1:56:17	1.3	-0.6	1.5
14:01:17	1.5	0.3	1.6	2:01:17	1.6	0.1	1.7
14:06:17	1	-0.5	1.1	2:06:17	1.6	0.2	1.6
14:11:17	1.1	-0.5	1.2	2:11:17	1.6	0.2	1.7
14:16:17	1.6	0.3	1.7	2:16:17	1.8	0.2	1.8
14:21:17	1.6	0.3	1.6	2:21:17	1.2	-0.5	1.3
14:26:17	1.6	0.3	1.6	2:26:17	1.1	-0.5	1.2
14:31:17	1	-0.5	1.1	2:31:17	1.2	-0.5	1.4
14:36:17	1.1	-0.5	1.3	2:36:17	3.3	0.1	3.3
14:41:17	1	-0.5	1.2	2:41:17	1.6	0.2	1.7
14:46:17	3.2	0.2	3.2	2:46:17	1.7	0.2	1.7
14:51:17	1.5	0.3	1.6	2:51:17	1.6	0.2	1.7
14:56:17	1.6	0.3	1.6	2:56:17	1.1	-0.5	1.3
15:01:17	1.1	-0.5	1.2	3:01:17	1.2	-0.5	1.3
15:06:17	1	-0.5	1.1	3:06:17	1.7	0.2	1.7
15:11:17	1.6	0.3	1.7	3:11:17	1.6	0.2	1.7



5. Daya beban Rumah 2 (setelah filter)

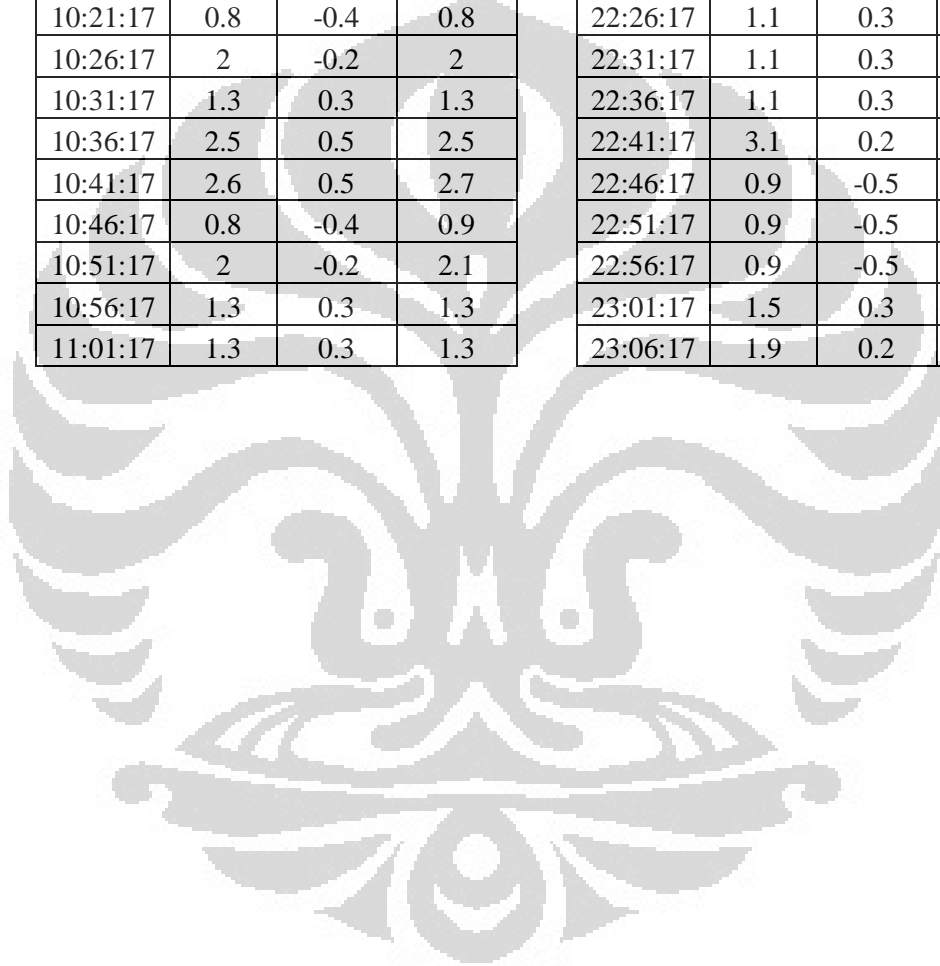
Waktu	P	Q	S
23:01:17	1.1	-0.5	1.2
23:06:17	1	-0.5	1
23:11:17	1.1	-0.5	1.1
23:16:17	3.2	0.1	3.2
23:21:17	1.5	0.2	1.5
23:26:17	1.6	0.2	1.6
23:31:17	1.5	0.2	1.6
23:36:17	1	-0.5	1.1
23:41:17	1.1	-0.5	1.2
23:46:17	1.6	0.2	1.6
23:51:17	1.5	0.2	1.6
23:56:17	1.6	0.1	1.6
0:01:17	1.5	0.2	1.6
0:06:17	1	-0.6	1.1
0:11:17	1.1	-0.6	1.2
0:16:17	1.1	-0.5	1.1
0:21:17	1.5	0.2	1.6
0:26:17	1.6	0.2	1.6
0:31:17	1.5	0.2	1.5
0:36:17	1.7	-0.6	1.8
0:41:17	3.6	-0.3	3.7
0:46:17	5	-0.3	5
0:51:17	2	-0.4	2.1
0:56:17	2	-0.4	2.1
1:01:17	1.5	-0.4	1.5
1:06:17	2.5	0.3	2.5
1:11:17	2.3	0.3	2.3
1:16:17	3.5	0.3	3.5
1:21:17	3.6	0.3	3.6
1:26:17	3.7	0.2	3.7
1:31:17	3.7	0.2	3.7
1:36:17	3.5	0.2	3.5
1:41:17	3.8	0.2	3.8
1:46:17	2.4	0.4	2.5
1:51:17	2.3	0.3	2.3
1:56:17	2.2	0.3	2.2
2:01:17	3.7	0.3	3.7
2:06:17	3.2	-0.4	3.3
2:11:17	1.9	-0.4	2
2:16:17	1.9	-0.4	2

waktu	P	Q	S
11:06:17	2.9	0.2	2.9
11:11:17	2	-0.2	2.1
11:16:17	0.8	-0.5	1
11:21:17	0.8	-0.4	0.9
11:26:17	2.5	0.5	2.6
11:31:17	1.3	0.3	1.3
11:36:17	1.3	0.3	1.3
11:41:17	2	-0.3	2.1
11:46:17	0.7	-0.5	0.8
11:51:17	0.8	-0.5	0.8
11:56:17	1.3	0.3	1.3
12:01:17	2.5	0.5	2.6
12:06:17	1.3	0.3	1.3
12:11:17	0.8	-0.4	0.9
12:16:17	0.8	-0.4	0.9
12:21:17	2	-0.2	2
12:26:17	1.3	0.3	1.3
12:31:17	1.3	0.3	1.3
12:36:17	0.7	-0.4	0.8
12:41:17	3.5	-0.3	3.6
12:46:17	0.7	-0.4	0.8
12:51:17	1.2	0.3	1.2
12:56:17	1.4	0.4	1.4
13:01:17	1.4	0.3	1.4
13:06:17	2.1	-0.2	2.1
13:11:17	1	-0.4	1.1
13:16:17	1.3	-0.4	1.4
13:21:17	1.8	0.2	1.8
13:26:17	1.8	0.2	1.8
13:31:17	3	0.4	3
13:36:17	1.3	-0.4	1.4
13:41:17	1.3	-0.4	1.3
13:46:17	1	-0.4	1.1
13:51:17	2.8	0.4	2.8
13:56:17	3	0.2	3
14:01:17	3.3	0.2	3.3
14:06:17	1.3	-0.5	1.4
14:11:17	1.6	-0.4	1.7
14:16:17	1.3	-0.4	1.4
14:21:17	2	0.3	2

2:21:17	2.4	0.3	2.4	14:26:17	2	-0.5	2.1
2:26:17	2.7	0.3	2.7	14:31:17	1.9	-0.4	1.9
2:31:17	2.5	0.3	2.6	14:36:17	1.7	-0.6	1.8
2:36:17	2.1	0.3	2.1	14:41:17	1.9	-0.6	2
2:41:17	1.6	-0.4	1.7	14:46:17	3.4	-0.9	3.6
2:46:17	1.6	-0.4	1.7	14:51:17	2.9	-0.9	3.1
2:51:17	2.1	0.2	2.1	14:56:17	1.2	-0.8	1.3
2:56:17	2	0.2	2	15:01:17	1.1	-0.1	1.1
3:01:17	1.8	0.2	1.9	15:06:17	1.1	0	1.1
3:06:17	1.8	0.2	1.8	15:11:17	1.2	-0.1	1.2
3:11:17	1.3	-0.5	1.4	15:16:17	1.1	0	1.1
3:16:17	1.3	-0.5	1.4	15:21:17	1.3	0.4	1.3
3:21:17	1.3	-0.5	1.4	15:26:17	1.3	0.4	1.3
3:26:17	1.9	0.2	1.9	15:31:17	1.3	0.3	1.3
3:31:17	1.8	0.2	1.8	15:36:17	1.3	0.4	1.3
3:36:17	3.4	0.1	3.4	15:41:17	1.3	0.4	1.3
3:41:17	1.5	-0.4	1.6	15:46:17	2.9	-0.1	2.9
3:46:17	1.6	-0.4	1.7	15:51:17	2.8	-0.1	2.8
3:51:17	2.1	-0.5	2.3	15:56:17	5	0.7	5.1
3:56:17	2.5	0.3	2.5	16:01:17	3.4	0.8	3.6
4:01:17	2.6	0.3	2.6	16:06:17	3.4	0.7	3.4
4:06:17	2.5	0.2	2.5	16:11:17	3.4	0.7	3.4
4:11:17	2.5	0.3	2.5	16:16:17	2.9	-0.1	2.9
4:16:17	2	-0.4	2.1	16:21:17	3	0	3
4:21:17	2	-0.4	2.1	16:26:17	4.7	0.7	4.8
4:26:17	2	-0.4	2	16:31:17	1.4	0.5	1.4
4:31:17	2.5	0.2	2.5	16:36:17	4.3	0.4	4.4
4:36:17	2.5	0.2	2.5	16:41:17	3	0.4	3
4:41:17	2.5	0.3	2.5	16:46:17	2.6	0.4	2.6
4:46:17	2	-0.4	2.1	16:51:17	2.6	0.4	2.6
4:51:17	2	-0.4	2	16:56:17	2.7	0.4	2.7
4:56:17	1.9	-0.4	2	17:01:17	2.5	0.2	2.5
5:01:17	2.5	0.3	2.5	17:06:17	2.4	0.2	2.4
5:06:17	3.8	0	3.8	17:11:17	1.2	0.2	1.2
5:11:17	3.8	0	3.8	17:16:17	2.3	0.2	2.3
5:16:17	1.8	-0.6	2	17:21:17	1.2	0.3	1.2
5:21:17	1.7	-0.5	1.8	17:26:17	2.3	0.2	2.3
5:26:17	1.7	-0.5	1.8	17:31:17	1.8	-0.5	1.9
5:31:17	2.2	0.1	2.2	17:36:17	0.7	-0.5	0.9
5:36:17	2.2	0.1	2.2	17:41:17	1.2	0.2	1.2
5:41:17	2.1	0.1	2.2	17:46:17	2	1.6	2.4
5:46:17	2.2	0.1	2.2	17:51:17	1.5	0.2	1.5
5:51:17	1.7	-0.6	1.8	17:56:17	2.7	3.6	3.7

5:56:17	1.7	-0.6	1.8	18:01:17	2.4	3.6	3.8
6:01:17	1.7	-0.6	1.8	18:06:17	3.9	0.2	3.9
6:06:17	2.2	0.1	2.2	18:11:17	1.8	2.4	2.4
6:11:17	2.2	0.1	2.2	18:16:17	3.5	5.3	5
6:16:17	2.2	0.1	2.2	18:21:17	2.5	3.8	3.7
6:21:17	1.8	-0.6	2	18:26:17	1.2	0.4	1.2
6:26:17	1.7	-0.6	1.8	18:31:17	0.7	-0.1	0.7
6:31:17	1.7	-0.6	1.8	18:36:17	0.7	-0.4	0.7
6:36:17	2.1	0.1	2.1	18:41:17	1.2	0.3	1.2
6:41:17	3.7	0.1	3.7	18:46:17	1.2	0.4	1.2
6:46:17	3.7	0.1	3.7	18:51:17	2	2.9	2.7
6:51:17	1.7	-0.6	1.7	18:56:17	1.6	0.3	1.6
6:56:17	1.4	-0.6	1.5	19:01:17	1.5	0.3	1.5
7:01:17	1.4	-0.6	1.6	19:06:17	0.9	-0.5	0.9
7:06:17	1.9	0.1	1.9	19:11:17	0.9	-0.5	0.9
7:11:17	1.9	0.1	2	19:16:17	2.4	3.4	3.3
7:16:17	1.9	0.2	1.9	19:21:17	1.8	1	2.1
7:21:17	1.4	-0.5	1.5	19:26:17	2.8	3.9	3.9
7:26:17	1.4	-0.5	1.5	19:31:17	3.7	0.9	3.9
7:31:17	2	0.1	2	19:36:17	1.1	0.2	1.1
7:36:17	1.9	0.1	1.9	19:41:17	0.5	-0.5	0.6
7:41:17	2	0.1	2	19:46:17	0.6	-0.6	0.7
7:46:17	2	0.2	2	19:51:17	0.7	-0.4	0.7
7:51:17	1.5	-0.5	1.7	19:56:17	1.3	0.3	1.4
7:56:17	1.6	-0.5	1.7	20:01:17	1.3	0.3	1.3
8:01:17	2	0.2	2	20:06:17	1.3	0.3	1.3
8:06:17	3.6	0.1	3.6	20:11:17	1.2	0.3	1.3
8:11:17	3.5	0.1	3.6	20:16:17	1.5	0.2	1.5
8:16:17	2.3	0.2	2.3	20:21:17	1.5	0.2	1.5
8:21:17	1.8	-0.5	1.9	20:26:17	0.9	-0.4	0.9
8:26:17	1	-0.4	1	20:31:17	0.9	-0.5	1
8:31:17	1.5	0.3	1.5	20:36:17	0.9	-0.4	0.9
8:36:17	1.4	0.2	1.4	20:41:17	1.4	0.2	1.5
8:41:17	1.4	0.3	1.5	20:46:17	1.5	0.3	1.5
8:46:17	0.8	-0.4	0.9	20:51:17	2.5	0.2	2.5
8:51:17	2	-0.2	2.1	20:56:17	2.5	0.2	2.5
8:56:17	2	-0.2	2.1	21:01:17	2.1	-0.5	2.2
9:01:17	2.5	0.5	2.5	21:06:17	3.6	-0.5	3.7
9:06:17	2.6	0.4	2.6	21:11:17	2.1	-0.5	2.2
9:11:17	2.6	0.5	2.7	21:16:17	2.4	0.3	2.4
9:16:17	2.1	-0.2	2.2	21:21:17	1.2	0.3	1.2
9:21:17	2	-0.2	2	21:26:17	1.2	0.3	1.2
9:26:17	2	-0.2	2	21:31:17	1.2	0.3	1.2

9:31:17	4.1	0.4	4.2	21:36:17	0.7	-0.4	0.8
9:36:17	2.5	0.5	2.5	21:41:17	0.6	-0.4	0.8
9:41:17	1.3	0.3	1.3	21:46:17	0.6	-0.4	0.7
9:46:17	0.8	-0.4	0.9	21:51:17	1.2	0.3	1.2
9:51:17	2	-0.2	2.1	21:56:17	1.1	0.3	1.1
9:56:17	0.8	-0.4	0.8	22:01:17	1.1	0.3	1.1
10:01:17	1.3	0.3	1.3	22:06:17	1.1	0.3	1.1
10:06:17	2.5	0.5	2.6	22:11:17	0.6	-0.4	0.7
10:11:17	2.5	0.5	2.5	22:16:17	0.6	-0.4	0.7
10:16:17	0.8	-0.4	0.9	22:21:17	0.6	-0.4	0.6
10:21:17	0.8	-0.4	0.8	22:26:17	1.1	0.3	1.1
10:26:17	2	-0.2	2	22:31:17	1.1	0.3	1.1
10:31:17	1.3	0.3	1.3	22:36:17	1.1	0.3	1.2
10:36:17	2.5	0.5	2.5	22:41:17	3.1	0.2	3.1
10:41:17	2.6	0.5	2.7	22:46:17	0.9	-0.5	0.9
10:46:17	0.8	-0.4	0.9	22:51:17	0.9	-0.5	0.9
10:51:17	2	-0.2	2.1	22:56:17	0.9	-0.5	1
10:56:17	1.3	0.3	1.3	23:01:17	1.5	0.3	1.5
11:01:17	1.3	0.3	1.3	23:06:17	1.9	0.2	1.9



6. Daya beban Rumah 3 (setelah filter)

waktu	P	Q	S
18:13:09	0.5	-0.2	0.5
18:18:09	1	0.7	1.2
18:23:09	4.1	2.9	5.2
18:28:09	2.4	0	2.4
18:33:09	3.5	0.1	3.5
18:38:09	3.7	3.9	4.9
18:43:09	3.6	1.3	3.8
18:48:09	4.3	0.6	4.4
18:53:09	4.2	0.6	4.3
18:58:09	2.3	0	2.3
19:03:09	2.3	-0.1	2.3
19:08:09	2	0.2	2
19:13:09	0.8	0.2	0.8
19:18:09	1.9	0.2	1.9
19:23:09	2.1	0.2	2.2
19:28:09	1.7	-0.5	1.7
19:33:09	1.7	-0.5	1.8
19:38:09	1.7	-0.5	1.7
19:43:09	1.1	0.2	1.1
19:48:09	1	0.2	1.1
19:53:09	0.6	-0.5	0.6
19:58:09	0.3	-0.4	0.3
20:03:09	0.3	-0.4	0.3
20:08:09	0.8	0.2	0.8
20:13:09	1	0.2	1
20:18:09	1	0.2	1
20:23:09	2	-0.5	2.1
20:28:09	2	-0.5	2
20:33:09	1.1	0.2	1.1
20:38:09	1	0.2	1
20:43:09	0.8	0.2	0.9
20:48:09	0.3	-0.4	0.3
20:53:09	0.3	-0.4	0.3
20:58:09	0.4	-0.4	0.4
21:03:09	0.9	0.3	1
21:08:09	0.9	0.2	1
21:13:09	1.5	0.2	1.6
21:18:09	0.8	-0.5	0.8
21:23:09	2	-0.5	2.1
21:28:09	2	-0.5	2

waktu	P	Q	S
6:23:09	1.6	0.5	1.7
6:28:09	3.4	0.9	3.6
6:33:09	3.5	0.8	3.7
6:38:09	3.5	0.7	3.6
6:43:09	5	0.7	5
6:48:09	2.9	0.4	2.9
6:53:09	1.6	0.4	1.7
6:58:09	1.1	-0.2	1.1
7:03:09	1.1	-0.2	1.1
7:08:09	1.4	0.5	1.5
7:13:09	1.5	0.5	1.6
7:18:09	1.5	0.5	1.5
7:23:09	1.5	0.5	1.7
7:28:09	1	-0.2	1
7:33:09	1	-0.2	1
7:38:09	1.4	0.4	1.5
7:43:09	1.4	0.4	1.5
7:48:09	1.4	0.4	1.5
7:53:09	1.5	0.4	1.5
7:58:09	1	-0.2	1
8:03:09	1	-0.2	1
8:08:09	1.5	0.5	1.6
8:13:09	1.5	0.4	1.5
8:18:09	3	0.4	3
8:23:09	2.9	0.4	3
8:28:09	1	-0.2	1
8:33:09	1	-0.2	1
8:38:09	1	-0.2	1
8:43:09	1.5	0.4	1.5
8:48:09	1.4	0.4	1.4
8:53:09	1.3	0.5	1.4
8:58:09	0.8	-0.2	0.8
9:03:09	1	-0.2	1
9:08:09	1.6	0.4	1.7
9:13:09	1.5	0.5	1.6
9:18:09	1.3	0.5	1.4
9:23:09	2.1	0.6	2.2
9:28:09	1.5	-0.1	1.5
9:33:09	1.4	-0.1	1.4
9:38:09	1.9	0.6	2

21:33:09	1.4	0.2	1.5	9:43:09	1.9	0.6	2
21:38:09	1.3	0.2	1.3	9:48:09	1.9	0.6	2
21:43:09	1.5	0.2	1.5	9:53:09	1.4	-0.1	1.4
21:48:09	0.9	-0.5	0.9	9:58:09	2.9	-0.1	2.9
21:53:09	2.4	-0.5	2.5	10:03:09	1.4	0	1.4
21:58:09	2.8	0.2	2.8	10:08:09	1.9	0.6	2
22:03:09	1.4	0.2	1.4	10:13:09	1.9	0.6	2
22:08:09	1.4	0.2	1.4	10:18:09	1.9	0.6	2
22:13:09	0.9	-0.5	1	10:23:09	1.4	-0.1	1.4
22:18:09	1	-0.5	1	10:28:09	0.9	0	0.9
22:23:09	1.4	0.2	1.4	10:33:09	1.4	0.7	1.5
22:28:09	1.3	0.2	1.3	10:38:09	1.4	0.7	1.5
22:33:09	1.3	0.2	1.3	10:43:09	1.4	0.7	1.5
22:38:09	1.3	0.2	1.3	10:48:09	0.9	0	0.9
22:43:09	1.4	0.3	1.4	10:53:09	1.1	0	1.1
22:48:09	1.4	0.3	1.4	10:58:09	1.6	0.7	1.7
22:53:09	1.1	-0.4	1.1	11:03:09	1.5	0.7	1.6
22:58:09	1.5	0.3	1.6	11:08:09	1.5	0.7	1.6
23:03:09	1.9	0.2	2	11:13:09	1	0	1
23:08:09	2	0.2	2	11:18:09	1.1	0	1.1
23:13:09	2	0.2	2	11:23:09	1	0	1
23:18:09	1.5	-0.5	1.6	11:28:09	1.5	0.7	1.6
23:23:09	0.8	-0.4	0.9	11:33:09	3.1	0.7	3.2
23:28:09	2.3	-0.5	2.3	11:38:09	1.5	0.7	1.5
23:33:09	2.7	0.2	2.7	11:43:09	1	0	1
23:38:09	1.1	0.3	1.1	11:48:09	1.1	0	1.1
23:43:09	2.2	0.2	2.2	11:53:09	1.5	0.7	1.6
23:48:09	1.7	-0.4	1.8	11:58:09	1.4	0.7	1.5
23:53:09	0.6	-0.4	0.7	12:03:09	1.4	0.7	1.5
23:58:09	2.2	0.2	2.3	12:08:09	0.9	0	0.9
0:03:09	2.2	0.2	2.2	12:13:09	0.9	0	0.9
0:08:09	1.1	0.2	1.1	12:18:09	0.9	0	0.9
0:13:09	1.7	-0.4	1.7	12:23:09	1.4	0.7	1.5
0:18:09	1.7	-0.4	1.7	12:28:09	1.5	0.7	1.6
0:23:09	1.9	0.2	1.9	12:33:09	1	0	1
0:28:09	1.9	0.2	1.9	12:38:09	1	0	1
0:33:09	1.8	0.2	1.8	12:43:09	1	0	1
0:38:09	1.9	0.2	1.8	12:48:09	1.5	0.7	1.6
0:43:09	1.4	-0.4	1.4	12:53:09	1.3	0.7	1.5
0:48:09	1.3	-0.4	1.3	12:58:09	1.3	0.7	1.4
0:53:09	1.8	0.2	1.8	13:03:09	1	-0.1	1
0:58:09	3.3	0.1	3.3	13:08:09	2.6	-0.1	2.6
1:03:09	1.8	0.2	1.9	13:13:09	1.6	0.7	1.7

1:08:09	1.3	-0.5	1.4	13:18:09	1.3	0.7	1.4
1:13:09	1.4	-0.5	1.4	13:23:09	1.3	0.7	1.5
1:18:09	2	0.2	2	13:28:09	0.8	0	0.8
1:23:09	1.9	0.2	1.9	13:33:09	0.8	0	0.8
1:28:09	1.9	0.2	1.9	13:38:09	0.8	0	0.8
1:33:09	2	0.2	2	13:43:09	1.3	0.7	1.4
1:38:09	1.6	-0.5	1.7	13:48:09	1.3	0.7	1.4
1:43:09	1.8	-0.3	1.8	13:53:09	0.9	-0.1	0.9
1:48:09	1.8	0.4	1.9	13:58:09	0.9	-0.1	0.9
1:53:09	1.7	0.4	1.7	14:03:09	0.9	-0.1	0.9
1:58:09	1.7	0.4	1.8	14:08:09	1.4	0.6	1.5
2:03:09	1.3	-0.3	1.3	14:13:09	1.3	0.6	1.4
2:08:09	1.3	-0.2	1.3	14:18:09	1.3	0.5	1.4
2:13:09	2.9	0	2.9	14:23:09	2.4	-0.1	2.4
2:18:09	1.9	0.7	2.1	14:28:09	2.3	-0.2	2.3
2:23:09	1.9	0.6	2	14:33:09	1.4	0.5	1.5
2:28:09	1.8	0.7	1.9	14:38:09	1.5	0.5	1.5
2:33:09	1.2	0	1.2	14:43:09	1.5	0.4	1.5
2:38:09	1.2	0	1.2	14:48:09	1.1	-0.2	1.1
2:43:09	1.8	0.7	2	14:53:09	1.1	-0.3	1.1
2:48:09	1.8	0.7	1.9	14:58:09	1.6	0.4	1.7
2:53:09	1.7	0.7	1.8	15:03:09	1.4	0.4	1.4
2:58:09	1.8	0.7	1.8	15:08:09	1.3	0.4	1.3
3:03:09	1.2	0	1.2	15:13:09	0.8	-0.1	0.9
3:08:09	1.1	-0.1	1.1	15:18:09	0.7	-0.1	0.7
3:13:09	1.6	0.6	1.7	15:23:09	0.7	-0.1	0.7
3:18:09	1.7	0.7	1.8	15:28:09	1.2	0.6	1.3
3:23:09	1.8	0.6	1.9	15:33:09	1.2	0.6	1.2
3:28:09	1.7	0.6	1.8	15:38:09	1.2	0.6	1.3
3:33:09	1.2	0	1.2	15:43:09	0.7	-0.1	0.7
3:38:09	2.7	-0.1	2.7	15:48:09	0.7	0	0.7
3:43:09	2.7	0	2.7	15:53:09	1.2	0.6	1.2
3:48:09	1.6	0.6	1.7	15:58:09	2.7	0.5	2.8
3:53:09	1.6	0.6	1.7	16:03:09	1.2	0.6	1.3
3:58:09	1.6	0.6	1.9	16:08:09	0.8	-0.1	0.8
4:03:09	1	-0.1	1	16:13:09	0.7	-0.1	0.7
4:08:09	1.2	-0.1	1.2	16:18:09	0.7	-0.1	0.7
4:13:09	1.3	-0.1	1.3	16:23:09	1.1	0.6	1.2
4:18:09	1.7	0.6	1.8	16:28:09	1.1	0.6	1.2
4:23:09	1.8	0.6	1.8	16:33:09	0.6	-0.1	0.6
4:28:09	1.7	-0.1	1.7	16:38:09	0.8	-0.1	0.8
4:33:09	1.7	-0.1	1.7	16:43:09	0.8	-0.1	0.8
4:38:09	1.7	-0.1	1.7	16:48:09	1.3	0.5	1.4

4:43:09	1.7	-0.1	1.7	16:53:09	1.3	0.5	1.4
4:48:09	1.7	0	1.7	16:58:09	1.3	0.5	1.4
4:53:09	1.7	0	1.7	17:03:09	0.8	-0.1	0.8
4:58:09	1.3	0	1.3	17:08:09	0.8	-0.1	0.8
5:03:09	1.3	0	1.3	17:13:09	0.9	0	0.9
5:08:09	1.8	0.5	1.8	17:18:09	4.4	2.8	5.4
5:13:09	3.2	0.5	3.3	17:23:09	3.8	0.4	3.8
5:18:09	3.2	0.5	3.2	17:28:09	3.1	3.3	4.6
5:23:09	1.7	0.5	1.8	17:33:09	1.6	1.8	2.3
5:28:09	1.7	0.5	1.9	17:38:09	1.9	2.6	2.9
5:33:09	1.7	0.5	1.7	17:43:09	3.4	0.9	3.5
5:38:09	1.7	0.5	1.7	17:48:09	4.1	3.9	5.7
5:43:09	1.7	0.5	1.8	17:53:09	3.3	0.8	3.5
5:48:09	1.7	0.5	1.8	17:58:09	3.4	2.4	4.4
5:53:09	1.7	0.5	1.8	18:03:09	2.8	0.2	2.8
5:58:09	1.7	0.5	1.8	18:08:09	2.8	0.1	2.8
6:03:09	1.7	0.5	1.8	18:13:09	3.5	1.6	3.9
6:08:09	1.7	0.5	1.8	18:18:09	3.2	0.2	3.2
6:13:09	1.1	-0.2	1.1	9:43:09	3.5	1.6	3.9
6:18:09	1.1	-0.2	1.1	9:48:09	3.2	0.2	3.2

7. Hasil Pengujian Filter Tanpa Beban (1)

t	I (A)	V (Volt)	P (kW)	Q (kVAR)	S(kVA)	Pf
15:45:05	2.7196	213.97	0.0059	-0.5156	0.5156	0.0102
15:46:05	2.7190	214.32	0.0059	-0.5176	0.5177	0.0102
15:47:05	2.7147	214.40	0.0059	-0.5087	0.5087	0.0101
15:48:05	2.7108	214.18	0.0058	-0.5170	0.5170	0.0101
15:49:05	2.7152	214.11	0.0058	-0.5166	0.5166	0.0101
15:50:05	2.7195	214.53	0.0058	-0.5193	0.5194	0.0101
15:51:05	2.7201	213.48	0.0058	-0.5135	0.5135	0.0101
15:52:05	2.7179	214.90	0.0059	-0.5115	0.5115	0.0101
15:53:05	2.7182	215.18	0.0059	-0.5133	0.5133	0.0101
15:54:05	2.7180	215.30	0.0059	-0.5140	0.5141	0.0100
15:55:05	2.7195	215.69	0.0059	-0.5166	0.5167	0.0100
15:56:05	2.7194	215.91	0.0059	-0.5176	0.5177	0.0100
15:57:05	2.7207	215.88	0.0059	-0.5176	0.5177	0.0100
15:58:05	2.7214	215.77	0.0059	-0.5172	0.5173	0.0100
15:59:05	2.7171	215.63	0.0059	-0.5162	0.5163	0.0100
16:00:05	2.7195	215.77	0.0059	-0.5167	0.5168	0.0100
16:01:05	2.7204	215.91	0.0058	-0.5177	0.5177	0.0099
16:02:05	2.7175	215.81	0.0059	-0.5169	0.5170	0.0100
16:03:05	2.7181	215.96	0.0059	-0.5177	0.5177	0.0101
16:04:05	2.7194	215.81	0.0059	-0.5175	0.5175	0.0100
16:05:05	2.7179	215.66	0.0059	-0.5163	0.5164	0.0101
ave	2.7183	215.15	0.0059	-0.5160	0.5160	0.0101
max	2.7214	215.96	0.0059	-0.5087	0.5194	0.0102
min	2.7108	213.48	0.0058	-0.5193	0.5087	0.0099

8. Hasil Pengujian Filter Tanpa Beban (2)

t	thd-I (%)	thd-v (%)
15:45:05	7.94	1.67
15:46:05	7.42	1.65
15:47:05	7.37	1.70
15:48:05	7.76	1.76
15:49:05	6.79	1.64
15:50:05	7.00	1.65
15:51:05	7.90	1.72
15:52:05	7.77	1.63
15:53:05	7.57	1.69
15:54:05	8.21	1.71
15:55:05	7.92	1.67
15:56:05	7.77	1.65
15:57:05	7.86	1.65
15:58:05	8.01	1.66
15:59:05	7.73	1.67
16:00:05	8.14	1.70
16:01:05	8.05	1.67
16:02:05	8.05	1.65
16:03:05	7.30	1.57
16:04:05	7.66	1.59
16:05:05	7.63	1.62
ave	7.71	1.66
max	8.21	1.76
min	6.79	1.57

9. Arus, Tegangan, dan Daya Sebelum dan Sesudah Penggunaan Filter

sebelum Filter					
t	I (A)	V(Volt)	P(kW)	Q(kVAR)	s(kVA)
1	11.3	212.88	2.2	1.2	2.5
2	11.7	213.22	2.3	1.3	2.5
3	11.3	213.12	2.2	1.2	2.4
4	11.3	211.85	2.2	1.2	2.5
5	11.4	212.64	2.2	1.2	2.4
6	11.4	213.16	2.2	1.2	2.5
7	11.5	212.91	2.2	1.2	2.5
8	11.6	212.69	2.2	1.2	2.4
9	11.3	212.91	2.2	1.2	2.5
10	11.4	212.82	2.2	1.2	2.5
ave	11.42	212.82	2.21	1.21	2.47

Setelah Filter					
t	I (A)	V(Volt)	P(kW)	Q(kVAR)	s(kVA)
1	10.5	213.13	2.2	0	2.3
2	10.5	212.78	2.2	0	2.3
3	10.8	212.76	2.2	0	2.3
4	11	213.02	1.9	0.2	2.4
5	11	213.74	2	0.2	2.4
6	11	213.51	2	0.1	2.4
7	10.1	213.73	2	0.1	2.1
8	10.2	213.41	2.1	0.1	2.1
9	10.1	213.57	2.1	0.1	2.1
10	10.1	213.45	2	0.2	2.1
ave	10.53	213.31	2.07	0.1	2.25

10. Spesifikasi Hioki Power Analyzer 3169-20

Tipe line pengukuran	single-phase 2-wire (1P2W), single-phase 3-wire (1P3W), three-phase 3-wire (3P3W), dan three-phase 4-wire (3P4W) pada frekuensi 50/60 Hz
Jumlah sistem yang dapat diukur	1P2W : 4 sistem 1P3W : 2 sistem 3P3W2M (mengukur tegangan dan arus untuk 2 line) : 2 sistem 3P3W3M (mengukur tegangan dan arus untuk 3 line) : 1 sistem 3P4W (mengukur tegangan dan arus untuk 3 line) : 1 sistem 3P4W4I (mengukur tegangan 3 line dan arus 4 line) : 1 sistem
Item pengukuran	tegangan, arus, daya aktif, daya reaktif, daya kompleks, faktor daya, frekuensi, harmonik, nilai terintegrasi
Range pengukuran	tegangan : 150 V sampai 600 V, 3 range arus (9660) : 5 A sampai 100 A, 4 range arus (9661) : 5 A sampai 500 A, 5 range arus (9669) : 100 A sampai 1 kA, 3 range arus (9667) : 500 A sampai 5 kA, 2 range arus (9694) : 0.5 A sampai 5 A, 3 range daya : 75 W sampai 9 MW, 108 pola kombinasi
Akurasi dasar	$\pm 0.2\%$ rdg. $\pm 0.1\%$ f.s. + akurasi clamp-on sensor (daya aktif, pada 45-66 Hz)
Akurasi clamp sensor	9660 (untuk rating 100 A) : $\pm 0.3\%$ rdg. $\pm 0.02\%$ f.s. 9661 (untuk rating 500 A) : $\pm 0.3\%$ rdg. $\pm 0.01\%$ f.s. 9669 (untuk rating 1000 A) : $\pm 1.0\%$ rdg. $\pm 0.01\%$ f.s. 9667 (untuk rating 5000 A) : $\pm 2.0\%$ rdg. ± 1.5 mV

	9694 (untuk rating 5 A) : $\pm 0.3\%$ rdg. $\pm 0.02\%$ f.s. * f.s. adalah nilai rating arus primer
Karakteristik frekuensi	Gelombang fundamental (45-66 Hz) sampai orde 50 $\pm 3\%$ f.s. + akurasi pengukuran
Fungsi lain	* PC card (1 slot, PC Card Standard-compliant Type II, Flash ATA card type), (9727/ 9728 PC card, 256MB sampai 512MB), * RS-232C (koneksi Printer/PC ke interface RS-232C), * D/A output (hanya 3169-21, 4 channel), * Eksternal I/O
Rate update display	setiap 0.5 detik (kecuali saat menggunakan PC card selagi mengakses memori internal, atau saat melakukan komunikasi RS-232C)
Rating tegangan power supply	100 sampai 240 V AC, 50/60 Hz
Dimensi dan berat	210W \times 160H \times 60D mm ± 5 mm, 1.2 kg ± 100 g (3169-20, 3169-21)
Aksesoris	set cord tegangan 9438-03 (1) (1 cord masing-masing hitam, merah, kuning, dan biru), cord tegangan (1), cord daya (1), label cord input (1), manual operasi (2) (Advanced edition dan Quick Start Guide), CD-R (1) (Advanced edition dan RS-232C interface operating manuals), kabel koneksi 9441 (1) (untuk 3169-21)