

**OPTIMALISASI PENEMPATAN FILTER PASIF  
UNTUK MEREDUKSI RUGI-RUGI DAYA AKIBAT  
ARUS HARMONIK PADA INDUSTRI BAJA**

**SKRIPSI**

Oleh

**ADRIANTO**

**04 03 03 005 5**



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

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

## **PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI**

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul:

### **OPTIMALISASI PENEMPATAN FILTER PASIF UNTUK MEREDUKI RUGI-RUGI DAYA AKIBAT ARUS HARMONIK PADA INDUSTRI BAJA**

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

Depok, 7 Januari 2008

Adrianto

NPM 04 03 03 005 5

## PENGESAHAN

Skripsi dengan judul :

**OPTIMALISASI PENEMPATAN FILTER PASIF UNTUK MEREDUKSI  
RUGI-RUGI DAYA AKIBAT ARUS HARMONIK PADA INDUSTRI BAJA**

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

Depok, 4 Januari 2008  
Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Iwa Garniwa M.K., M.T.

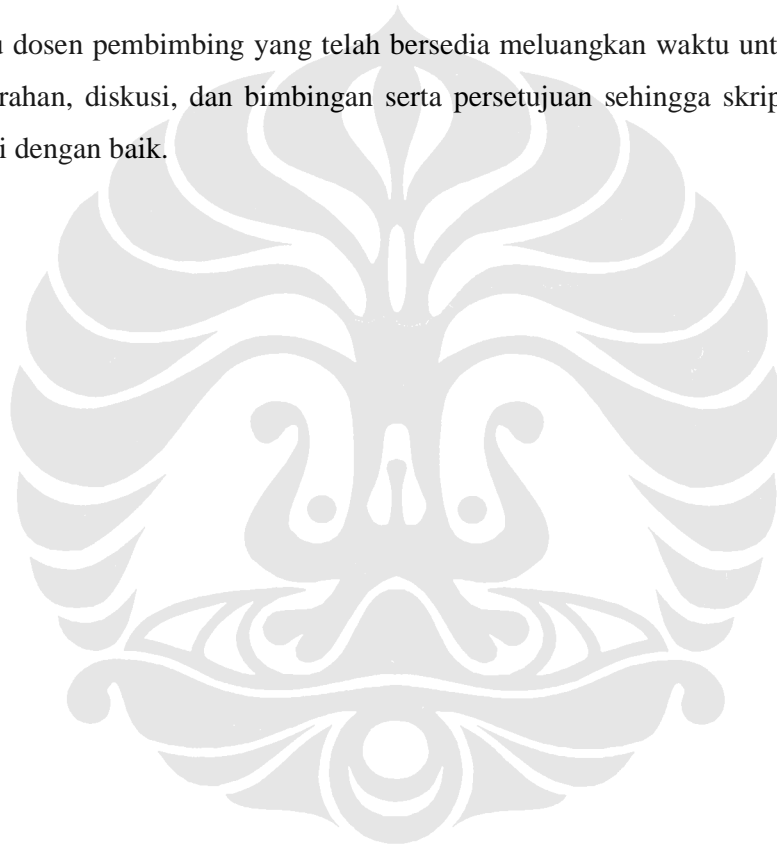
NIP 131 945 377

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

**Dr. Ir. Iwa Garniwa M.K., M.T.**

selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi, dan bimbingan serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik.



Adrianto  
NPM 04 03 03 005 5  
Departemen Teknik Elektro

Pembimbing  
Dr. Ir. Iwa Garniwa M.K., M.T.

**OPTIMALISASI PENEMPATAN FILTER PASIF UNTUK MEREDUKSI  
RUGI-RUGI DAYA AKIBAT ARUS HARMONIK PADA INDUSTRI  
BAJA**

**ABSTRAK**

Arus dari beban harmonik pada umumnya akan menyebabkan panas tambahan, kegagalan isolasi, kegagalan operasi, dan lain-lain. Salah satu cara untuk mengatasi masalah harmonik ini ialah dengan memberikan filter pasif pada beban sumber harmonik (beban non linear) tersebut. Dengan menggunakan filter pasif ini, maka diharapkan dapat meredam distorsi harmonik sampai mencapai batas toleransi yang diizinkan sehingga sistem tenaga listrik dapat tetap bekerja dengan baik.

Tujuan dari penulisan ini ialah untuk membahas penanggulangan harmonik dengan menggunakan *single tuned filter* untuk mereduksi harmonik dan perbaikan faktor daya dari beban non linear. Optimalisasi dari penempatan filter pasif pada sistem distribusi akan dianalisis sehingga di dapat hasil filterisasi yang maksimal dan efisien baik untuk perbaikan rugi-rugi dayanya maupun perbaikan harmoniknya.

Metodologi penelitian yang digunakan dari penulisan ini dimulai dengan studi literatur mengenai perancangan filter pasif sehingga bisa diimplementasikan pada beban non linear yang akan di filterisasi. Berikutnya, hasil rancangan dari filter disimulasikan pada program ETAP Power Station 4.0.0. yang kemudian dianalisis unjuk kerjanya untuk memberikan saran terbaik pada perusahaan yang dijadikan obyek penelitian. Perusahaan yang digunakan sebagai objek penelitian ialah PT. X. Perusahaan ini merupakan industri peleburan baja terbesar di Jawa Timur dengan hasil produksi berupa *billet* dan *wire rod* sebagai produk akhir. Data diambil dengan menggunakan peralatan pengukur harmonik dan energi.

**Kata Kunci : Harmonik, Filter Pasif, Losses**

Adrianto  
NPM 04 03 03 005 5  
Electrical Engineering Department

Counsellor  
Dr. Ir. Iwa Garniwa M.K., M.T.

**OPTIMIZATION OF PASSIVE FILTER PLACEMENT TO REDUCE  
LOSSES FROM HARMONIC CURRENT IN STEEL INDUSTRY**

**ABSTRACT**

Current from the harmonic load causes many effects including extra heat, isolation failure, and operation failure. One of the solutions to solve this problem is by using passive filter at the source of the harmonic load. Using this passive filter, harmonic distortion is expected to decrease until the limit of tolerance so that the power system can work properly.

The purpose of this research is to demonstrate the optimalization of placing a passive filter in a power system to achieve the most efficient and maximum filterazation. This, in turn, results in reduced harmonic current and consequently also reducing the losses. This paper studies ways on how to reduce harmonics and improve power factor by using single tuned notch filter.

The research methodology used in this work begins with a literary review of a passive filter design so it can be implemented to non linear load. The result of the filter design will then be simulated into the ETAP Power Station 4.0.0 from which the output will be analyzed and therefore enable us to give the best advice for the company whose data is being used. The company used as the research object is PT. X, the biggest steel company in East Java, which primarily produce billet and wire rod as the final products. The data were collected by using power and harmonic analyzer equipment.

**Keywords : Harmonic, Passive Filter, Losses**

# DAFTAR ISI

|   | Halaman |
|---|---------|
| PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI                       | ii      |
| PENGESAHAN  | iii     |
| UCAPAN TERIMA KASIH                               | iv      |
| ABSTRAK   | v       |
| ABSTRACT  | vi      |
| DAFTAR ISI  | vii     |
| DAFTAR GAMBAR                                     | x       |
| DAFTAR TABEL                                      | xii     |
| DAFTAR LAMPIRAN                                   | xiv     |
| DAFTAR SINGKATAN                                  | xv      |
| BAB I PENDAHULUAN                                 | 1       |
| 1.1 LATAR BELAKANG                                | 1       |
| 1.2 PERUMUSAN MASALAH                             | 2       |
| 1.3 TUJUAN PENULISAN                              | 2       |
| 1.4 PEMBATAHAN MASALAH                            | 3       |
| 1.5 METODOLOGI PENULISAN                          | 3       |
| 1.6 SISTEMATIKA PENULISAN                         | 3       |
| BAB II DASAR TEORI                                | 4       |
| 2.1 DISTORSI HARMONIK                             | 4       |
| 2.2 ISTILAH-ISTILAH PADA HARMONIK                 | 5       |
| 2.2.1 Orde Harmonik                               | 6       |
| 2.2.2 Spektrum                                    | 6       |
| 2.2.3 Total Harmonic Distortion (THD)             | 6       |
| 2.2.4 Total Demand Distortion (TDD)               | 7       |
| 2.2.5 Nilai rms                                   | 7       |
| 2.3 KUANTITAS LISTRIK PADA KONDISI NON SINUSIODAL | 7       |
| 2.4 PENYEBAB TIMBULNYA HARMONIK                   | 9       |
| 2.5 AKIBAT YANG DITIMBULKAN HARMONIK              | 10      |
| 2.5.1 Urutan Fasa Harmonik                        | 11      |

|   |    |
|---|----|
| 2.5.2 Triplen Harmonik                  | 12 |
| 2.5.3 Batasan Harmonik                  | 12 |
| 2.6 MENGATASI HARMONIK                  | 13 |
| 2.7 DESAIN FILTER                       | 14 |
| 2.7.1 Filter Pasif                      | 15 |
| 2.7.2 Desain <i>Single Tuned Filter</i> | 15 |
| 2.7.3 Batasan Komponen Filter           | 17 |
| 2.7.3.1 <i>Kapasitor</i>                | 17 |
| 2.7.3.2 <i>Induktor</i>                 | 17 |
| BAB III LOKASI DAN PROSEDUR PENGUKURAN  | 18 |
| 3.1 LATAR BELAKANG PERUSAHAAN           | 18 |
| 3.2 PROSES PRODUKSI                     | 19 |
| 3.3 PERALATAN PENGUKURAN                | 21 |
| 3.4 PROSEDUR PENGUKURAN                 | 22 |
| 3.5 TITIK PENGUKURAN                    | 22 |
| BAB IV HASIL DAN ANALISIS PENGUKURAN    | 24 |
| 4.1 DATA HASIL PENGUKURAN               | 24 |
| 4.1.1 Panel TR 20                       | 24 |
| 4.1.1.1 <i>Faktor Daya</i>              | 24 |
| 4.1.1.2 <i>Harmonik Tegangan</i>        | 25 |
| 4.1.1.3 <i>Harmonik Arus</i>            | 27 |
| 4.1.1.4 <i>Daya Maksimum</i>            | 28 |
| 4.1.2 Panel TR 21                       | 29 |
| 4.1.2.1 <i>Faktor Daya</i>              | 29 |
| 4.1.2.2 <i>Harmonik Tegangan</i>        | 29 |
| 4.1.2.3 <i>Harmonik Arus</i>            | 30 |
| 4.1.2.4 <i>Daya Maksimum</i>            | 32 |
| 4.1.3 Panel TR 23                       | 33 |
| 4.1.3.1 <i>Faktor Daya</i>              | 33 |
| 4.1.3.2 <i>Harmonik Tegangan</i>        | 33 |
| 4.1.3.3 <i>Harmonik Arus</i>            | 35 |
| 4.1.3.4 <i>Daya Maksimum</i>            | 37 |
| 4.2 DATA PADA SIMULASI                  | 37 |

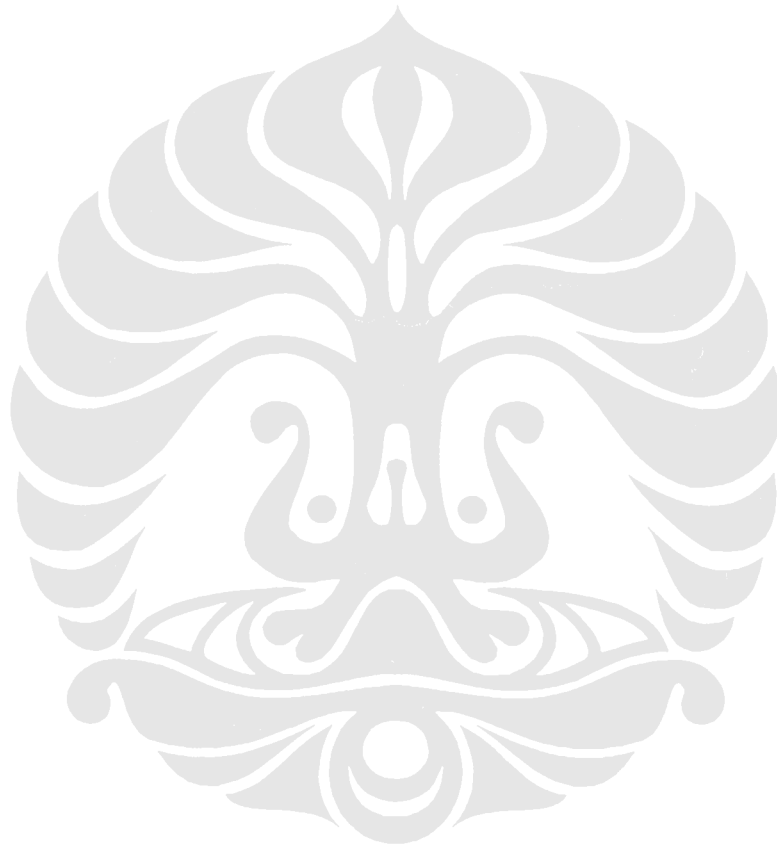


|  |    |
|--|----|
| 4.2.1 Data Beban Dengan THDi Maksimum                  | 37 |
| 4.2.2 Data Beban Dengan Arus Maksimum                  | 38 |
| 4.3 DATA HASIL SIMULASI DI TEGANGAN MENENGAH           | 39 |
| BAB V DESAIN FILTER PASIF DAN ANALISIS HASIL SIMULASI  | 44 |
| 5.1 SIMULASI MENGGUNAKAN PROGRAM ETAP 4.0.0            | 44 |
| 5.2 DESAIN FILTER PASIF                                | 45 |
| 5.3 ANALISIS HASIL SIMULASI DI TITIK TEGANGAN MENENGAH | 49 |
| 5.3.1 Hasil Simulasi Pada Beban THDi Maksimum          | 49 |
| 5.3.1.1 Filter Dipasang Pada TR 21                     | 49 |
| 5.3.1.2 Filter Dipasang Pada TR 23                     | 50 |
| 5.3.1.3 Filter Dipasang Pada TR 21 dan 23              | 52 |
| 5.3.1.4 Filter Dipasang Pada TM                        | 53 |
| 5.3.2 Hasil Simulasi Pada Beban Arus Maksimum          | 54 |
| 5.3.2.1 Filter Dipasang Pada TR 21                     | 54 |
| 5.3.2.2 Filter Dipasang Pada TR 23                     | 55 |
| 5.3.2.3 Filter Dipasang Pada TR 21 dan TR 23           | 56 |
| 5.3.2.4 Filter Dipasang Pada TM                        | 57 |
| 5.4 RINGKASAN HASIL SIMULASI DAN PERBANDINGANNYA       | 59 |
| BAB 6 KESIMPULAN                                       | 61 |
| DAFTAR ACUAN   | 63 |
| DAFTAR PUSTAKA   | 64 |
| LAMPIRAN   | 65 |

## DAFTAR GAMBAR

|  | Halaman |
|--|---------|
| Gambar 2.1 Distorsi arus akibat beban non linear                               | 4       |
| Gambar 2.2 Representasi deret fourier dari suatu gelombang terdistorsi         | 5       |
| Gambar 2.3 Hubungan komponen daya pada kondisi non sinusoidal                  | 9       |
| Gambar 2.4 Pemodelan beban non linear sebagai sumber harmonik                  | 9       |
| (a) Model gelombang dasa.  | 9       |
| (b) Model gelombang harmonik   | 9       |
| Gambar 2.5 Arus netral tinggi akibat triplen harmonik                          | 12      |
| Gambar 2.6 (a) Rangkaian <i>single tuned filter</i>                            | 15      |
| (b) kurva impedansi terhadap frekuensi   | 15      |
| Gambar 3.1 Blok diagram proses produksi di PT. X                               | 19      |
| Gambar 3.2 Blok Diagram Proses di PT. X  | 21      |
| Gambar 3.3 Hioki Power Analyzer 3169-20  | 22      |
| Gambar 3.4 Titik-titik pengukuran  | 23      |
| Gambar 4.1 (a) Gelombang harmonik tegangan fasa 3 (TR 20)                      | 26      |
| (b) Spektrum harmonik tegangan fasa 3 (TR 20)                                  | 26      |
| Gambar 4.2 (a) Gelombang harmonik arus fasa 3 (TR 20)                          | 27      |
| (b) Spektrum harmonik arus fasa 3 (TR 20)                                      | 28      |
| Gambar 4.3 (a) Gelombang harmonik tegangan fasa 3 (TR 21)                      | 30      |
| (b) Spektrum harmonik tegangan fasa 3 (TR 21)                                  | 30      |
| Gambar 4.4 (a) Gelombang harmonik arus fasa 3 (TR 21)                          | 32      |
| (b) Spektrum harmonik arus fasa 3 (TR 21)                                      | 32      |
| Gambar 4.5 (a) Gelombang harmonik tegangan fasa 3 (TR 21)                      | 34      |
| (b) Spektrum harmonik tegangan fasa 3 (TR 21)                                  | 35      |
| Gambar 4.6 (a) Gelombang harmonik arus fasa 3 (TR 21)                          | 36      |
| (b) Spektrum harmonik arus fasa 3 (TR 21)                                      | 36      |
| Gambar 4.7 Simulasi sistem tenaga listrik dengan program ETAP                  | 40      |
| Gambar 4.8 (a) Gelombang harmonik arus pada Bus Utama pada beban THDi maksimum | 41      |
| (b) Spektrum harmonik arus pada Bus Utama pada beban                           | 41      |

|            |   |    |
|------------|---|----|
|            | THDi maksimum   |    |
| Gambar 4.9 | (a) Gelombang harmonik arus pada Bus Utama dengan beban arus maksimum | 42 |
|            | (b) Spektrum harmonik arus pada Bus Utama dengan beban arus maksimum  | 42 |
| Gambar 5.1 | Diagram alir dari simulasi desain filter                              | 44 |
| Gambar 5.2 | <i>Single tuned filter</i>  | 45 |



## DAFTAR TABEL

|   | Halaman |
|---|---------|
| Tabel II.1 Urutan Fasa Harmonik                                     | 11      |
| Tabel II.2 IEC 61000-3-4  | 13      |
| Tabel II.3 IEC 61000-3-6  | 13      |
| Tabel IV.1 Faktor Daya Tiap Fasa pada TR 20                         | 25      |
| Tabel IV.2 Harmonik Tegangan Tiap Fasa pada TR 20                   | 25      |
| Tabel IV.3 Harmonik Arus Tiap Fasa pada TR 20                       | 27      |
| Tabel IV.4 Daya Maksimum Tiap Fasa pada TR 20                       | 28      |
| Tabel IV.5 Faktor Daya Tiap Fasa pada TR 21                         | 29      |
| Tabel IV.6 Harmonik Tegangan Tiap Fasa pada TR 21                   | 29      |
| Tabel IV.7 Harmonik Arus Tiap Fasa pada TR 21                       | 31      |
| Tabel IV.8 Daya Maksimum Tiap Fasa pada TR 21                       | 33      |
| Tabel IV.9 Faktor Daya Tiap Fasa pada TR 23                         | 33      |
| Tabel IV.10 Harmonik Tegangan Tiap Fasa pada TR 23                  | 34      |
| Tabel IV.11 Harmonik Arus Tiap Fasa pada TR 23                      | 35      |
| Tabel IV.12 Daya Maksimum Tiap Fasa pada TR 23                      | 37      |
| Tabel IV.13 THDi Tertinggi pada TR 20                               | 38      |
| Tabel IV.14 THDi Tertinggi pada TR 21                               | 38      |
| Tabel IV.15 THDi Tertinggi pada TR 23                               | 38      |
| Tabel IV.16 Arus Maksimum pada TR 20                                | 39      |
| Tabel IV.17 Arus Maksimum pada TR 21                                | 39      |
| Tabel IV.18 Arus Maksimum pada TR 23                                | 39      |
| Tabel IV.19 Data harmonik pada Bus Utama dengan Beban THDi Maksimum | 41      |
| Tabel IV.20 Data harmonik pada Bus Utama dengan Beban arus Maksimum | 42      |
| Tabel V.1 Data Filter Harmonik TR 21 pada THDi Maksimum             | 46      |
| Tabel V.2 Data Filter Harmonik TR 23 pada THDi Maksimum             | 46      |
| Tabel V.3 Data Filter Harmonik TR 21 pada Arus Maksimum             | 46      |
| Tabel V.4 Data Filter Harmonik TR 23 pada Arus Maksimum             | 46      |


|            |  |    |
|------------|--|----|
| Tabel V.5  | Data Filter Harmonik TM pada THDi Maksimum                     | 47 |
| Tabel V.6  | Data Filter Harmonik TM pada Arus Maksimum                     | 47 |
| Tabel V.7  | Informasi Desain Filter dan Spesifikasinya                     | 49 |
| Tabel V.8  | Data Simulasi THDi maksimum dengan Filter pada TR 21           | 50 |
| Tabel V.9  | Data Simulasi THDi maksimum dengan Filter pada TR 23           | 51 |
| Tabel V.10 | Data Simulasi THDi maksimum dengan Filter pada TR 21 dan TR 23 | 52 |
| Tabel V.11 | Data Simulasi THDi maksimum dengan Filter pada TM              | 53 |
| Tabel V.12 | Data Simulasi arus maksimum dengan Filter pada TR 21           | 55 |
| Tabel V.13 | Data Simulasi arus maksimum dengan Filter pada TR 23           | 56 |
| Tabel V.14 | Data Simulasi arus maksimum dengan Filter pada TR 21 dan TR 23 | 57 |
| Tabel V.15 | Data Simulasi arus maksimum dengan Filter pada TM              | 58 |
| Tabel V.16 | Ringkasan Hasil Simulasi dengan Beban THDi Maksimum            | 59 |
| Tabel V.17 | Ringkasan Hasil Simulasi dengan Beban Arus Maksimum            | 59 |
| Tabel V.18 | Penurunan Arus pada Titik TM Setelah Pemasangan Filter         | 60 |

## DAFTAR LAMPIRAN

|  | Halaman |
|--|---------|
| Lampiran 1 Data Hasil Pengukuran di TR 20                  | 65      |
| Lampiran 2 Data Hasil Pengukuran di TR 21                  | 68      |
| Lampiran 3 Data Hasil Pengukuran di TR 23                  | 70      |
| Lampiran 4 Data Hasil Simulasi                             | 72      |
| 4.1 Filter Pada TR 21 dan 23 pada THDi Maksimum            | 72      |
| 4.2 Filter Pada TM (Merlin Gerin) pada Beban THDi Maksimum | 74      |
| 4.3 Filter Pada TR 21 dan TR 23 pada Beban Arus Maksimum   | 77      |
| 4.4 Filter Pada TM (Merlin Gerin) pada Beban Arus Maksimum | 79      |
| Lampiran 4 Spesifikasi Hioki Power Analyzer 3169-20        | 83      |



## DAFTAR SINGKATAN



|      |   |
|------|---|
| ANSI | American National Standard Institute              |
| ASD  | Adjustable Speed Drive                            |
| CB   | Circuit Breaker                                   |
| IEC  | International Electrotechnical Commission         |
| IEEE | Institute of Electrical and Electronics Engineers |
| D    | Distorsi daya akibat harmonik                     |
| MV   | Medium Voltage                                    |
| P    | Daya nyata  |
| PWM  | Pulse Width Modulation                            |
| PCC  | Point of Common Coupling                          |
| $Q$  | Quality factor                                    |
| Q    | Daya reaktif                                      |
| RMS  | Root Mean Square                                  |
| S    | Daya kompleks                                     |
| TDD  | Total Demand Distortion                           |
| THD  | Total Harmonic Distortion                         |
| THDi | Total Harmonic Distortion arus                    |
| THDv | Total Harmonic Distortion tegangan                |
| TM   | Tegangan menengah                                 |
| TR   | Tegangan rendah                                   |

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG

Masalah harmonik pada sistem tenaga listrik telah dikenal sejak tahun 1920-an. Pada saat itu tingkatan harmonik pada sistem tenaga listrik belum dipermasalahkan. Dewasa ini masalah harmonik di kalangan konsumen industri dan komersil merupakan masalah tersendiri yang harus segera diatasi. Hal ini disebabkan semakin banyaknya beban non linear yang seiring dengan kemajuan teknologi yang digunakan oleh para pelaku industri dan komersil tersebut.

Pada dasarnya harmonik adalah gejala pembentukan gelombang dengan frekuensi yang merupakan perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya. Sistem tenaga listrik di Indonesia mempunyai frekuensi dasar 50 Hz sehingga urutan harmonik kedua merupakan gelombang dengan frekuensi  $2 \times 50$  Hz, harmonik ketiga  $3 \times 50$  Hz, dan seterusnya. Gelombang harmonik ini kemudian menumpang pada gelombang murninya sehingga terbentuk gelombang yang terdistorsi yang merupakan penjumlahan antara gelombang murni sesaat dengan gelombang harmoniknya.

Beban non linear sebagai penyebab munculnya harmonik umumnya merupakan komponen semikonduktor dimana dalam proses kerjanya berlaku sebagai saklar yang bekerja pada setiap siklus gelombang dan sumber tegangan. Proses kerja ini akan menghasilkan distorsi gelombang arus yang tidak sinusoidal. Contoh-contoh beban non linear ialah pada industri seperti tanur busur listrik, peralatan elektronika daya (inverter dan konverter), komputer dan peralatan bantunya, motor listrik berpengaturan kecepatan, lampu *fluoresent*, UPS, dan peralatan elektronik lainnya. Peralatan-peralatan elektronik dirancang untuk menggunakan arus listrik secara hemat dan efisien karena arus listrik hanya akan dapat melalui komponen semikonduktor selama periode waktu yang telah ditentukan. Namun kerugiannya ialah munculnya distorsi harmonik pada gelombang arus beban yang pada akhirnya akan mengalir kembali ke bagian lain dari sistem pembangkit.



Akibat yang ditimbulkan dari fenomena harmonik ini bermacam-macam. Harmonik pada sistem distribusi akan berpengaruh pada kapasitor bank, transformator distribusi, pemutus tenaga, dan *fuse* karena peralatan tersebut dialiri arus beban yang mengandung harmonik. Arus dari harmonik pada umumnya akan menyebabkan panas tambahan, kegagalan isolasi, kegagalan operasi, dan lain-lain. Salah satu cara untuk mengatasi masalah harmonik ini ialah dengan memberikan filter pasif pada beban sumber harmonik (beban non linear) tersebut. Dengan menggunakan filter pasif ini, maka diharapkan dapat meredam distorsi harmonik sampai mencapai batas toleransi yang diizinkan sehingga sistem tenaga listrik dapat tetap bekerja dengan baik.

## **1.2 PERUMUSAN MASALAH**

Adanya distorsi harmonik secara tidak langsung juga menyebabkan bertambahnya rugi-rugi daya pada suatu sistem tenaga listrik. Filter pasif prinsipnya membuang arus harmonik sesuai orde arus yang akan dihilangkan sehingga arus akibat distorsi harmonik yang masuk ke dalam sistem menjadi lebih kecil. Pada skripsi ini, akan diteliti mengenai penempatan filter pasif yang paling efektif dalam mengurangi rugi-rugi daya akibat arus harmonik di titik tegangan menengah pada suatu sistem tenaga listrik. Filter yang digunakan ialah filter pasif karena filter ini merupakan salah satu metode yang paling umum dalam mereduksi harmonik karena harganya yang murah dan konfigurasinya yang sederhana.

## **1.3 TUJUAN PENULISAN**

Tujuan dari penulisan skripsi ini ialah untuk membahas tentang pengertian, penyebab, akibat, dan penanggulangan dari masalah harmonik pada sistem distribusi tenaga listrik. Selain itu, akan dibahas juga secara khusus penanggulangan harmonik dengan menggunakan *single tuned filter* untuk mereduksi harmonik dan perbaikan faktor daya dari beban non linear. Optimalisasi dari penempatan filter pasif pada sistem distribusi akan dianalisis sehingga di dapat hasil filterisasi yang paling baik dalam mengurangi rugi-rugi daya pada sisi tegangan menengah (TM).

#### **1.4 PEMBATASAN MASALAH**

Skripsi ini memiliki batasan masalah pada perancangan *single tuned filter* yang sesuai untuk beban non linear tertentu yang kemudian dibandingkan kinerjanya bebannya sebelum dan sesudah diberikan filter. Analisis dilakukan pada sisi TM dengan variasi penempatan filter pasif dalam mengurangi rugi-rugi daya pada kabel penghantar sehingga dapat diketahui penempatan filter yang paling optimal untuk mencapai tingkat efisiensi yang tinggi. Studi kasus dilakukan di PT. X sebagai salah satu industri baja terbesar di Indonesia.

#### **1.5 METODOLOGI PENULISAN**

Metodologi penelitian yang digunakan dari penulisan skripsi ini ialah dimulai dengan studi literatur mengenai perancangan filter pasif sehingga bisa diimplementasikan pada beban non linear yang akan di filterisasi. Hasil rancangan dari filter kemudian disimulasikan pada program ETAP Power Station 4.0.0. yang kemudian dianalisis unjuk kerjanya untuk memberikan saran terbaik pada perusahaan yang dijadikan obyek penelitian. Data awal diambil dengan menggunakan peralatan pengukur harmonik dan energi.

#### **1.6 SISTEMATIKA PENULISAN**

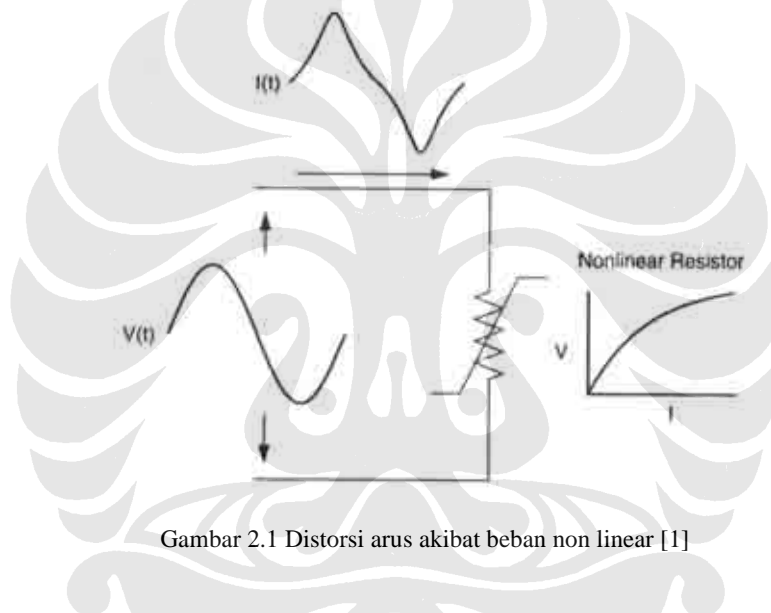
Penulisan skripsi ini terbagi dalam 6 bab. Bab 1 menguraikan tentang latar belakang penulisan, tujuan penulisan, pembatasan masalah, metodologi penulisan, dan sistematika penulisan. Bab 2 berisi mengenai segala sesuatu yang berkaitan dengan harmonik baik dari pengertian, sebab, akibat, dan penanggulangannya. Pada 2 ini juga dibahas mengenai cara mendesain filter pasif. Pada bab 3 akan membahas lokasi dan prosedur pengukuran yang dimana akan berkaitan langsung dengan profil perusahaan, sistem kerja, prosedur pengukuran, letak-letak pengukuran, dan peralatan yang digunakan dalam pengukuran. Bab 4 akan berisi analisis dari hasil pengukuran dari setiap panel yang diukur serta masalah-masalah yang ada pada perusahaan yang dijadikan obyek penelitian. Bab 5 akan menguraikan hasil rancangan filter yang kemudian disimulasikan pada program ETAP Power Station 4.0.0. Unjuk kerja dari hasil filterisasi akan dianalisis sehingga menghasilkan saran terbaik untuk perusahaan yang dijadikan obyek penelitian. Bab 6 akan berisi kesimpulan dari penulisan skripsi ini.

## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1 DISTORSI HARMONIK

Distorsi harmonik disebabkan oleh peralatan yang memiliki beban non linear pada sistem tenaga listrik. Peralatan yang memiliki beban non linear merupakan kondisi dimana arus tidak proporsional dengan gelombang tegangannya.



Gambar 2.1 Distorsi arus akibat beban non linear [1]

Gambar di atas mengilustrasikan konsep distorsi harmonik dimana apabila suatu rangkaian yang memiliki resistor non linear diberikan tegangan sinusoidal sempurna, maka arus resultannya akan terdistorsi. Menaikkan tegangan beberapa persen akan meningkatkan arus dua kali lipat dan menghasilkan gelombang yang berbeda. Ini merupakan sumber dari distorsi harmonik pada sistem tenaga listrik secara umum [1].

Apabila suatu gelombang yang identik dari satu siklus ke siklus lain, maka bisa direpresentasikan sebagai penjumlahan gelombang sinusoidal murni dimana frekuensi dari setiap sinusoidal merupakan kelipatan atau hasil perkalian bilangan bulat dari frekuensi gelombang dasar yang terdistorsi seperti yang terlihat pada gambar 2.2. Gelombang dengan frekuensi kelipatan ini disebut harmonik.

Penjumlahan dari gelombang-gelombang sinusoidal menjadi gelombang non sinusoidal tersebut dapat dianalisis dengan menggunakan konsep *deret fourier* sebagai berikut [3]:

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

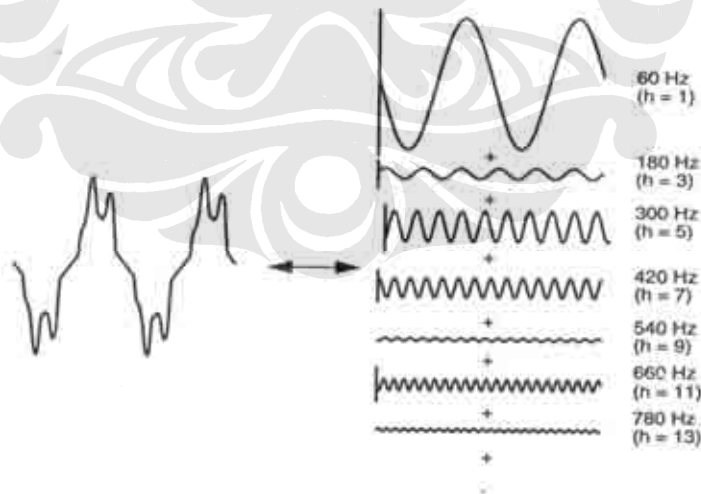
keterangan :  $Y_0$  = amplitudo dari komponen arus searah dimana biasanya dalam jaringan distribusi bernilai nol.

$Y_n$  = nilai rms dari harmonik komponen ke-n

$f$  = frekuensi dasar (50 Hz)

$\varphi_n$  = sudut fasa dari komponen harmonik ke-n

Persamaan Fourier di atas dapat digunakan untuk memecah gelombang yang telah terdistorsi menjadi gelombang dasar dan gelombang harmonik. Hal ini menjadi dasar dalam menganalisis harmonik pada sistem tenaga listrik. Bentuk tegangan dan arus yang terdistorsi dapat diperoleh dengan menjumlahkan secara aljabar gelombang dasar (yang dibangkitkan oleh pembangkit) dengan gelombang-gelombang harmonik yang mempunyai frekuensi, amplitudo dan sudut fasa yang bervariasi. Analisis Fourier telah digunakan untuk menganalisis amplitudo dan frekuensi dari gelombang sinusoidal yang telah terdistorsi.



Gambar 2.2 Representasi deret fourier dari suatu gelombang terdistorsi [1]

## 2.2 ISTILAH-ISTILAH PADA HARMONIK

Sebelum membahas lebih lanjut, maka perlu diketahui terlebih dahulu beberapa istilah yang penting mengenai harmonik.

### 2.2.1 Orde Harmonik

Orde dari harmonik merupakan perbandingan frekuensi harmonik dengan frekuensi dasar, dimana [1]:

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

Keterangan:  $n$  = orde harmonik  
 $f_n$  = frekuensi harmonik ke-n  
 $F$  = frekuensi dasar

Sesuai dengan definisi di atas maka orde harmonik frekuensi dasar  $F$  adalah 1. Artinya orde ke-1 bukan harmonik melainkan orde ke-2 sampai orde ke- $n$ .

### 2.2.2 Spektrum

Spektrum adalah distribusi dari semua amplitudo komponen harmonik sebagai fungsi dari orde harmoniknya, dan diilustrasikan menggunakan histogram. Bisa dikatakan bahwa spektrum merupakan perbandingan arus atau tegangan frekuensi harmonik terhadap arus atau tegangan frekuensi dasar. Spektrum digunakan sebagai dasar merencanakan filter yang akan digunakan untuk mereduksi harmonik, terutama bila yang digunakan filter pasif.

### 2.2.3 Total Harmonic Distortion (THD)

THD adalah ukuran nilai efektif dari komponen-komponen harmonik pada suatu gelombang yang terdistorsi. Hal ini dapat dinyatakan sebagai suatu nilai potensi pemanasan akibat harmonik relatif terhadap gelombang frekuensi dasar. Nilai ini dapat dihitung baik untuk tegangan maupun untuk arus [1]:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n>1}^{h_{max}} M_n^2}}{M_1} \quad (2.3)$$

Keterangan:  $M_n$  = nilai rms dari komponen harmonik ke-n (arus atau tegangan)  
 $M_1$  = nilai rms dari arus atau tegangan pada frekuensi dasar

## 2.2.4 Total Demand Distortion (TDD)

Seperti yang telah dijelaskan diatas, 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 hal ini masuk di Standar IEEE 519-1992, *Recommended Practices and Requirements for Harmonik Control in Electrical Power Systems*. TDD didefinisikan sebagai berikut [1]:

$$TDD = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{h_{\max}} I_n^2}{I_L^2}} \quad (2.4)$$

Keterangan:  $I_L$  = arus beban puncak pada frekuensi dasar yang diukur pada PCC (*Point of Common Coupling*).

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.

## 2.2.5 Nilai rms

Nilai rms yang dihasilkan oleh gelombang arus atau tegangan yang terdistorsi harmonik dapat dinyatakan dengan [1]:

$$RMS = \sqrt{\sum_{h=1}^{h_{\max}} M_h^2} = M_1 \sqrt{1 + THD^2} \quad (2.5)$$

Keterangan:  $M_h$  = nilai rms dari arus atau tegangan ke-h

## 2.3 KUANTITAS LISTRIK PADA KONDISI NON SINUSIODAL

Pada kondisi non sinusoidal, kuantitas listrik seperti arus dan tegangan harus diperhitungkan komponen harmoniknya. Berikut adalah persamaan nilai tegangan dan arus rms untuk kondisi non sinusoidal [1]:

$$Y_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T y^2(t) dt} = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} Y_h^2} = \sqrt{Y_1^2 + Y_h^2} \quad (2.6)$$

Keterangan:  $Y_{rms}$  = tegangan atau arus pada kondisi non sinusoidal  
 $T$  = periode  $v(t)$  dan  $i(t)$  (detik)  
 $Y_1$  = tegangan atau arus rms pada frekuensi dasar

Daya aktif (daya nyata) adalah daya yang diserap oleh beban untuk melakukan kerja yang sesungguhnya. Daya reaktif adalah daya yang tidak terlihat sebagai kerja nyata dan biasanya dipengaruhi oleh komponen reaktif seperti induktor. Berikut adalah persamaan daya aktif (P) dan reaktif (Q) rata-rata pada kondisi non sinusoidal [1]:

$$P = \sum_{h=1}^{\infty} V_h I_h \cos(\phi_h - \theta_h) = \sum_{h=1}^{\infty} P_h \text{ Watt} \quad (2.7)$$

$$Q = \sum_{h=1}^{\infty} V_h I_h \sin(\phi_h - \theta_h) = \sum_{h=1}^{\infty} Q_h \text{ VAR} \quad (2.8)$$

Secara umum, daya kompleks (S) dapat dinyatakan dengan:

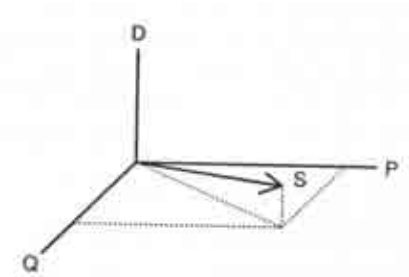
$$S = V \times I \quad \text{VA} \quad (2.9)$$

Dalam kondisi non sinusoidal, daya kompleks dapat dinyatakan dengan:

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

Keterangan:  $S$  = daya kompleks pada kondisi non sinusoidal (VA)  
 $P_1$  = daya aktif pada frekuensi dasar (watt)  
 $Q_1$  = daya reaktif pada frekuensi dasar (VAR)  
 $D$  = distorsi daya akibat harmonik (VA)

Beberapa pendapat memilih untuk menggunakan diagram vektor tiga dimensi untuk menunjukkan hubungan antara daya-daya tersebut seperti gambar 2.3. P dan Q mewakili komponen S yang biasa terdapat pada kondisi sinusoidal murni, sedangkan D menunjukkan kontribusi tambahan terhadap daya kompleks akibat harmonik.

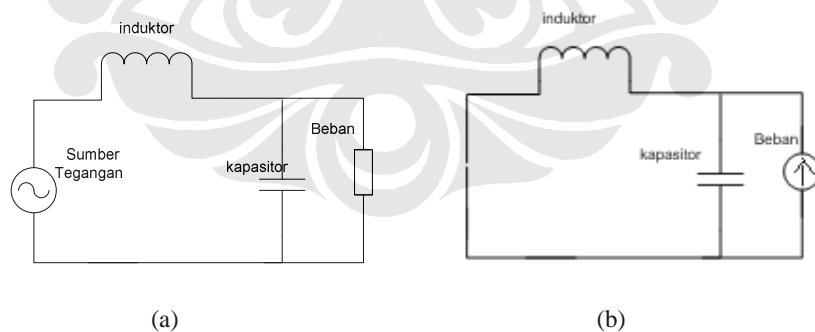


Gambar 2.3 Hubungan komponen daya pada kondisi non sinusoidal [1]

## 2.4 PENYEBAB TIMBULNYA HARMONIK

Seperti telah disebutkan di atas, munculnya harmonik disebabkan oleh beban non linear. Beban non linear umumnya merupakan komponen semikonduktor yang pada proses kerjanya berlaku sebagai saklar yang bekerja pada setiap setengah siklus gelombang atau beban yang membutuhkan arus yang tidak tetap pada setiap periode waktunya. Proses kerja ini akan menghasilkan gelombang arus yang tidak sinusoidal. Bentuk gelombang ini tidak menentu dan dapat berubah menurut pengaturan pada parameter beban-beban non linear yang terpasang. Perubahan bentuk gelombang ini tidak berkaitan dengan sumber tegangannya.

Beban non linear dapat dimodelkan sebagai sumber arus harmonik seperti gambar 2.4 berikut ini.



Gambar 2.4 Pemodelan beban non linear sebagai sumber harmonik [2]

(a) Model gelombang dasar

(b) Model gelombang harmonik

Sumber harmonik secara garis besar terdiri dari 2 jenis yaitu peralatan yang memiliki kondisi saturasi dan peralatan elektronika daya. Peralatan yang memiliki kondisi saturasi biasanya memiliki komponen bersifat magnetik seperti



transformator, mesin-mesin listrik, 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 PWM *converter*, pengendali motor listrik, *electronic ballast*, dan sebagainya.

## 2.5 AKIBAT YANG DITIMBULKAN HARMONIK

Pengaruh harmonik pada peralatan tenaga listrik secara umum terbagi menjadi tiga, yaitu:

1. Nilai rms baik tegangan maupun arus meningkat.
2. Nilai puncak (*peak value*) tegangan dan arus meningkat.
3. Frekuensi sistem menurun.

Masing-masing elemen membangkitkan distorsi yang spesifik. Nilai rms lebih besar dapat menyebabkan pemanasan lebih dan nilai puncak lebih besar yang dapat membuat alat ukur terganggu kinerjanya sehingga memberikan indikasi yang salah. Frekuensi mempengaruhi impedansi kabel dan dengan frekuensi 400 Hz atau lebih maka akan sulit untuk mengatasi jatuh tegangan. Fenomena resonansi dapat terjadi pada frekuensi tertentu dan dapat menyebabkan arus meningkat.

Secara khusus efek yang ditimbulkan harmonik pada sistem tenaga listrik dapat dibagi menjadi:

- a. Efek negatif jangka pendek
  1. Tegangan harmonik dapat mengganggu pengendalian yang digunakan pada sistem elektronik.
  2. Harmonik dapat menyebabkan kesalahan pada peralatan pengukuran listrik yang menggunakan prinsip induksi magnetik.
- b. Efek yang bersifat kontinu dan yang dapat mengakibatkan pemanasan.
  1. Pemanasan kapasitor  
Kapasitor sensitif terhadap perubahan beban maka ketika terjadi harmonik akan menyebabkan rugi-rugi meningkat. Ketika terjadi harmonik, beban semakin reaktif sehingga kapasitor harus mencatu lebih banyak daya reaktif kepada sistem.
  2. Pemanasan pada mesin-mesin listrik

Akibat harmonik pada mesin adalah bertambahnya rugi-rugi pada mesin. Hal ini diakibatkan oleh meningkatnya rugi-rugi pada stator dan perbedaan kecepatan yang diakibatkan oleh medan yang dihasilkan oleh harmonik dengan rotor. Arus harmonik juga menimbulkan panas lebih dan apabila mesin terus-menerus dioperasikan pada kondisi ini akan mengurangi umur dan merusak mesin.

### 3. Transformator

Transformator distribusi yang mencatu daya beban non linear akan menimbulkan arus harmonik kelipatan tiga ganjil. Harmonik ini akan menghasilkan arus netral yang lebih tinggi dari arus fasa. Akibatnya terjadi peningkatan temperatur pada kawat netral. Dampak lanjutannya, akan terjadi sirkulasi arus urutan nol pada belitan delta sehingga temperatur meningkat. Hal ini akan mengakibatkan penurunan efisiensi transformator dan dapat mengakibatkan kerusakan.

Rugi-rugi yang terjadi pada transformator adalah rugi-rugi inti dan rugi-rugi belitan. Rugi-rugi inti karena fluks yang dibangkitkan di dalam inti bila transformator dieksitasi. Rugi-rugi belitan yang terdiri dari  $I^2R$  dan *stray losses* dibangkitkan oleh arus yang mengalir melalui transformator.

Akibat dari harmonik lain ialah interferensi frekuensi pada sistem telekomunikasi karena biasanya sistem komunikasi letaknya berdekatan dengan sistem tenaga listrik. Sistem pengaman seperti *relay* dapat berkurang kemampuannya untuk merasakan gangguan ketika terjadi harmonik karena sifar *relay* itu sendiri yang sensitif terhadap perubahan frekuensi dan arus.

#### 2.5.1 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. Berikut adalah tabel urutan fasa harmonik [3]:

Tabel II.1 Urutan Fasa Harmonik

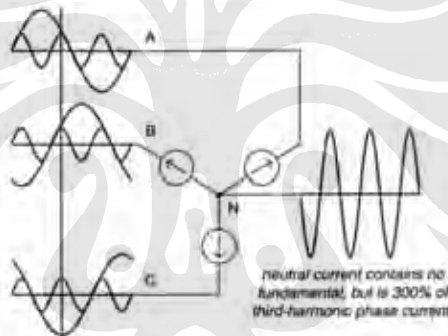
|                      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |     |
|----------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|-----|
| Orde harmonik        | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | ... |
| Urutan fasa harmonik | + | - | 0 | + | - | 0 | + | - | 0 | +  | ... |

Pola urutan fasa setiap orde harmonik dapat dinyatakan sebagai berikut:

- i. Urutan fasa positif (*positive sequence*) =  $3h+1$
- ii. Urutan fasa negatif (*negative sequence*) =  $3h-1$
- iii. Urutan fasa nol (*zero sequence*) =  $3h$

### 2.5.2 Triplen Harmonik

Triplen harmonik merupakan kelipatan ganjil dari harmonik ketiga ( $h = 3, 9, 15, 21, \dots$ ). Pada sistem 3 fasa 4 kawat seimbang seperti gambar 2.5, arus urutan nol atau arus triplen harmonik akan tetap ada dan mengalir melalui kawat netral. Hal ini dikarenakan triplen harmonik memiliki fasa dan waktu yang sama antara ketiga fasanya sehingga pada kawat netral akan ditemukan arus harmonik urutan nol yang besarnya tiga kali lipat dari arus harmonik urutan nol pada salah satu fasa.



Gambar 2.5 Arus netral tinggi akibat triplen harmonik [1]

### 2.5.3 Batasan Harmonik

Beberapa standar batasan harmonik pada sistem tenaga listrik telah dipublikasikan diantaranya adalah standar IEEE std. 519 – 1992, IEEE std. 519-1992, IEC 61000-3-4, IEC61000-3-6, dan lain-lain. IEC biasanya digunakan untuk daerah Eropa dan standar ANSI banyak digunakan di Amerika. Berikut adalah standar yang digunakan dalam skripsi ini [1]:

Tabel II.2 IEC 61000-3-4

| Orde | Maksimum arus harmonik yang diizinkan* | Orde | Maksimum arus harmonik yang diizinkan* |
|------|--|------|--|
| 3    | 21.6                                   | 19   | 1.1                                    |
| 5    | 10.7                                   | 21   | 0.6                                    |
| 7    | 7.2                                    | 23   | 0.9                                    |
| 9    | 3.8                                    | 25   | 0.8                                    |
| 11   | 3.1                                    | 27   | 0.6                                    |
| 13   | 2                                      | 29   | 0.7                                    |
| 15   | 0.7                                    | 31   | 0.7                                    |
| 17   | 1.2                                    | 33   | 0.6                                    |

Ket: \* % dari arus fundamental masukan

Tabel II.3 IEC 61000-3-6

| Harmonik ganjil   |                         |             |                       | Harmonik genap |                       |
|-------------------|-------------------------|-------------|-----------------------|----------------|-----------------------|
| Bukan kelipatan 3 |                         | Kelipatan 3 |                       |                |                       |
| Orde              | Tegangan harmonik (%)   | Orde        | Tegangan harmonik (%) | Orde           | Tegangan harmonik (%) |
| 5                 | 6                       | 3           | 3                     | 2              | 2                     |
| 7                 | 5                       | 9           | 9                     | 4              | 1                     |
| 11                | 3.5                     | 15          | 15                    | 6              | 0.5                   |
| 13                | 3                       | 21          | 21                    | 8              | 0.5                   |
| 17                | 2                       | >21         | 1                     | 10             | 0.5                   |
| 19                | 1.5                     |             |                       | 12             | 0.2                   |
| 23                | 1.5                     |             |                       | >12            | 0.2                   |
| 25                | 1.5                     |             |                       |                |                       |
| >25               | $0.2 + 1.3 \times 25/h$ |             |                       |                |                       |

\* Batasan untuk THD sebesar 8 %

## 2.6 MENGATASI HARMONIK

Pada dasarnya, harmonik dapat menjadi masalah jika:

- Sumber dari arus yang mengandung harmonik sangat besar.
- Jalur yang dilalui secara elektrik sangat panjang menyebabkan distorsi tegangan yang besar.
- Respon dari sistem yang menimbulkan satu atau lebih harmonik.

Saat suatu permasalahan ditimbulkan oleh harmonik, cara dasar mengatasinya adalah sebagai berikut:

- Mengurangi arus harmonik yang dihasilkan oleh beban.

Sedikit sekali yang dapat dilakukan terhadap peralatan beban yang ada untuk mengurangi kuantitas harmonik yang dihasilkan. Hubungan

transformator delta dapat digunakan untuk memblok triplen harmonik pada sistem tiga fasa.

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

Filter *shunt* bekerja dengan menghubungsingkatkan arus harmonik sedekat mungkin kepada sumber distorsi untuk menjaga agar arus harmonik tetap jauh dari sistem.

- c. Merubah respon frekuensi dengan menggunakan filter, induktor, dan kapasitor.

Beberapa metodenya adalah menambah filter *shunt*, menambah reaktor, mengubah ukuran kapasitor, memindahkan kapasitor pada titik dengan *losses* terbesar, dan melepas kapasitor jika memungkinkan.

## 2.7 DESAIN FILTER

Ada dua jenis filter, filter aktif dan filter pasif. Filter pasif banyak digunakan di industri namun memiliki kelemahan, yaitu bergantung pada impedansi, frekuensi sistem, dan toleransi komponen. Pemasangan filter memiliki dua tujuan, yaitu:

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

Ada dua jenis filter pasif, yaitu filter seri dan filter *shunt*. Filter seri harus didesain untuk arus maksimum dari rangkaian utama. Sedangkan filter *shunt* hanya membawa arus harmonik dan sebagian arus fundamental yang jauh lebih kecil dari rangkaian utamanya. Karena itu filter *shunt* lebih murah daripada filter seri untuk efektifitas yang sama. Filter *shunt* juga mampu menyuplai daya reaktif pada frekuensi dasar. Dalam banyak aplikasi, biasanya filter *shunt* yang digunakan.

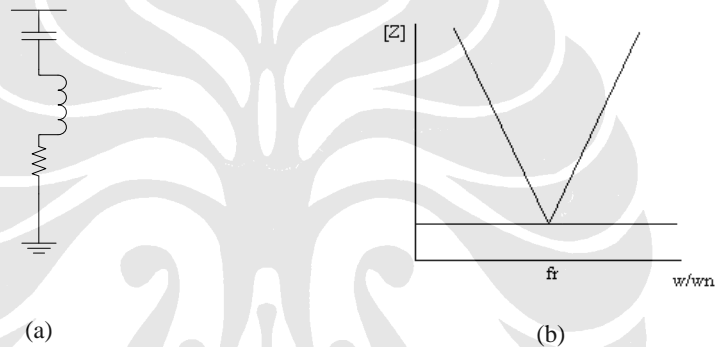
Filter *shunt* yang paling umum digunakan adalah *single tuned filter* dan *damped filter* orde kedua. Kedua jenis filter ini paling sederhana dalam desainnya dan paling murah diimplementasikan.

### 2.7.1 Filter Pasif

Pasif filter terdiri dari induktansi, kapasitansi, dan elemen reaktansi yang diatur untuk mengontrol harmonik. Filter pasif sangat umum digunakan dan tidak mahal dibandingkan pengeliminasi distorsi harmonik yang lain. Kekurangannya adalah adanya kemungkinan untuk berinteraksi dengan sistem tenaga listrik yang dapat merugikan dan penting untuk memeriksa kemungkinan semua interaksi pada saat didesain.

### 2.7.2 Desain *Single Tuned Filter*

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



Gambar 2.6 (a) Rangkaian *single tuned filter*

(b) kurva impedansi terhadap frekuensi

Impedansi *single tuned filter* diberikan oleh persamaan [2]:

$$Z_f = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \quad (2.11)$$

Untuk *magnitude* impedansi *single tuned filter* adalah [2]:

$$|Z_f| = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad (2.12)$$

Resonansi terjadi pada saat nilai reaktansi sama dengan kapasitansi. Filter diatur pada frekuensi  $f_r$ , yang menghasilkan resonansi seri. Berikut adalah persamaannya [2]:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.13)$$

Pada frekuensi  $F_r$ , *single tuned filter* akan memiliki impedansi minimum yang dimana besarnya adalah resistansi  $R$  dari induktor. Filter ini akan menyerap semua arus harmonik yang dekat dengan frekuensi  $F_r$  yang diinjeksikan.

Prinsip dasarnya ialah *single tuned filter* ini dipasang untuk setiap harmonik yang akan dihilangkan. Filter-filter ini dihubungkan pada *busbar* dimana pengurangan tegangan harmonik ditentukan dan membentuk suatu filter bank.

Dua parameter yang perlu dipertimbangkan dalam menentukan nilai  $R$ ,  $L$ , dan  $C$  adalah:

a. Faktor kualitas ( $Q$ )

Kualitas dari filter menunjukkan ketajaman pengaturan filter dalam mengeliminasi harmonik. Dalam *single tuned filter*, faktor kualitas  $Q$  didefinisikan sebagai perbandingan antara induktansi atau kapasitansi pada frekuensi resonansi terhadap resistansi. Persamaannya bisa dinyatakan sebagai berikut [1]:

$$Q = \frac{X_o}{R} \quad (2.14)$$

Filter dengan  $Q$  tinggi diatur pada frekuensi rendah dan nilainya biasanya berkisar antara 30 dan 60. Fiter yang efektif harus memiliki induktor dengan kualitas yang besar, oleh karena itu  $R \ll X_o$  pada frekuensi resonansi. Perkiraan nilai  $Q$  untuk reaktor inti udara adalah 75 dan untuk reaktor inti besi di atasnya [1].

b. Penyimpangan frekuensi relatif ( $\delta$ )

Penyimpangan frekuensi relatif menyatakan perubahan frekuensi dari frkuensi nominal pengaturannya, yang dinyatakan oleh [2]:

$$\delta = \frac{\omega - \omega_n}{\omega} \quad (2.15)$$

Faktor  $\delta$  dipengaruhi oleh:

1. Variasi frekuensi dasar
2. Variasi kapastitansi dan induksi dari filter karena pegaruh suhu dan penuaan.
3. *Initial off-tuning* yang disebabkan oleh toleransi pabrik dan batas ukuran langkah pengaturan.

### 2.7.3 Batasan Komponen Filter

#### 2.7.3.1 Kapasitor

Batas beban yang diperbolehkan berdasarkan standard ANSI/IEEE 18-1980 adalah sebagai berikut [2]:

|                        |         |
|------------------------|---------|
| $k_{VAR}$              | = 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.

#### 2.7.3.2 Induktor

Induktor yang digunakan untuk aplikasi filter biasanya dari tipe inti udara yang memberikan karakteristik linear berkenaan dengan frekuensi dan arus. Toleransi reaktansi  $\pm 5$  % dapat diterima untuk aplikasi sistem tenaga di industri. Parameter-parameter yang dipakai untuk menentukan spesifikasi induktor adalah:

1. Arus pada frekuensi dasar
2. Spektrum arus harmonik
3. Arus hubung singkat
4. Rasio X/R
5. Tegangan sistem
6. BIL (*Basic Insulation Level*)



## BAB III

### LOKASI DAN PROSEDUR PENGUKURAN

#### 3.1 LATAR BELAKANG PERUSAHAAN

PT. X merupakan industri peleburan baja terbesar di Jawa Timur dengan hasil produksi berupa *billet* dan *wire rod* sebagai produk akhir. Perusahaan ini mulai beroperasi sekitar tahun 1970-an dengan berlokasi di Desa Kedungturi, Taman Sepanjang, Sidoarjo.

Divisi-divisi yang ada pada perusahaan ini adalah :

a. *Steel Melting Stations (SMS) Division* sebagai penghasil *billet*

Produk dari *Steel Melting Shop* adalah *billet* dengan bahan dasar *scrap*. Hasil produksi terdapat dalam berbagai macam ukuran yaitu 125 mm, 150 mm, 160 mm dengan panjang 9,2 m dan 4,5 m. Hasil produksinya sebagian di konsumsi sendiri untuk diproses di *Rolling Mill* dan sebagian dipasarkan atau dijual. Kapasitas produksi untuk SMS saat sekarang sebesar 60.000 T per bulan, dengan kemampuan produksi rata-rata sekitar 21 *heat*/20 jam operasi.

Peralatan yang terdapat pada divisi SMS adalah :

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

b. *Rolling Mill Division* sebagai penghasil *Wire-Rod*

*Rolling Mills* memproduksi bahan dasar *billet* menjadi *wire rod coil* dan *deformed bars*, adapun ukuran yang mampu dihasilkan adalah 5,4 mm-17 mm untuk *wire rod*, dan 16 mm-29 mm untuk *deformed bars*. *Rolling Mills* mempunyai 2 jalur produksi:

1. Jalur A

Dengan peralatan :

1. *Walking Hearth Furnace / BRF (Billet Reheating Furnace)*
2. *Horizontal vertical ESS stands from roughing to Block mill*
3. *100mtr/sec No twist 10 stand block mill*
4. *Cooling Conveyor* untuk mendistribusikan koil ke *Finishing Area*
5. *Insulating Hoods for retarded cooling*

## 2. Jalur B

Dengan peralatan :

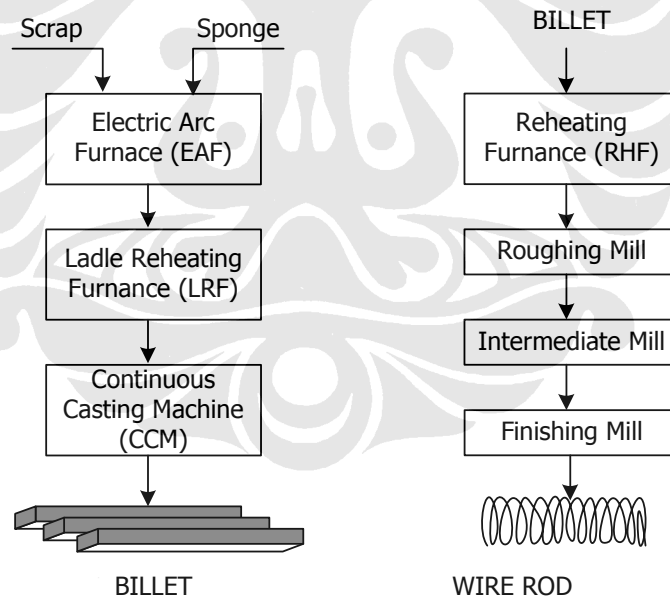
1. *Furnace type pusher / BRF (Billet Reheating Furnace)*
2. *Cross Country Mill*
3. *65 mtr/sec No Twist 8 stand Block Mill*
4. *Cooling Conveyor*

Jumlah produksi untuk *Rolling Mill* sebesar 60.000 T per bulan dengan rincian jalur A 40.000 T per bulan dan jalur B 20.000 T per bulan, untuk kondisi operasi 3 shift per hari.

Produk divisi ini 70% untuk pasar domestik dan 30 % untuk ekspor, dan dewasa ini PT. X memberikan kontribusi sebesar  $\pm 30\%$  dari pasar baja yang ada di Indonesia.

## 3.2 PROSES PRODUKSI

Proses produksi dapat dilihat pada Gambar 3.1,



Gambar 3.1 Blok diagram proses produksi di PT. X [6]

Pada divisi *Steel Melting Stations (SMS) Division* sebagai penghasil *billet*, *scrap* dan *sponge* sebagai *raw material* dipanaskan hingga mencair menggunakan *Electric Arc Furnace*. Selanjutnya cairan panas tersebut dimasukkan kedalam proses *Ladle Reheating Furnace* untuk membentuk komposisi material sesuai

dengan kebutuhan, kemudian material yang telah sesuai komposisinya masuk kedalam proses *continous casting machine* untuk dicetak menjadi *billet* sesuai dengan dimensi yang telah ditentukan.

Pada divisi *Rolling Mill Division* sebagai penghasil *wire-rod, billet* sebagai bahan dasar masuk kedalam *reheating furnace* untuk dipanaskan kembali hingga mudah untuk dibentuk. Selanjutnya diteruskan kedalam proses *roughing mill* untuk dilakukan penarikan bahan dasar yang telah dipanaskan tersebut. Setelah ditarik bahan tersebut masuk kedalam proses *intermediate mill* untuk dibentuk sesuai dengan dimensi *wire* yang diinginkan. Setelah dibentuk sesuai dengan dimensi yang diinginkan, *wire* tersebut masuk kedalam proses *finishing mill* untuk dilapisi, digulung, dan dipotong membentuk *wire rod* sesuai dengan permintaan.

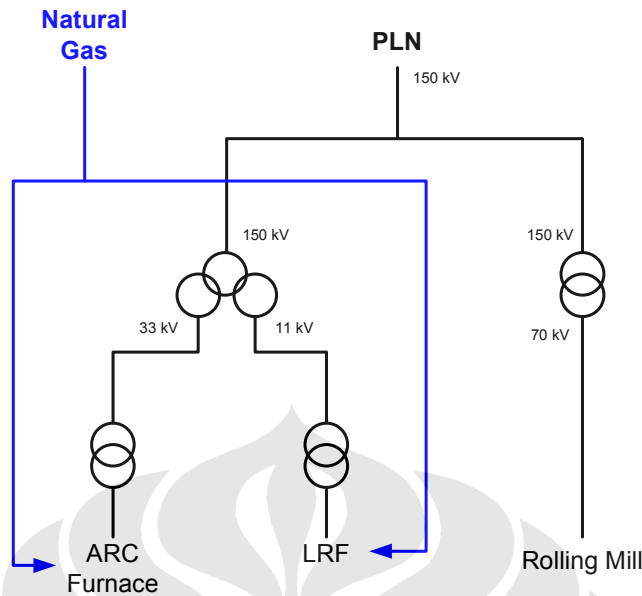
Dalam proses produksinya, PT. X menggunakan sumber energi sebagai berikut :

1. Energi listrik
2. *Natural gas*
3. Oksigen
4. IDO

Energi listrik digunakan pada peralatan produksi utama serta peralatan penunjang seperti pada *Electric Arc Furnace (EAF)*, *Ladle Refining Furnace (LRF)*, *Reheating Furnace*, motor-motor yang menggerakkan *rolling mill, conveyor, pump, fan, air conditioning, kompresor*, begitu pula untuk *oxygen plant*, penerangan dan lainnya. Penggunaan energi listrik pada proses produksi merupakan konsumsi energi terbesar dari seluruh proses produksi di PT. X.

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

Blok diagram untuk sistem kelistrikan di PT. X adalah :



Gambar 3.2 Blok Diagram Proses di PT. X [6]

Berdasarkan data konsumsi energi yang diperoleh, diketahui besarnya konsumsi energi per tahun (tahun 2006) untuk setiap sumber energi adalah sebagai berikut :

1. Listrik = 465.281.600 kWh/tahun
2. Natural Gas = 18.304.017 Nm<sup>3</sup>
3. Oksigen = 26.165.506 Nm<sup>3</sup>
4. IDO = 3.902.483 liter/tahun

### 3.3 PERALATAN PENGUKURAN

Peralatan pengukuran yang digunakan dalam pengambilan data ini ialah *Power Analyzer* bermerk Hioki dengan seri 3169-20. Peralatan ini mampu mengukur harmonik dan spektrumnya yang digunakan sebagai data pengukuran. Peralatan ini juga dapat mengukur komponen listrik seperti tegangan (V) fasa maupun antar fasa, arus (I) saluran, daya kompleks (S), daya nyata (P), daya reaktif (Q), faktor daya, dan frekuensi. Hasil pengukuran dari peralatan ini dapat dilihat melalui program komputer yang dimiliki alat ini. Program yang digunakan adalah *9625 Power Measurement Support Software*.

Hasil pengukuran dari peralatan ini ditransfer ke komputer melalui *port serial* yang dihubungkan antara *Power Analyzer* dengan komputer. Dengan bantuan program yang dimilikinya, hasil pengukuran dapat diamati dan dianalisis

melalui komputer. Bentuk gelombang dan spektrum dari gelombang listrik yang diukur juga dapat diamati untuk memudahkan proses analisis. Berikut adalah gambar dari alat yang digunakan dalam pengukuran dan spesifikasinya terdapat pada bagian lampiran.



Gambar 3.3 Hioki Power Analyzer 3169-20 [7]

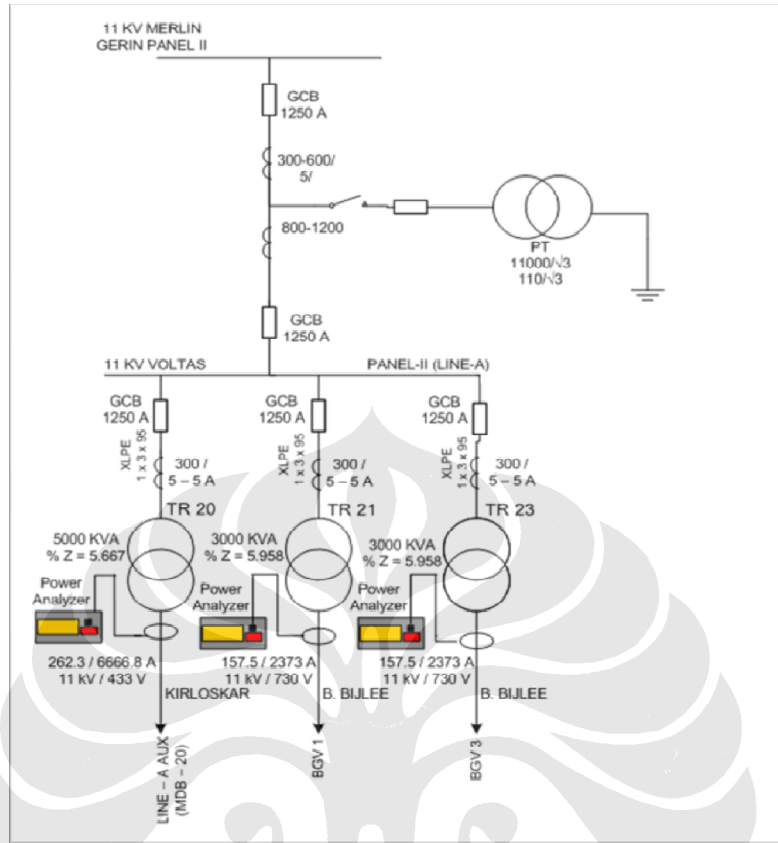
### 3.4 PROSEDUR PENGUKURAN

Agar pengukuran yang dilakukan presisi dan memenuhi syarat maka diperlakukan prosedur pengukuran. Prosedur dari pengukuran yang dilakukan dapat diuraikan melalui langkah-langkah berikut ini.

1. Menyetel peralatan pengukuran.
2. Memasang peralatan pengukuran pada sistem listrik yang akan diukur.
3. Setelah selesai, maka peralatan pengukuran dilepaskan dari sistem listrik yang telah diukur dan dipindahkan ke panel lain yang akan diukur.
4. Ulangi dari langkah 1.
5. Setelah semua data telah didapatkan maka data ditransfer ke komputer melalui *software* yang telah tersedia.

### 3.5 TITIK PENGUKURAN

Pengukuran dilakukan di tiga titik pada sumber-sumber harmonik. Pada kasus ini, motor yang berperan sebagai sumber harmoniknya. Berikut adalah gambar dari titik pengukuran yang dilakukan.



Gambar 3.4 Titik-titik pengukuran

## BAB IV

### HASIL DAN ANALISIS PENGUKURAN

#### 4.1 DATA HASIL PENGUKURAN

Data yang diambil untuk mengetahui karakteristik penggunaan listrik di PT. X ini ialah tegangan (V), arus (I), daya nyata (P), daya reaktif (Q), daya kompleks (S), harmonik tegangan, harmonik arus, dan faktor dayanya (PF). Data-data tersebut akan menunjukkan apakah distorsi harmonik serta faktor daya masih berada dalam batas toleransi atau tidak.

Untuk setiap panelnya, data diambil dalam kurun waktu kurang lebih setengah jam dengan pengambilan data setiap satu menit. Data diambil dalam kondisi beban beroperasi sehingga bisa mewakili karakteristik penggunaan beban di PT. X.

##### 4.1.1 Panel TR 20

Panel TR 20 menyuplai beban-beban di *field area*, *diverter*, pendingin, *conveyor*, *blower*, *compressor*, dan *booster pump*. Tegangan di sisi tegangan rendah sebesar 433 volt (antar fasa) yang merupakan ratingnya.

##### 4.1.1.1 Faktor Daya

Faktor daya merupakan pergeseran fasa antara tegangan dan arus yang didapat dari hasil perkalian bilangan kompleksnya. Faktor daya dapat bersifat *leading* dan *lagging*. Faktor daya yang bersifat *leading* biasanya disebabkan beban-beban yang bersifat kapasitif, sedangkan faktor daya yang bersifat *lagging* umumnya disebabkan oleh beban-beban yang bersifat induktif. Faktor daya yang rendah bisa menimbulkan beberapa dampak negatif seperti memperbesar rugi-rugi saluran, pemborosan kapasitas sistem, mengurangi efisiensi sistem, dan memperbesar biaya operasional apabila terkena denda. Dalam dunia industri, faktor daya harus di atas 0.85 agar tidak terkena denda.

Berikut adalah faktor daya yang di dapat dari hasil pengukuran yang dilakukan di TR 20:

Tabel IV.1 Faktor Daya Tiap Fasa pada TR 20

|                | <b>PF<sub>1</sub></b> | <b>PF<sub>2</sub></b> | <b>PF<sub>3</sub></b> |
|----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>Average</b> | 0.55                  | 0.58                  | 0.56                  |
| <b>Maximum</b> | 0.75                  | 0.77                  | 0.77                  |
| <b>Minimum</b> | 0.42                  | 0.44                  | 0.41                  |

Faktor daya baik pada fasa 1, 2, dan 3 rata-ratanya cukup rendah dan semuanya di bawah 0.85. Ini disebabkan beban-beban yang bersifat induktif masih mendominasi dan bersifat *lagging*. Kapasitor bank yang tersedia kapasitasnya tidak cukup untuk menaikkan faktor dayanya sehingga masih bisa terkena denda yang bisa menyebabkan membesarnya biaya operasional. Untuk memperbaiki faktor dayanya, maka diperlukan penambahan kapasitor bank.

#### 4.1.1.2 Harmonik Tegangan

Harmonik tegangan muncul setelah harmonik arus. Gelombang arus harmonik yang ditimbulkan oleh peralatan beban-non linear akan menyebabkan munculnya distorsi harmonik pada tegangan akibat arus harmonik tersebut sehingga terjadi tegangan jatuh.

Harmonik tegangan merupakan gelombang distorsi yang merusak bentuk gelombang tegangan fundamental yang tadinya berbentuk sinusoidal menjadi non sinusoidal. Harmonik tegangan dapat menyebabkan terjadinya pemanasan dan kualitas operasi yang buruk pada peralatan. Berikut adalah data hasil pengukuran THD tegangan pada TR 20:

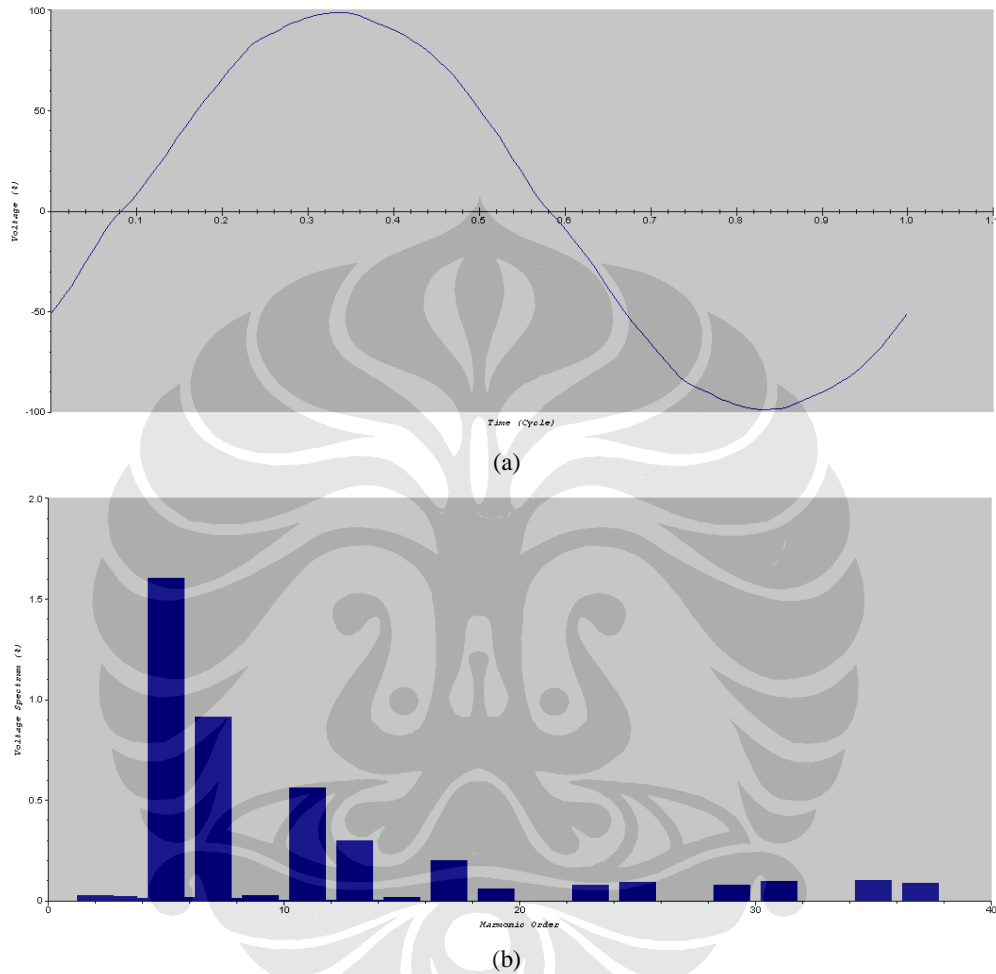
Tabel IV.2 Harmonik Tegangan Tiap Fasa pada TR 20

|                | <b>VOLTAGE HARMONIC</b>  |                          |                          |
|----------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|                | <b>U<sub>1</sub> (%)</b> | <b>U<sub>2</sub> (%)</b> | <b>U<sub>3</sub> (%)</b> |
| <b>Average</b> | 1.15                     | 1.10                     | 1.27                     |
| <b>Maximum</b> | 2.24                     | 2.14                     | 2.46                     |
| <b>Minimum</b> | 0.65                     | 0.55                     | 0.64                     |

Dari data di atas terlihat rata-rata harmonik tegangan berkisar 1 % dan yang terbesar ada pada fasa 3, yaitu 1.27 %. Untuk nilai maksimumnya juga ada pada fasa 3 yang sebesar 2.46 %. Besaran-besaran ini menunjukkan bahwa THD



tegangan (THDv) untuk panel TR 20 masih dalam toleransi dimana batas THDv maksimum sesuai standar IEC adalah 8 % dan tidak membutuhkan filter untuk memperbaiki nilai THDv. Berikut adalah spektrum dan gelombang tegangan harmonik pada saat distorsi harmonik mencapai 2,46 %.



Gambar 4.1 (a) Gelombang harmonik tegangan fasa 3

(b) Spektrum harmonik tegangan fasa 3

Dari gambar di atas terlihat pada saat THD tegangan maksimum, gelombang tegangannya masih cukup baik dan tetap membentuk sinusoidal walaupun muncul *ripple* yang menandakan terjadinya harmonik. Dari spektrum frekuensi juga terlihat harmonik tegangannya muncul pada orde 3, 5, 7, 11, 13, 23, 25, 35, dan 37. Namun secara keseluruhan tetap hanya menghasilkan THD tegangan yang kecil dan masih dalam batas toleransi.

#### 4.1.1.3 Harmonik Arus

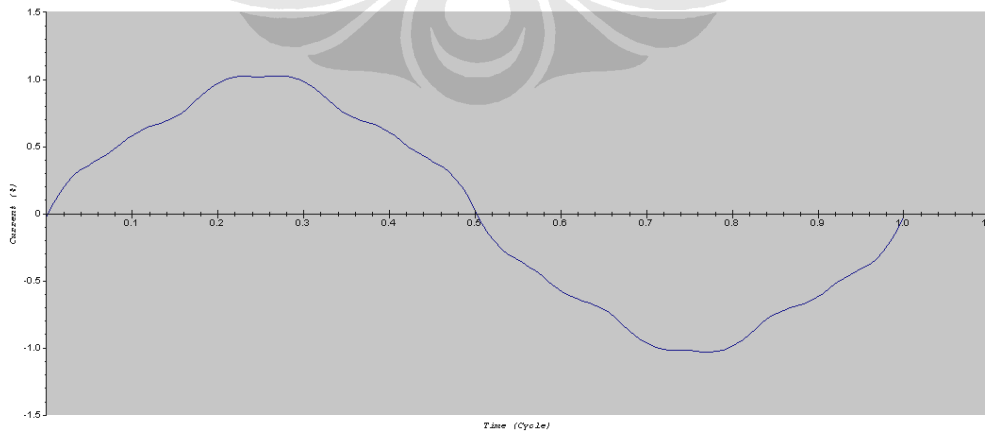
Harmonik arus merupakan gelombang distorsi yang dapat merusak gelombang fundamental arus sehingga menjadi tidak sinusoidal murni. Pada dasar teori telah dijelaskan penyebab utama timbulnya harmonik adalah beban non linear seperti komputer, peralatan elektronik, lampu *fluorescent*, UPS, *variable speed drives*, *DC drives*, dan lain-lain. Munculnya harmonik arus ini bisa menyebabkan beberapa kerugian pada operasi peralatan diantaranya pemanasan, *neutral overloading*, penurunan umur peralatan, dan peningkatan konsumsi kWh.

Berikut adalah data harmonik arus yang didapat dari hasil pengukuran di TR 20:

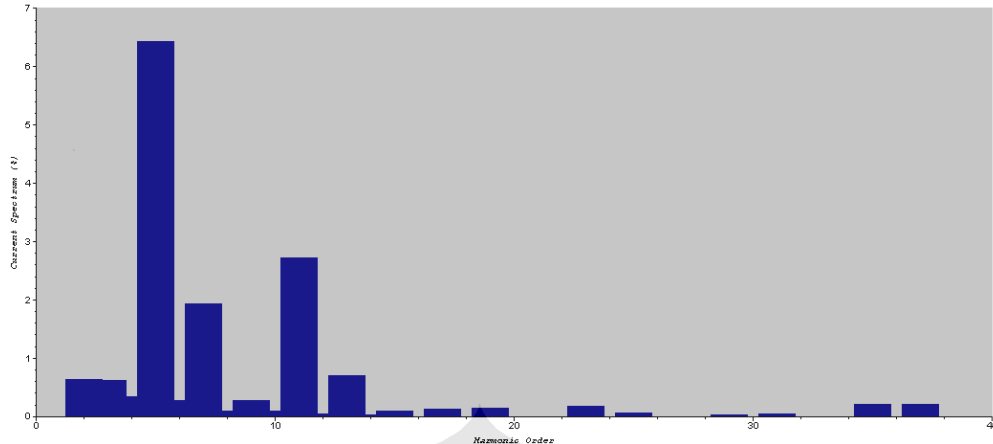
Tabel IV.3 Harmonik Arus Tiap Fasa pada TR 20

|                | CURRENT HARMONIC   |                    |                    |
|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                | I <sub>1</sub> (%) | I <sub>2</sub> (%) | I <sub>3</sub> (%) |
| <b>Average</b> | 4.07               | 4.01               | 4.27               |
| <b>Maximum</b> | 6.51               | 6.24               | 7.28               |
| <b>Minimum</b> | 3.04               | 2.69               | 2.77               |

Dari data di atas, terlihat rata-rata distorsi harmonik pada panel TR 20 berkisar 4 %. Untuk distorsi arus maksimumnya mencapai 7.28 % dimana terdapat pada fasa 3. Berikut adalah spektrum dan gelombang arus harmonik pada saat distorsi arus mencapai 7.28%.



(a)



(b)

Gambar 4.2 (a) Gelombang harmonik arus fasa 3

(b) Spektrum harmonik arus fasa 3

Dari gambar di atas terlihat gelombang arus pada fasa 3 masih cukup bagus dan tetap menyerupai sinusoidal murni walaupun muncul *ripple* yang menandakan harmonik tetap terjadi. Spektrum frekuensi terlihat harmonik muncul pada orde 5, 7, 11, dan 13 namun hanya menghasilkan THD arus yang tidak terlalu besar.

#### 4.1.1.4 Daya Maksimum

Berikut adalah data pengukuran karakteristik daya maksimum untuk setiap fasanya pada TR 20:

Tabel IV.4 Daya Maksimum Tiap Fasa pada TR 20

|                 | Daya     |          |          |         |
|-----------------|----------|----------|----------|---------|
|                 | S1 (kVA) | S2 (kVA) | S3 (kVA) | S (kVA) |
| <b>Maksimum</b> | 411.05   | 423.77   | 402.25   | 1237.07 |

Dari tabel di atas terlihat daya maksimum terdapat pada fasa 2, yaitu sebesar 423.25 kVA. Total daya maksimum pada TR 20 adalah sebesar 1237.07 kVA. Data ini digunakan untuk mendesain filter yang akan dibahas pada sub bab selanjutnya.

#### 4.1.2 Panel TR 21

Panel TR 21 ini menyuplai motor dc dengan 2 kuadran yang berfungsi sebagai bagian dari proses produksi PT. X. Tegangan ratingnya adalah sebesar 730 volt. Bebannya dilihat dari *one line diagram* adalah BGV 1.

##### 4.1.2.1 Faktor Daya

Faktor daya dari data hasil pengukuran didapat sebagai berikut:

Tabel IV.5 Faktor Daya Tiap Fasa pada TR 21

|                | <b>PF<sub>1</sub></b> | <b>PF<sub>2</sub></b> | <b>PF<sub>3</sub></b> |
|----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>Average</b> | 0.73                  | 0.69                  | 0.71                  |
| <b>Maximum</b> | 0.76                  | 0.72                  | 0.74                  |
| <b>Minimum</b> | 0.68                  | 0.64                  | 0.67                  |

Dari data di atas, rata-rata faktor daya untuk ketiga fasanya berkisar 0.7 yang menandakan beban bersifat *lagging*. Faktor daya tiap fasa berada di bawah 0.85 sehingga membutuhkan kapasitor bank sebagai penyedia daya reaktif yang dapat menaikkan besaran faktor daya agar tidak terkena denda yang dapat menaikkan biaya operasional.

##### 4.1.2.2 Harmonik Tegangan

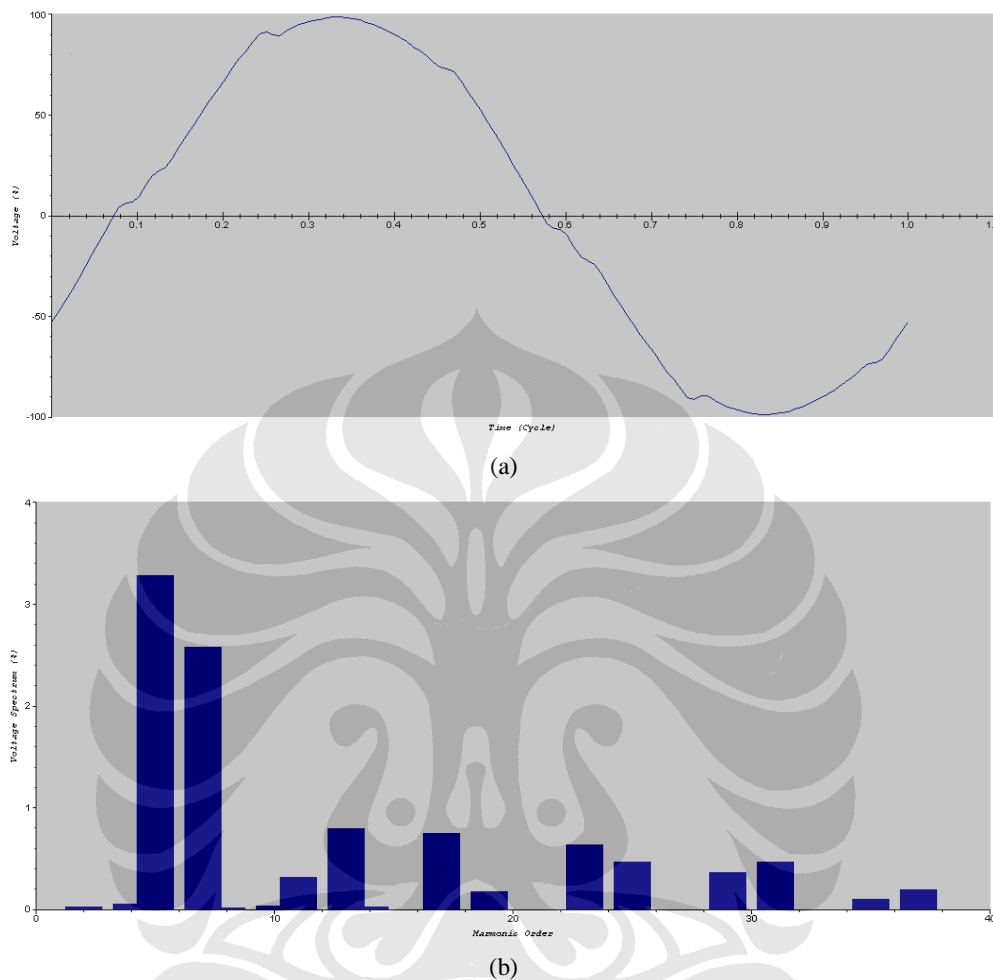
Data yang didapat dari hasil pengukuran harmonik tegangan adalah sebagai berikut:

Tabel IV.6 Harmonik Tegangan Tiap Fasa pada TR 21

|                | <b>VOLTAGE HARMONIC</b>  |                          |                          |
|----------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|                | <b>U<sub>1</sub> (%)</b> | <b>U<sub>2</sub> (%)</b> | <b>U<sub>3</sub> (%)</b> |
| <b>Average</b> | 7.10                     | 6.91                     | 7.14                     |
| <b>Maximum</b> | 9.48                     | 9.07                     | 9.50                     |
| <b>Minimum</b> | 3.70                     | 3.64                     | 3.66                     |

Dari data di atas, rata-rata harmonik tegangan yang terjadi berkisar 7 %. Nilai maksimum THDv terdapat pada fasa 3 sebesar 9.5 %. Nilai-nilai ini menandakan harmonik tegangan pada TR 21 melewati batas toleransi (>8%). Dengan harmonik tegangan yang melewati batas toleransi, maka panel TR 21 membutuhkan filter untuk mereduksi tegangan harmoniknya. Berikut adalah

gambar dari gelombang dan spektrum harmonik pada saat tegangan harmoniknya maksimum di fasa 3, yaitu sebesar 9.50 %:



Gambar 4.3 (a) Gelombang harmonik tegangan fasa 3  
(b) Spektrum frekuensi tegangan fasa 3

Berdasarkan gambar di atas, terlihat gelombang sinusoidal dari tegangan telah mengalami distorsi sehingga tidak lagi membentuk sinusoidal murni. Untuk spektrum frekuensinya, harmonik yang cukup besar terjadi pada orde 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 25, 29, 31, 35, dan 36 sehingga hasil penjumlahannya mengakibatkan THD<sub>v</sub> yang melewati batas toleransi. Harmonik dengan karakteristik seperti ini menandakan beban yang disuplai adalah motor dengan pengaturan kecepatan (ASD) menggunakan PWM [1].

#### 4.1.2.3 Harmonik Arus

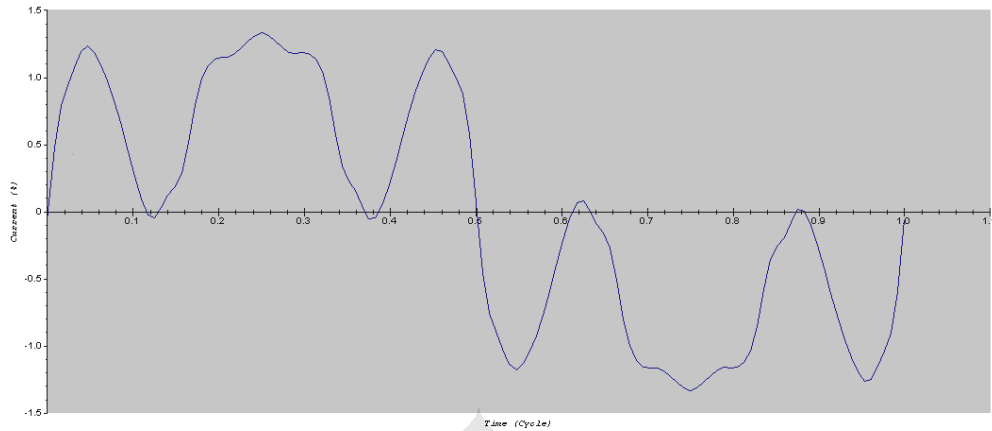
Data hasil pengukuran harmonik arus adalah sebagai berikut:

Tabel IV.7 Harmonik Arus Tiap Fasa pada TR 21

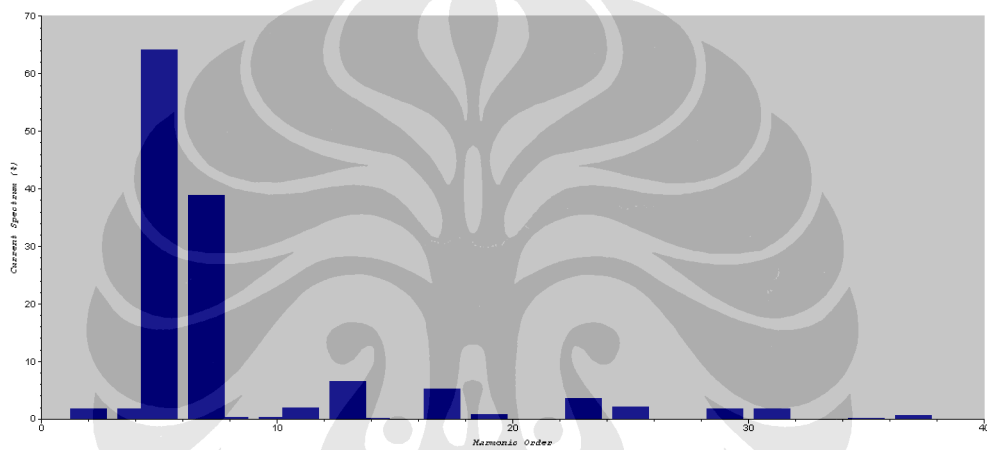
|                | CURRENT HARMONIC   |                    |                    |
|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                | I <sub>1</sub> (%) | I <sub>2</sub> (%) | I <sub>3</sub> (%) |
| <b>Average</b> | 42.37              | 42.30              | 41.86              |
| <b>Maximum</b> | 62.41              | 61.74              | 61.76              |
| <b>Minimum</b> | 32.28              | 32.05              | 31.64              |

Terlihat dari data harmonik arus di atas, THD arus untuk setiap fasanya cukup besar dengan rata-rata tiap fasanya berkisar 42 %. Untuk nilai maksimumnya berkisar 61-62 % dengan fasa 1 yang memiliki nilai maksimum tertinggi sebesar 62.41 %. Nilai THD yang cukup tinggi ini dapat menyebabkan efek-efek negatif seperti pemanasan, *losses*, operasi peralatan yang tidak *reliable*, *neutral overloading*, penurunan umur dari peralatan dan lain-lain. Untuk mencegah efek-efek negatif tersebut, maka perlu digunakan filter pasif untuk mereduksi harmonik arus tersebut.

Seperti telah dijelaskan pada dasar teori, pemasangan filter pasif bertujuan agar tegangan dan arus harmonik dalam jaringan AC sampai ke tingkatan yang dapat diterima. Filter tidak selalu dapat membuat distorsi harmonik mencapai batas toleransi namun setidaknya dapat mengurangi distorsi harmonik tersebut secara signifikan. Fungsi lain dari filter pasif adalah dapat menyediakan semua atau sebagian daya reaktif yang dikonsumsi oleh sumber harmonik atau beban-beban lainnya karena filter pasif terdiri dari elemen induktansi dan juga kapasitansi. Elemen-elemen tersebut atau filter pasif harus didesain sedemikian rupa agar dapat mengendalikan harmonik dengan baik. Berikut adalah spektrum dan gelombang arus harmonik pada saat distorsi arus mencapai nilai maksimum, yaitu 62.41 % pada fasa 1:



(a)



(b)

Gambar 4.4 (a) Gelombang harmonik arus fasa 1

(b) Spektrum frekuensi arus fasa 1

Dari gambar di atas, terlihat gelombang arus harmonik sudah terdistorsi dan tidak lagi membentuk sinusoidal murni. Ini menandakan distorsi harmonik arus cukup besar. Selain itu, bisa dilihat dari spektrum frekuensinya bahwa harmonik yang cukup besar terjadi pada orde 5 dan 7 yang hasil penjumlahannya menyebabkan THDi yang tinggi. Dari dasar teori, harmonik dengan karakteristik seperti ini menandakan beban yang disuplai adalah motor dengan pengaturan kecepatan (ASD) menggunakan PWM.

#### 4.1.2.4 Daya Maksimum

Berikut adalah data hasil pengukuran daya maksimum pada TR 21:

Tabel IV.8 Daya Maksimum Tiap Fasa pada TR 21

|                 | <b>Daya</b>     |                 |                 |                |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|
|                 | <b>S1 (kVA)</b> | <b>S2 (kVA)</b> | <b>S3 (kVA)</b> | <b>S (kVA)</b> |
| <b>Maksimum</b> | 479.33          | 480.51          | 491.5           | 1451.34        |

Dari data di atas terlihat beban maksimum terdapat pada fasa 3 dan total beban pada TR 21 sebesar 1451.34 kVA.

#### 4.1.3 Panel TR 23

Panel TR 23 mempunyai beban yang identik dengan TR 21. Panel TR 21 ini menyuplai motor dc dengan 2 kuadran yang juga berfungsi sebagai bagian dari proses produksi PT. X. Tegangan ratingnya sebesar 730 volt dan sesuai *one line diagram*, beban yg disuplai adalah BGV 3.

##### 4.1.3.1 Faktor Daya

Berikut adalah faktor daya hasil pengukuran dari TR 23:

Tabel IV.9 Faktor Daya Tiap Fasa pada TR 23

|                | <b>PF<sub>1</sub></b> | <b>PF<sub>2</sub></b> | <b>PF<sub>3</sub></b> |
|----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>Average</b> | 0.73                  | 0.72                  | 0.73                  |
| <b>Maximum</b> | 0.74                  | 0.73                  | 0.74                  |
| <b>Minimum</b> | 0.70                  | 0.68                  | 0.70                  |

Dari data di atas, terlihat rata-rata faktor dayanya hanya berkisar 0.72 yang menandakan beban bersifat *lagging*. Faktor daya tiap fasa berada di bawah 0.85 sehingga membutuhkan kapasitor bank sebagai penyedia daya reaktif yang dapat menaikkan besaran faktor daya agar tidak terkena denda yang dapat menaikkan biaya operasional.

##### 4.1.3.2 Harmonik Tegangan

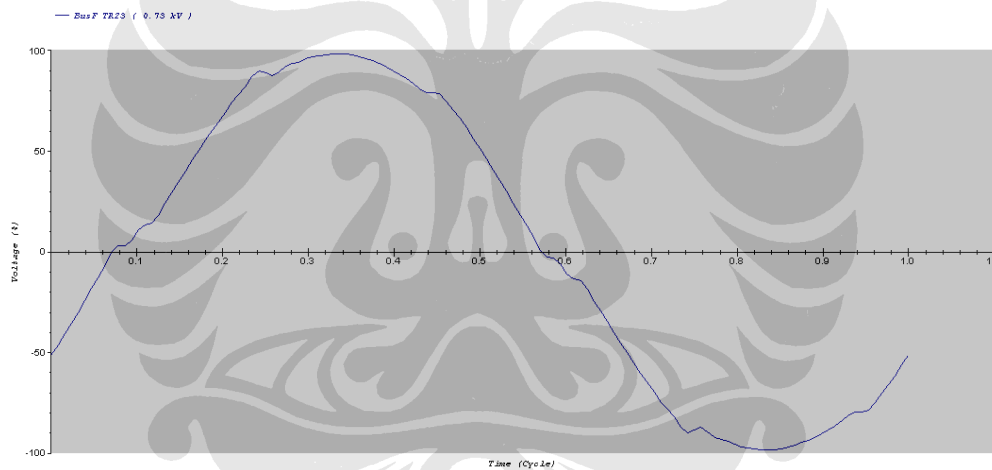
Berikut adalah data harmonik tegangan dari hasil pengukuran:



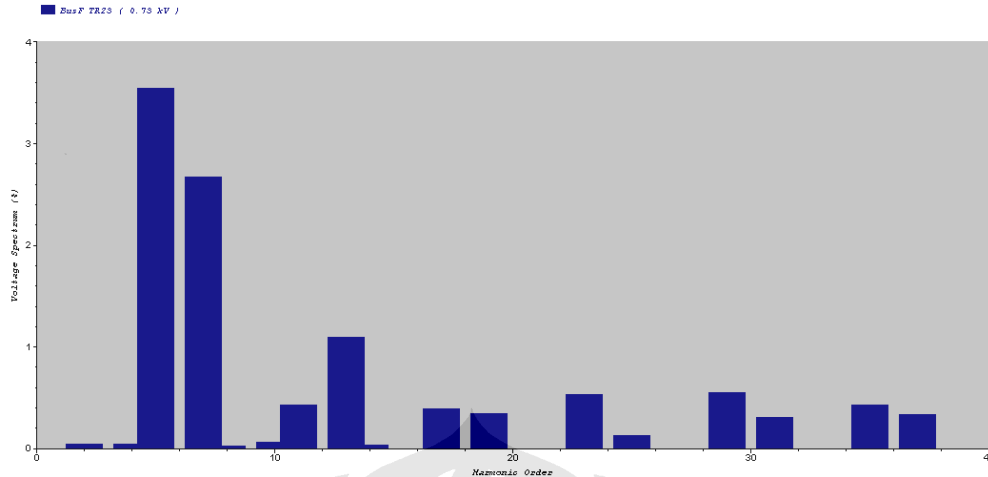
Tabel IV.10 Harmonik Tegangan Tiap Fasa pada TR 23

|                | VOLTAGE HARMONIC   |                    |                    |
|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                | U <sub>1</sub> (%) | U <sub>2</sub> (%) | U <sub>3</sub> (%) |
| <b>Average</b> | 6.86               | 7.27               | 7.32               |
| <b>Maximum</b> | 7.82               | 8.23               | 8.26               |
| <b>Minimum</b> | 3.38               | 3.68               | 3.72               |

Dari data di atas, terlihat THDv dari tiap-tiap fasa rata-ratanya berkisar 7 % dengan nilai maksimum mencapai 8.26 % yang terjadi di fasa 3. Hasil pengukuran ini menunjukkan THDv pada TR 23 ini telah melewati batas toleransi (>8%) dan untuk memperbaiki THDv diperlukan filter pasif. Berikut adalah gambar dari gelombang dan spektrum harmonik pada saat tegangan harmoniknya maksimum di fasa 3, yaitu sebesar 8.26 %:



(a)



(b)

Gambar 4.5 (a) Gelombang harmonik tegangan fasa 3

(b) Spektrum frekuensi tegangan fasa 3

Berdasarkan gambar di atas, terlihat gelombang sinusoidal dari tegangan telah mengalami distorsi sehingga tidak lagi membentuk sinusoidal murni. Untuk spektrum frekuensinya, harmonik yang cukup besar terjadi pada orde 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 25, 29, 31, 35, dan 36 sehingga hasil penjumlahannya mengakibatkan THDv yang melewati batas toleransi. Dari dasar teori, harmonik dengan karakteristik seperti ini menandakan beban yang disuplai adalah motor dengan pengaturan kecepatan (ASD) menggunakan PWM. Ini memperlihatkan jenis beban yang disuplai pada TR 23 sama dengan jenis beban pada TR 21 dan sesuai dengan analisis arus harmonik di atas.

#### 4.1.3.3 Harmonik Arus

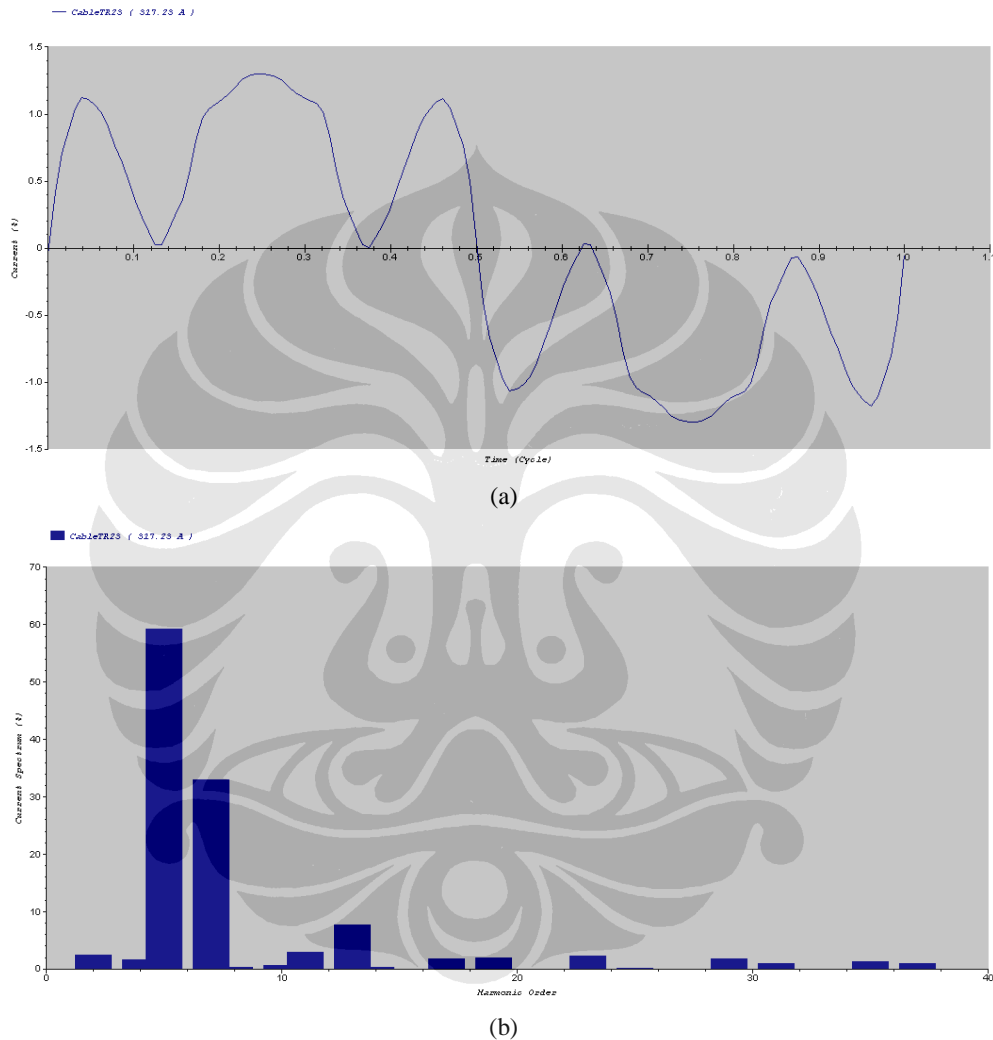
Data hasil pengukuran dari harmonik arus TR 23 adalah sebagai berikut:

Tabel IV.11 Harmonik Arus Tiap Fasa pada TR 23

|                | CURRENT HARMONIC   |                    |                    |
|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                | I <sub>1</sub> (%) | I <sub>2</sub> (%) | I <sub>3</sub> (%) |
| <b>Average</b> | 36.10              | 35.84              | 35.06              |
| <b>Maximum</b> | 58.37              | 57.83              | 57.65              |
| <b>Minimum</b> | 32.56              | 32.24              | 31.65              |

Dari data di atas, rata-rata THDi yang terjadi adalah pada TR 23 berkisar 35 %. Untuk THDi maksimumnya terjadi pada fasa 1 yang mencapai 58.37 %.

Untuk memperbaiki nilai THDi ini diperlukan filter pasif sesuai dengan analisis tegangan harmonik di atas. Filter pasif juga dapat menyediakan daya reaktif yang dibutuhkan untuk menaikkan faktor daya pada TR 23. Berikut adalah spektrum dan gelombang arus harmonik pada saat distorsi arus mencapai nilai maksimum, yaitu 58.37 % pada fasa 1:



Gambar 4.6 (a) Gelombang harmonik arus fasa 1

(b) Spektrum frekuensi arus fasa 1

Dari gambar di atas, terlihat gelombang arus harmonik sudah terdistorsi dan tidak lagi membentuk sinusoidal murni. Ini menandakan distorsi harmonik arus cukup besar. Selain itu, bisa dilihat dari spektrum frekuensinya bahwa harmonik yang cukup besar terjadi pada orde 5, 7, 11, dan 13 yang hasil penjumlahannya menyebabkan THDi yang tinggi. Dari dasar teori, harmonik

dengan karakteristik seperti ini menandakan beban yang disuplai adalah motor dengan pengaturan kecepatan (ASD) menggunakan PWM. Ini memperlihatkan jenis beban yang disuplai oleh panel TR 23 ini sama dengan beban pada panel TR 21.

#### 4.1.3.4 Daya Maksimum

Berikut adalah data dari daya maksimum hasil pengukuran:

Tabel IV.12 Daya Maksimum Tiap Fasa pada TR 23

|                 | <b>Daya</b>     |                 |                 |                |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|
|                 | <b>S1 (kVA)</b> | <b>S2 (kVA)</b> | <b>S3 (kVA)</b> | <b>S (kVA)</b> |
| <b>Maksimum</b> | 473.36          | 469.55          | 477.31          | 1420.22        |

Dari data di atas, terlihat beban paling besar terjadi pada fasa 3 sebesar 477.31 kVA dimana total daya maksimum pada TR 23 sebesar 1420.22 kVA.

## 4.2 DATA PADA SIMULASI

Data yang digunakan dalam mendesain filter pada simulasi dibagi menjadi dua parameter. Pada bagian pertama, data-data yang disimulasikan berdasarkan pada saat TR 20, 21, 23 mencapai THDi tertinggi. Pada bagian yang kedua, data-data yang disimulasikan berdasarkan pada saat TR 20, 21, dan 23 mencapai arus tertinggi. Hal ini dilakukan karena pada saat THDi maksimum, beban tidak berada dalam kondisi maksimum sedangkan rugi-rugi daya terbesar terjadi pada saat beban dalam kondisi maksimum. Dengan melakukan simulasi berdasarkan dua keadaan di atas dan menganalisis hasilnya, maka akan didapatkan hasil yang optimal dalam menempatkan filter pasif untuk mengurangi rugi-rugi yang terjadi pada kabel TM.

### 4.2.1 Data Beban Dengan THDi Maksimum

Berikut adalah data-data yang digunakan dalam simulasi dengan THDi maksimum:

Tabel IV.13 THDi Tertinggi pada TR 20

| <i>TR 20 THDi Maksimum</i> |       |             |   |
|----------------------------|-------|-------------|---|
| <b>Waktu</b>               | 14:37 |             |   |
| <b>Fasa</b>                | 3     |             |   |
| <b>THDi</b>                | 7.28% | <b>Orde</b> | 5 |
| <b>I</b>                   | 1344  |             |   |
| <b>THDv</b>                | 2.37% |             |   |

Tabel IV.14 THDi Tertinggi pada TR 21

| <i>TR 21 THDi Maksimum</i> |         |             |   |
|----------------------------|---------|-------------|---|
| <b>Waktu</b>               | 15:45   |             |   |
| <b>Fasa</b>                | 1       |             |   |
| <b>THDi</b>                | 62.41%  | <b>Orde</b> | 5 |
| <b>I</b>                   | 313.3 A |             |   |
| <b>THDv</b>                | 3.70%   |             |   |

Tabel IV.15 THDi Tertinggi pada TR 23

| <i>TR 23 THDi Maksimum</i> |         |             |   |
|----------------------------|---------|-------------|---|
| <b>Waktu</b>               | 16:21   |             |   |
| <b>Fasa</b>                | 1       |             |   |
| <b>THDi</b>                | 58.37%  | <b>Orde</b> | 5 |
| <b>I</b>                   | 372.5 A |             |   |
| <b>THDv</b>                | 3.42%   |             |   |

#### 4.2.2 Data Beban Dengan Arus Maksimum

Berikut adalah data-data yang digunakan dalam simulasi dengan arus maksimum:

Tabel IV.16 Arus Maksimum pada TR 20

| <i>TR 20 Arus Maksimum</i> |          |             |   |
|----------------------------|----------|-------------|---|
| <b>Waktu</b>               | 14:32    |             |   |
| <b>Fasa</b>                | 2        |             |   |
| <b>THDi</b>                | 4.38%    | <b>Orde</b> | 5 |
| <b>I</b>                   | 1755.6 A |             |   |
| <b>THDv</b>                | 1.96%    |             |   |

Tabel IV.17 Arus Maksimum pada TR 21

| <i>TR 21 Arus Maksimum</i> |          |             |   |
|----------------------------|----------|-------------|---|
| <b>Waktu</b>               | 15:43    |             |   |
| <b>Fasa</b>                | 3        |             |   |
| <b>THDi</b>                | 32.34%   | <b>Orde</b> | 5 |
| <b>I</b>                   | 1256.2 A |             |   |
| <b>THDv</b>                | 9.50%    |             |   |

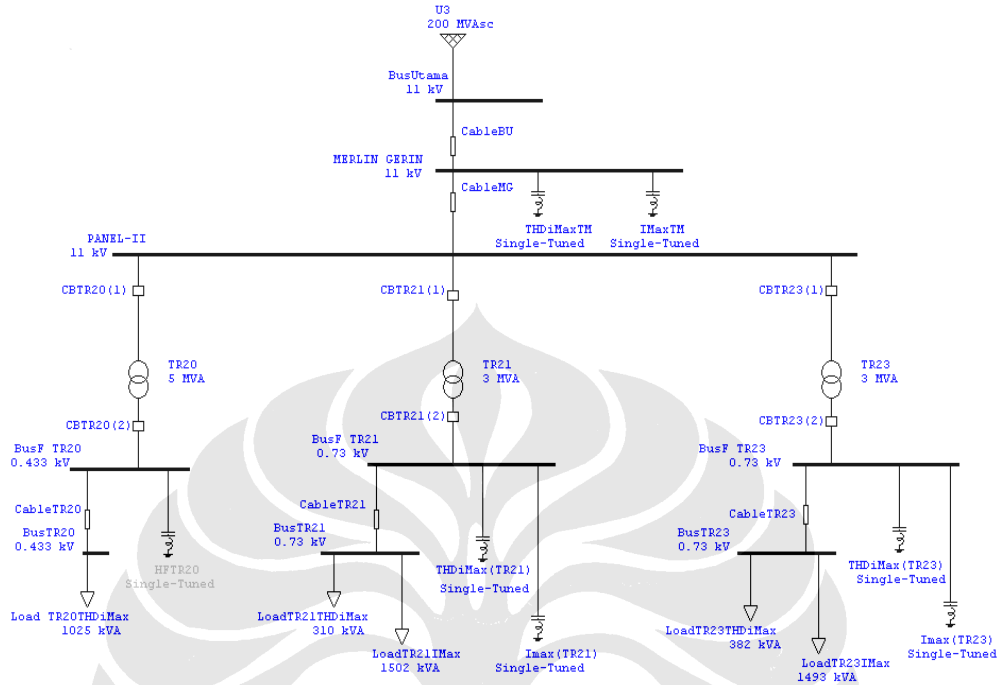
Tabel IV.18 Arus Maksimum pada TR 23

| <i>TR 23 Arus Maksimum</i> |          |             |   |
|----------------------------|----------|-------------|---|
| <b>Waktu</b>               | 16:10    |             |   |
| <b>Fasa</b>                | 3        |             |   |
| <b>THDi</b>                | 31.87%   | <b>Orde</b> | 5 |
| <b>I</b>                   | 1246.9 A |             |   |
| <b>THDv</b>                | 8.26%    |             |   |

#### 4.3 DATA HASIL SIMULASI DI TEGANGAN MENENGAH

Untuk melakukan simulasi digunakan program ETAP Power Station 4.0.0. Dalam program ini dirancang setiap panel memiliki 2 jenis beban. TR 21 dan TR 23 memiliki filter untuk masing-masing beban. Untuk panel TR 20 tidak memerlukan filter karena nilai harmoniknya masih dalam toleransi seperti yang telah dijelaskan pada sub bab sebelumnya. Filter pada kabel TM juga akan dirancang untuk menemukan letak filter yang paling efektif agar rugi-rugi pada kabel TM minimal yang kemudian dibandingkan hasilnya dengan filter-filter yang dipasang pada setiap sumber harmonik (beban).

Berikut adalah desain dari sistem tenaga listrik yang disimulasikan dalam program ETAP:



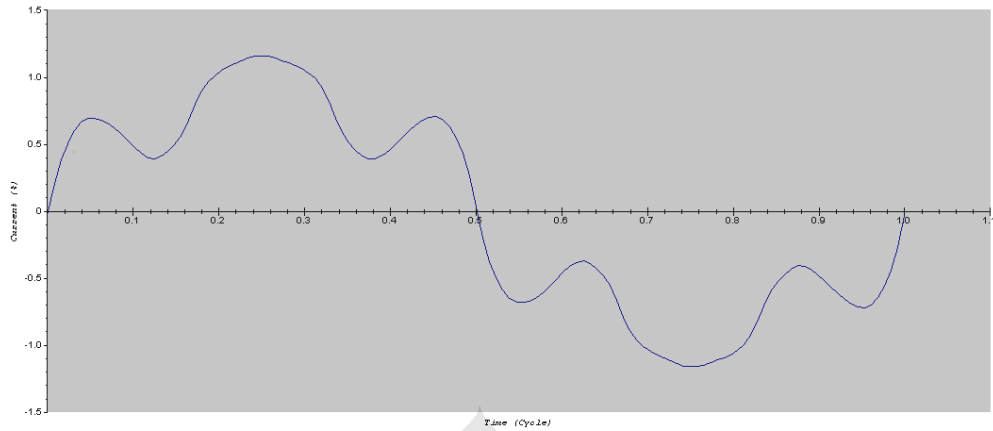
Gambar 4.7 Simulasi sistem tenaga listrik dengan program ETAP

Dari gambar di atas terlihat bus berturut-turut dari Bus Utama, Merlin Gerin, Panel-II, yang kemudian ke bus masing-masing beban yang merupakan tegangan rendah. Spesifikasi dari setiap trafo disesuaikan dengan kondisi sebenarnya dan juga terdapat *circuit breaker* (CB) sebagai pengaman yang bisa diabaikan. Kabel-kabel yang terdapat pada setiap bus merupakan sarana untuk mempermudah dalam menganalisis arus yang mengalir dan resistansinya dibuat serendah mungkin dengan mengatur luas penampangnya agar maksimal. Sesuai dengan persamaan [4]:

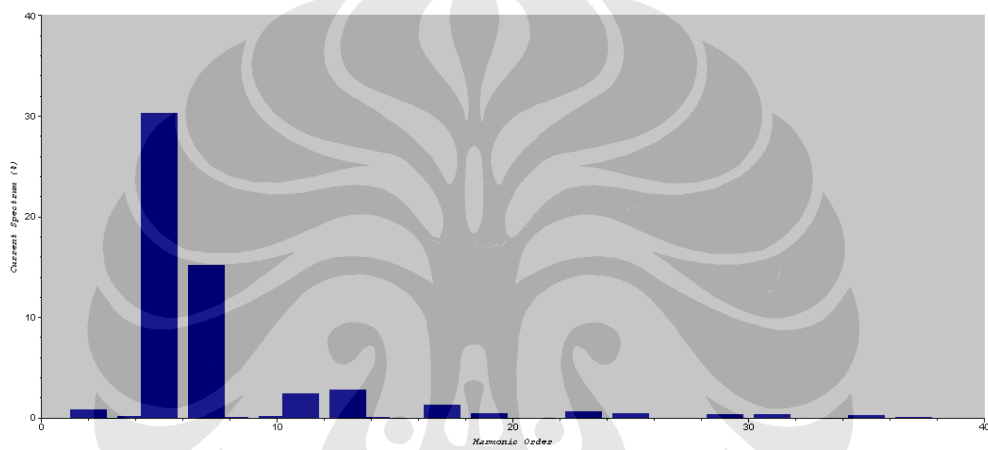
$$R = \rho \frac{l}{A} \tag{4.1}$$

Titik pengamatan ada pada bagian Bus Utama dan pada titik inilah akan dianalisis sehingga didapatkan penempatan filter pasif yang paling optimal.

Berikut adalah gelombang dan spektrum harmonik arus di Bus Utama pada kondisi beban dengan THDi maksimum:



(a)



(b)

Gambar 4.8 (a) Gelombang harmonik arus pada Bus Utama dengan beban THDi maksimum

(b) Spektrum harmonik arus pada Bus Utama dengan beban THDi maksimum

Tabel IV.19 Data harmonik pada Bus Utama dengan Beban THDi Maksimum

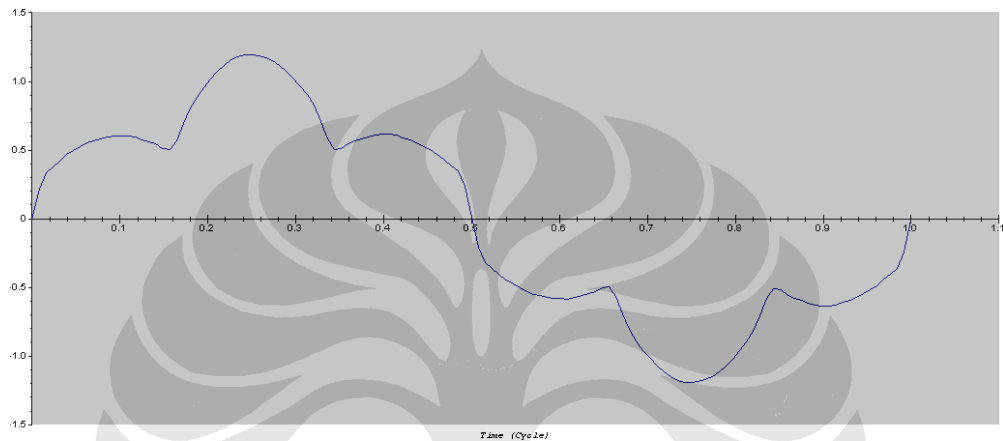
|             |      |      |      |       |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|------|------|------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Orde        | 2    | 3    | 4    | 5     | 6    | 7     | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 17   | 19   | 23   |
| CableBU 87. | 0.83 | 0.00 | 0.17 | 30.33 | 0.00 | 15.15 | 0.10 | 0.00 | 0.14 | 2.39 | 0.00 | 2.76 | 0.06 | 0.00 | 1.26 | 0.46 | 0.68 |
| Orde        | 25   | 29   | 31   | 35    | 37   | 41    | 43   | 47   | 49   | 53   | 55   | 59   | 61   | 65   | 67   | 71   | 73   |
| CableBU 87. | 0.46 | 0.37 | 0.35 | 0.22  | 0.08 | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

Spektrum harmonik arus memperlihatkan harmonik yang cukup besar terjadi pada orde 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 25, 29, dan 31. Ini menandakan beban-beban motor berpengaturan kecepatan (ASD) masih mendominasi di titik TM (Bus Utama). Besar harmonik arus di atas telah melewati standar IEC seperti yang terdapat pada dasar teori. Besar THDi di Bus Utama adalah 34.14 % dengan arus yang mengalir sebesar 92 A. Untuk THDv didapat sebesar 1.57 % dimana untuk

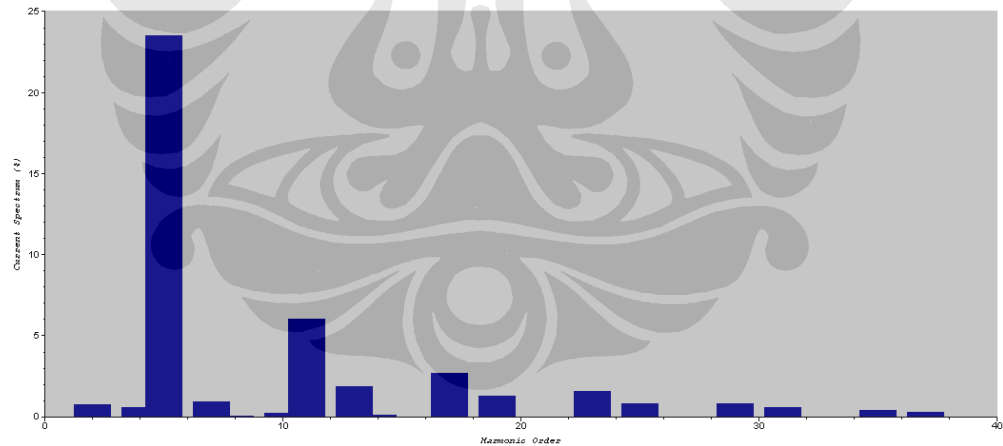


harmonik tegangannya masih berada dalam batas toleransi (<8%). Faktor daya hasil simulasi sebesar 0.66 sehingga membutuhkan perbaikan faktor daya. Dengan kondisi-kondisi di atas, maka diperlukan filter pasif untuk mereduksi harmonik khususnya harmonik arus dan memperbaiki faktor daya di Bus Utama pada kondisi beban THDi maksimum.

Berikut adalah gelombang dan spektrum harmonik arus di Bus Utama pada kondisi beban dengan arus maksimum:



(a)



(b)

Gambar 4.9 (a) Gelombang harmonik arus pada Bus Utama dengan beban arus maksimum  
(b) Spektrum harmonik arus pada Bus Utama dengan arus maksimum

Tabel 4.20 Data harmonik pada Bus Utama dengan Beban Arus Maksimum

|         |         |      |      |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------|---------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| ID      | Fund(A) | 2    | 3    | 4    | 5     | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 17   | 19   | 23   |
| CableBU | 219     | 0.73 | 0.00 | 0.57 | 23.53 | 0.00 | 0.94 | 0.04 | 0.00 | 0.19 | 6.01 | 0.00 | 1.84 | 0.09 | 0.00 | 2.66 | 1.29 | 1.60 |
| ID      | Fund(A) | 25   | 29   | 31   | 35    | 37   | 41   | 43   | 47   | 49   | 53   | 55   | 59   | 61   | 65   | 67   | 71   | 73   |
| CableBU | 219     | 0.83 | 0.83 | 0.59 | 0.38  | 0.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

Dari gambar di atas terlihat gelombang arusnya sudah tidak membentuk sinusoidal murni. Harmonik arus yang terjadi di TM merupakan hasil penjumlahan beban-beban harmonik yang lain yang terjadi pada TR 20, TR 21, dan TR 23 dan menghasilkan gelombang seperti pada gambar di atas. Spektrum harmonik arus memperlihatkan harmonik yang cukup besar terjadi pada orde 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 25, 29, 31, 35, dan 37. Ini menandakan beban-beban motor berpengaturan kecepatan (ASD) masih mendominasi di titik Bus Utama. Besar THDi adalah 24.66 % dengan arus yang mengalir sebesar 226 A. Untuk THDv didapat sebesar 3.21 % dimana untuk harmonik tegangannya tidak melewati batas toleransi (<8%). Besar distorsi harmonik arusnya melebihi batas toleransi dan faktor daya hasil simulasi adalah sebesar 0.71 sehingga membutuhkan perbaikan faktor daya. Dengan kondisi-kondisi di atas, maka diperlukan filter pasif untuk mereduksi harmonik khususnya harmonik arus dan memperbaiki faktor daya di Bus Utama pada kondisi beban arus maksimum.

Daya yang hilang (*losses*) dapat direpresentasikan dengan persamaan berikut [5]:

$$P_{losses} = I^2 R \quad (4.2)$$

Dengan menganggap impedansi tidak berubah untuk jenis beban THDi maksimum maupun arus maksimum, maka besar daya yang hilang akan ditentukan oleh besar arus yang mengalir. Dari data yang telah dipaparkan di atas, arus yang mengalir pada kabel TM sebesar 92 A pada THDi maksimum dan pada arus maksimum sebesar 226 A. Dengan merancang filter pada kedua kondisi di atas dan membandingkan hasilnya melalui simulasi, maka akan didapatkan penempatan filter yang paling optimal dan efektif dalam mengurangi rugi-rugi yang terjadi pada kabel Bus Utama (TM).

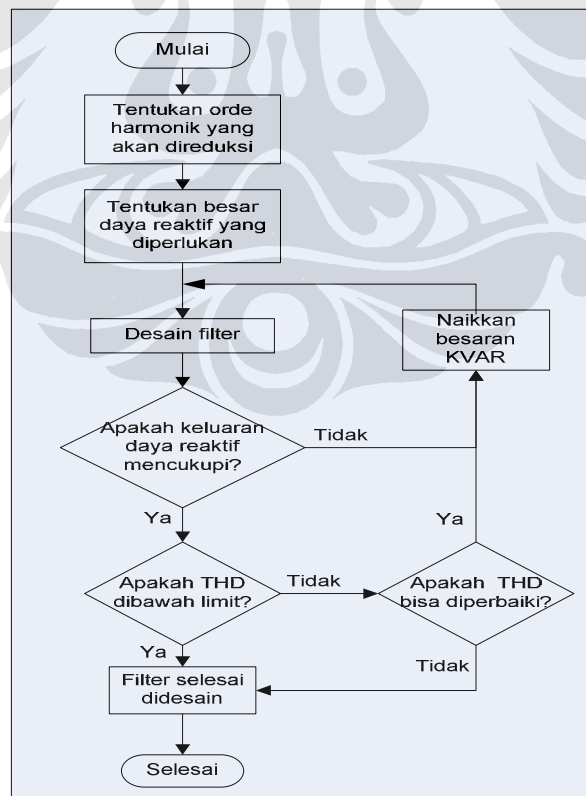
# BAB V

## DESAIN FILTER PASIF DAN ANALISIS HASIL SIMULASI

### 5.1 SIMULASI MENGGUNAKAN PROGRAM ETAP 4.0.0

Simulasi berasal dari kata *simulate* yang berarti berbuat seolah-olah. Simulasi pada skripsi ini dimaksudkan untuk membuat suatu kondisi yang dapat mewakilkan kondisi yang sesungguhnya dan tentunya dengan batasan-batasan tertentu melalui perangkat lunak ETAP 4.0.0. Kondisinya dibuat sedekat mungkin agar benar-benar dapat mewakilkan sistem yang sesungguhnya tanpa adanya gangguan.

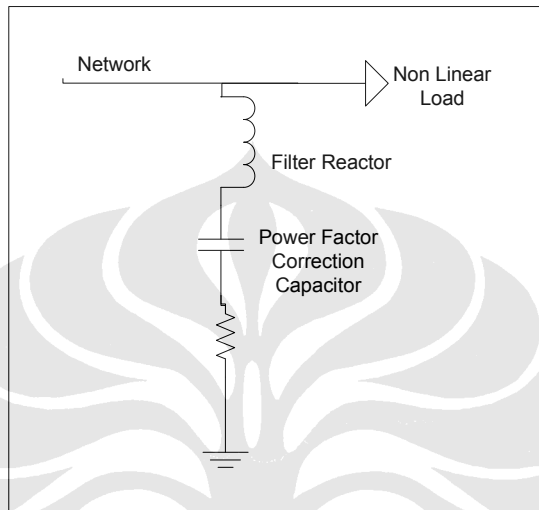
Diagram alir diperlukan sebagai acuan dalam melakukan simulasi. Berikut adalah diagram alir dari simulasi yang dilakukan pada skripsi ini dalam mendesain filter:



Gambar 5.1 Diagram alir dari simulasi desain filter

## 5.2 DESAIN FILTER PASIF

Jenis desain filter pasif yang dirancang pada tugas akhir ini adalah *Single Tuned Filter*. Filter pasif jenis ini diterapkan pada sistem berdasarkan pengamatan hasil pengukuran distorsi harmonik yang terjadi pada setiap panel sistem tenaga listrik. Berikut adalah gambar rangkaian filternya:



Gambar 5.2 *Single tuned filter* [8]

Single tuned filter ini dapat juga memperbaiki faktor daya selain mereduksi harmonik karena terdapat bank kapasitor. Pada kasus ini, faktor daya untuk semua panel yang diberikan filter akan diperbaiki sampai mencapai 0.95. Filter ini diatur pada frekuensi sedikit dibawah frekuensi harmonik yang akan direduksi. Hal ini perlu dilakukan sebagai toleransi komponen filter untuk mencegah resonansi yang terjadi dalam sistem pada frekuensi yang mengganggu [2].

Dalam mendesain filter ini dibutuhkan data harmonik arus terbesar, kemudian pada distorsi harmonik arus tersebut dicatat berapa besar orde harmonik tertinggi yang terdapat pada distorsi harmonik tegangannya. Kriteria yang didasarkan pada tegangan harmonik lebih tepat untuk desain filter. Hal ini disebabkan karena lebih mudah menjamin berada dalam batas tegangan yang layak daripada membatasi tingkat arus akibat adanya perubahan impedansi jaringan AC. Untuk tugas akhir ini, akan digunakan data pada saat arus maksimum dan pada saat distorsi harmonik maksimum. Selain filter didesain pada TR 21 dan TR 23, filter akan didesain juga pada titik TM (Merlin Gerin) sehingga

dapat dianalisis keefektifan penempatan filter pasif dalam mengurangi rugi-rugi di titik TM.

Berikut adalah data distorsi harmonik yang dibutuhkan dalam perancangan filter pasif pada panel TR 21 dan TR 23 pada kondisi THDi maksimum dalam simulasi menggunakan ETAP dengan perbaikan faktor daya menjadi 0.95:

Tabel V.1 Data Filter Harmonik TR 21 pada THDi Maksimum

|  |      |             |   |
|--|------|-------------|---|
| <b>THDi Maksimum (%)</b>                     | 76   | <b>Fasa</b> | 1 |
| <b>THDv pada THDi Tertinggi (%)</b>          | 4.46 |             |   |
| <b>Orde Harmonik pada THDv Tertinggi (%)</b> | 3.3  | <b>Orde</b> | 5 |
| <b>PFCC kVAR ON</b>                          | 166  |             |   |

Tabel V.2 Data Filter Harmonik TR 23 pada THDi Maksimum

|  |      |             |   |
|--|------|-------------|---|
| <b>THDi Maksimum (%)</b>                     | 68   | <b>Fasa</b> | 1 |
| <b>THDv pada THDi Tertinggi (%)</b>          | 4.75 |             |   |
| <b>Orde Harmonik pada THDv Tertinggi (%)</b> | 3.56 | <b>Orde</b> | 5 |
| <b>PFCC kVAR ON</b>                          | 189  |             |   |

Berikut adalah data distorsi harmonik yang dibutuhkan dalam perancangan filter pasif pada panel TR 21 dan TR 23 pada kondisi arus maksimum dalam simulasi menggunakan ETAP dengan perbaikan faktor daya menjadi 0.95:

Tabel V.3 Data Filter Harmonik TR 21 pada Arus Maksimum

|  |       |             |   |
|--|-------|-------------|---|
| <b>THDi Maksimum (%)</b>                     | 34    | <b>Fasa</b> | 3 |
| <b>THDv pada THDi Tertinggi (%)</b>          | 10.61 |             |   |
| <b>Orde Harmonik pada THDv Tertinggi (%)</b> | 7.32  | <b>Orde</b> | 5 |
| <b>PFCC kVAR ON</b>                          | 726   |             |   |

Tabel V.4 Data Filter Harmonik TR 23 pada Arus Maksimum

|  |       |             |   |
|--|-------|-------------|---|
| <b>THDi Maksimum (%)</b>                     | 34    | <b>Fasa</b> | 1 |
| <b>THDv pada THDi Tertinggi (%)</b>          | 10.78 |             |   |
| <b>Orde Harmonik pada THDv Tertinggi (%)</b> | 7.16  | <b>Orde</b> | 5 |
| <b>PFCC kVAR ON</b>                          | 662   |             |   |

Berikut adalah data distorsi harmonik yang dibutuhkan dalam perancangan filter pasif pada panel TM pada kondisi THDi maksimum dalam simulasi menggunakan ETAP dengan perbaikan faktor daya menjadi 0.95:

Tabel V.5 Data Filter Harmonik TM pada THDi Maksimum

|  |      |             |   |
|--|------|-------------|---|
| <b>THDi Maksimum (%)</b>                     | 34   | <b>Fasa</b> | 1 |
| <b>THDv pada THDi Tertinggi (%)</b>          | 1.47 |             |   |
| <b>Orde Harmonik pada THDv Tertinggi (%)</b> | 1.23 | <b>Orde</b> | 5 |
| <b>PFCC kVAR ON</b>                          | 878  |             |   |

Tabel V.6 Data Filter Harmonik TM pada Arus Maksimum

|  |      |             |   |
|--|------|-------------|---|
| <b>THDi Maksimum (%)</b>                     | 25   | <b>Fasa</b> | 1 |
| <b>THDv pada THDi Tertinggi (%)</b>          | 3.21 |             |   |
| <b>Orde Harmonik pada THDv Tertinggi (%)</b> | 2.41 | <b>Orde</b> | 5 |
| <b>PFCC kVAR ON</b>                          | 1950 |             |   |

Penentuan besarnya kVAR *actual* dari kapasitor (PFCC kVAR ON) dihitung berdasarkan persamaan berikut [2]:

$$kVAR_{actual} = kVAR_{rated} \left( \frac{kV_{actual}}{kV_{rated}} \right) \quad (5.1)$$

Pada panel TR 21, TR 23, dan TM besarnya *actual voltage* dan *rated voltage* adalah sama, sehingga besarnya kVAR *actual* dan kVAR *rated* juga sama yang nilainya untuk kondisi THDi maksimum berturut-turut TR 21, TR 23, dan TM adalah 166 kVAR, 189 kVAR, dan 878 kVAR. Pada kondisi arus maksimum, didapat 726 kVAR untuk TR 21, 662 kVAR untuk TR 23, dan 1950 kVAR untuk TM..

Arus pada frekuensi fundamental untuk bank kapasitor pada panel-panelnya ditentukan oleh persamaan berikut [2]:

$$I_{FLcap} = \frac{kVAR_{actual}}{\sqrt{3}kV_{actual}} \quad (5.2)$$

Kemudian didapatkan  $I_{FLcap}$  kondisi THDi maksimum pada TR 21 sebesar 131.25 A, pada TR 23 sebesar 150.45 A, dan pada TM sebesar 46.11 A. Untuk kondisi beban arus maksimum pada TR 21 sebesar 575.42 A, pada TR 23 sebesar 524.15 A dan pada TM sebesar 102.37 A.

Impedansi ekivalen satu fasa dari bank kapasitor ditentukan dengan persamaan berikut [2]:

$$X_C = \frac{kV_{rated}^2}{M \text{ var}_{rated}} \quad (5.3)$$

Dari persamaan di atas didapatkan impedansi bank kapasitor ekivalen satu fasa pada THDi maksimum untuk TR 21, TR 23, dan TM berturut-turut adalah 3.211  $\Omega$ , 2.801  $\Omega$ , dan 137.742  $\Omega$ . Pada beban arus maksimum didapatkan impedansi bank kapasitor ekivalen satu fasa untuk TR 21 sebesar 0.732  $\Omega$ , TR 23 sebesar 0.804  $\Omega$  dan TM sebesar 62.035  $\Omega$ .

Untuk impedansi reaktor filter ditentukan dengan persamaan sebagai berikut [2]:

$$X_R = \frac{X_C}{n^2} \quad (5.3)$$

Keterangan:  $n$  = orde harmonik tegangan yang difilter (diatur sedikit dibawah ordenya)

Orde harmonik yang akan difilter pada kedua panel baik pada THDi maksimum dan pada arus maksimum adalah orde 5, sehingga penyetelan diatur sedikit di bawahnya yaitu sebesar 4.8. Impedansi reaktor filter hasil perhitungan pada THDi maksimum untuk TR 21 adalah 0.139  $\Omega$ , untuk TR 23 adalah 0.122  $\Omega$ , dan untuk TM adalah 5.978  $\Omega$ . Untuk beban pada arus maksimum didapatkan impedansi reaktor filter untuk TR 21 sebesar 0.032  $\Omega$ , untuk TR 23 sebesar 0.035  $\Omega$ , dan untuk TM sebesar 2.692  $\Omega$ .

Dengan adanya reaktor filter menyebabkan arus fundamental pada kapasitor meningkat, peningkatannya sebesar  $I_{FLfilter}$  yang bisa ditentukan melalui persamaan berikut [2]:

$$I_{FLfilter} = \frac{V_{bus}}{\sqrt{3}(X_C + X_R)} \quad (5.4)$$

Pada kondisi THDi maksimum, kenaikan arus pada TR 21 sebesar 137.19 A, pada TR 23 sebesar 157.3 A dan pada TM sebesar 48.2 A. Untuk beban arus maksimum maka kenaikan arus pada TR 21 sebesar 602.1 A, pada TR 23 sebesar 548.07 A, dan pada TM sebesar 107.02 A. Dengan adanya kenaikan arus fundamental oleh filter, besarnya kompensasi daya reaktif (kVAR) yang disuplai menjadi lebih besar dari rating kapasitor. Kenaikannya ditentukan oleh persamaan berikut [2]:

$$kVAR_{supplied} = \sqrt{3} * V_{bus} * I_{FLfilter} \quad (5.5)$$

Pada kondisi THDi maksimum, TR 21 didapat sebesar 173.46 kVAR, TR 23 didapat sebesar 198.89 kVAR, dan TM sebesar 918.33 kVAR. Untuk beban arus

maksimum didapat TR 21 sebesar 761.29 kVAR, TR 23 sebesar 692.98 kVAR, dan TM sebesar 2039 kVAR. Pada bab 2 telah dijelaskan bahwa batas kVAR yang diperbolehkan berdasarkan standar ANSI/IEEE 18-1980 adalah 135 %. Untuk panel TR 21, 23, dan TM baik pada kondisi beban THDi maksimum maupun pada arus maksimum hanya berkisar 104 % sehingga masih berada dalam batas toleransi. Berikut adalah informasi hasil desain filter dan spesifikasinya:

Tabel V.7 Informasi Desain Filter dan Spesifikasinya

| Spesifikasi Filter            | THDi Maksimum |        |         | Arus Maksimum |        |        | Satuan   |
|-------------------------------|---------------|--------|---------|---------------|--------|--------|----------|
|                               | TR 21         | TR 23  | TM      | TR 21         | TR 23  | TM     |          |
| Frekuensi Sistem              | 50            | 50     | 50      | 50            | 50     | 50     | Hz       |
| Rating Bank Kapasitor         | 166           | 189    | 878     | 726           | 662    | 1950   | kVAR     |
| Rating Arus Bank Kapasitor    | 131.25        | 150.45 | 46.11   | 575.42        | 524.15 | 102.37 | Amp      |
| Penyetelan Filter Harmonik    | 4.8           | 4.8    | 4.8     | 4.8           | 4.8    | 4.8    | Th       |
| Penyetelan Frekuensi Sistem   | 240           | 240    | 240     | 240           | 240    | 240    | Hz       |
| Impedansi Kapasitor Ekuivalen | 3.211         | 2.801  | 137.742 | 0.732         | 0.804  | 62.035 | $\Omega$ |
| Impedansi Reaktor             | 0.139         | 0.122  | 5.978   | 0.032         | 0.035  | 2.692  | $\Omega$ |
| Arus Beban Penih Filter       | 137.19        | 157.3  | 48.2    | 602.1         | 548.07 | 107.02 | Amp      |

Seperti telah dijelaskan pada bab 2, karakteristik penyetelan filter digambarkan oleh faktor kualitas (Q). Kualitas dari sebuah filter adalah ukuran ketajaman penyetelan filter dalam mereduksi harmonik. Hasil pengukuran dan simulasi rata-rata memperlihatkan harmonik yang besar terjadi pada frekuensi rendah, yaitu harmonik kelima dan ketujuh. 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.

### 5.3 ANALISIS HASIL SIMULASI DI TITIK TEGANGAN MENENGAH

#### 5.3.1 Hasil Simulasi Pada Beban THDi Maksimum

##### 5.3.1.1 Filter Dipasang Pada TR 21

Hasil simulasi memperlihatkan arus yang mengalir pada kabel Bus Utama setelah diberikan filter pada TR 21 adalah sebesar 84 A yang berarti turun 8 A.



Dengan nilai impedansi yang tetap maka *losses* yang terjadi pada kabel Bus Utama berkurang. Untuk nilai THDv turun menjadi 1.26 % dimana nilai ini tetap mencapai batas toleransi (<8%). Nilai THDi setelah pemasangan filter turun menjadi 28 % dimana nilai sebelumnya adalah 34.14 %. Faktor daya setelah pemasangan filter naik menjadi 0.71 yang sebelum pemasangan filter adalah 0.66. Kapasitor sebagai penyedia daya reaktif pada TR 21 tidak cukup untuk menaikkan faktor daya sampai 0.85 pada Bus Utama karena kapasitasnya dibuat untuk menaikkan faktor daya pada TR 21 saja. Berikut adalah data hasil simulasi:

Tabel V.8 Data Simulasi dengan Filter pada TR 21

|                                     | <b>Sebelum Pemasangan Filter</b> | <b>Sesudah Pemasangan Filter</b> | <b>Selisih</b> | <b>Batas IEC</b> |
|-------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------|------------------|
| <b>THDi (%)</b>                     | 34.14                            | 28                               | 6.14           |                  |
| <b>THDv (%)</b>                     | 1.57                             | 1.26                             | 0.31           | <b>8</b>         |
| <b>Arus (A)</b>                     | 92                               | 84                               | 8              |                  |
| <b>Faktor Daya</b>                  | 0.66                             | 0.71                             | -0.05          |                  |
| <b>Harmonik Arus Orde 5 (%)</b>     | 30.33                            | 23.31                            | 7.02           | <b>10.27</b>     |
| <b>Harmonik Tegangan Orde 5 (%)</b> | 1.23                             | 0.88                             | 0.35           | <b>6</b>         |

Data-data di atas memperlihatkan penempatan filter pada TR 21 mampu mereduksi harmonik, memperbaiki faktor daya, dan mengurangi rugi-rugi yang terjadi pada Bus Utama dengan menganggap impedansi tidak berubah. Filter pasif diatur untuk menghilangkan harmonik orde 5 dimana pada data di atas untuk distorsi arus mengalami penurunan yang signifikan menjadi sebesar 23.31 % dari fundamental namun tetap melebihi toleransi (>10.27%). Harmonik tegangan orde 5 juga mengalami penurunan menjadi 0.88 % dan tetap berada dalam batas toleransi (<6%). Harmonik arus yang terjadi pada Bus Utama masih cukup besar dan melewati batas toleransi karena beban dari TR 20 dan TR 23 juga memiliki harmonik, khususnya TR 23 yang nilai harmoniknya besar. Filter pasif *single tuned filter* hanya efektif untuk menurunkan harmonik pada satu orde saja karena pengaturannya berdasarkan orde harmonik yang akan direduksi.

#### 5.3.1.2 Filter Dipasang Pada TR 23

Hasil simulasi untuk penempatan filter pasif pada TR 23 pada kondisi beban THDi maksimum ini memperlihatkan arus yang mengalir pada TM sebesar

83 A yang berarti terjadi penurunan 9 A. Penurunan arus lebih besar pada TR 23 dibandingkan pada TR 21 karena rating arus beban penuh filter pada TR 23 lebih besar sehingga arus yang dapat diredam oleh filter pasif akibat harmonik pada orde 5 lebih banyak dan menghasilkan rugi-rugi yang lebih sedikit. Untuk nilai THDi turun menjadi 27 % dari nilai sebelumnya adalah 34.14 %. Nilai THDv turun menjadi 1.21 % dan masih tetap berada pada batas toleransi (<8%). Nilai faktor daya naik menjadi 0.72 namun tetap terkena denda karena masih di bawah 0.85. Kenaikan faktor daya dengan filter pada TR 23 lebih besar dibandingkan pada saat filter pada TR 21 karena bank kapasitor pada filter TR 23 lebih besar sehingga mampu menyediakan daya reaktif yang lebih banyak untuk seluruh beban. Berikut adalah data hasil simulasi:

V.9 Data Simulasi dengan Filter pada TR 23

|                                 | <b>Sebelum Pemasangan Filter</b> | <b>Sesudah Pemasangan Filter</b> | <b>Selisih</b> | <b>Batas IEC</b> |
|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------|------------------|
| <b>THDi (%)</b>                 | 34.14                            | 27                               | 7.14           |                  |
| <b>THDv (%)</b>                 | 1.57                             | 1.21                             | -0.36          | <b>8</b>         |
| <b>Arus (A)</b>                 | 92                               | 83                               | 9              |                  |
| <b>Faktor Daya</b>              | 0.66                             | 0.72                             | -0.06          |                  |
| <b>Harmonik Arus Orde 5</b>     | 30.33                            | 22.09                            | 8.24           | <b>10.27</b>     |
| <b>Harmonik Tegangan Orde 5</b> | 1.23                             | 0.83                             | 0.4            | <b>6</b>         |

Dari data hasil simulasi di atas memperlihatkan bahwa filter pada TR 23 dapat mereduksi harmonik, memperbaiki faktor daya, dan mengurangi rugi-rugi yang terjadi pada kabel Bus Utama dengan anggapan impedansi yang tidak berubah. Penurunan distorsi arus yang terjadi pada orde 5 sebesar 8.24 % menjadi sebesar 22.09 % dan tetap melewati batas toleransi (>10.27%). Hal ini disebabkan distorsi arus dari TR 20 dan TR 21 cukup besar khususnya pada TR 21 dan filter hanya dirancang berdasarkan beban pada TR 23 saja. Dari data-data di atas, pemasangan filter pada TR 23 memiliki hasil yang lebih baik daripada pemasangan filter pada TR 21 baik dari reduksi harmoniknya maupun perbaikan faktor dayanya.

### 5.3.1.3 Filter Dipasang Pada TR 21 dan 23

Hasil simulasi memperlihatkan arus yang mengalir pada kabel Bus Utama setelah diberikan filter pada TR 21 dan TR 23 adalah 76 A yang berarti turun 16 A dari nilai sebelum pemasangan filter. Penurunan arus yang cukup besar ini disebabkan arus harmonik pada orde 5 baik pada beban TR 21 maupun TR 23 telah diredam oleh filter masing-masing sehingga arus yang masuk ke Bus Utama menjadi lebih kecil. Dengan impedansi saluran yang tetap, maka ini menunjukkan rugi-rugi yang terjadi di kabel Bus Utama berkurang. Selain itu nilai THDi pada Bus Utama berkurang dari yang sebelum pemasangan filter adalah 34.14 % menjadi 22 %. Untuk nilai THDv setelah pemasangan filter didapat sebesar 0.98 % dimana sebelumnya adalah 1.57 % yang berarti masih tetap berada dalam batas toleransi (<8%). Faktor daya meningkat menjadi 0.77 dari 0.66. Berikut adalah data-datanya:

Tabel V.10 Hasil Simulasi dengan Filter pada TR 21 dan TR 23

|                                 | <b>Sebelum Pemasangan Filter</b> | <b>Sesudah Pemasangan Filter</b> | <b>Selisih</b> | <b>Batas IEC</b> |
|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------|------------------|
| <b>THDi (%)</b>                 | 34.14                            | 22                               | 12.14          |                  |
| <b>THDv (%)</b>                 | 1.57                             | 0.98                             | 0.59           | <b>8</b>         |
| <b>Arus (A)</b>                 | 92                               | 76                               | 16             |                  |
| <b>Faktor Daya</b>              | 0.66                             | 0.77                             | -0.11          |                  |
| <b>Harmonik Orde 5</b>          | 30.33                            | 15.82                            | 14.51          | <b>10.27</b>     |
| <b>Harmonik Tegangan orde 5</b> | 1.23                             | 0.55                             | 0.68           | <b>6</b>         |

Data-data di atas menunjukkan filter pada TR 21 dan TR 23 dapat mereduksi distorsi harmonik, menaikkan faktor daya, dan menurunkan rugi-rugi pada Bus Utama. Distorsi harmonik pada orde 5 yang merupakan titik *notch* filter berhasil direduksi cukup besar menjadi 15.82 % dimana nilai sebelum dipasang filter sebesar 30.33 %. Walaupun harmonik pada TR 21 dan TR 23 telah direduksi, distorsi harmonik pada orde 5 tetap melewati batas toleransi karena beban pada TR 20 juga memiliki harmonik meskipun kecil dan ternyata berpengaruh ada keseluruhan sistem. Untuk distorsi harmonik tegangan pada orde 5 turun menjadi 0.55 % dan masih tetap berada dalam batas toleransi (<6%). Dengan membandingkan pemasangan filter pada TR 21 dan TR 23 ini

dibandingkan analisis sebelumnya maka pemasangan filter di dua panel secara bersamaan ini lebih baik karena selain arus harmonik orde 5 lebih banyak yang dapat direduksi, daya reaktif yang disuplai lebih besar sehingga perbaikan faktor dayanya juga lebih besar.

#### 5.3.1.4 Filter Dipasang Pada TM

Hasil simulasi pada saat filter dipasang pada TM menghasilkan penurunan arus sebesar 30 A sehingga arus yang mengalir pada TM menjadi 62 A. Dengan impedansi saluran yang tidak berubah, maka rugi-rugi pada kabel Bus Utama berkurang. Filter yang dipasang pada TM menghasilkan rugi-rugi terkecil dibandingkan pemasangan di tempat lain karena filter dirancang di titik TM yang berarti beban dari TR 20, 21, dan 23 masuk dalam perhitungan sehingga perancangan filter mencakup seluruh beban. Berbeda dengan rancangan filter pada TR 21 dan TR 23, beban harmonik dari TR 20 tidak direduksi namun tetap menyuplai harmonik walaupun distorsi harmoniknya kecil. Begitu juga dalam perancangan kapasitor bank, kebutuhan akan daya reaktif pada seluruh sistem terakomodir dengan baik sehingga faktor daya pada Bus Utama naik menjadi 0.97 yang ikut berperan dalam mengurangi rugi-rugi pada kabel Bus Utama. Nilai faktor daya hasil pemasangan filter di titik TM dapat menghindari terkenanya denda karena nilai faktor dayanya lebih besar dari 0.85. Nilai THDi turun menjadi 27 % dari nilai sebelumnya yang sebesar 34 %. Nilai dari THDv juga berkurang menjadi sebesar 0.98 % dan masih tetap berada dalam batas toleransi (<8%).

Tabel V.11 Hasil Simulasi dengan Filter pada TM

|                                 | <b>Sebelum Pemasangan Filter</b> | <b>Sesudah Pemasangan Filter</b> | <b>Selisih</b> | <b>Batas IEC</b> |
|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------|------------------|
| <b>THDi (%)</b>                 | 34.14                            | 27                               | 7.14           |                  |
| <b>THDv (%)</b>                 | 1.57                             | 0.98                             | 0.59           | <b>8</b>         |
| <b>Arus (A)</b>                 | 92                               | 62                               | 30             |                  |
| <b>Faktor Daya</b>              | 0.66                             | 0.97                             | -0.31          |                  |
| <b>Harmonik Orde 5</b>          | 30.33                            | 18.97                            | 11.36          | <b>10.27</b>     |
| <b>Harmonik Tegangan orde 5</b> | 1.23                             | 0.53                             | 0.7            | <b>6</b>         |

Berdasarkan data-data di atas, pemasangan filter pasif pada TM berhasil mereduksi harmonik, memperbaiki faktor daya, dan menurunkan rugi-rugi pada

Bus Utama. Filter diatur untuk menghilangkan distorsi harmonik pada orde 5 sehingga dari tabel di atas, terlihat harmonik orde 5 dapat direduksi menjadi 16.97 % yang sebelumnya sebesar 30.33 %.

Kekurangan dari filter pasif adalah hanya mampu mereduksi distorsi harmonik pada satu orde tertentu saja dan tidak terlalu efektif apabila distorsi harmonik terjadi di banyak orde. Jenis beban yang mendominasi pada simulasi ini merupakan ASD yang mempunyai ciri-ciri distorsi harmonik yang tinggi pada orde-orde ganjil namun harmonik kelipatan 3 (tripelen harmonik) bernilai nol. Hal ini menyebabkan walaupun filter sudah diatur untuk menghilangkan distorsi harmonik pada orde tertentu (yang paling besar distorsi harmoniknya), distorsi harmonik gabungan pada orde-orde lainnya masih cukup besar sehingga tetap menghasilkan THDi yang tinggi.

Dari hasil simulasi seluruh beban pada kondisi THDi maksimum, maka didapatkan hasil penempatan filterisasi yang paling efektif dalam mengurangi rugi-rugi pada kabel Bus Utama adalah filter pada TM. Dengan penempatan tersebut, maka didapatkan penurunan arus pada kabel Bus Utama sebesar 30 A. Hal ini dikarenakan filter pasif mampu mereduksi arus harmonik pada orde 5 dan kapasitas dari bank kapasitor didesain berdasarkan keseluruhan beban dari TR 20, TR 21, dan TR 23 sehingga mampu menaikkan faktor daya sampai 0.97 yang pada akhirnya menjadi salah satu faktor dalam mengurangi rugi-rugi yang terjadi pada kabel Bus Utama.

### **5.3.2 Hasil Simulasi Pada Beban Arus Maksimum**

#### *5.3.2.1 Filter Dipasang Pada TR 21*

Pada sistem dengan arus maksimum pada setiap beban, didapatkan arus yang mengalir pada kabel Bus Utama sebesar 226 A. Untuk impedansi pada kabel sama dengan kondisi pada saat beban dengan THDi maksimum dan akan terus dianggap konstan untuk semua simulasi pada kondisi beban arus maksimum.

Filter dipasang pada TR 21 menghasilkan penurunan arus sebesar 27 A yang berarti arus yang mengalir pada kabel Bus Utama menjadi sebesar 199 A. Dengan adanya penurunan arus ini, maka rugi-rugi pada kabel Bus Utama berkurang. Untuk nilai THDi turun menjadi 16 % dimana nilai sebelum pemasangan filter adalah 25 %. Nilai THDv turun menjadi 2.2 % yang berarti

masih berada dalam batas toleransi IEC (<8%). Faktor daya mengalami perbaikan menjadi 0.80 yang sebelumnya sebesar 0.71 namun tetap berada di bawah standar sehingga tetap terkena denda.

Tabel V.12 Hasil Simulasi dengan Filter pada TR 21

|                                 | <b>Sebelum Pemasangan Filter</b> | <b>Sesudah Pemasangan Filter</b> | <b>Selisih</b> | <b>Batas IEC</b> |
|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------|------------------|
| <b>THDi (%)</b>                 | 25                               | 16                               | 9              |                  |
| <b>THDv (%)</b>                 | 3.21                             | 2.2                              | 1.01           | <b>8</b>         |
| <b>Arus (A)</b>                 | 226                              | 199                              | 27             |                  |
| <b>Faktor Daya</b>              | 71.4                             | 80.7                             | -9.3           |                  |
| <b>Harmonik Orde 5</b>          | 23.53                            | 13.54                            | 9.99           | <b>10.27</b>     |
| <b>Harmonik Tegangan orde 5</b> | 2.41                             | 1.24                             | 1.17           | <b>6</b>         |

Berdasarkan data di atas, maka terlihat rancangan filter untuk TR 21 mampu mereduksi harmonik, memperbaiki faktor daya, dan mengurangi rugi-rugi yang terjadi pada kabel Bus Utama. Fiter pasif dipasang untuk menghilangkan orde kelima yang dan dari data di atas, distorsi harmonik arus pada orde lima mengalami penurunan yang cukup besar, yaitu dari 23.53 % menjadi 13.54 % tetapi tetap melawati batas toleransi. Hal ini dikarenakan sumber harmonik juga berasal dari TR 20 dan TR 23 sedangkan filter dirancang hanya berdasarkan beban harmonik pada TR 21 sehingga kapasitas filter tidak cukup untuk membuat distorsi arus pada orde lima di Bus Utama mencapai batas toleransi. Untuk distorsi tegangan orde lima juga menngalami penurunan dari 2.41 % menjadi 1.24 % dan masih berada dalam batas toleransi (<6).

### 5.3.2.2 Filter Dipasang Pada TR 23

Hasil simulasi pemasangan filter pada TR 23 memperlihatkan arus yang mengalir pada Bus Utama turun sebesar 26 A yang berarti nilainya menjadi 200 A. Penurunan arus ini apabila dibandingkan pada saat filter diletakkan di TR 21 sedikit lebih kecil karena kapasitas arus beban penuh filter TR 21 lebih besar. Faktor daya pada Bus Utama mengalami perbaikan menjadi 0.79 dimana nilai ini tetap berada di bawah 0.85 sehingga masih dapat terkena denda. Kenaikan ini lebih kecil dibandingkan filter dipasang pada TR 21 karena kapasitas dari bank kapasitor untuk TR 21 lebih besar dibandingkan bank kapasitor pada TR 23.

Untuk nilai THDv mengalami perbaikan menjadi 2.14 % dimana nilai sebelumnya 3.21 % yang berarti nilai ini tetap berada dalam batas toleransi (<8%). Nilai dari THDi juga mengalami penurunan sebesar 10 % dimana nilai distorsi harmonik total arus menjadi 15 %. Berikut adalah data-data hasil simulasi:

Tabel V.13 Hasil Simulasi dengan Filter pada TR 23

|                                 | <b>Sebelum Pemasangan Filter</b> | <b>Sesudah Pemasangan Filter</b> | <b>Selisih</b> | <b>Batas IEC</b> |
|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------|------------------|
| <b>THDi (%)</b>                 | 25                               | 15                               | 10             |                  |
| <b>THDv (%)</b>                 | 3.21                             | 2.14                             | 1.07           | <b>8</b>         |
| <b>Arus (A)</b>                 | 226                              | 200                              | 26             |                  |
| <b>Faktor Daya</b>              | 71.4                             | 79.9                             | -8.5           |                  |
| <b>Harmonik Orde 5</b>          | 23.53                            | 13.65                            | 9.88           | <b>10.27</b>     |
| <b>Harmonik Tegangan orde 5</b> | 2.41                             | 1.26                             | 1.15           | <b>6</b>         |

Berdasarkan hasil simulasi di atas, penempatan filter pada TR 23 mampu mereduksi harmonik, memperbaiki faktor daya, dan mengurangi rugi-rugi yang terjadi pada Kabel Bus Utama. Distorsi harmonik arus pada orde 5 yang merupakan titik pengaturan filter mengalami penurunan menjadi 13.65 % dari nilai sebelumnya yang sebesar 23.53 %. Nilai ini tetap melewati batas toleransi karena filter dirancang berdasarkan beban pada TR 23 saja sedangkan pada Bus Utama merupakan penggabungan beban TR 20, TR 21, dan TR 23. Nilai dari distorsi harmonik tegangan orde lima turun 1.15 % menjadi 1.26 % dan masih tetap berada dalam batas toleransi. Pemasangan filter pada TR 21 masih lebih baik performanya dibandingkan pemasangan filter pada TR 23.

### 5.3.2.3 Filter Dipasang Pada TR 21 dan TR 23

Hasil simulasi dengan filter dipasang pada TR 21 dan TR 23 memperlihatkan penurunan arus pada kabel Bus Utama mencapai 46 A yang berarti arus mengalir pada kabel sebesar 180 A. Dengan impedansi yang dianggap sama, maka rugi-rugi yang terjadi pada penghantar berkurang. Perbaikan faktor daya juga terjadi dan nilainya mencapai 0.89. Nilai faktor daya ini sudah melewati batas minimal yang sebesar 0.85 sehingga tidak terkena denda. Nilai THDv turun menjadi 1.51 % dimana nilai ini masih berada dalam toleransi (<8%). Nilai THDi juga mengalami penurunan sebesar 15 % yang berarti nilainya menjadi 10 %.

Perubahan-perubahan yang terjadi cukup signifikan karena distorsi harmonik yang masuk ke TM dari beban TR 21 dan TR 23 telah diredam oleh filter masing-masing kecuali TR 20 yang dalam analisis awal memang tidak memerlukan filter karena nilai distorsi harmoniknya masih dalam batas toleransi. Berikut adalah data-datanya:

Tabel V.14 Hasil Simulasi dengan Filter pada TR 21 dan TR 23

|                                 | <b>Sebelum Pemasangan Filter</b> | <b>Sesudah Pemasangan Filter</b> | <b>Selisih</b> | <b>Batas IEC</b> |
|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------|------------------|
| <b>THDi (%)</b>                 | 25                               | 10                               | 15             |                  |
| <b>THDv (%)</b>                 | 3.21                             | 1.51                             | 1.7            | <b>8</b>         |
| <b>Arus (A)</b>                 | 226                              | 180                              | 46             |                  |
| <b>Faktor Daya</b>              | 71.4                             | 89.1                             | -17.7          |                  |
| <b>Harmonik Orde 5</b>          | 23.53                            | 4.9                              | 18.63          | <b>10.27</b>     |
| <b>Harmonik Tegangan orde 5</b> | 2.41                             | 0.41                             | 2              | <b>6</b>         |

Dari data hasil simulasi di atas memperlihatkan pemasangan filter pada TR 21 dan TR 23 mampu mereduksi harmonik, memperbaiki faktor daya, dan mengurangi rugi-rugi yang terjadi pada kabel Bus Utama dengan cukup baik. Orde kelima yang merupakan titik pengaturan filter mengalami penurunan yang cukup besar menjadi 4.9 % dan berada dalam batas toleransi (<10.7 %). Berbeda dengan pada saat filter dipasang pada TR 21 atau TR 23 saja, gabungan kedua filter ini mampu mereduksi distorsi harmonik orde kelima pada masing-masing beban sehingga arus yang masuk ke Bus Utama menjadi kecil. TR 20 juga menyuplai harmonik yang kecil dan masih dalam batas toleransi namun masih mampu diatasi oleh filter-filter pada TR 21 dan TR 23. Untuk distorsi harmonik tegangan pada orde lima menjadi 0.41 % yang berarti turun 2 %.

#### 5.3.2.4 Filter Dipasang Pada TM

Simulasi selanjutnya adalah filter dipasang di TM dengan kondisi beban arus maksimum menghasilkan penurunan arus sebesar 62 A yang berarti arus yang mengalir pada kabel Bus Utama menjadi sebesar 164 A. Perbaikan faktor daya menjadi 0.96 sesuai dengan desain filter dimana nilai sebelumnya sebesar 0.71. Faktor daya setelah pemasangan filter di atas 0.85 sehingga dapat mengurangi biaya operasional karena tidak terkena denda. Peningkatan faktor



daya ini lebih besar dibandingkan pemasangan filter di tempat lain karena perhitungan kebutuhan bank kapasitor berdasarkan seluruh beban dari TR 20, TR 21, dan TR 23. Untuk penurunan THDv menjadi 1.8 % dan masih berada dalam batas toleransi (<8%). Nilai THDi juga mengalami penurunan menjadi 11 % dimana nilai sebelumnya adalah 25 %. Berikut data-data hasil simulasi:

Tabel V.15 Hasil Simulasi dengan Filter pada TM

|                                 | <b>Sebelum Pemasangan Filter</b> | <b>Sesudah Pemasangan Filter</b> | <b>Selisih</b> | <b>Batas IEC</b> |
|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------|------------------|
| <b>THDi (%)</b>                 | 25                               | 11                               | 14             |                  |
| <b>THDv (%)</b>                 | 3.21                             | 1.8                              | 1.41           | <b>8</b>         |
| <b>Arus (A)</b>                 | 226                              | 164                              | 62             |                  |
| <b>Faktor Daya</b>              | 71.4                             | 96.1                             | -24.7          |                  |
| <b>Harmonik Orde 5</b>          | 23.53                            | 8.23                             | 15.3           | <b>10.27</b>     |
| <b>Harmonik Tegangan orde 5</b> | 2.41                             | 0.63                             | 1.78           | <b>6</b>         |

Berdasarkan data hasil simulasi di atas, terlihat pemasangan filter pada TM mampu mereduksi harmonik, memperbaiki faktor daya, dan mengurangi rugi-rugi yang terjadi pada Bus Utama. Harmonik yang direduksi merupakan harmonik orde kelima yang berdasarkan data di atas, distorsi harmonik arusnya mengalami penurunan dari 23.53 % menjadi 8.23 % sehingga berada dalam batas toleransi. Untuk distorsi tegangan orde lima turun menjadi 0.63 % dari nilai sebelumnya 2.41 % dan masih berada dalam batas toleransi (<6%).

Kekurangan dari filter pasif seperti telah dijelaskan sebelumnya adalah hanya mampu mereduksi distorsi harmonik pada satu orde tertentu saja. Jenis beban yang mendominasi pada simulasi dengan kondisi beban arus maksimum ini merupakan ASD yang mempunyai ciri-ciri distorsi harmonik yang tinggi pada orde-orde ganjil namun harmonik kelipatan 3 (tripelen harmonik) bernilai nol. Hal ini menyebabkan walaupun filter sudah diatur untuk menghilangkan distorsi harmonik pada orde tertentu (yang paling besar distorsi harmoniknya), distorsi harmonik pada orde-orde lainnya masih cukup besar sehingga tetap menghasilkan THD yang cukup tinggi.

Dari hasil simulasi seluruh beban pada kondisi arus maksimum, maka didapatkan hasil penempatan filterisasi yang paling efektif dalam mengurangi

*losses* pada TM adalah filter pada TM. Dengan penempatan tersebut, maka didapatkan penurunan arus pada kabel Bus Utama sebesar 62 A. Dua faktor penyebab pemasangan filter di TM merupakan yang paling efektif dalam mengurangi rugi-rugi yang terjadi pada kondisi beban arus maksimum adalah kemampuan filter itu sendiri dalam membuang arus distorsi harmonik orde kelima dan desain bank kapasitor yang mampu memenuhi kebutuhan daya reaktif pada seluruh sistem. Faktor daya dengan filter pada TM mencapai 0.96 dimana ini faktor daya ini merupakan yang tertinggi dibandingkan hasil simulasi lain.

#### 5.4 RINGKASAN HASIL SIMULASI DAN PERBANDINGANNYA

Berikut adalah ringkasan hasil simulasi:

Tabel V.16 Ringkasan Hasil Simulasi dengan Beban THDi Maksimum

| THDi Maksimum                | SEBELUM<br>DIFILTER | SETELAH PEMASANGAN FILTER |       |                    |       |
|------------------------------|---------------------|---------------------------|-------|--------------------|-------|
|                              |                     | TR 21                     | TR 23 | TR 21 dan<br>TR 23 | TM    |
| THDi (%)                     | 34.14               | 28                        | 27    | 22                 | 27    |
| THDv (%)                     | 1.57                | 1.26                      | 1.21  | 0.98               | 0.98  |
| Arus (A)                     | 92                  | 84                        | 83    | 76                 | 62    |
| Faktor Daya                  | 0.66                | 0.71                      | 0.72  | 0.77               | 0.97  |
| Harmonik Arus Orde 5 (%)     | 30.33               | 23.31                     | 22.09 | 15.82              | 18.97 |
| Harmonik Tegangan orde 5 (%) | 1.23                | 0.88                      | 0.83  | 0.55               | 0.53  |

Tabel V.17 Ringkasan Hasil Simulasi dengan Beban Arus Maksimum

| Arus Maksimum                | SEBELUM<br>DIFILTER | SETELAH PEMASANGAN FILTER |       |                    |      |
|------------------------------|---------------------|---------------------------|-------|--------------------|------|
|                              |                     | TR 21                     | TR 23 | TR 21 dan<br>TR 23 | TM   |
| THDi (%)                     | 25                  | 16                        | 15    | 10                 | 11   |
| THDv (%)                     | 3.21                | 2.2                       | 2.14  | 1.51               | 1.8  |
| Arus (A)                     | 226                 | 199                       | 200   | 180                | 164  |
| Faktor Daya                  | 71.4                | 80.7                      | 79.9  | 89.1               | 96.1 |
| Harmonik Arus Orde 5 (%)     | 23.53               | 13.54                     | 13.65 | 4.9                | 8.23 |
| Harmonik Tegangan orde 5 (%) | 2.41                | 1.24                      | 1.26  | 0.41               | 0.63 |

Hasil analisis di atas memperlihatkan penempatan filter pasif paling efektif dalam mengurangi rugi-rugi yang terjadi pada kabel Bus Utama baik pada kondisi beban THDi maksimum maupun arus maksimum adalah penempatan filter pada TM. Dengan mengakomodir kebutuhan daya reaktif dari seluruh sistem serta pengaturan filter untuk orde dari distorsi harmonik yang paling besar, maka akan

didapatkan rancangan desain filter paling efektif dalam mengurangi *losses* pada kabel TM.

Apabila dilihat dari penurunan *losses* yang terjadi, maka pemasangan filter berdasarkan beban arus maksimum lebih efektif karena lebih besar penurunan arusnya. Hal ini bisa dilihat berdasarkan tabel berikut:

Tabel V.18 Penurunan Arus pada Titik TM Setelah Pemasangan Filter

| Pemasangan Filter | Penurunan Arus di Sisi TM (A) |               |
|-------------------|-------------------------------|---------------|
|                   | THDi Maksimum                 | Arus Maksimum |
| TR 21             | 8                             | 27            |
| TR 23             | 9                             | 26            |
| TR 21 dan TR 23   | 16                            | 46            |
| TM                | 30                            | 62            |

Berdasarkan data-data ini maka dapat disimpulkan bahwa dalam merancang *single tuned filter* untuk mengurangi rugi-rugi daya yang terjadi pada titik TM, maka lebih efektif rancangan dilakukan berdasarkan beban arus maksimum. *Losses* akan semakin kecil apabila filter diletakkan di titik TM karena penurunan arusnya lebih maksimal.

Apabila dilihat dari sisi harga, maka penempatan filter di TM membutuhkan kapasitas kapasitor yang besar. Desain filter pada beban arus maksimum, kapasitas kapasitornya mencapai 1950 kVAR dan harganya berkisar US\$ 100,000. Sedangkan untuk pemasangan filter di TR 21 dan TR 23 dimana hasil desain filter pada beban arus maksimum kapasitas kapasitornya mencapai 726 kVAR dan 662 kVAR, harga total kedua filter tersebut berkisar US\$ 70,000 [9]. Hal ini menjadi kerugian dari pemasangan filter di titik TM. Walaupun pemasangan filter di TM menghasilkan *losses* yang lebih kecil, namun biayanya akan menjadi lebih mahal dibandingkan pemasangan filter di TR 21 dan TR 23. Kelebihan lain pemasangan filter di titik TM ialah memudahkan dalam perawatan karena hanya ada satu filter saja.

## BAB 6

### KESIMPULAN

1. Hasil analisis pengukuran memperlihatkan panel yang memerlukan filter adalah panel TR 21 dan TR 23 karena harmonik yang terjadi pada kedua panel tersebut telah melewati batas toleransi, sedangkan panel TR 20 masih dalam batas toleransi sehingga tidak memerlukan instalasi filter.
2. Filter yang didesain pada skripsi ini adalah *single tuned filter* karena filter ini memiliki desain yang sederhana dan paling murah untuk diimplementasikan.
3. Pada kondisi beban dengan THDi maksimum, maka penurunan arus yang terjadi pada kabel Bus Utama (TM) untuk setiap variasi penempatan filter adalah sebagai berikut:
  - a. Filter pada TR 21 = 8 A
  - b. Filter pada TR 23 = 9 A
  - c. Filter pada TR 21 dan TR 23 = 16 A
  - d. Filter pada TM (Merlin Gerin) = 30 A

Dari hasil di atas, maka penempatan filter paling efektif dalam mengurangi rugi-rugi daya yang terjadi pada kabel Bus Utama adalah dengan menempatkan filter pada TM.

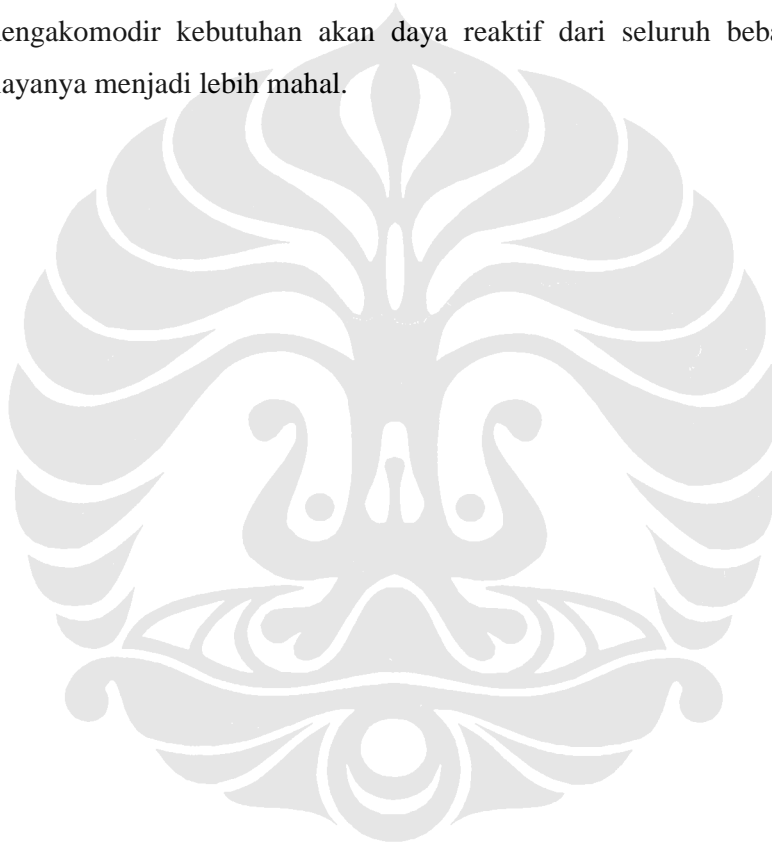
4. Pada kondisi beban dengan arus maksimum, maka penurunan arus yang terjadi pada kabel Bus Utama (TM) untuk setiap variasi penempatan filter adalah sebagai berikut:
  - a. Filter pada TR 21 = 27 A
  - b. Filter pada TR 23 = 26 A
  - c. Filter pada TR 21 dan TR 23 = 46 A
  - d. Filter pada TM (Merlin Gerin) = 62 A

Dari hasil di atas, maka penempatan filter paling efektif dalam mengurangi rugi-rugi daya yang terjadi pada kabel Bus Utama adalah dengan menempatkan filter pada TM.

5. Apabila dilihat dari besarnya penurunan arus, maka desain filter harus berdasarkan beban pada arus maksimum dan filter ditempatkan di sisi TM. Spesifikasi filter hasil desainnya pada skripsi ini adalah:

- Rating bank kapasitor = 1950 kVAR
- Titik pengaturan filter = 4.8
- Impedansi kapasitor = 62.035  $\Omega$
- Impedansi reaktor = 2.692  $\Omega$
- Arus beban penuh filter = 107.02 A

6. Keuntungan menempatkan filter pada TM adalah kemudahan dalam perawatan karena hanya ada satu filter untuk seluruh sistem. Kekurangannya adalah bank kapasitor yang harus disediakan cukup besar karena mengakomodir kebutuhan akan daya reaktif dari seluruh beban sehingga biayanya menjadi lebih mahal.



## 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 2003, hal. 28-36.
- [3] Nurhan Rizqy Averous. “Simulasi Dan Analisis Unjuk Kerja Filter Aktif Shunt Untuk Mengurangi Arus Harmonik Dan Daya Reaktif Di Sisi Catu Sistem Distribusi.” Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok 2003, hal. 4-8.
- [4] E. J. Davies, *Conduction and Induction Heating* (London: Peter Peregrinus Ltd., 1990),.
- [5] Joseph S. Subjak, John S. Mcquilkin,” Harmonic Causes, Effects, Measurements, and Analysis,” *IEEE Transactions On Industry Applications*, Desember 1990, hal. 1035.
- [6] DJLPE, “Audit Energi Sektor Industri Baja, Semen, dan Manufaktur.” 2007.
- [7] Hioki Power Analyzer, <http://www.hioki.com/product/3169/index.html>, diakses tanggal 12 November 2007.
- [8] Rudy Setiabudi, Aji Nur W., ”The Design Of Passive Fiter To Overcome Harmonic Distortion,” *IJJSS Proceedings*, 2006, hal. 317.
- [9] Northeast Power System Inc., <http://www.nepsi.com>, diakses tanggal 15 November 2007 .

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, Reza. "Pengaruh Harmonik pada Power Factor." Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2003.
- Hermawanto, Bambang. "Phenomena Harmonik Di Sitem Distribusi TENaga Listrik." Energi dan Listrik Vol. IV, Juni 1996, hal. 9-14
- Kun-Ping Lin, Ming-Hoon Lin, Tung-Ping Lin,. "An Advanced Code For Single Tuned Harmonic Filter Design," *IEEE Transactions on Power Electronics*, Agustus 1998, hal. 640
- Prihadi, Toni. "Simulasi dan Analisa Desain Filter Pasif Untuk Mengurangi Dstorsi Harmonik pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik." Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2005.
- Roger C. Dugan, *et al.*, *Electrical Power Systems Quality* (New York: McGraw Hill, 2002), hal. 233-252.
- Sianturi, Ronald Ferdinand. "Pengaruh Kapasitas Hubung Singkat Sistem Penyuplai Daya dan Kapasitas Hubung Singkat Kapasitor Terhadap Tegangan Harmonik pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik." Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2003.
- Weedy, B.M., Cory, B.J., *Electrical Power System* (London: John Wiley & Sons Ltd, 2001), hal. 139.
- Zunaedi, Totok. "Eliminasi Harmonik dan Kompensasi Daya Reaktif di PT. Engenys Steel." Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 1999.

# LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Hasil Pengukuran di TR 20

| TIME     | U1[V]  | U2[V]  | U3[V]  | Uave[V] | I1[A]   | I2[A]   | I3[A]   | Iave[A] | PF1  | PF2  | PF3  | PF   |
|----------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|------|------|------|------|
| 14:31:00 | 245.20 | 243.73 | 244.72 | 244.55  | 1489.90 | 1508.50 | 1466.70 | 1488.40 | 0.69 | 0.70 | 0.70 | 0.70 |
| 14:32:00 | 243.25 | 241.50 | 242.78 | 242.51  | 1690.80 | 1755.60 | 1656.90 | 1701.10 | 0.75 | 0.77 | 0.77 | 0.76 |
| 14:33:00 | 242.96 | 241.37 | 242.22 | 242.19  | 1508.70 | 1529.50 | 1471.00 | 1503.10 | 0.73 | 0.74 | 0.73 | 0.73 |
| 14:34:00 | 243.58 | 242.03 | 242.90 | 242.84  | 1620.90 | 1657.90 | 1592.10 | 1623.60 | 0.74 | 0.75 | 0.75 | 0.75 |
| 14:35:00 | 243.13 | 241.76 | 242.40 | 242.43  | 1557.30 | 1570.30 | 1520.80 | 1549.50 | 0.73 | 0.74 | 0.73 | 0.73 |
| 14:36:00 | 242.59 | 241.38 | 242.03 | 242.00  | 1498.60 | 1509.20 | 1477.00 | 1494.90 | 0.70 | 0.71 | 0.70 | 0.70 |
| 14:37:00 | 243.48 | 241.92 | 242.91 | 242.77  | 1369.90 | 1392.40 | 1344.00 | 1368.80 | 0.67 | 0.69 | 0.68 | 0.68 |
| 14:38:00 | 243.81 | 242.34 | 243.24 | 243.13  | 1418.00 | 1457.30 | 1393.10 | 1422.80 | 0.69 | 0.70 | 0.70 | 0.70 |
| 14:39:00 | 253.79 | 253.00 | 253.34 | 253.37  | 1403.60 | 1462.10 | 1385.70 | 1417.10 | 0.60 | 0.63 | 0.63 | 0.62 |
| 14:40:00 | 255.71 | 254.48 | 255.06 | 255.09  | 1322.20 | 1336.80 | 1293.20 | 1317.40 | 0.59 | 0.60 | 0.59 | 0.60 |
| 14:41:00 | 255.28 | 254.09 | 254.70 | 254.69  | 1294.60 | 1309.90 | 1275.60 | 1293.40 | 0.58 | 0.59 | 0.59 | 0.59 |
| 14:42:00 | 256.31 | 254.84 | 255.61 | 255.59  | 1299.60 | 1335.40 | 1267.80 | 1300.90 | 0.58 | 0.61 | 0.60 | 0.59 |
| 14:43:00 | 253.95 | 252.62 | 253.49 | 253.35  | 1206.90 | 1233.30 | 1193.10 | 1211.10 | 0.56 | 0.58 | 0.57 | 0.57 |
| 14:44:00 | 253.88 | 252.54 | 253.33 | 253.25  | 1212.90 | 1238.60 | 1192.00 | 1214.50 | 0.57 | 0.59 | 0.58 | 0.58 |
| 14:45:00 | 254.14 | 252.85 | 253.71 | 253.57  | 1194.60 | 1229.70 | 1176.40 | 1200.20 | 0.57 | 0.59 | 0.58 | 0.58 |
| 14:46:00 | 253.50 | 252.22 | 252.98 | 252.90  | 1076.10 | 1102.70 | 1043.80 | 1074.20 | 0.53 | 0.57 | 0.55 | 0.55 |
| 14:47:00 | 255.38 | 254.03 | 254.87 | 254.76  | 1079.00 | 1110.60 | 1049.80 | 1079.80 | 0.52 | 0.56 | 0.55 | 0.54 |
| 14:48:00 | 255.18 | 253.77 | 254.75 | 254.57  | 1088.40 | 1116.50 | 1058.70 | 1087.90 | 0.54 | 0.57 | 0.56 | 0.56 |
| 14:49:00 | 254.81 | 253.55 | 254.36 | 254.24  | 988.40  | 1002.80 | 961.30  | 984.20  | 0.47 | 0.50 | 0.49 | 0.49 |
| 14:50:00 | 254.14 | 252.91 | 253.95 | 253.67  | 982.10  | 1007.70 | 966.60  | 985.50  | 0.51 | 0.53 | 0.53 | 0.52 |
| 14:51:00 | 255.38 | 254.19 | 254.97 | 254.85  | 1067.90 | 1085.60 | 1033.00 | 1062.20 | 0.55 | 0.58 | 0.56 | 0.56 |
| 14:52:00 | 254.64 | 253.46 | 254.17 | 254.09  | 1048.30 | 1067.70 | 1022.20 | 1046.00 | 0.56 | 0.58 | 0.58 | 0.57 |
| 14:53:00 | 256.48 | 255.42 | 256.17 | 256.02  | 968.00  | 977.80  | 940.20  | 962.00  | 0.45 | 0.48 | 0.46 | 0.46 |
| 14:54:00 | 255.09 | 253.97 | 254.58 | 254.55  | 933.50  | 953.40  | 912.30  | 933.10  | 0.43 | 0.47 | 0.45 | 0.45 |
| 14:55:00 | 255.41 | 254.42 | 255.05 | 254.96  | 943.10  | 952.60  | 921.90  | 939.20  | 0.42 | 0.44 | 0.43 | 0.43 |
| 14:56:00 | 253.45 | 252.53 | 253.32 | 253.10  | 960.70  | 1000.20 | 952.50  | 971.10  | 0.50 | 0.53 | 0.54 | 0.52 |
| 14:57:00 | 253.17 | 252.23 | 252.65 | 252.68  | 877.80  | 886.30  | 847.90  | 870.60  | 0.43 | 0.47 | 0.45 | 0.45 |
| 14:58:00 | 254.95 | 252.69 | 253.67 | 253.77  | 951.70  | 915.00  | 904.80  | 923.80  | 0.43 | 0.47 | 0.41 | 0.43 |
| 14:59:00 | 255.86 | 254.24 | 254.83 | 254.98  | 938.70  | 943.90  | 912.00  | 931.50  | 0.43 | 0.47 | 0.44 | 0.45 |
| 15:00:00 | 253.81 | 252.44 | 253.86 | 253.37  | 911.40  | 920.00  | 912.70  | 914.70  | 0.45 | 0.45 | 0.44 | 0.45 |
| 15:01:00 | 255.09 | 253.50 | 254.46 | 254.35  | 829.30  | 815.40  | 804.90  | 816.50  | 0.44 | 0.47 | 0.43 | 0.45 |
| 15:02:00 | 254.85 | 253.77 | 254.31 | 254.31  | 863.50  | 859.40  | 831.20  | 851.40  | 0.45 | 0.48 | 0.45 | 0.46 |
| 15:03:00 | 254.68 | 253.72 | 254.13 | 254.18  | 824.10  | 822.70  | 800.50  | 815.80  | 0.43 | 0.46 | 0.43 | 0.44 |
| 15:04:00 | 255.15 | 253.83 | 254.13 | 254.37  | 963.80  | 968.20  | 912.80  | 948.30  | 0.56 | 0.60 | 0.57 | 0.58 |
| 15:05:00 | 254.21 | 253.05 | 254.07 | 253.78  | 884.70  | 887.60  | 869.80  | 880.70  | 0.60 | 0.61 | 0.60 | 0.60 |
| 15:06:00 | 256.02 | 255.14 | 255.39 | 255.52  | 839.80  | 845.10  | 808.80  | 831.20  | 0.42 | 0.47 | 0.44 | 0.44 |
| 15:06:16 | 253.35 | 252.40 | 252.77 | 252.84  | 798.40  | 807.00  | 775.10  | 793.50  | 0.44 | 0.48 | 0.45 | 0.46 |



| TIME     | P1[W]  | P2[W]  | P3[W]  | Q1[var] | Q2[var] | Q3[var] | S1[VA] | S2[VA] | S3[VA] | F[Hz] |
|----------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|-------|
| 14:31:00 | 252530 | 257520 | 249680 | 262670  | 262940  | 256920  | 364370 | 368040 | 358260 | 49.86 |
| 14:32:00 | 307470 | 325120 | 310400 | 272810  | 271800  | 255840  | 411050 | 423770 | 402250 | 50.04 |
| 14:33:00 | 265500 | 273080 | 260910 | 251650  | 248270  | 241400  | 365810 | 369070 | 355460 | 49.95 |
| 14:34:00 | 291170 | 300720 | 289630 | 266910  | 265080  | 256900  | 394990 | 400870 | 387150 | 50.02 |
| 14:35:00 | 274070 | 279190 | 267680 | 259820  | 257220  | 251920  | 377650 | 379620 | 367580 | 50.04 |
| 14:36:00 | 254020 | 256450 | 248820 | 259850  | 257280  | 255490  | 363380 | 363260 | 356640 | 50.05 |
| 14:37:00 | 223660 | 230990 | 221770 | 246130  | 245670  | 238730  | 332570 | 337210 | 325840 | 50.00 |
| 14:38:00 | 237140 | 248070 | 237890 | 251660  | 251580  | 241160  | 345790 | 353310 | 338750 | 50.07 |
| 14:39:00 | 215310 | 231410 | 221990 | 283520  | 287140  | 270270  | 356010 | 368790 | 349750 | 50.08 |
| 14:40:00 | 198590 | 205780 | 195730 | 273000  | 271320  | 265290  | 337590 | 340530 | 329680 | 50.06 |
| 14:41:00 | 192180 | 197370 | 190070 | 268790  | 267840  | 263260  | 330430 | 332700 | 324700 | 49.98 |
| 14:42:00 | 192870 | 206320 | 195020 | 272220  | 270640  | 259920  | 333620 | 340320 | 324950 | 50.16 |
| 14:43:00 | 171260 | 178940 | 172940 | 254400  | 253960  | 247350  | 306670 | 310670 | 301810 | 50.17 |
| 14:44:00 | 173990 | 183110 | 174890 | 253860  | 252630  | 244540  | 307770 | 312020 | 300640 | 50.16 |
| 14:45:00 | 171430 | 182370 | 174720 | 250360  | 251860  | 242400  | 303430 | 310960 | 298810 | 50.10 |
| 14:46:00 | 144250 | 157150 | 146040 | 231900  | 228970  | 220060  | 273110 | 277720 | 264110 | 50.09 |
| 14:47:00 | 143680 | 157050 | 147040 | 235090  | 233980  | 223070  | 275530 | 281800 | 267180 | 50.04 |
| 14:48:00 | 148590 | 161100 | 150860 | 233750  | 233060  | 221880  | 276980 | 283320 | 268310 | 50.05 |
| 14:49:00 | 117910 | 127300 | 118190 | 221380  | 219890  | 212190  | 250830 | 254080 | 242880 | 50.02 |
| 14:50:00 | 126010 | 135320 | 128700 | 214890  | 215830  | 207740  | 249110 | 254740 | 244370 | 50.11 |
| 14:51:00 | 149300 | 160530 | 148780 | 228400  | 224550  | 217830  | 272870 | 276030 | 263790 | 50.15 |
| 14:52:00 | 148470 | 157940 | 148410 | 220730  | 219680  | 211190  | 266020 | 270560 | 258130 | 50.20 |
| 14:53:00 | 111450 | 120300 | 110810 | 221150  | 218900  | 213100  | 247640 | 249780 | 240190 | 50.17 |
| 14:54:00 | 102850 | 112600 | 104900 | 214890  | 213830  | 207080  | 238230 | 241670 | 232140 | 50.16 |
| 14:55:00 | 100510 | 108010 | 100260 | 217180  | 217480  | 210910  | 239310 | 242830 | 233530 | 50.08 |
| 14:56:00 | 122400 | 133720 | 128540 | 209710  | 213570  | 202570  | 242820 | 251980 | 239920 | 50.02 |
| 14:57:00 | 96120  | 105660 | 95600  | 200940  | 195800  | 191830  | 222740 | 222490 | 214330 | 50.07 |
| 14:58:00 | 103650 | 106140 | 92110  | 219430  | 201250  | 205180  | 242680 | 227520 | 224910 | 50.01 |
| 14:59:00 | 103530 | 110860 | 102230 | 216000  | 209000  | 206890  | 239530 | 236580 | 230770 | 50.08 |
| 15:00:00 | 103220 | 105020 | 102850 | 206360  | 207970  | 207180  | 230740 | 232990 | 231310 | 50.01 |
| 15:01:00 | 93300  | 96530  | 87300  | 188860  | 182800  | 184250  | 210640 | 206720 | 203890 | 50.05 |
| 15:02:00 | 97870  | 105260 | 93960  | 196300  | 191750  | 188470  | 219340 | 218740 | 210590 | 50.04 |
| 15:03:00 | 90100  | 96170  | 87130  | 189070  | 184740  | 184360  | 209440 | 208280 | 203920 | 50.02 |
| 15:04:00 | 136940 | 148460 | 132550 | 204250  | 195910  | 191050  | 245910 | 245810 | 232530 | 50.05 |
| 15:05:00 | 133640 | 137220 | 130660 | 180510  | 176510  | 176260  | 224590 | 223570 | 219400 | 50.09 |
| 15:06:00 | 90940  | 100370 | 90350  | 195080  | 190460  | 186130  | 215230 | 215290 | 206900 | 50.15 |
| 15:06:16 | 89870  | 97950  | 89850  | 181800  | 177790  | 175920  | 202800 | 202980 | 197530 | 50.18 |

| TIME     | P[W]   | Q[var] | S[VA]   | THDv1[%] | THDv2[%] | THDv3[%] | THDi1[%] | THDi2[%] | THDi3[%] |
|----------|--------|--------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 14:31:00 | 759730 | 782540 | 1090700 | 1.76     | 1.58     | 1.87     | 5.08     | 5.01     | 5.78     |
| 14:32:00 | 942990 | 800450 | 1236900 | 2.00     | 1.96     | 2.09     | 4.94     | 4.38     | 5.36     |
| 14:33:00 | 799490 | 741320 | 1090300 | 2.01     | 1.95     | 2.16     | 4.85     | 4.39     | 5.39     |
| 14:34:00 | 881530 | 788890 | 1183000 | 1.87     | 1.81     | 2.00     | 5.01     | 4.61     | 5.31     |
| 14:35:00 | 820940 | 768960 | 1124800 | 2.04     | 1.91     | 2.19     | 5.59     | 5.64     | 6.20     |
| 14:36:00 | 759290 | 772620 | 1083300 | 2.01     | 1.96     | 2.16     | 4.99     | 5.20     | 5.75     |
| 14:37:00 | 676420 | 730540 | 995610  | 2.13     | 2.10     | 2.37     | 6.51     | 6.24     | 7.28     |
| 14:38:00 | 723110 | 744400 | 1037800 | 2.24     | 2.14     | 2.46     | 5.25     | 5.09     | 5.87     |
| 14:39:00 | 668710 | 840940 | 1074400 | 1.12     | 0.94     | 1.15     | 4.00     | 3.24     | 3.81     |
| 14:40:00 | 600100 | 809600 | 1007800 | 0.69     | 0.67     | 0.79     | 3.38     | 2.89     | 3.11     |
| 14:41:00 | 579620 | 799890 | 987820  | 0.67     | 0.55     | 0.77     | 3.51     | 2.79     | 3.17     |
| 14:42:00 | 594210 | 802780 | 998770  | 0.65     | 0.58     | 0.64     | 3.15     | 2.69     | 2.77     |
| 14:43:00 | 523140 | 755710 | 919110  | 0.75     | 0.69     | 0.87     | 3.88     | 3.48     | 3.61     |
| 14:44:00 | 531990 | 751040 | 920370  | 0.87     | 0.78     | 1.00     | 3.61     | 3.37     | 3.71     |
| 14:45:00 | 528520 | 744620 | 913130  | 0.94     | 0.91     | 1.06     | 3.32     | 3.25     | 3.11     |
| 14:46:00 | 447440 | 680940 | 814790  | 1.16     | 1.09     | 1.27     | 3.62     | 3.55     | 3.72     |
| 14:47:00 | 447780 | 692140 | 824360  | 0.80     | 0.84     | 0.93     | 3.52     | 3.51     | 3.70     |
| 14:48:00 | 460550 | 688690 | 828490  | 1.00     | 0.96     | 1.13     | 3.69     | 3.71     | 4.05     |
| 14:49:00 | 363390 | 653460 | 747710  | 0.90     | 0.86     | 1.05     | 3.89     | 3.97     | 4.20     |
| 14:50:00 | 390020 | 638460 | 748170  | 0.90     | 0.81     | 0.98     | 3.58     | 3.65     | 3.65     |
| 14:51:00 | 458610 | 670790 | 812580  | 0.94     | 0.87     | 0.99     | 3.07     | 3.02     | 3.04     |
| 14:52:00 | 454820 | 651610 | 794640  | 1.10     | 1.04     | 1.19     | 3.04     | 3.18     | 3.39     |
| 14:53:00 | 342550 | 653150 | 737530  | 0.72     | 0.78     | 0.91     | 3.52     | 3.67     | 3.78     |
| 14:54:00 | 320350 | 635800 | 711950  | 0.98     | 0.95     | 1.12     | 4.03     | 4.02     | 4.19     |
| 14:55:00 | 308780 | 645570 | 715610  | 0.86     | 0.81     | 0.95     | 4.01     | 3.90     | 4.15     |
| 14:56:00 | 384670 | 625860 | 734620  | 0.85     | 0.86     | 0.94     | 3.67     | 3.81     | 3.67     |
| 14:57:00 | 297370 | 588570 | 659420  | 0.92     | 0.90     | 1.01     | 4.08     | 4.18     | 4.26     |
| 14:58:00 | 301900 | 625870 | 694870  | 1.05     | 1.07     | 1.23     | 4.01     | 5.30     | 5.57     |
| 14:59:00 | 316620 | 631890 | 706770  | 0.90     | 0.98     | 1.03     | 4.50     | 5.20     | 4.59     |
| 15:00:00 | 311100 | 621520 | 695030  | 1.06     | 0.99     | 1.13     | 4.43     | 4.74     | 4.47     |
| 15:01:00 | 277120 | 555910 | 621150  | 0.81     | 0.80     | 0.93     | 3.85     | 4.08     | 4.26     |
| 15:02:00 | 297080 | 576510 | 648550  | 0.82     | 0.82     | 0.95     | 3.80     | 4.02     | 4.03     |
| 15:03:00 | 273400 | 558180 | 621540  | 1.11     | 1.04     | 1.23     | 4.69     | 4.87     | 4.64     |
| 15:04:00 | 417960 | 591210 | 724030  | 1.04     | 0.95     | 1.15     | 3.13     | 2.93     | 3.13     |
| 15:05:00 | 401510 | 533280 | 667530  | 1.08     | 1.07     | 1.18     | 3.32     | 3.30     | 3.20     |
| 15:06:00 | 281660 | 571670 | 637300  | 0.72     | 0.72     | 0.81     | 3.86     | 3.58     | 3.77     |
| 15:06:16 | 277670 | 535500 | 603210  | 0.96     | 0.89     | 1.00     | 4.19     | 4.14     | 4.10     |

## Lampiran 2 Data Hasil Pengukuran di TR 21

| TIME     | U1[V]  | U2[V]  | U3[V]  | Uave[V] | I1[A]   | I2[A]   | I3[A]   | Iave[A] | PF1  | PF2  | PF3  | PF   |
|----------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|------|------|------|------|
| 15:32:10 | 753.92 | 753.80 | 751.76 | 753.16  | 158.10  | 158.40  | 164.40  | 160.30  | 0.11 | 0.03 | 0.08 | 0.07 |
| 15:33:10 | 754.52 | 754.17 | 751.42 | 753.37  | 133.20  | 131.20  | 134.70  | 133.00  | 0.10 | 0.05 | 0.06 | 0.07 |
| 15:34:10 | 754.08 | 754.27 | 751.62 | 753.33  | 132.40  | 131.40  | 136.70  | 133.50  | 0.11 | 0.04 | 0.07 | 0.07 |
| 15:35:10 | 738.51 | 736.64 | 735.65 | 736.93  | 675.50  | 665.00  | 698.80  | 679.80  | 0.74 | 0.68 | 0.72 | 0.71 |
| 15:36:10 | 744.40 | 744.93 | 742.62 | 743.98  | 451.00  | 447.50  | 468.70  | 455.70  | 0.72 | 0.66 | 0.69 | 0.69 |
| 15:37:10 | 748.88 | 747.85 | 745.96 | 747.56  | 351.10  | 350.10  | 362.40  | 354.60  | 0.71 | 0.66 | 0.68 | 0.68 |
| 15:38:10 | 721.38 | 718.58 | 714.41 | 718.12  | 1085.60 | 1074.90 | 1114.60 | 1091.70 | 0.73 | 0.69 | 0.70 | 0.71 |
| 15:39:10 | 723.37 | 720.22 | 717.53 | 720.37  | 1234.00 | 1230.80 | 1256.20 | 1240.30 | 0.73 | 0.69 | 0.70 | 0.71 |
| 15:40:10 | 752.16 | 749.91 | 747.38 | 749.82  | 318.50  | 323.40  | 330.50  | 324.10  | 0.69 | 0.64 | 0.67 | 0.67 |
| 15:41:10 | 752.44 | 750.88 | 748.65 | 750.66  | 313.30  | 318.50  | 323.70  | 318.50  | 0.68 | 0.64 | 0.67 | 0.66 |
| 15:42:10 | 745.91 | 744.59 | 742.05 | 744.18  | 312.50  | 313.80  | 331.40  | 319.20  | 0.72 | 0.64 | 0.68 | 0.68 |
| 15:43:10 | 718.91 | 716.90 | 712.62 | 716.14  | 1150.50 | 1132.60 | 1172.20 | 1151.80 | 0.75 | 0.71 | 0.72 | 0.73 |
| 15:44:10 | 737.83 | 737.16 | 734.81 | 736.60  | 331.70  | 327.60  | 338.70  | 332.70  | 0.71 | 0.67 | 0.70 | 0.70 |
| 15:45:10 | 718.62 | 717.02 | 713.78 | 716.47  | 1128.70 | 1114.70 | 1153.30 | 1132.20 | 0.75 | 0.71 | 0.72 | 0.73 |
| 15:46:10 | 715.07 | 713.59 | 709.51 | 712.72  | 1186.50 | 1168.00 | 1210.60 | 1188.40 | 0.76 | 0.72 | 0.73 | 0.73 |
| 15:47:10 | 723.36 | 721.00 | 717.72 | 720.69  | 1142.60 | 1131.60 | 1167.40 | 1147.20 | 0.75 | 0.71 | 0.72 | 0.73 |
| 15:48:10 | 721.21 | 718.69 | 716.18 | 718.69  | 1077.80 | 1068.90 | 1104.40 | 1083.70 | 0.75 | 0.71 | 0.72 | 0.72 |
| 15:49:10 | 725.41 | 723.35 | 721.10 | 723.29  | 1176.50 | 1165.00 | 1197.90 | 1179.80 | 0.74 | 0.71 | 0.72 | 0.72 |
| 15:50:10 | 713.02 | 711.34 | 709.08 | 711.15  | 1092.20 | 1080.40 | 1113.90 | 1095.50 | 0.75 | 0.72 | 0.73 | 0.73 |
| 15:51:10 | 707.46 | 706.31 | 704.73 | 706.17  | 1096.10 | 1089.90 | 1123.10 | 1103.00 | 0.76 | 0.72 | 0.74 | 0.74 |
| 15:52:10 | 713.63 | 711.43 | 708.51 | 711.19  | 1146.60 | 1135.10 | 1167.10 | 1149.60 | 0.76 | 0.72 | 0.73 | 0.74 |
| 15:53:10 | 708.66 | 706.84 | 704.14 | 706.55  | 1115.80 | 1102.20 | 1132.90 | 1117.00 | 0.76 | 0.72 | 0.73 | 0.74 |

| TIME     | P1[W]  | P2[W]  | P3[W]  | Q1[var] | Q2[var] | Q3[var] | S1[VA] | S2[VA] | S3[VA] | F[Hz] |
|----------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|-------|
| 15:32:10 | 4750   | 1430   | 3600   | 44680   | 44810   | 46800   | 44930  | 44830  | 46940  | 50.03 |
| 15:33:10 | 3570   | 1910   | 2430   | 36740   | 36780   | 38230   | 36910  | 36830  | 38310  | 49.98 |
| 15:34:10 | 3880   | 1390   | 2690   | 35920   | 35590   | 37070   | 36130  | 35610  | 37160  | 50.02 |
| 15:35:10 | 187850 | 169450 | 185520 | 170880  | 183400  | 180750  | 253950 | 249700 | 259010 | 49.78 |
| 15:36:10 | 116300 | 107000 | 116030 | 111100  | 121080  | 121470  | 160840 | 161580 | 167980 | 49.89 |
| 15:37:10 | 85360  | 79370  | 85440  | 85060   | 89990   | 91510   | 120500 | 119990 | 125190 | 49.82 |
| 15:38:10 | 306800 | 284960 | 302030 | 284620  | 301830  | 305730  | 418490 | 415100 | 429760 | 49.82 |
| 15:39:10 | 348060 | 332230 | 344860 | 329570  | 347150  | 350210  | 479330 | 480510 | 491500 | 49.89 |
| 15:40:10 | 73890  | 70360  | 76020  | 77910   | 83730   | 83380   | 107370 | 109370 | 112840 | 49.88 |
| 15:41:10 | 71900  | 69220  | 74140  | 77460   | 82180   | 82660   | 105690 | 107450 | 111040 | 49.79 |
| 15:42:10 | 75610  | 68060  | 76810  | 72580   | 81080   | 82590   | 104810 | 105860 | 112790 | 49.75 |
| 15:43:10 | 333850 | 312000 | 326400 | 292220  | 307320  | 312610  | 443680 | 437940 | 451950 | 49.70 |
| 15:44:10 | 79550  | 74000  | 78580  | 78030   | 80920   | 81190   | 111430 | 109650 | 112990 | 49.75 |
| 15:45:10 | 326120 | 305220 | 321180 | 287100  | 302510  | 306870  | 434490 | 429730 | 444210 | 49.76 |
| 15:46:10 | 344240 | 321220 | 337240 | 296470  | 313490  | 315350  | 454300 | 448840 | 461710 | 49.75 |
| 15:47:10 | 330610 | 310260 | 325820 | 294760  | 310740  | 312470  | 442930 | 439110 | 451430 | 49.85 |
| 15:48:10 | 310480 | 291520 | 307740 | 276830  | 293080  | 295230  | 415970 | 413370 | 426460 | 49.90 |

|                 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| <b>15:49:10</b> | 339650 | 320630 | 335140 | 306250 | 320290 | 323000 | 457330 | 453200 | 465450 | 49.88 |
| <b>15:50:10</b> | 315360 | 297320 | 311310 | 274890 | 288050 | 290860 | 418350 | 413970 | 426040 | 49.98 |
| <b>15:51:10</b> | 316080 | 298320 | 315020 | 270690 | 285190 | 289640 | 416150 | 412710 | 427940 | 50.06 |
| <b>15:52:10</b> | 331700 | 313430 | 327000 | 286260 | 301600 | 301890 | 438140 | 434970 | 445050 | 49.97 |
| <b>15:53:10</b> | 321380 | 303860 | 315820 | 276430 | 290300 | 293320 | 423910 | 420240 | 431020 | 49.98 |

| TIME            | P[W]    | Q[var]  | S[VA]   | THDv1[%] | THDv2[%] | THDv3[%] | THDi1[%] | THDi2[%] | THDi3[%] |
|-----------------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>15:32:10</b> | 9790    | 136290  | 136640  | 2.77     | 2.75     | 2.94     | 76.14    | 76.04    | 75.63    |
| <b>15:33:10</b> | 7910    | 111740  | 112020  | 2.62     | 2.58     | 2.79     | 77.99    | 78.11    | 77.90    |
| <b>15:34:10</b> | 7970    | 108570  | 108860  | 2.56     | 2.55     | 2.73     | 78.05    | 78.10    | 77.77    |
| <b>15:35:10</b> | 542820  | 535030  | 762170  | 5.58     | 5.36     | 5.46     | 42.58    | 42.82    | 41.05    |
| <b>15:36:10</b> | 339320  | 353650  | 490110  | 4.54     | 4.41     | 4.47     | 53.64    | 53.61    | 53.50    |
| <b>15:37:10</b> | 250160  | 266550  | 365560  | 3.84     | 3.78     | 3.89     | 59.47    | 59.46    | 59.00    |
| <b>15:38:10</b> | 893790  | 892180  | 1262900 | 8.43     | 8.15     | 8.49     | 33.67    | 33.74    | 32.76    |
| <b>15:39:10</b> | 1025100 | 1026900 | 1451000 | 9.22     | 9.07     | 9.50     | 32.40    | 32.05    | 32.34    |
| <b>15:40:10</b> | 220270  | 245020  | 329480  | 3.79     | 3.66     | 3.70     | 61.96    | 61.28    | 61.23    |
| <b>15:41:10</b> | 215260  | 242300  | 324110  | 3.70     | 3.64     | 3.66     | 62.41    | 61.74    | 61.76    |
| <b>15:42:10</b> | 220480  | 236250  | 323150  | 3.86     | 3.68     | 3.78     | 61.56    | 61.69    | 60.97    |
| <b>15:43:10</b> | 972250  | 912150  | 1333200 | 9.13     | 8.72     | 9.03     | 32.85    | 32.78    | 32.15    |
| <b>15:44:10</b> | 232140  | 240140  | 334000  | 4.22     | 4.11     | 4.05     | 60.40    | 60.07    | 59.67    |
| <b>15:45:10</b> | 952520  | 896470  | 1308000 | 8.71     | 8.46     | 8.75     | 32.93    | 32.99    | 32.29    |
| <b>15:46:10</b> | 1002700 | 925300  | 1364400 | 9.48     | 9.07     | 9.41     | 32.28    | 32.49    | 31.64    |
| <b>15:47:10</b> | 966690  | 917970  | 1333100 | 9.12     | 8.76     | 9.05     | 32.84    | 32.88    | 32.29    |
| <b>15:48:10</b> | 909740  | 865140  | 1255400 | 8.15     | 8.01     | 8.30     | 33.58    | 33.27    | 32.87    |
| <b>15:49:10</b> | 995410  | 949540  | 1375700 | 8.89     | 8.72     | 9.14     | 32.43    | 32.58    | 32.22    |
| <b>15:50:10</b> | 924000  | 853790  | 1258100 | 8.31     | 8.32     | 8.49     | 32.96    | 33.04    | 32.67    |
| <b>15:51:10</b> | 929430  | 845530  | 1256500 | 8.52     | 8.42     | 8.70     | 32.46    | 32.92    | 32.12    |
| <b>15:52:10</b> | 972130  | 889760  | 1317800 | 8.79     | 8.54     | 8.97     | 32.42    | 32.56    | 32.07    |
| <b>15:53:10</b> | 941060  | 860040  | 1274900 | 8.62     | 8.44     | 8.81     | 32.39    | 32.64    | 32.30    |

### Lampiran 3 Data Hasil Pengukuran di TR 23

| TIME     | U1[V]  | U2[V]  | U3[V]  | Uave[V] | I1[A]   | I2[A]   | I3[A]   | Iave[A] | PF1  | PF2  | PF3  | PF   |
|----------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|------|------|------|------|
| 16:03:10 | 710.67 | 706.94 | 706.21 | 707.94  | 1112.50 | 1099.10 | 1135.00 | 1115.50 | 0.73 | 0.72 | 0.73 | 0.73 |
| 16:04:10 | 720.20 | 715.40 | 717.69 | 717.76  | 1199.00 | 1187.60 | 1210.60 | 1199.10 | 0.73 | 0.72 | 0.73 | 0.73 |
| 16:05:10 | 711.79 | 707.87 | 709.12 | 709.59  | 1164.40 | 1155.20 | 1174.40 | 1164.60 | 0.74 | 0.72 | 0.73 | 0.73 |
| 16:06:10 | 706.31 | 702.08 | 703.30 | 703.90  | 1148.50 | 1134.60 | 1161.20 | 1148.10 | 0.75 | 0.73 | 0.74 | 0.74 |
| 16:07:10 | 709.12 | 703.92 | 706.50 | 706.51  | 1125.80 | 1112.50 | 1133.90 | 1124.10 | 0.74 | 0.73 | 0.74 | 0.74 |
| 16:08:10 | 711.33 | 707.09 | 708.70 | 709.04  | 1119.20 | 1101.80 | 1129.70 | 1116.90 | 0.74 | 0.73 | 0.73 | 0.73 |
| 16:09:10 | 730.15 | 726.63 | 728.09 | 728.29  | 368.50  | 368.20  | 378.60  | 371.80  | 0.70 | 0.68 | 0.70 | 0.69 |
| 16:10:10 | 713.96 | 710.22 | 712.11 | 712.10  | 1239.90 | 1224.80 | 1246.90 | 1237.20 | 0.74 | 0.73 | 0.73 | 0.73 |
| 16:11:10 | 710.91 | 706.99 | 708.03 | 708.64  | 1168.60 | 1154.20 | 1179.50 | 1167.40 | 0.74 | 0.73 | 0.74 | 0.73 |
| 16:12:10 | 709.92 | 704.71 | 707.09 | 707.24  | 1185.90 | 1174.90 | 1197.60 | 1186.10 | 0.74 | 0.73 | 0.74 | 0.73 |
| 16:13:10 | 709.57 | 706.24 | 706.94 | 707.58  | 1178.50 | 1168.20 | 1191.70 | 1179.50 | 0.74 | 0.73 | 0.74 | 0.74 |
| 16:14:10 | 710.18 | 705.54 | 707.17 | 707.63  | 1193.80 | 1180.40 | 1207.30 | 1193.80 | 0.74 | 0.73 | 0.74 | 0.73 |
| 16:15:10 | 725.61 | 722.69 | 723.60 | 723.97  | 398.80  | 395.40  | 408.30  | 400.80  | 0.70 | 0.69 | 0.70 | 0.70 |
| 16:16:10 | 714.07 | 709.64 | 711.24 | 711.65  | 1202.10 | 1185.60 | 1213.90 | 1200.50 | 0.74 | 0.72 | 0.73 | 0.73 |
| 16:17:10 | 706.43 | 703.23 | 703.44 | 704.37  | 1189.00 | 1175.40 | 1199.70 | 1188.00 | 0.74 | 0.73 | 0.74 | 0.74 |
| 16:18:10 | 710.44 | 705.37 | 707.19 | 707.66  | 1224.80 | 1214.10 | 1238.80 | 1225.90 | 0.74 | 0.73 | 0.74 | 0.74 |
| 16:19:10 | 710.72 | 706.74 | 707.91 | 708.46  | 1206.60 | 1190.60 | 1216.80 | 1204.60 | 0.74 | 0.73 | 0.73 | 0.73 |
| 16:20:10 | 711.25 | 707.41 | 708.46 | 709.04  | 1174.30 | 1159.10 | 1185.40 | 1172.90 | 0.74 | 0.73 | 0.73 | 0.73 |
| 16:21:10 | 732.58 | 730.41 | 731.17 | 731.39  | 372.50  | 369.90  | 378.90  | 373.80  | 0.70 | 0.68 | 0.70 | 0.69 |
| 16:22:10 | 715.18 | 711.24 | 712.78 | 713.07  | 1214.30 | 1201.80 | 1231.70 | 1215.90 | 0.73 | 0.72 | 0.73 | 0.73 |
| 16:23:10 | 716.95 | 712.94 | 714.59 | 714.82  | 1182.00 | 1167.30 | 1193.80 | 1181.00 | 0.73 | 0.72 | 0.73 | 0.73 |
| 16:24:10 | 713.46 | 710.19 | 711.49 | 711.71  | 1180.80 | 1166.10 | 1192.90 | 1179.90 | 0.74 | 0.72 | 0.73 | 0.73 |
| 16:25:10 | 714.07 | 710.79 | 711.55 | 712.13  | 1172.20 | 1160.50 | 1187.40 | 1173.40 | 0.73 | 0.72 | 0.73 | 0.73 |
| 16:26:10 | 709.85 | 705.51 | 707.78 | 707.71  | 1172.30 | 1153.40 | 1177.50 | 1167.70 | 0.75 | 0.73 | 0.74 | 0.74 |
| 16:26:16 | 706.51 | 702.00 | 704.20 | 704.23  | 1185.20 | 1177.60 | 1203.90 | 1188.90 | 0.74 | 0.73 | 0.74 | 0.74 |

| TIME     | P1[W]  | P2[W]  | P3[W]  | Q1[var] | Q2[var] | Q3[var] | S1[VA] | S2[VA] | S3[VA] | F[Hz] |
|----------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|-------|
| 16:03:10 | 316160 | 302940 | 318160 | 291930  | 291710  | 297660  | 430320 | 420560 | 435690 | 50.25 |
| 16:04:10 | 338970 | 329400 | 339500 | 313060  | 318360  | 317900  | 461420 | 458110 | 465100 | 50.06 |
| 16:05:10 | 327000 | 320010 | 329200 | 301520  | 304400  | 304730  | 444800 | 441660 | 448590 | 49.92 |
| 16:06:10 | 324420 | 314480 | 324370 | 290180  | 293890  | 294990  | 435260 | 430440 | 438450 | 49.77 |
| 16:07:10 | 316800 | 307670 | 315780 | 284970  | 288570  | 288390  | 426110 | 421820 | 427650 | 49.76 |
| 16:08:10 | 315750 | 304820 | 314520 | 286410  | 288690  | 291800  | 426300 | 419830 | 429040 | 49.93 |
| 16:09:10 | 88780  | 85410  | 91430  | 91640   | 93020   | 93610   | 127600 | 126290 | 130850 | 50.00 |
| 16:10:10 | 349430 | 340480 | 348930 | 319320  | 323330  | 325690  | 473360 | 469550 | 477310 | 50.02 |
| 16:11:10 | 330130 | 320460 | 330140 | 300250  | 302260  | 304370  | 446250 | 440520 | 449040 | 49.91 |
| 16:12:10 | 335380 | 326490 | 336480 | 307930  | 307280  | 307970  | 455300 | 448350 | 456140 | 50.01 |
| 16:13:10 | 332770 | 324810 | 334880 | 302240  | 304870  | 306190  | 449540 | 445470 | 453760 | 50.01 |
| 16:14:10 | 337690 | 327490 | 338170 | 306540  | 309050  | 311780  | 456070 | 450290 | 459960 | 50.05 |
| 16:15:10 | 98070  | 93930  | 99810  | 99150   | 99590   | 100790  | 139450 | 136900 | 141850 | 50.04 |
| 16:16:10 | 340500 | 329290 | 339700 | 313000  | 314060  | 317120  | 462510 | 455050 | 464710 | 50.00 |

|                 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| <b>16:17:10</b> | 334980 | 326540 | 335630 | 303730 | 304700 | 307620 | 452180 | 446620 | 455270 | 49.90 |
| <b>16:18:10</b> | 346940 | 337860 | 348340 | 315660 | 317280 | 317860 | 469050 | 463480 | 471560 | 49.81 |
| <b>16:19:10</b> | 340520 | 330770 | 340190 | 309900 | 311460 | 315150 | 460420 | 454330 | 463730 | 49.83 |
| <b>16:20:10</b> | 331580 | 322090 | 331750 | 302320 | 304020 | 306810 | 448710 | 442910 | 451870 | 49.94 |
| <b>16:21:10</b> | 88720  | 86570  | 90390  | 90800  | 92790  | 91970  | 126950 | 126900 | 128950 | 49.89 |
| <b>16:22:10</b> | 343750 | 333000 | 345930 | 321410 | 321440 | 325000 | 470610 | 462830 | 474650 | 49.81 |
| <b>16:23:10</b> | 333700 | 324090 | 334190 | 308510 | 310520 | 312120 | 454460 | 448840 | 457280 | 49.86 |
| <b>16:24:10</b> | 333480 | 323620 | 334140 | 306470 | 308310 | 311330 | 452910 | 446980 | 456700 | 49.91 |
| <b>16:25:10</b> | 330290 | 321290 | 332690 | 308230 | 308700 | 312630 | 451770 | 445560 | 456530 | 49.84 |
| <b>16:26:10</b> | 330420 | 319620 | 327550 | 295300 | 299420 | 301070 | 443140 | 437960 | 444890 | 49.82 |
| <b>16:26:16</b> | 335730 | 326220 | 339860 | 304870 | 306430 | 306810 | 453500 | 447570 | 457860 | 49.82 |

| TIME     | P[W]    | Q[var] | S[VA]   | THDv1[%] | THDv2[%] | THDv3[%] | THDi1[%] | THDi2[%] | THDi3[%] |
|----------|---------|--------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 16:03:10 | 937260  | 881300 | 1286500 | 7.11     | 7.38     | 7.45     | 33.89    | 33.32    | 31.72    |
| 16:04:10 | 1007900 | 949330 | 1384600 | 7.66     | 8.06     | 8.11     | 32.59    | 32.63    | 32.04    |
| 16:05:10 | 976210  | 910650 | 1335000 | 7.18     | 7.53     | 7.72     | 33.20    | 32.71    | 31.93    |
| 16:06:10 | 963280  | 879070 | 1304100 | 7.02     | 7.54     | 7.54     | 33.21    | 32.96    | 32.25    |
| 16:07:10 | 940250  | 861930 | 1275500 | 6.89     | 7.41     | 7.42     | 33.21    | 33.25    | 32.70    |
| 16:08:10 | 935090  | 866900 | 1275100 | 6.82     | 7.32     | 7.33     | 33.50    | 33.44    | 32.56    |
| 16:09:10 | 265630  | 278280 | 384700  | 3.38     | 3.69     | 3.72     | 58.29    | 57.70    | 56.91    |
| 16:10:10 | 1038900 | 968350 | 1420200 | 7.82     | 8.23     | 8.26     | 32.56    | 32.46    | 31.87    |
| 16:11:10 | 980740  | 906880 | 1335800 | 7.23     | 7.71     | 7.77     | 33.12    | 32.86    | 32.01    |
| 16:12:10 | 998350  | 923180 | 1359800 | 7.53     | 7.90     | 8.00     | 32.76    | 32.52    | 31.84    |
| 16:13:10 | 992450  | 913300 | 1348700 | 7.51     | 7.84     | 7.92     | 32.95    | 32.66    | 31.84    |
| 16:14:10 | 1003400 | 927360 | 1366300 | 7.52     | 7.93     | 7.99     | 32.80    | 32.60    | 31.87    |
| 16:15:10 | 291810  | 299530 | 418180  | 3.50     | 3.82     | 3.86     | 56.14    | 55.71    | 54.92    |
| 16:16:10 | 1009500 | 944180 | 1382200 | 7.56     | 7.94     | 7.98     | 32.87    | 32.73    | 32.03    |
| 16:17:10 | 997140  | 916050 | 1354000 | 7.61     | 8.03     | 8.12     | 32.87    | 32.56    | 31.66    |
| 16:18:10 | 1033100 | 950800 | 1404100 | 7.57     | 8.06     | 8.15     | 32.61    | 32.24    | 31.65    |
| 16:19:10 | 1011500 | 936500 | 1378500 | 7.50     | 7.95     | 8.02     | 32.87    | 32.66    | 31.79    |
| 16:20:10 | 985430  | 913140 | 1343500 | 7.27     | 7.70     | 7.83     | 33.13    | 32.85    | 32.03    |
| 16:21:10 | 265680  | 275560 | 382780  | 3.42     | 3.68     | 3.73     | 58.37    | 57.83    | 57.65    |
| 16:22:10 | 1022700 | 967860 | 1408100 | 7.54     | 7.89     | 7.90     | 33.11    | 32.70    | 31.75    |
| 16:23:10 | 991980  | 931150 | 1360500 | 7.25     | 7.70     | 7.78     | 33.04    | 32.80    | 32.11    |
| 16:24:10 | 991240  | 926110 | 1356600 | 7.29     | 7.68     | 7.70     | 33.07    | 32.93    | 32.04    |
| 16:25:10 | 984270  | 929560 | 1353800 | 7.25     | 7.66     | 7.76     | 33.40    | 32.90    | 31.94    |
| 16:26:10 | 977590  | 895780 | 1325900 | 7.24     | 7.76     | 7.70     | 32.85    | 33.10    | 32.34    |
| 16:26:16 | 1001800 | 918110 | 1358900 | 7.46     | 7.82     | 7.91     | 33.11    | 32.49    | 31.56    |

## Lampiran 4 Data Hasil Simulasi

### 4.1 Filter Pada TR 21 dan 23 pada THDi Maksimum

HARM CURRENT LIBRARY

|           |                     |                          |
|-----------|---------------------|--------------------------|
| Project:  | PowerStation 4.0.0C | Page: 7                  |
| Location: |                     | Date: 11-24-2007         |
| Contract: |                     | SN: KLGCONSULT           |
| Engineer: | Study Case: HA      | File: filtervariasibeban |

|              | Device       | % Harmonic Source Current |      |      |       |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|--------------|--------------|---------------------------|------|------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| Manufacturer | Model        | 2                         | 3    | 4    | 5     | 6    | 7     | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 17   | 19   | 23   |  |
| TR 20        | Adri         | 0.63                      | 0.61 | 0.33 | 6.37  | 0.28 | 1.92  | 0.10 | 0.27 | 0.10 | 2.70 | 0.04 | 0.69 | 0.03 | 0.09 | 0.13 | 0.14 | 0.17 |  |
|              |              | 0.06                      | 0.03 | 0.05 | 0.20  | 0.20 | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |  |
| TR 21        | THDi Max (2) | 1.85                      | 1.57 | 1.84 | 67.64 | 0.84 | 41.05 | 0.37 | 0.81 | 0.34 | 2.02 | 0.48 | 6.89 | 0.17 | 0.59 | 5.51 | 0.89 | 3.68 |  |
|              |              | 2.24                      | 1.81 | 1.93 | 0.16  | 0.69 | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |  |
| TR 23        | THDi Max     | 2.51                      | 2.42 | 1.63 | 62.14 | 1.09 | 34.55 | 0.29 | 0.66 | 0.70 | 3.03 | 0.77 | 8.08 | 0.22 | 0.40 | 1.84 | 1.94 | 2.31 |  |
|              |              | 0.21                      | 1.90 | 0.94 | 1.26  | 0.97 | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |  |

FILTER DATA

|           |                     |                          |
|-----------|---------------------|--------------------------|
| Project:  | PowerStation 4.0.0C | Page: 9                  |
| Location: |                     | Date: 11-24-2007         |
| Contract: |                     | SN: KLGCONSULT           |
| Engineer: | Study Case: HA      | File: filtervariasibeban |

| Conned Bus | Filter Info. | Capacitor 1 | Capacitor 2 | Inductor 1 | Inductor 2 | Resistor |      |       |      |      |       |       |      |      |      |       |
|------------|--------------|-------------|-------------|------------|------------|----------|------|-------|------|------|-------|-------|------|------|------|-------|
| Bus ID     | Filter ID    | Type        | Conn        | kV         | maxkV      | kvar     | kV   | maxkV | kvar | XI   | QI    | maxI  | XI   | QI   | maxI | R     |
| BusF TR23  | HF2          | SngTnd      | Y           | 0.73       | 0.00       | 188      | 0.00 | 0.00  | 0    | 0.12 | 80.00 | 157.3 | 0.00 | 0.00 | 0.0  | 0.000 |
| BusF TR21  | HF2(2)       | SngTnd      | Y           | 0.73       | 0.00       | 165      | 0.00 | 0.00  | 0    | 0.14 | 80.00 | 137.2 | 0.00 | 0.00 | 0.0  | 0.000 |

FUNDAMENTAL LOADFLOW

|           |                     |                  |
|-----------|---------------------|------------------|
| Project:  | PowerStation 4.0.0C | Page: 10         |
| Location: |                     | Date: 11-24-2007 |
| Contract: |                     | SN: KLGCONSULT   |

| Bus Information & Nom kV |      | Voltage | Generation | Motor Load | Static Load | Load Flow | XFRM      |       |       |       |              |       |       |      |      |       |
|--------------------------|------|---------|------------|------------|-------------|-----------|-----------|-------|-------|-------|--------------|-------|-------|------|------|-------|
| ID                       | Type | kV      | % Mag.     | Ang.       | MW          | Mvar      | MW        | Mvar  | MW    | Mvar  | To Bus ID    | MW    | Mvar  | Amp  | %PF  | % Tap |
| BusF TR20                | Load | 0.43    | 99.08      | -30.4      | 0.00        | 0.00      | 0.00      | 0.00  | 0.00  | 0.00  | BusTR20      | 0.68  | 0.74  | 1354 | 68.0 |       |
|                          |      |         |            |            |             |           | PANEL-II  | -0.68 | -0.74 | 1354  | 68.0         |       |       |      |      |       |
| BusF TR21                | Load | 0.73    | 99.84      | -30.2      | 0.00        | 0.00      | -0.04     | 0.00  | 0.00  | -0.17 | BusTR21      | 0.22  | 0.23  | 254  | 69.4 |       |
|                          |      |         |            |            |             |           | PANEL-II  | -0.18 | -0.06 | 151   | 94.8         |       |       |      |      |       |
| BusF TR23                | Load | 0.73    | 99.80      | -30.3      | 0.00        | 0.00      | -0.05     | 0.00  | 0.00  | -0.20 | BusTR23      | 0.29  | 0.27  | 313  | 72.1 |       |
|                          |      |         |            |            |             |           | PANEL-II  | -0.23 | -0.08 | 196   | 94.6         |       |       |      |      |       |
| BusTR20                  | Load | 0.43    | 99.08      | -30.4      | 0.00        | 0.00      | 0.00      | 0.00  | 0.68  | 0.74  | BusF TR20    | -0.68 | -0.74 | 1354 | 68.0 |       |
| BusTR21                  | Load | 0.73    | 99.84      | -30.2      | 0.00        | 0.00      | 0.02      | 0.00  | 0.20  | 0.23  | BusF TR21    | -0.22 | -0.23 | 254  | 69.4 |       |
| BusTR23                  | Load | 0.73    | 99.80      | -30.3      | 0.00        | 0.00      | 0.02      | 0.00  | 0.26  | 0.28  | BusF TR23    | -0.29 | -0.27 | 313  | 72.1 |       |
| *BusUtama                | Swng | 11.00   | 100.00     | 0.0        | 1.10        | 0.89      | 0.00      | 0.00  | 0.00  | 0.00  | MERLIN GERIN | 1.10  | 0.89  | 74   | 77.7 |       |
| MERLIN GERIN             | Load | 11.00   | 100.00     | 0.0        | 0.00        | 0.00      | 0.00      | 0.00  | 0.00  | 0.00  | BusUtama     | -1.10 | -0.89 | 74   | 77.7 |       |
|                          |      |         |            |            |             |           | PANEL-II  | 1.10  | 0.89  | 74    | 77.7         |       |       |      |      |       |
| PANEL-II                 | Load | 11.00   | 100.00     | 0.0        | 0.00        | 0.00      | 0.00      | 0.00  | 0.00  | 0.00  | MERLIN GERIN | -1.10 | -0.89 | 74   | 77.7 |       |
|                          |      |         |            |            |             |           | BusF TR20 | 0.69  | 0.75  | 53    | 67.5         |       |       |      |      |       |
|                          |      |         |            |            |             |           | BusF TR21 | 0.18  | 0.06  | 10    | 94.7         |       |       |      |      |       |
|                          |      |         |            |            |             |           | BusF TR23 | 0.23  | 0.08  | 13    | 94.5         |       |       |      |      |       |

SYS. HARMONICS INFO.

Project: Page: 11  
 Location: Date: 11-24-2007  
 Contract: SN: KLGCONSULT  
 Engineer: File: filtervariasibeban

| Bus Info. & Rated kV |       | Voltage Distortion |        |  |         |         | Current Distortion |          |         |          |        |        |          |
|----------------------|-------|--------------------|--------|--|---------|---------|--------------------|----------|---------|----------|--------|--------|----------|
| ID                   | kV    | Fund(%)            | RMS(%) | ASUM(%)  | THD(%)  | TIF     | To Bus ID          | Fund.(A) | RMS(A)  | ASUM(A)  | THD(%) | TIF    | IT       |
| BusF TR20            | 0.43  | 99.08              | 99.09  | 102.47   | 1.39    | 25.44   | BusTR20            | 1354.11  | 1357.78 | 1561.03  | 7.36   | 75.18  | 0.10E+06 |
|                      |       |                    |        | PANEL-II   | 1354.12 | 1357.75 | 1543.40            | 7.33     | 74.97   | 0.10E+06 |        |        |          |
| * # BusF TR21        | 0.73  | 99.84              | 99.89  | 107.26   | 2.86    | 79.12   | BusTR21            | 254.12   | 320.79  | 595.11   | 77.04  | 454.50 | 0.15E+06 |
|                      |       |                    |        | PANEL-II   | 151.53  | 185.93  | 367.89             | 71.11    | 679.09  | 0.13E+06 |        |        |          |
| * # BusF TR23        | 0.73  | 99.80              | 99.84  | 107.61   | 2.95    | 82.13   | BusTR23            | 313.57   | 381.33  | 689.77   | 69.20  | 385.31 | 0.15E+06 |
|                      |       |                    |        | PANEL-II   | 196.58  | 226.04  | 425.86             | 56.77    | 548.93  | 0.12E+06 |        |        |          |
| BusTR20              | 0.43  | 99.08              | 99.09  | 102.47   | 1.39    | 25.48   | BusF TR20          | 1354.11  | 1357.78 | 1561.03  | 7.36   | 75.18  | 0.10E+06 |
| * # BusTR21          | 0.73  | 99.84              | 99.89  | 107.27   | 2.86    | 79.18   | BusF TR21          | 254.12   | 320.79  | 595.11   | 77.04  | 454.50 | 0.15E+06 |
| * # BusTR23          | 0.73  | 99.80              | 99.84  | 107.61   | 2.96    | 82.18   | BusF TR23          | 313.57   | 381.33  | 689.77   | 69.20  | 385.31 | 0.15E+06 |
| BusUtama             | 11.00 | 100.00             | 100.00 | 102.39   | 0.98    | 19.17   | MERLIN GERIN       | 74.41    | 76.17   | 105.08   | 21.87  | 176.61 | 0.13E+05 |
| MERLIN GERIN         | 11.00 | 100.00             | 100.00 | 102.39   | 0.98    | 19.17   | BusUtama           | 74.41    | 76.17   | 105.08   | 21.87  | 176.60 | 0.13E+05 |
|                      |       |                    |        | PANEL-II   | 74.42   | 76.18   | 105.09             | 21.87    | 176.59  | 0.13E+05 |        |        |          |
| PANEL-II             | 11.00 | 100.00             | 100.00 | 102.39   | 0.98    | 19.17   | MERLIN GERIN       | 74.42    | 76.18   | 105.09   | 21.87  | 176.58 | 0.13E+05 |
|                      |       |                    |        | BusF TR20  | 53.30   | 53.45   | 60.66              | 7.33     | 74.72   | 0.40E+04 |        |        |          |
|                      |       |                    |        | BusF TR21  | 10.06   | 12.34   | 24.32              | 71.11    | 678.85  | 0.84E+04 |        |        |          |
|                      |       |                    |        | BusF TR23  | 13.05   | 15.00   | 28.14              | 56.77    | 548.62  | 0.82E+04 |        |        |          |
|                      |       |                    |        | * - THD ( Total Harmonic Distortion exceeds the limit)     |         |         |                    |          |         |          |        |        |          |
|                      |       |                    |        | # - IHD (Individual Harmonic Distortion exceeds the limit) |         |         |                    |          |         |          |        |        |          |

BUS TABULATION

Project: Page: 12  
 Location: Date: 11-24-2007  
 Contract: SN: KLGCONSULT  
 Engineer: File: filtervariasibeban

| Bus          | Harmonic Voltages (% of fundamental voltage) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |  |  |  |
|--------------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|--|--|--|--|
| ID           | Fund. kV                                     | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 17   | 19   | 23   |  |  |  |  |  |
| BusF TR20    | 0.43   | 0.03 | 0.02 | 0.01 | 0.93 | 0.02 | 0.77 | 0.01 | 0.03 | 0.00 | 0.55 | 0.01 | 0.27 | 0.00 | 0.02 | 0.18 | 0.06 | 0.06 |  |  |  |  |  |
|              |  | 0.08 | 0.07 | 0.09 | 0.10 | 0.09 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |  |  |  |  |  |
| BusF TR21    | 0.73   | 0.03 | 0.00 | 0.06 | 1.33 | 0.00 | 2.12 | 0.02 | 0.00 | 0.03 | 0.28 | 0.00 | 0.70 | 0.02 | 0.00 | 0.67 | 0.16 | 0.58 |  |  |  |  |  |
|              |  | 0.42 | 0.33 | 0.43 | 0.08 | 0.18 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |  |  |  |  |  |
| BusF TR23    | 0.73   | 0.05 | 0.00 | 0.06 | 1.38 | 0.00 | 2.17 | 0.02 | 0.00 | 0.06 | 0.37 | 0.00 | 0.96 | 0.03 | 0.00 | 0.34 | 0.31 | 0.48 |  |  |  |  |  |
|              |  | 0.11 | 0.50 | 0.28 | 0.39 | 0.31 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |  |  |  |  |  |
| BusTR20      | 0.43   | 0.03 | 0.02 | 0.01 | 0.93 | 0.02 | 0.77 | 0.01 | 0.03 | 0.00 | 0.55 | 0.01 | 0.27 | 0.00 | 0.02 | 0.18 | 0.06 | 0.06 |  |  |  |  |  |
|              |  | 0.08 | 0.07 | 0.09 | 0.10 | 0.09 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |  |  |  |  |  |
| BusTR21      | 0.73   | 0.03 | 0.00 | 0.06 | 1.33 | 0.00 | 2.12 | 0.02 | 0.00 | 0.03 | 0.28 | 0.00 | 0.70 | 0.02 | 0.00 | 0.67 | 0.16 | 0.58 |  |  |  |  |  |
|              |  | 0.42 | 0.33 | 0.43 | 0.08 | 0.18 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |  |  |  |  |  |
| BusTR23      | 0.73   | 0.05 | 0.00 | 0.06 | 1.38 | 0.00 | 2.17 | 0.02 | 0.00 | 0.06 | 0.37 | 0.00 | 0.96 | 0.03 | 0.00 | 0.34 | 0.31 | 0.48 |  |  |  |  |  |
|              |  | 0.11 | 0.50 | 0.28 | 0.39 | 0.31 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |  |  |  |  |  |
| BusUtama     | 11.00  | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.55 | 0.00 | 0.70 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.20 | 0.00 | 0.25 | 0.01 | 0.00 | 0.15 | 0.06 | 0.11 |  |  |  |  |  |
|              |  | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.05 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |  |  |  |  |  |
| MERLIN GERIN | 11.00  | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.55 | 0.00 | 0.70 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.20 | 0.00 | 0.25 | 0.01 | 0.00 | 0.15 | 0.06 | 0.11 |  |  |  |  |  |
|              |  | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.05 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |  |  |  |  |  |



PANEL-II 11.00 0.01 0.00 0.01 0.55 0.00 0.70 0.01 0.00 0.01 0.20 0.00 0.25 0.01 0.00 0.15 0.06 0.11  
 0.08 0.08 0.08 0.05 0.02 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00

BRANCH TABULATION

Project: PowerStation 4.0.0C Page: 15  
 Location: Date: 11-24-2007  
 Contract: SN: KLGCONSULT  
 Engineer: Study Case: HA File: filtervariasibeban

| Branch    | % Harmonic Currents (% of fundamental current) |      |      |      |       |      |       |      |      |      |      |      |       |      |      |      |      |      |
|-----------|--|------|------|------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|
| ID        | Fund(A)  | 2    | 3    | 4    | 5     | 6    | 7     | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13    | 14   | 15   | 17   | 19   | 23   |
|           | 25   | 29   | 31   | 35   | 37    | 41   | 43    | 47   | 49   | 53   | 55   | 59   | 61    | 65   | 67   | 71   | 73   |      |
| CableBU   | 74.  | 0.99 | 0.00 | 0.29 | 15.82 | 0.00 | 14.46 | 0.11 | 0.00 | 0.14 | 2.59 | 0.00 | 2.82  | 0.00 | 0.00 | 1.31 | 0.47 | 0.70 |
|           | 0.48   | 0.38 | 0.37 | 0.22 | 0.08  | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| CableMG   | 74.  | 0.99 | 0.00 | 0.29 | 15.82 | 0.00 | 14.46 | 0.11 | 0.00 | 0.14 | 2.59 | 0.00 | 2.82  | 0.00 | 0.00 | 1.31 | 0.47 | 0.70 |
|           | 0.48   | 0.38 | 0.37 | 0.22 | 0.08  | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| CableTR20 | 1354.  | 0.64 | 0.62 | 0.33 | 6.43  | 0.28 | 1.94  | 0.10 | 0.27 | 0.10 | 2.73 | 0.04 | 0.70  | 0.03 | 0.09 | 0.13 | 0.14 | 0.17 |
|           | 0.06   | 0.03 | 0.05 | 0.20 | 0.20  | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| CableTR21 | 254.   | 1.78 | 0.00 | 1.78 | 65.26 | 0.00 | 39.61 | 0.36 | 0.00 | 0.33 | 1.95 | 0.00 | 6.65  | 0.16 | 0.00 | 5.32 | 0.86 | 3.55 |
|           | 2.16   | 1.75 | 1.86 | 0.15 | 0.67  | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| CableTR23 | 314.   | 2.42 | 0.00 | 1.57 | 59.87 | 0.00 | 33.29 | 0.28 | 0.00 | 0.67 | 2.92 | 0.00 | 7.79  | 0.21 | 0.00 | 1.77 | 1.87 | 2.23 |
|           | 0.20   | 1.83 | 0.91 | 1.21 | 0.93  | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| TR20      | 53.  | 0.64 | 0.00 | 0.33 | 6.43  | 0.00 | 1.94  | 0.10 | 0.00 | 0.10 | 2.73 | 0.00 | 0.70  | 0.00 | 0.00 | 0.13 | 0.14 | 0.17 |
|           | 0.00   | 0.00 | 0.00 | 0.20 | 0.20  | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| TR21      | 10.  | 3.04 | 0.00 | 3.67 | 42.10 | 0.00 | 55.05 | 0.54 | 0.00 | 0.00 | 2.85 | 0.00 | 9.92  | 0.00 | 0.00 | 8.07 | 1.29 | 5.44 |
|           | 3.30   | 2.70 | 2.86 | 0.00 | 1.03  | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| TR23      | 13.  | 3.95 | 0.00 | 3.11 | 34.28 | 0.00 | 42.99 | 0.00 | 0.00 | 0.95 | 3.94 | 0.00 | 10.95 | 0.00 | 0.00 | 2.51 | 2.68 | 3.22 |
|           | 0.00   | 2.65 | 1.32 | 1.76 | 1.37  | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

4.2 Filter Pada TM (Merlin Gerin) pada Beban THDi Maksimum

HARM CURRENT LIBRARY

Project: PowerStation 4.0.0C Page: 7  
 Location: Date: 11-26-2007  
 Contract: SN: KLGCONSULT  
 Engineer: Study Case: HA File: filtervariasibeban

| Device       | % Harmonic Source Current |      |      |      |       |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|---------------------------|------|------|------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Manufacturer | Model                     | 2    | 3    | 4    | 5     | 6    | 7     | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 17   | 19   | 23   |
|              |                           | 25   | 29   | 31   | 35    | 37   | 41    | 43   | 47   | 49   | 53   | 55   | 59   | 61   | 65   | 67   | 71   | 73   |
| TR 20        | Adri                      | 0.63 | 0.61 | 0.33 | 6.37  | 0.28 | 1.92  | 0.10 | 0.27 | 0.10 | 2.70 | 0.04 | 0.69 | 0.03 | 0.09 | 0.13 | 0.14 | 0.17 |
|              |                           | 0.06 | 0.03 | 0.05 | 0.20  | 0.20 | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| TR 21        | THDi Max (2)              | 1.85 | 1.57 | 1.84 | 67.64 | 0.84 | 41.05 | 0.37 | 0.81 | 0.34 | 2.02 | 0.48 | 6.89 | 0.17 | 0.59 | 5.51 | 0.89 | 3.68 |
|              |                           | 2.24 | 1.81 | 1.93 | 0.16  | 0.69 | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| TR 23        | THDi Max                  | 2.51 | 2.42 | 1.63 | 62.14 | 1.09 | 34.55 | 0.29 | 0.66 | 0.70 | 3.03 | 0.77 | 8.08 | 0.22 | 0.40 | 1.84 | 1.94 | 2.31 |
|              |                           | 0.21 | 1.90 | 0.94 | 1.26  | 0.97 | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

FILTER DATA

Project: PowerStation 4.0.0C Page: 9  
 Location: Date: 11-26-2007  
 Contract: SN: KLGCONSULT  
 Engineer: Study Case: HA File: filtervariasibeban

| Conned Bus   | Filter Info. | Capacitor 1 | Capacitor 2 | Inductor 1 | Inductor 2 | Resistor |      |       |      |      |       |      |      |      |      |       |
|--------------|--------------|-------------|-------------|------------|------------|----------|------|-------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|
| Bus ID       | Filter ID    | Type        | Conn        | kV         | maxkV      | kvar     | kV   | maxkV | kvar | XI   | QI    | maxI | XI   | QI   | maxI | R     |
| MERLIN GERIN | HFTHDiMax    | SngTnd      | Y           | 11.00      | 0.00       | 924      | 0.00 | 0.00  | 0    | 5.68 | 80.00 | 48.2 | 0.00 | 0.00 | 0.0  | 0.000 |

FUNDAMENTAL LOADFLOW

Project: ===== Page: 10  
 Location: PowerStation 4.0.0C Date: 11-26-2007  
 Contract: SN: KLGCONSULT  
 Engineer: Study Case: HA File: filtervariasibeban

| Bus Information & Nom kV |      |       |            |      |      |       |       |      |      |       |              |       |       |      | Voltage |       | Generation |  | Motor Load |  | Static Load |  | Load Flow |  |  |  | XFRM |
|--------------------------|------|-------|------------|------|------|-------|-------|------|------|-------|--------------|-------|-------|------|---------|-------|------------|--|------------|--|-------------|--|-----------|--|--|--|------|
| ID                       | Type | kV    | % Mag.     | Ang. | MW   | Mvar  | MW    | Mvar | MW   | Mvar  | To Bus ID    | MW    | Mvar  | Amp  | %PF     | % Tap |            |  |            |  |             |  |           |  |  |  |      |
| BusF TR20                | Load | 0.43  | 99.08-30.4 | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00  | BusTR20      | 0.68  | 0.74  | 1354 | 68.0    |       |            |  |            |  |             |  |           |  |  |  |      |
|                          |      |       |            |      |      |       |       |      |      |       | PANEL-II     | -0.68 | -0.74 | 1354 | 68.0    |       |            |  |            |  |             |  |           |  |  |  |      |
| BusF TR21                | Load | 0.73  | 99.53-30.2 | 0.00 | 0.00 | -0.04 | -0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00  | BusTR21      | 0.22  | 0.24  | 258  | 67.7    |       |            |  |            |  |             |  |           |  |  |  |      |
|                          |      |       |            |      |      |       |       |      |      |       | PANEL-II     | -0.18 | -0.22 | 226  | 63.5    |       |            |  |            |  |             |  |           |  |  |  |      |
| BusF TR23                | Load | 0.73  | 99.44-30.2 | 0.00 | 0.00 | -0.05 | -0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00  | BusTR23      | 0.28  | 0.28  | 317  | 70.6    |       |            |  |            |  |             |  |           |  |  |  |      |
|                          |      |       |            |      |      |       |       |      |      |       | PANEL-II     | -0.24 | -0.26 | 280  | 66.7    |       |            |  |            |  |             |  |           |  |  |  |      |
| BusTR20                  | Load | 0.43  | 99.08-30.4 | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 0.00  | 0.68 | 0.74 | 0.00  | BusF TR20    | -0.68 | -0.74 | 1354 | 68.0    |       |            |  |            |  |             |  |           |  |  |  |      |
| BusTR21                  | Load | 0.73  | 99.53-30.2 | 0.00 | 0.00 | 0.02  | 0.01  | 0.20 | 0.23 | 0.00  | BusF TR21    | -0.22 | -0.24 | 258  | 67.7    |       |            |  |            |  |             |  |           |  |  |  |      |
| BusTR23                  | Load | 0.73  | 99.44-30.2 | 0.00 | 0.00 | 0.02  | 0.01  | 0.26 | 0.27 | 0.00  | BusF TR23    | -0.28 | -0.28 | 317  | 70.6    |       |            |  |            |  |             |  |           |  |  |  |      |
| *BusUtama                | Swng | 11.00 | 100.00     | 0.0  | 1.10 | 0.27  | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00  | MERLIN GERIN | 1.10  | 0.27  | 59   | 97.1    |       |            |  |            |  |             |  |           |  |  |  |      |
| MERLIN GERIN             | Load | 11.00 | 100.00     | 0.0  | 0.00 | 0.00  | 0.00  | 0.00 | 0.00 | -0.97 | BusUtama     | -1.10 | -0.27 | 59   | 97.1    |       |            |  |            |  |             |  |           |  |  |  |      |
|                          |      |       |            |      |      |       |       |      |      |       | PANEL-II     | 1.10  | 1.24  | 86   | 66.5    |       |            |  |            |  |             |  |           |  |  |  |      |
| PANEL-II                 | Load | 11.00 | 100.00     | 0.0  | 0.00 | 0.00  | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00  | MERLIN GERIN | -1.10 | -1.24 | 86   | 66.5    |       |            |  |            |  |             |  |           |  |  |  |      |
|                          |      |       |            |      |      |       |       |      |      |       | BusF TR20    | 0.69  | 0.75  | 53   | 67.5    |       |            |  |            |  |             |  |           |  |  |  |      |
|                          |      |       |            |      |      |       |       |      |      |       | BusF TR21    | 0.18  | 0.22  | 15   | 63.3    |       |            |  |            |  |             |  |           |  |  |  |      |
|                          |      |       |            |      |      |       |       |      |      |       | BusF TR23    | 0.24  | 0.26  | 18   | 66.4    |       |            |  |            |  |             |  |           |  |  |  |      |

SYS. HARMONICS INFO.

Project: ===== Page: 11  
 Location: PowerStation 4.0.0C Date: 11-26-2007  
 Contract: SN: KLGCONSULT  
 Engineer: Study Case: HA File: filtervariasibeban

| Bus Info. & Rated kV |       |         |        |         |        |       |              |          |         |         |        |        |          |  | Voltage Distortion |  |  |  |  | Current Distortion |  |  |  |  |
|----------------------|-------|---------|--------|---------|--------|-------|--------------|----------|---------|---------|--------|--------|----------|--|--------------------|--|--|--|--|--------------------|--|--|--|--|
| ID                   | kV    | Fund(%) | RMS(%) | ASUM(%) | THD(%) | TIF   | To Bus ID    | Fund.(A) | RMS(A)  | ASUM(A) | THD(%) | TIF    | IT       |  |                    |  |  |  |  |                    |  |  |  |  |
| BusF TR20            | 0.43  | 99.08   | 99.09  | 102.45  | 1.37   | 25.27 | BusTR20      | 1354.12  | 1357.78 | 1561.03 | 7.36   | 75.18  | 0.10E+06 |  |                    |  |  |  |  |                    |  |  |  |  |
|                      |       |         |        |         |        |       | PANEL-II     | 1354.11  | 1357.75 | 1543.40 | 7.33   | 74.97  | 0.10E+06 |  |                    |  |  |  |  |                    |  |  |  |  |
| * # BusF TR21        | 0.73  | 99.53   | 99.60  | 108.86  | 3.88   | 86.48 | BusTR21      | 258.45   | 324.23  | 599.45  | 75.75  | 449.67 | 0.15E+06 |  |                    |  |  |  |  |                    |  |  |  |  |
|                      |       |         |        |         |        |       | PANEL-II     | 226.61   | 299.46  | 567.60  | 86.39  | 486.86 | 0.15E+06 |  |                    |  |  |  |  |                    |  |  |  |  |
| * # BusF TR23        | 0.73  | 99.44   | 99.53  | 109.46  | 4.14   | 90.60 | BusTR23      | 317.22   | 384.34  | 693.42  | 68.40  | 382.29 | 0.15E+06 |  |                    |  |  |  |  |                    |  |  |  |  |
|                      |       |         |        |         |        |       | PANEL-II     | 280.19   | 354.39  | 656.39  | 77.44  | 414.59 | 0.15E+06 |  |                    |  |  |  |  |                    |  |  |  |  |
| BusTR20              | 0.43  | 99.08   | 99.09  | 102.45  | 1.38   | 25.31 | BusF TR20    | 1354.12  | 1357.78 | 1561.03 | 7.36   | 75.18  | 0.10E+06 |  |                    |  |  |  |  |                    |  |  |  |  |
| * # BusTR21          | 0.73  | 99.53   | 99.60  | 108.87  | 3.88   | 86.54 | BusF TR21    | 258.45   | 324.23  | 599.45  | 75.75  | 449.67 | 0.15E+06 |  |                    |  |  |  |  |                    |  |  |  |  |
| * # BusTR23          | 0.73  | 99.44   | 99.53  | 109.46  | 4.15   | 90.65 | BusF TR23    | 317.22   | 384.34  | 693.42  | 68.40  | 382.29 | 0.15E+06 |  |                    |  |  |  |  |                    |  |  |  |  |
| BusUtama             | 11.00 | 100.00  | 100.00 | 102.39  | 0.98   | 19.48 | MERLIN GERIN | 59.57    | 61.70   | 89.99   | 27.01  | 220.25 | 0.14E+05 |  |                    |  |  |  |  |                    |  |  |  |  |
| MERLIN GERIN         | 11.00 | 100.00  | 100.00 | 102.39  | 0.98   | 19.48 | BusUtama     | 59.57    | 61.70   | 89.99   | 27.01  | 220.25 | 0.14E+05 |  |                    |  |  |  |  |                    |  |  |  |  |
|                      |       |         |        |         |        |       | PANEL-II     | 86.92    | 91.85   | 135.42  | 34.14  | 177.95 | 0.16E+05 |  |                    |  |  |  |  |                    |  |  |  |  |
| PANEL-II             | 11.00 | 100.00  | 100.00 | 102.39  | 0.98   | 19.48 | MERLIN GERIN | 86.92    | 91.85   | 135.42  | 34.14  | 177.95 | 0.16E+05 |  |                    |  |  |  |  |                    |  |  |  |  |
|                      |       |         |        |         |        |       | BusF TR20    | 53.30    | 53.45   | 60.66   | 7.33   | 74.72  | 0.40E+04 |  |                    |  |  |  |  |                    |  |  |  |  |
|                      |       |         |        |         |        |       | BusF TR21    | 15.04    | 19.87   | 37.61   | 86.39  | 486.70 | 0.97E+04 |  |                    |  |  |  |  |                    |  |  |  |  |
|                      |       |         |        |         |        |       | BusF TR23    | 18.59    | 23.52   | 43.47   | 77.44  | 414.36 | 0.97E+04 |  |                    |  |  |  |  |                    |  |  |  |  |

\* - THD ( Total Harmonic Distortion exceeds the limit)  
 # - IHD (Individual Harmonic Distortion exceeds the limit)

BUS TABULATION

Project: PowerStation 4.0.0C Page: 12  
 Location: Date: 11-26-2007  
 Contract: SN: KLGCONSULT  
 Engineer: Study Case: HA File: filtervariasibeban

| Bus          | Harmonic Voltages (% of fundamental voltage) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|--------------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| ID           | Fund. kV                                     | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 17   | 19   | 23   |  |
|              | 25   | 29   | 31   | 35   | 37   | 41   | 43   | 47   | 49   | 53   | 55   | 59   | 61   | 65   | 67   | 71   | 73   |      |  |
| BusF TR20    | 0.43   | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.91 | 0.02 | 0.78 | 0.01 | 0.03 | 0.00 | 0.54 | 0.01 | 0.27 | 0.00 | 0.02 | 0.18 | 0.06 | 0.07 |  |
|              | 0.08   | 0.07 | 0.09 | 0.10 | 0.09 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |  |
| BusF TR21    | 0.73   | 0.03 | 0.00 | 0.05 | 2.61 | 0.00 | 2.45 | 0.02 | 0.00 | 0.03 | 0.29 | 0.00 | 0.77 | 0.02 | 0.00 | 0.73 | 0.17 | 0.63 |  |
|              | 0.46   | 0.36 | 0.47 | 0.09 | 0.19 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |  |
| BusF TR23    | 0.73   | 0.05 | 0.00 | 0.05 | 2.86 | 0.00 | 2.54 | 0.02 | 0.00 | 0.06 | 0.41 | 0.00 | 1.07 | 0.03 | 0.00 | 0.38 | 0.34 | 0.53 |  |
|              | 0.12   | 0.54 | 0.30 | 0.43 | 0.34 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |  |
| BusTR20      | 0.43   | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.91 | 0.02 | 0.78 | 0.01 | 0.03 | 0.00 | 0.55 | 0.01 | 0.27 | 0.00 | 0.02 | 0.18 | 0.06 | 0.07 |  |
|              | 0.08   | 0.07 | 0.09 | 0.10 | 0.09 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |  |
| BusTR21      | 0.73   | 0.03 | 0.00 | 0.05 | 2.61 | 0.00 | 2.45 | 0.02 | 0.00 | 0.03 | 0.29 | 0.00 | 0.77 | 0.02 | 0.00 | 0.74 | 0.17 | 0.63 |  |
|              | 0.46   | 0.36 | 0.47 | 0.09 | 0.19 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |  |
| BusTR23      | 0.73   | 0.05 | 0.00 | 0.05 | 2.86 | 0.00 | 2.54 | 0.02 | 0.00 | 0.06 | 0.41 | 0.00 | 1.07 | 0.03 | 0.00 | 0.38 | 0.34 | 0.53 |  |
|              | 0.12   | 0.54 | 0.31 | 0.43 | 0.34 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |  |
| BusUtama     | 11.00  | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.53 | 0.00 | 0.72 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.19 | 0.00 | 0.26 | 0.01 | 0.00 | 0.16 | 0.06 | 0.11 |  |
|              | 0.08   | 0.08 | 0.08 | 0.06 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |  |
| MERLIN GERIN | 11.00  | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.53 | 0.00 | 0.72 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.19 | 0.00 | 0.26 | 0.01 | 0.00 | 0.16 | 0.06 | 0.11 |  |
|              | 0.08   | 0.08 | 0.08 | 0.06 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |  |
| PANEL-II     | 11.00  | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.53 | 0.00 | 0.72 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.19 | 0.00 | 0.26 | 0.01 | 0.00 | 0.16 | 0.06 | 0.11 |  |
|              | 0.08   | 0.08 | 0.08 | 0.06 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |  |

BRANCH TABULATION

Project: PowerStation 4.0.0C Page: 15  
 Location: Date: 11-26-2007  
 Contract: SN: KLGCONSULT  
 Engineer: Study Case: HA File: filtervariasibeban

| Branch    | % Harmonic Currents (% of fundamental current) |      |      |      |       |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|-----------|--|------|------|------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| ID        | Fund(A)  | 2    | 3    | 4    | 5     | 6    | 7     | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 17   | 19   | 23   |  |
|           | 25   | 29   | 31   | 35   | 37    | 41   | 43    | 47   | 49   | 53   | 55   | 59   | 61   | 65   | 67   | 71   | 73   |      |  |
| CableBU   | 60.  | 1.24 | 0.00 | 0.33 | 18.97 | 0.00 | 18.47 | 0.13 | 0.00 | 0.18 | 3.08 | 0.00 | 3.59 | 0.00 | 0.00 | 1.65 | 0.60 | 0.90 |  |
|           | 0.60   | 0.49 | 0.46 | 0.29 | 0.11  | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |  |
| CableMG   | 87.  | 0.83 | 0.00 | 0.17 | 30.32 | 0.00 | 15.15 | 0.10 | 0.00 | 0.14 | 2.38 | 0.00 | 2.76 | 0.06 | 0.00 | 1.26 | 0.46 | 0.68 |  |
|           | 0.46   | 0.37 | 0.35 | 0.22 | 0.08  | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |  |
| CableTR20 | 1354.  | 0.64 | 0.62 | 0.33 | 6.43  | 0.28 | 1.94  | 0.10 | 0.27 | 0.10 | 2.73 | 0.04 | 0.70 | 0.03 | 0.09 | 0.13 | 0.14 | 0.17 |  |
|           | 0.06   | 0.03 | 0.05 | 0.20 | 0.20  | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |  |
| CableTR21 | 258.   | 1.75 | 0.00 | 1.75 | 64.16 | 0.00 | 38.94 | 0.35 | 0.00 | 0.32 | 1.92 | 0.00 | 6.54 | 0.16 | 0.00 | 5.23 | 0.84 | 3.49 |  |
|           | 2.12   | 1.72 | 1.83 | 0.15 | 0.65  | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |  |
| CableTR23 | 317.   | 2.39 | 0.00 | 1.55 | 59.18 | 0.00 | 32.90 | 0.28 | 0.00 | 0.67 | 2.89 | 0.00 | 7.70 | 0.21 | 0.00 | 1.75 | 1.85 | 2.20 |  |
|           | 0.20   | 1.81 | 0.90 | 1.20 | 0.92  | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |  |
| TR20      | 53.  | 0.64 | 0.00 | 0.33 | 6.43  | 0.00 | 1.94  | 0.10 | 0.00 | 0.10 | 2.73 | 0.00 | 0.70 | 0.00 | 0.00 | 0.13 | 0.14 | 0.17 |  |
|           | 0.00   | 0.00 | 0.00 | 0.20 | 0.20  | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |  |
| TR21      | 15.  | 2.00 | 0.00 | 1.99 | 73.18 | 0.00 | 44.41 | 0.40 | 0.00 | 0.37 | 2.19 | 0.00 | 7.45 | 0.00 | 0.00 | 5.96 | 0.96 | 3.98 |  |
|           | 2.42   | 1.96 | 2.09 | 0.00 | 0.75  | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |  |
| TR23      | 19.  | 2.71 | 0.00 | 1.76 | 67.00 | 0.00 | 37.25 | 0.31 | 0.00 | 0.75 | 3.27 | 0.00 | 8.71 | 0.00 | 0.00 | 1.98 | 2.09 | 2.49 |  |
|           | 0.00   | 2.05 | 1.01 | 1.36 | 1.05  | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |  |

### 4.3 Filter Pada TR 21 dan TR 23 pada Beban Arus Maksimum

**SYSTEM ANALYSIS**  
 Project: \_\_\_\_\_ Page: 1  
 Location: PowerStation 4.0.0C Date: 11-27-2007  
 Contract: \_\_\_\_\_ SN: KLGCONSULT  
 Engineer: Study Case: HA File: filtervariasibeban

**HARMONIC ANALYSIS**  
 System Frequency: 50.0 Hz

**HARM CURRENT LIBRARY**  
 Project: \_\_\_\_\_ Page: 7  
 Location: PowerStation 4.0.0C Date: 11-27-2007  
 Contract: \_\_\_\_\_ SN: KLGCONSULT  
 Engineer: Study Case: HA File: filtervariasibeban

| Device       |       | % Harmonic Source Current |      |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |
|--------------|-------|---------------------------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|--|
|              |       | 2                         | 3    | 4    | 5     | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 17   | 19   | 23   |  |  |
| Manufacturer | Model | 25                        | 29   | 31   | 35    | 37   | 41   | 43   | 47   | 49   | 53   | 55   | 59   | 61   | 65   | 67   | 71   | 73   |  |  |
| TR 20        | I Max | 0.15                      | 0.30 | 0.19 | 3.53  | 0.10 | 1.51 | 0.06 | 0.13 | 0.07 | 1.94 | 0.07 | 0.53 | 0.04 | 0.14 | 0.22 | 0.16 | 0.18 |  |  |
|              | 0.09  | 0.02                      | 0.08 | 0.24 | 0.19  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |  |  |
| TR 21        | I max | 0.73                      | 1.26 | 1.31 | 32.07 | 0.61 | 1.53 | 0.23 | 0.45 | 0.40 | 8.50 | 0.59 | 2.72 | 0.19 | 0.32 | 4.65 | 2.08 | 3.06 |  |  |
|              | 1.90  | 2.08                      | 1.65 | 1.64 | 1.36  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |  |  |
| TR 23        | I Max | 1.28                      | 1.14 | 0.42 | 31.61 | 0.24 | 1.30 | 0.26 | 0.62 | 0.25 | 8.28 | 0.05 | 2.69 | 0.24 | 0.69 | 4.47 | 2.31 | 2.85 |  |  |
|              | 1.94  | 2.03                      | 1.64 | 1.46 | 1.47  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |  |  |

**FILTER DATA**  
 Project: \_\_\_\_\_ Page: 9  
 Location: PowerStation 4.0.0C Date: 11-27-2007  
 Contract: \_\_\_\_\_ SN: KLGCONSULT  
 Engineer: Study Case: HA File: filtervariasibeban

| Conned Bus | Filter Info. | Capacitor 1 | Capacitor 2 | Inductor 1 | Inductor 2 | Resistor |      |       |      |      |       |       |      |      |      |       |
|------------|--------------|-------------|-------------|------------|------------|----------|------|-------|------|------|-------|-------|------|------|------|-------|
| Bus ID     | Filter ID    | Type        | Conn        | kV         | maxkV      | kvar     | kV   | maxkV | kvar | XI   | QI    | maxI  | XI   | QI   | maxI | R     |
| BusF TR23  | HF3          | SngTnd      | Y           | 0.73       | 0.00       | 662      | 0.00 | 0.00  | 0    | 0.03 | 80.00 | 548.1 | 0.00 | 0.00 | 0.0  | 0.000 |
| BusF TR21  | HF3(3)       | SngTnd      | Y           | 0.73       | 0.00       | 726      | 0.00 | 0.00  | 0    | 0.03 | 80.00 | 602.1 | 0.00 | 0.00 | 0.0  | 0.000 |

**FUNDAMENTAL LOADFLOW**  
 Project: \_\_\_\_\_ Page: 10  
 Location: PowerStation 4.0.0C Date: 11-27-2007  
 Contract: \_\_\_\_\_ SN: KLGCONSULT  
 Engineer: Study Case: HA File: filtervariasibeban

| Bus Information & Nom kV |      | Voltage | Generation | Motor Load | Static Load | Load Flow | XFRM     |       |       |       |              |       |       |      |      |       |
|--------------------------|------|---------|------------|------------|-------------|-----------|----------|-------|-------|-------|--------------|-------|-------|------|------|-------|
| ID                       | Type | kV      | % Mag.     | Ang.       | MW          | Mvar      | MW       | Mvar  | MW    | Mvar  | To Bus ID    | MW    | Mvar  | Amp  | %PF  | % Tap |
| BusF TR20                | Load | 0.43    | 98.94      | -30.6      | 0.00        | 0.00      | 0.00     | 0.00  | 0.00  | 0.00  | BusTR20      | 0.98  | 0.84  | 1734 | 76.0 |       |
|                          |      |         |            |            |             |           | PANEL-II | -0.98 | -0.84 | 1734  | 76.0         |       |       |      |      |       |
| BusF TR21                | Load | 0.73    | 99.16      | -31.1      | 0.00        | 0.00      | -0.05    | 0.01  | 0.00  | -0.75 | BusTR21      | 1.06  | 1.05  | 1187 | 70.9 |       |
|                          |      |         |            |            |             |           | PANEL-II | -1.01 | -0.31 | 841   | 95.4         |       |       |      |      |       |
| BusF TR23                | Load | 0.73    | 99.15      | -31.1      | 0.00        | 0.00      | -0.05    | 0.01  | 0.00  | -0.68 | BusTR23      | 1.09  | 1.00  | 1180 | 73.8 |       |
|                          |      |         |            |            |             |           | PANEL-II | -1.05 | -0.33 | 874   | 95.4         |       |       |      |      |       |
| BusTR20                  | Load | 0.43    | 98.93      | -30.6      | 0.00        | 0.00      | 0.00     | 0.00  | 0.98  | 0.84  | BusF TR20    | -0.98 | -0.84 | 1734 | 76.0 |       |
| BusTR21                  | Load | 0.73    | 99.16      | -31.1      | 0.00        | 0.00      | 0.02     | -0.01 | 1.03  | 1.05  | BusF TR21    | -1.06 | -1.05 | 1187 | 70.9 |       |
| BusTR23                  | Load | 0.73    | 99.14      | -31.1      | 0.00        | 0.00      | 0.02     | -0.01 | 1.07  | 1.00  | BusF TR23    | -1.09 | -1.00 | 1180 | 73.8 |       |
| *BusUtama                | Swng | 11.00   | 100.00     | 0.0        | 3.04        | 1.55      | 0.00     | 0.00  | 0.00  | 0.00  | MERLIN GERIN | 3.04  | 1.55  | 178  | 89.1 |       |

MERLIN GERIN Load 11.00 100.00 0.0 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 BusUtama -3.04 -1.55 178 89.1  
 PANEL-II 3.04 1.55 178 89.1

PANEL-II Load 11.00 100.00 0.0 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 MERLIN GERIN -3.04 -1.55 178 89.1  
 BusF TR20 0.98 0.86 68 75.3  
 BusF TR21 1.01 0.34 55 94.8  
 BusF TR23 1.05 0.35 58 94.8

SYS. HARMONICS INFO.

Project: ===== Page: 11  
 Location: PowerStation 4.0.0C Date: 11-27-2007  
 Contract: SN: KLGCONSULT  
 Engineer: Study Case: HA File: filtervariasibeban

| Bus Info. & Rated kV |       | Voltage Distortion |        |         |        |        | Current Distortion   |          |         |         |        |        |          |
|----------------------|-------|--------------------|--------|---------|--------|--------|--|----------|---------|---------|--------|--------|----------|
| ID                   | kV    | Fund(%)            | RMS(%) | ASUM(%) | THD(%) | TIF    | To Bus ID  | Fund.(A) | RMS(A)  | ASUM(A) | THD(%) | TIF    | IT       |
| BusF TR20            | 0.43  | 98.94              | 98.95  | 104.64  | 1.83   | 75.72  | BusTR20  | 1734.61  | 1736.30 | 1895.92 | 4.41   | 60.44  | 0.10E+06 |
|                      |       |                    |        |         |        |        | PANEL-II   | 1734.61  | 1736.30 | 1895.92 | 4.41   | 60.44  | 0.10E+06 |
| * # BusF TR21        | 0.73  | 99.16              | 99.30  | 117.10  | 5.32   | 307.44 | BusTR21  | 1187.45  | 1254.68 | 1972.66 | 34.12  | 474.94 | 0.60E+06 |
|                      |       |                    |        |         |        |        | PANEL-II   | 841.64   | 851.22  | 1230.08 | 15.13  | 479.42 | 0.41E+06 |
| * # BusF TR23        | 0.73  | 99.15              | 99.31  | 118.63  | 5.75   | 338.85 | BusTR23  | 1180.32  | 1245.11 | 1941.94 | 33.58  | 465.58 | 0.58E+06 |
|                      |       |                    |        |         |        |        | PANEL-II   | 874.48   | 885.18  | 1285.64 | 15.69  | 458.83 | 0.41E+06 |
| BusTR20              | 0.43  | 98.93              | 98.95  | 104.63  | 1.83   | 75.76  | BusF TR20  | 1734.61  | 1736.30 | 1895.92 | 4.41   | 60.44  | 0.10E+06 |
| * # BusTR21          | 0.73  | 99.16              | 99.30  | 117.11  | 5.33   | 307.74 | BusF TR21  | 1187.45  | 1254.68 | 1972.66 | 34.12  | 474.94 | 0.60E+06 |
| * # BusTR23          | 0.73  | 99.14              | 99.31  | 118.65  | 5.76   | 339.13 | BusF TR23  | 1180.32  | 1245.11 | 1941.94 | 33.58  | 465.58 | 0.58E+06 |
| BusUtama             | 11.00 | 100.00             | 100.01 | 104.84  | 1.51   | 68.61  | MERLIN GERIN   | 178.86   | 179.72  | 225.64  | 9.85   | 209.80 | 0.38E+05 |
| MERLIN GERIN         | 11.00 | 100.00             | 100.01 | 104.84  | 1.51   | 68.61  | BusUtama   | 178.86   | 179.72  | 225.64  | 9.85   | 209.80 | 0.38E+05 |
|                      |       |                    |        |         |        |        | PANEL-II   | 178.87   | 179.73  | 225.65  | 9.85   | 209.78 | 0.38E+05 |
| PANEL-II             | 11.00 | 100.00             | 100.01 | 104.84  | 1.51   | 68.62  | MERLIN GERIN   | 178.87   | 179.73  | 225.65  | 9.85   | 209.78 | 0.38E+05 |
|                      |       |                    |        |         |        |        | BusF TR20  | 68.28    | 68.35   | 74.50   | 4.41   | 60.39  | 0.41E+04 |
|                      |       |                    |        |         |        |        | BusF TR21  | 55.85    | 56.49   | 81.63   | 15.13  | 479.42 | 0.27E+05 |
|                      |       |                    |        |         |        |        | BusF TR23  | 58.03    | 58.74   | 85.32   | 15.69  | 458.83 | 0.27E+05 |
|                      |       |                    |        |         |        |        | * - THD ( Total Harmonic Distortion exceeds the limit)     |          |         |         |        |        |          |
|                      |       |                    |        |         |        |        | # - IHD (Individual Harmonic Distortion exceeds the limit) |          |         |         |        |        |          |

BUS TABULATION

Project: ===== Page: 12  
 Location: PowerStation 4.0.0C Date: 11-27-2007  
 Contract: SN: KLGCONSULT  
 Engineer: Study Case: HA File: filtervariasibeban

Bus Harmonic Voltages (% of fundamental voltage)

| ID        | Fund. kV | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 17   | 19   | 23   |
|-----------|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|           | 25       | 29   | 31   | 35   | 37   | 41   | 43   | 47   | 49   | 53   | 55   | 59   | 61   | 65   | 67   | 71   | 73   |      |
| BusF TR20 | 0.43     | 0.04 | 0.00 | 0.42 | 0.68 | 0.00 | 0.19 | 0.01 | 0.00 | 0.03 | 1.17 | 0.00 | 0.39 | 0.01 | 0.00 | 0.56 | 0.39 | 0.58 |
|           |          | 0.26 | 0.35 | 0.28 | 0.30 | 0.11 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| BusF TR21 | 0.72     | 0.08 | 0.00 | 1.19 | 1.00 | 0.00 | 0.24 | 0.04 | 0.00 | 0.10 | 2.54 | 0.00 | 0.98 | 0.06 | 0.00 | 2.12 | 1.06 | 1.86 |
|           |          | 1.20 | 1.54 | 1.30 | 1.46 | 1.32 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| BusF TR23 | 0.72     | 0.12 | 0.00 | 1.30 | 1.05 | 0.00 | 0.21 | 0.04 | 0.00 | 0.07 | 2.64 | 0.00 | 1.02 | 0.09 | 0.00 | 2.21 | 1.29 | 1.96 |
|           |          | 1.40 | 1.73 | 1.49 | 1.49 | 1.56 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| BusTR20   | 0.43     | 0.04 | 0.00 | 0.42 | 0.68 | 0.00 | 0.19 | 0.01 | 0.00 | 0.03 | 1.17 | 0.00 | 0.39 | 0.01 | 0.00 | 0.56 | 0.39 | 0.58 |
|           |          | 0.26 | 0.35 | 0.28 | 0.30 | 0.11 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| BusTR21   | 0.72     | 0.08 | 0.00 | 1.19 | 1.00 | 0.00 | 0.24 | 0.04 | 0.00 | 0.10 | 2.55 | 0.00 | 0.98 | 0.06 | 0.00 | 2.12 | 1.06 | 1.86 |
|           |          | 1.20 | 1.54 | 1.30 | 1.46 | 1.32 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| BusTR23   | 0.72     | 0.12 | 0.00 | 1.30 | 1.06 | 0.00 | 0.21 | 0.04 | 0.00 | 0.07 | 2.64 | 0.00 | 1.02 | 0.09 | 0.00 | 2.21 | 1.29 | 1.96 |

|              |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|              | 1.40  | 1.73 | 1.49 | 1.49 | 1.56 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| BusUtama     | 11.00 | 0.03 | 0.00 | 0.41 | 0.41 | 0.00 | 0.07 | 0.01 | 0.00 | 0.02 | 0.88 | 0.00 | 0.32 | 0.02 | 0.00 | 0.61 | 0.34 | 0.51 |      |
|              | 0.28  | 0.33 | 0.26 | 0.19 | 0.15 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| MERLIN GERIN | 11.00 | 0.03 | 0.00 | 0.41 | 0.41 | 0.00 | 0.07 | 0.01 | 0.00 | 0.02 | 0.88 | 0.00 | 0.32 | 0.02 | 0.00 | 0.61 | 0.34 | 0.51 |      |
|              | 0.28  | 0.33 | 0.26 | 0.19 | 0.15 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| PANEL-II     | 11.00 | 0.03 | 0.00 | 0.41 | 0.41 | 0.00 | 0.07 | 0.01 | 0.00 | 0.02 | 0.88 | 0.00 | 0.32 | 0.02 | 0.00 | 0.61 | 0.34 | 0.51 |      |
|              | 0.28  | 0.33 | 0.26 | 0.19 | 0.15 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

BRANCH TABULATION

Project: ===== Page: 15  
 Location: PowerStation 4.0.0C Date: 11-27-2007  
 Contract: SN: KLGCONSULT  
 Engineer: Study Case: HA File: filtervariasibeban

| Branch    | % Harmonic Currents (% of fundamental current) |      |      |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|-----------|--|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| ID        | Fund(A)  | 2    | 3    | 4     | 5     | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 17   | 19   | 23   |  |
|           |  | 25   | 29   | 31    | 35    | 37   | 41   | 43   | 47   | 49   | 53   | 55   | 59   | 61   | 65   | 67   | 71   | 73   |  |
| CableBU   | 179.   | 0.99 | 0.00 | 6.14  | 4.90  | 0.00 | 0.64 | 0.04 | 0.00 | 0.14 | 4.80 | 0.00 | 1.49 | 0.07 | 0.00 | 2.14 | 1.07 | 1.32 |  |
|           | 0.68   | 0.69 | 0.49 | 0.32  | 0.24  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |  |
| CableMG   | 179.   | 0.99 | 0.00 | 6.14  | 4.90  | 0.00 | 0.64 | 0.04 | 0.00 | 0.14 | 4.80 | 0.00 | 1.49 | 0.07 | 0.00 | 2.14 | 1.07 | 1.32 |  |
|           | 0.68   | 0.69 | 0.49 | 0.32  | 0.24  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |  |
| CableTR20 | 1735.  | 0.15 | 0.00 | 0.19  | 3.57  | 0.00 | 1.53 | 0.06 | 0.00 | 0.07 | 1.96 | 0.00 | 0.54 | 0.04 | 0.00 | 0.22 | 0.16 | 0.18 |  |
|           | 0.09   | 0.02 | 0.08 | 0.24  | 0.19  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |  |
| CableTR21 | 1187.  | 0.73 | 0.00 | 1.31  | 32.08 | 0.00 | 1.53 | 0.23 | 0.00 | 0.40 | 8.50 | 0.00 | 2.72 | 0.19 | 0.00 | 4.65 | 2.08 | 3.06 |  |
|           | 1.90   | 2.08 | 1.65 | 1.64  | 1.36  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |  |
| CableTR23 | 1180.  | 1.28 | 0.00 | 0.42  | 31.62 | 0.00 | 1.30 | 0.26 | 0.00 | 0.25 | 8.28 | 0.00 | 2.69 | 0.24 | 0.00 | 4.47 | 2.31 | 2.85 |  |
|           | 1.94   | 2.03 | 1.64 | 1.46  | 1.47  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |  |
| TR20      | 68.  | 0.15 | 0.00 | 0.19  | 3.57  | 0.00 | 1.53 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.96 | 0.00 | 0.54 | 0.00 | 0.00 | 0.22 | 0.16 | 0.18 |  |
|           | 0.09   | 0.00 | 0.08 | 0.24  | 0.19  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |  |
| TR21      | 56.  | 1.17 | 0.00 | 9.06  | 5.66  | 0.00 | 1.17 | 0.21 | 0.00 | 0.37 | 7.55 | 0.00 | 2.48 | 0.19 | 0.00 | 4.46 | 2.01 | 3.01 |  |
|           | 1.92   | 2.11 | 1.69 | 1.70  | 1.40  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |  |
| TR23      | 58.  | 1.89 | 0.00 | 10.18 | 5.93  | 0.00 | 1.03 | 0.24 | 0.00 | 0.22 | 7.20 | 0.00 | 2.45 | 0.23 | 0.00 | 4.21 | 2.19 | 2.74 |  |
|           | 1.90   | 2.01 | 1.63 | 1.46  | 1.49  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |  |

4.4 Filter Pada TM (Merlin Gerin) pada Beban Arus Maksimum

HARM CURRENT LIBRARY

Project: ===== Page: 7  
 Location: PowerStation 4.0.0C Date: 11-27-2007  
 Contract: SN: KLGCONSULT  
 Engineer: Study Case: HA File: filtervariasibeban

| Device       | % Harmonic Source Current |      |      |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|--------------|---------------------------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| Manufacturer | Model                     | 2    | 3    | 4    | 5     | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 17   | 19   | 23   |  |
|              |                           | 25   | 29   | 31   | 35    | 37   | 41   | 43   | 47   | 49   | 53   | 55   | 59   | 61   | 65   | 67   | 71   | 73   |  |
| TR 20        | I Max                     | 0.15 | 0.30 | 0.19 | 3.53  | 0.10 | 1.51 | 0.06 | 0.13 | 0.07 | 1.94 | 0.07 | 0.53 | 0.04 | 0.14 | 0.22 | 0.16 | 0.18 |  |
|              |                           | 0.09 | 0.02 | 0.08 | 0.24  | 0.19 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |  |
| TR 21        | I max                     | 0.73 | 1.26 | 1.31 | 32.07 | 0.61 | 1.53 | 0.23 | 0.45 | 0.40 | 8.50 | 0.59 | 2.72 | 0.19 | 0.32 | 4.65 | 2.08 | 3.06 |  |
|              |                           | 1.90 | 2.08 | 1.65 | 1.64  | 1.36 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |  |
| TR 23        | I Max                     | 1.28 | 1.14 | 0.42 | 31.61 | 0.24 | 1.30 | 0.26 | 0.62 | 0.25 | 8.28 | 0.05 | 2.69 | 0.24 | 0.69 | 4.47 | 2.31 | 2.85 |  |
|              |                           | 1.94 | 2.03 | 1.64 | 1.46  | 1.47 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |  |

FILTER DATA

Project: ===== Page: 9  
 Location: PowerStation 4.0.0C Date: 11-27-2007  
 Contract: SN: KLGCONSULT  
 Engineer: Study Case: HA File: filtervariasibeban

| Conned Bus   | Filter Info. | Capacitor 1 | Capacitor 2 | Inductor 1 | Inductor 2 | Resistor |      |       |      |      |       |       |      |      |      |       |
|--------------|--------------|-------------|-------------|------------|------------|----------|------|-------|------|------|-------|-------|------|------|------|-------|
| Bus ID       | Filter ID    | Type        | Conn        | kV         | maxkV      | kvar     | kV   | maxkV | kvar | XI   | QI    | maxI  | XI   | QI   | maxI | R     |
| MERLIN GERIN | HF(IMax)     | SngTnd      | Y           | 11.00      | 0.00       | 1976     | 0.00 | 0.00  | 0    | 2.66 | 80.00 | 107.2 | 0.00 | 0.00 | 0.0  | 0.000 |

FUNDAMENTAL LOADFLOW

Project: PowerStation 4.0.0C Page: 10  
 Location: Date: 11-27-2007  
 Contract: SN: KLGCONSULT  
 Engineer: Study Case: HA File: filtervariasibeban

| Bus Information & Nom kV |      |       |            |      |      |       |       |      |      |       |              |       |       | Voltage | Generation |       | Motor Load |  | Static Load |  | Load Flow |  | XFRM |
|--------------------------|------|-------|------------|------|------|-------|-------|------|------|-------|--------------|-------|-------|---------|------------|-------|------------|--|-------------|--|-----------|--|------|
| ID                       | Type | kV    | % Mag.     | Ang. | MW   | Mvar  | MW    | Mvar | MW   | Mvar  | To Bus ID    | MW    | Mvar  | Amp     | %PF        | % Tap |            |  |             |  |           |  |      |
| BusF TR20                | Load | 0.43  | 98.94-30.6 | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00  | BusTR20      | 0.98  | 0.84  | 1734    | 76.0       |       |            |  |             |  |           |  |      |
|                          |      |       |            |      |      |       |       |      |      |       | PANEL-II     | -0.98 | -0.84 | 1734    | 76.0       |       |            |  |             |  |           |  |      |
| BusF TR21                | Load | 0.73  | 97.74-31.0 | 0.00 | 0.00 | -0.05 | -0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00  | BusTR21      | 1.03  | 1.03  | 1176    | 70.6       |       |            |  |             |  |           |  |      |
|                          |      |       |            |      |      |       |       |      |      |       | PANEL-II     | -0.98 | -1.02 | 1142    | 69.2       |       |            |  |             |  |           |  |      |
| BusF TR23                | Load | 0.73  | 97.87-31.1 | 0.00 | 0.00 | -0.05 | -0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00  | BusTR23      | 1.06  | 0.98  | 1169    | 73.5       |       |            |  |             |  |           |  |      |
|                          |      |       |            |      |      |       |       |      |      |       | PANEL-II     | -1.02 | -0.97 | 1138    | 72.3       |       |            |  |             |  |           |  |      |
| BusTR20                  | Load | 0.43  | 98.93-30.6 | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 0.00  | 0.98 | 0.84 | 0.98  | BusF TR20    | -0.98 | -0.84 | 1734    | 76.0       |       |            |  |             |  |           |  |      |
| BusTR21                  | Load | 0.73  | 97.73-31.0 | 0.00 | 0.00 | 0.02  | 0.00  | 1.00 | 1.02 | 1.02  | BusF TR21    | -1.03 | -1.03 | 1176    | 70.6       |       |            |  |             |  |           |  |      |
| BusTR23                  | Load | 0.73  | 97.86-31.1 | 0.00 | 0.00 | 0.02  | 0.00  | 1.04 | 0.98 | 0.98  | BusF TR23    | -1.06 | -0.98 | 1169    | 73.5       |       |            |  |             |  |           |  |      |
| *BusUtama                | Swng | 11.00 | 100.00     | 0.0  | 2.99 | 0.86  | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00  | MERLIN GERIN | 2.99  | 0.86  | 163     | 96.1       |       |            |  |             |  |           |  |      |
| MERLIN GERIN             | Load | 11.00 | 100.00     | 0.0  | 0.00 | 0.00  | 0.00  | 0.00 | 0.00 | -2.07 | BusUtama     | -2.99 | -0.86 | 163     | 96.1       |       |            |  |             |  |           |  |      |
|                          |      |       |            |      |      |       |       |      |      |       | PANEL-II     | 2.98  | 2.93  | 219     | 71.4       |       |            |  |             |  |           |  |      |
| PANEL-II                 | Load | 11.00 | 100.00     | 0.0  | 0.00 | 0.00  | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00  | MERLIN GERIN | -2.98 | -2.93 | 219     | 71.4       |       |            |  |             |  |           |  |      |
|                          |      |       |            |      |      |       |       |      |      |       | BusF TR20    | 0.98  | 0.86  | 68      | 75.3       |       |            |  |             |  |           |  |      |
|                          |      |       |            |      |      |       |       |      |      |       | BusF TR21    | 0.98  | 1.06  | 75      | 67.9       |       |            |  |             |  |           |  |      |
|                          |      |       |            |      |      |       |       |      |      |       | BusF TR23    | 1.02  | 1.01  | 75      | 71.0       |       |            |  |             |  |           |  |      |

SYS. HARMONICS INFO.

Project: PowerStation 4.0.0C Page: 11  
 Location: Date: 11-27-2007  
 Contract: SN: KLGCONSULT  
 Engineer: Study Case: HA File: filtervariasibeban

| Bus Info. & Rated kV |       |         |        |         |        |        |              |          |         |         |        |        |          | Voltage Distortion |  | Current Distortion |  |
|----------------------|-------|---------|--------|---------|--------|--------|--------------|----------|---------|---------|--------|--------|----------|--------------------|--|--------------------|--|
| ID                   | kV    | Fund(%) | RMS(%) | ASUM(%) | THD(%) | TIF    | To Bus ID    | Fund.(A) | RMS(A)  | ASUM(A) | THD(%) | TIF    | IT       |                    |  |                    |  |
| BusF TR20            | 0.43  | 98.94   | 98.96  | 105.31  | 2.13   | 89.27  | BusTR20      | 1734.61  | 1736.30 | 1895.92 | 4.41   | 60.44  | 0.10E+06 |                    |  |                    |  |
|                      |       |         |        |         |        |        | PANEL-II     | 1734.61  | 1736.30 | 1895.92 | 4.41   | 60.44  | 0.10E+06 |                    |  |                    |  |
| * # BusF TR21        | 0.73  | 97.74   | 98.15  | 125.82  | 9.23   | 436.03 | BusTR21      | 1176.32  | 1244.15 | 1961.53 | 34.45  | 478.95 | 0.60E+06 |                    |  |                    |  |
|                      |       |         |        |         |        |        | PANEL-II     | 1142.43  | 1212.16 | 1927.65 | 35.47  | 491.60 | 0.60E+06 |                    |  |                    |  |
| * # BusF TR23        | 0.73  | 97.87   | 98.29  | 126.71  | 9.34   | 461.70 | BusTR23      | 1169.60  | 1234.95 | 1931.21 | 33.89  | 469.41 | 0.58E+06 |                    |  |                    |  |
|                      |       |         |        |         |        |        | PANEL-II     | 1138.58  | 1205.61 | 1900.20 | 34.82  | 480.84 | 0.58E+06 |                    |  |                    |  |
| BusTR20              | 0.43  | 98.93   | 98.95  | 105.31  | 2.13   | 89.30  | BusF TR20    | 1734.61  | 1736.30 | 1895.92 | 4.41   | 60.44  | 0.10E+06 |                    |  |                    |  |
| * # BusTR21          | 0.73  | 97.73   | 98.15  | 125.84  | 9.23   | 436.32 | BusF TR21    | 1176.32  | 1244.15 | 1961.53 | 34.45  | 478.95 | 0.60E+06 |                    |  |                    |  |
| * # BusTR23          | 0.73  | 97.86   | 98.29  | 126.72  | 9.35   | 461.96 | BusF TR23    | 1169.60  | 1234.95 | 1931.21 | 33.89  | 469.41 | 0.58E+06 |                    |  |                    |  |
| BusUtama             | 11.00 | 100.00  | 100.02 | 105.58  | 1.80   | 82.99  | MERLIN GERIN | 163.10   | 164.17  | 211.33  | 11.47  | 278.19 | 0.46E+05 |                    |  |                    |  |
| MERLIN GERIN         | 11.00 | 100.00  | 100.02 | 105.58  | 1.80   | 83.00  | BusUtama     | 163.10   | 164.17  | 211.33  | 11.47  | 278.19 | 0.46E+05 |                    |  |                    |  |
|                      |       |         |        |         |        |        | PANEL-II     | 219.46   | 226.03  | 312.56  | 24.66  | 256.89 | 0.58E+05 |                    |  |                    |  |

PANEL-II 11.00 100.00 100.02 105.58 1.80 83.01 MERLIN GERIN 219.46 226.03 312.56 24.66 256.89 0.58E+05  
 BusF TR20 68.28 68.35 74.50 4.41 60.39 0.41E+04  
 BusF TR21 75.82 80.44 127.93 35.47 491.60 0.40E+05  
 BusF TR23 75.56 80.01 126.10 34.82 480.84 0.38E+05  
 \* - THD ( Total Harmonic Distortion exceeds the limit)  
 # - IHD (Individual Harmonic Distortion exceeds the limit)

BUS TABULATION

Project: ===== Page: 12  
 Location: PowerStation 4.0.0C Date: 11-27-2007  
 Contract: SN: KLGCONSULT  
 Engineer: Study Case: HA File: filtervariasibeban

Bus Harmonic Voltages (% of fundamental voltage)

| ID           | Fund. kV | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 17   | 19   | 23   |
|--------------|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|              | 25       | 29   | 31   | 35   | 37   | 41   | 43   | 47   | 49   | 53   | 55   | 59   | 61   | 65   | 67   | 71   | 73   |      |
| BusF TR20    | 0.43     | 0.03 | 0.00 | 0.10 | 0.90 | 0.00 | 0.19 | 0.01 | 0.00 | 0.03 | 1.34 | 0.00 | 0.46 | 0.02 | 0.00 | 0.70 | 0.46 | 0.68 |
|              | 0.32     | 0.42 | 0.34 | 0.31 | 0.15 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| BusF TR21    | 0.71     | 0.08 | 0.00 | 0.25 | 5.53 | 0.00 | 0.42 | 0.06 | 0.00 | 0.15 | 3.84 | 0.00 | 1.45 | 0.09 | 0.00 | 3.07 | 1.53 | 2.66 |
|              | 1.71     | 2.18 | 1.83 | 2.05 | 1.83 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| BusF TR23    | 0.71     | 0.11 | 0.00 | 0.13 | 5.34 | 0.00 | 0.36 | 0.06 | 0.00 | 0.10 | 3.84 | 0.00 | 1.45 | 0.12 | 0.00 | 3.10 | 1.78 | 2.70 |
|              | 1.91     | 2.35 | 2.01 | 2.00 | 2.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| BusTR20      | 0.43     | 0.03 | 0.00 | 0.10 | 0.90 | 0.00 | 0.19 | 0.01 | 0.00 | 0.03 | 1.34 | 0.00 | 0.46 | 0.02 | 0.00 | 0.70 | 0.46 | 0.68 |
|              | 0.32     | 0.42 | 0.34 | 0.31 | 0.15 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| BusTR21      | 0.71     | 0.08 | 0.00 | 0.25 | 5.53 | 0.00 | 0.42 | 0.06 | 0.00 | 0.15 | 3.85 | 0.00 | 1.45 | 0.09 | 0.00 | 3.08 | 1.53 | 2.67 |
|              | 1.71     | 2.18 | 1.83 | 2.05 | 1.83 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| BusTR23      | 0.71     | 0.11 | 0.00 | 0.13 | 5.34 | 0.00 | 0.36 | 0.06 | 0.00 | 0.10 | 3.84 | 0.00 | 1.45 | 0.12 | 0.00 | 3.10 | 1.79 | 2.70 |
|              | 1.91     | 2.35 | 2.01 | 2.00 | 2.11 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| BusUtama     | 11.00    | 0.03 | 0.00 | 0.09 | 0.63 | 0.00 | 0.10 | 0.01 | 0.00 | 0.03 | 1.06 | 0.00 | 0.39 | 0.02 | 0.00 | 0.75 | 0.41 | 0.61 |
|              | 0.35     | 0.40 | 0.31 | 0.22 | 0.19 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| MERLIN GERIN | 11.00    | 0.03 | 0.00 | 0.09 | 0.63 | 0.00 | 0.10 | 0.01 | 0.00 | 0.03 | 1.06 | 0.00 | 0.39 | 0.02 | 0.00 | 0.75 | 0.41 | 0.61 |
|              | 0.35     | 0.40 | 0.31 | 0.22 | 0.19 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| PANEL-II     | 11.00    | 0.03 | 0.00 | 0.09 | 0.63 | 0.00 | 0.10 | 0.01 | 0.00 | 0.03 | 1.06 | 0.00 | 0.39 | 0.02 | 0.00 | 0.75 | 0.41 | 0.61 |
|              | 0.35     | 0.40 | 0.31 | 0.22 | 0.19 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

BRANCH TABULATION

Project: ===== Page: 15  
 Location: PowerStation 4.0.0C Date: 11-27-2007  
 Contract: SN: KLGCONSULT  
 Engineer: Study Case: HA File: filtervariasibeban

Branch % Harmonic Currents (% of fundamental current)

| ID        | Fund(A) | 2    | 3    | 4    | 5     | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 17   | 19   | 23   |
|-----------|---------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|           | 25      | 29   | 31   | 35   | 37    | 41   | 43   | 47   | 49   | 53   | 55   | 59   | 61   | 65   | 67   | 71   | 73   |      |
| CableBU   | 163.    | 1.03 | 0.00 | 1.54 | 8.23  | 0.00 | 0.89 | 0.04 | 0.00 | 0.20 | 6.34 | 0.00 | 1.97 | 0.10 | 0.00 | 2.88 | 1.40 | 1.74 |
|           | 0.91    | 0.91 | 0.65 | 0.41 | 0.33  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| CableMG   | 219.    | 0.73 | 0.00 | 0.57 | 23.53 | 0.00 | 0.94 | 0.04 | 0.00 | 0.19 | 6.01 | 0.00 | 1.84 | 0.09 | 0.00 | 2.66 | 1.29 | 1.60 |
|           | 0.83    | 0.83 | 0.59 | 0.38 | 0.30  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| CableTR20 | 1735.   | 0.15 | 0.00 | 0.19 | 3.57  | 0.00 | 1.53 | 0.06 | 0.00 | 0.07 | 1.96 | 0.00 | 0.54 | 0.04 | 0.00 | 0.22 | 0.16 | 0.18 |
|           | 0.09    | 0.02 | 0.08 | 0.24 | 0.19  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| CableTR21 | 1176.   | 0.74 | 0.00 | 1.32 | 32.39 | 0.00 | 1.55 | 0.23 | 0.00 | 0.40 | 8.58 | 0.00 | 2.75 | 0.19 | 0.00 | 4.70 | 2.10 | 3.09 |
|           | 1.92    | 2.10 | 1.67 | 1.66 | 1.37  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| CableTR23 | 1170.   | 1.29 | 0.00 | 0.42 | 31.91 | 0.00 | 1.31 | 0.26 | 0.00 | 0.25 | 8.36 | 0.00 | 2.72 | 0.24 | 0.00 | 4.51 | 2.33 | 2.88 |
|           | 1.96    | 2.05 | 1.66 | 1.47 | 1.48  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |



|      |     |      |      |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------|-----|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| TR20 | 68. | 0.15 | 0.00 | 0.19 | 3.57  | 0.00 | 1.53 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.96 | 0.00 | 0.54 | 0.00 | 0.00 | 0.22 | 0.16 | 0.18 |
|      |     | 0.09 | 0.00 | 0.08 | 0.24  | 0.19 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| TR21 | 76. | 0.76 | 0.00 | 1.36 | 33.35 | 0.00 | 1.59 | 0.24 | 0.00 | 0.42 | 8.84 | 0.00 | 2.83 | 0.20 | 0.00 | 4.84 | 2.16 | 3.18 |
|      |     | 1.98 | 2.16 | 1.72 | 1.71  | 1.41 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| TR23 | 76. | 1.33 | 0.00 | 0.44 | 32.78 | 0.00 | 1.35 | 0.27 | 0.00 | 0.26 | 8.59 | 0.00 | 2.79 | 0.25 | 0.00 | 4.64 | 2.40 | 2.96 |
|      |     | 2.01 | 2.11 | 1.70 | 1.51  | 1.52 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |



## Lampiran 4 Spesifikasi Hioki Power Analyzer 3169-20

### Basic specifications 3169-20 3169-21

|  |   |
|--|---|
| Measurement line type  | Single-phase 2-wire, single-phase 3-wire, three-phase 3-wire, and three-phase 4-wire systems (50/60 Hz)   |
| Number of systems that can be measured (for systems that share the same voltage) | Single-phase: 1P2W 4 systems<br>1P3W 2 systems<br>Three-phase: 3P3W2M (measures the voltage and current for two lines) 2 systems<br>3P3W3M (measures the voltage and current for all three lines) 1 system<br>3P4W (measures the voltage and current for three lines) 1 system<br>3P4W4I (measures the voltage for three lines and the current for four lines) 1 system |
| Measurement item   | Voltage, current, active power, reactive power, apparent power, power factor, integrated value, frequency, harmonics  |
| Measurement range  | Voltage: 150 V to 600 V, 3 ranges<br>Current (When using 9660): 5 A to 100 A, 4 ranges<br>Current (When using 9661): 5 A to 500 A, 5 ranges<br>Current (When using 9669): 100 A to 1 kA, 3 ranges<br>Current (When using 9667): 500 A / 5 kA, 2 ranges<br>Current (When using 9694): 0.5 A to 5 A, 3 ranges<br>Power: 75 W to 9 MW, 108 combination patterns            |
| Basic accuracy   | $\pm 0.2\%$ rdg. $\pm 0.1\%$ f.s. + clamp-on sensor accuracy (active power, at 45 to 66 Hz)   |
| Clamp sensor accuracy  | 9660 (rated for 100 A): $\pm 0.3\%$ rdg. $\pm 0.02\%$ f.s.<br>9661 (rated for 500 A): $\pm 0.3\%$ rdg. $\pm 0.01\%$ f.s.<br>9669 (rated for 1000 A): $\pm 1.0\%$ rdg. $\pm 0.01\%$ f.s.<br>9667 (rated for 5000 A): $\pm 2.0\%$ rdg. $\pm 1.5$ mV<br>9694 (rated for 5 A): $\pm 0.3\%$ rdg. $\pm 0.02\%$ f.s.<br>* f.s. is the sensor's rated primary current value.    |
| Frequency characteristic   | Fundamental waveforms up to the 50th order $\pm 3\%$ f.s. + measurement accuracy (of a 45- to 66-Hz fundamental waveform)   |
| Other functions  | * PC card (1 slot, PC Card Standard-compliant Type II, Flash ATA card type),<br>* RS-232C (Printer or PC connected to an RS-232C interface),<br>* D/A output (3169-21 only, 4 channels),<br>* External I/O  |
| Display update rate  | Approx. every 0.5 seconds<br>(except when using a PC card while accessing the internal memory, or when performing RS-232C communications)   |
| Power supply voltage rating  | 100 to 240 V AC, 50/60 Hz   |
| Dimensions and weight  | 210W $\times$ 160H $\times$ 60D mm $\pm 5$ mm (excluding protrusions), 1.2 kg $\pm 100$ g (3169-20, 3169-21)  |