

SKRIPSI

**DESAIN DAN SIMULASI FILTER HARMONIK DARI TANUR LISTRIK
BERBASISKAN PROGRAM PSCAD**



ARI PARMAYANTI

105 82 1495 14

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

MAKASSAR

2019

**DESAIN DAN SIMULASI FILTER HARMONIK DARI TANUR LISTRIK
BERBASISKAN PROGRAM PSCAD**

Skripsi

diajukan sebagai salah satu syarat

untuk memperoleh gelar sarjana

Program Studi Teknik Elektro

Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Teknik

Disusun dan diajukan oleh:

PRAHARA INDRI WULAN MAULINI

ARI PARMAYANTI

105 82 1442 14

105 82 1495 14

PADA

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

MAKASSAR

2019



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

Website: www.unismuh.ac.id, e_mail: unismuh@gmail.com

Website: <http://teknik.unismuh.makassar.ac.id>

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat ujian guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Judul Skripsi : **DESAIN DAN SIMULASI FILTER HARMONIK DARI TANUR LISTRIK BERBASISKAN PROGRAM PSCAD**

Nama : 1. Prahara Indri Wulan Maulini
2. Ari Parmayanti

Stambuk : 1. 10582 1442 14
2. 105821495 14

Makassar, 19 Juni 2019

Telah Diperiksa dan Disetujui
Oleh Dosen Pembimbing;


Pembimbing I

Pembimbing II


Dr. Jr. Zahir Zainuddin, M.Sc


Andi Faharuddin, S.T.,M.T
NIP.132169986

Mengetahui,
Ketua Jurusan Elektro


Adriani, S.T., M.T.
NBM : 1044 202



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

Website: www.unismuh.ac.id, e_mail: unismuh@gmail.com

Website: <http://teknik.unismuh.makassar.ac.id>

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

PENGESAHAN

Skripsi atas nama Prahara Indri Wulan Maulini dengan nomor induk Mahasiswa 10582144214 dan Ari Parmayanti dengan nomor induk Mahasiswa 10582149514, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0003/SK-Y/20201/091004/2019, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Senin tanggal 17 Juni 2019.

Panitia Ujian :

Makassar, 15 Syawal 1440 H

19 Juni 2019 M

1. Pengawas Umum

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

Prof. Dr. H. Abdul Rahman Rahim, SE., MM.

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Dr. Ir. H. Muh. Arsyad Thaha, M.T

2. Penguji

a. Ketua : Dr. Eng. Ir. H. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Eng

b. Sekretaris : Rahmania, S.T.,M.T

3. Anggota

: 1. Ir. Abdul Hafid, M.T

2. Suryani, S.T.,M.T

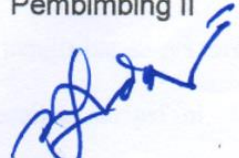
3. Dr. Rossy Timur Wahyuningsih, S.T.,M.T

Mengetahui :

Pembimbing I

Pembimbing II

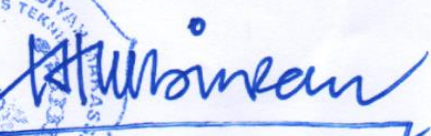

Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc


Andi Faharuddin, S.T.,M.T

NIP.132169986

Dekan




Ir. Hamzah Al Imran, S.T., M.T.,IPM

NBM : 855 500

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nyalah sehingga penulis dapat menyusun skripsi ini, dan dapat kami selesaikan dengan baik.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan akademik yang harus ditempuh dalam rangka menyelesaikan Program Studi pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Adapun judul tugas akhir kami adalah: **"Desain dan Simulasi Filter Harmonik dari Tanur Listrik Berbasiskan Program PSCAD"**

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa didalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan-kekurangan. Oleh karena itu penulis menerima dengan senang hati segala koreksi serta perbaikan guna penyempurnaan tulisan ini agar kelak dapat bermanfaat.

Skripsi ini dapat terwujud berkat adanya bantuan, arahan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan segala ketulusan dan kerendahan hati, kami mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi tingginya kepada:

1. Ayahanda dan Ibunda tercinta, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar besarnya atas segala limpahan kasih sayang, doa dan pengorbanannya terutama dalam bentuk materi sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

2. Bapak Ir. Hamzah Al Imran, S.T.,M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
3. Ibu Adriani, S.T.,M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar
4. Bapak Dr. Ir Zahir Zainuddin, M.Sc selaku pembimbing I dan Bapak Andi Faharuddin, S.T.,M.T selaku pembimbing II yang telah banyak meluangkan waktu dalam membimbing kami.
5. Bapak dan Ibu dosen serta staf pegawai pada Fakultas Teknik atas segala waktunya telah mendidik dan melayani penulis selama mengikuti proses belajar di Universitas Muhammadiyah Makassar.
6. Saudara-saudara serta rekan-rekan mahasiswa Fakultas Teknik terkhusus angkatan 2014 yang dengan keakraban dan persaudaraannya banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Semoga semua pihak tersebut diatas mendapat pahala yang berlipat ganda disisi Allah SWT dan skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis, rekan-rekan, masyarakat serta bangsa dan negara. Amin

Makassar, 10 Juni 2019

Penulis

Prahara Indri Wulan Maulini¹.Ari Parmayanti²

¹Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknik Unismuh Makassar

E mail: indrimaulini23@gmail.com

²Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknik Unismuh Makassar

E mail: ariparmayanti08@gmail.com

ABSTRAK

Abstrak: Prahara Indri Wulan Maulini dan Ari Parmayanti (2019). Salah satu masalah paling penting dalam pasokan listrik konsumen saat ini adalah untuk memastikan kualitas daya. Setiap gangguan yang dihasilkan dalam sistem daya oleh salah satu elemennya dapat sangat mempengaruhi kualitas daya yang dikonsumsi oleh elemen lain terutama yang terletak dekat dengan komponen yang mengganggu. Tanur busur listrik (*Electric Arc Furnace*) yang digunakan dalam industri besi dan baja adalah beban non-linear yang tidak seimbang sehingga mempengaruhi kualitas sistem daya. Masalah kualitas daya pada tanur busur listrik terutama dipengaruhi oleh harmonik. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendesain filter pasif jenis *single tuned* yang dipasang pada suatu sistem daya dan tanur listrik, serta mengetahui keandalan filter tersebut dalam mendeteksi suatu harmonik yang disebabkan oleh beban non-linear. Untuk itu dilakukan simulasi penanganan gangguan harmonik menggunakan perangkat lunak *PSCAD*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa filter pasif jenis *single tuned* mampu menunjukkan sensitivitasnya dalam mendeteksi harmonik. Hal tersebut dikarenakan sebelum pemasangan filter nilai THD tegangan dan arus melebihi standar IEEE 519 1992. Sebaliknya setelah pemasangan filter, nilai THD tegangan dan arus berkurang dan sesuai dengan standar IEEE 519 1992.

Kata Kunci: EAF, beban *non linear*, *single tuned filter*.

Prahara Indri Wulan Maulini¹.Ari Parmayanti²

¹ Product of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Unismuh, Makassar

E mail: indrimaulini23@gmail.com

² Product of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Unismuh, Makassar

E mail: ariparmayanti08@gmail.com

ABSTRACT

Abstract: Prahara Indri Wulan Maulini and Ari Parmayanti (2019). One of the most important problems in consumer electricity supply today is to ensure power quality. Any interference that is generated in the power system by one of its elements can greatly affect the quality of the power consumed by other elements, especially those located close to the disturbing components. Electric Arc Furnaces used in the iron and steel industry are unbalanced non-linear loads that affect the quality of the power system. The problem of power quality in electric arc furnaces is mainly influenced by harmonics. The purpose of this study was to design a single tuned passive filter installed on a power system and electric furnace, and to determine the reliability of the filter in detecting a harmonic caused by non-linear loads. For that reason, harmonic interference handling simulation is done using PSCAD software. The test results show that a single tuned passive filter can show its sensitivity in detecting harmonics. This is because before the installation of filters the voltage and current THD values exceed the IEEE 519 1992 standard. Conversely after the filter installation, the voltage and current THD values are reduced and are in accordance with the 1992 IEEE 519 standard.

Key words: EAF, non linear load, single tuned filter.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK	iii
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Tujuan Penelitian	2
D. Batasan Masalah	3
E. Manfaat Penelitian.....	3
F. Sistematika Penulisan.....	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	6
A. Kualitas Daya.....	6
1. Analisa Kualitas Daya	7
B. Tanus Busur Listrik.....	8
1. Memodelkan Instalasi Tungku Busur Listrik	9
C. Harmonik	10
1. Analisis <i>Fourier</i>	12
2. Dampak harmonisa.....	13
3. Standard Distorsi Harmonisa.....	16
4. Filter Pasif Harmonik	18
D. Perangkat Lunak PSCAD/EMTDC	21
BAB III. METODE PENELITIAN	23
A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	23
B. Alat atau Bahan.....	23
C. Data (Parameter) dan Variabel Penelitian.....	24
D. Skema Penelitian	24

E.Langkah Penelitian.....	24
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	27
A. Model Sistem Daya Tanpa Filter	27
B. Hasil Simulasi THD dan IHD Sebelum Pemasangan Filter	29
C. Model Sistem Daya Dengan Filter	33
D. Hasil Simulasi THD dan IHD Setelah Pemasangan Filter	41
BAB V. PENUTUP	45
A. Simpulan	45
B. Saran	46
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN A	50
LAMPIRAN B	60
LAMPIRAN C	70



DAFTAR GAMBAR

Gambar	Judul	Halaman
2.1	Tanur Busur Listrik	8
2.2	Simulasi Instalasi Tungku Busur Listrik	9
2.3	Distorsi yang Disebabkan oleh Resistansi Non Linear	10
2.4	Representasi Deret Fourier dari Bentuk Gelombang Terdistorsi	12
2.5	Layar Utama Aplikasi PSCAD	20
2.6	Beberapa Model Komponen dalam PSCAD	22
3.1	Diagram Balok Skema Penelitian	24
3.2	Bagan Alir Proses Penelitian	27
4.1	Model Sistem Daya dan Tanur Listrik Tanpa Filter Disimulasikan pada PSCAD	28
4.2	Diagram THD Arus dan Tegangan pada Fase A, B, dan C Tanpa Filter	31
4.3	Diagram IHD Arus dan Tegangan pada Fase A, B, dan C Tanpa Filter	33
4.4	Model Sistem Daya dan Tanur Listrik dengan Filter Disimulasikan pada PSCAD	36
4.5	Diagram THD Arus dan Tegangan pada Fase A, B, dan C Setelah Pemasangan Filter	42
4.6	Diagram IHD Arus dan Tegangan pada Fase A, B, dan C Setelah Pemasangan Filter	44

DAFTAR TABEL

Tabel	Judul	Halaman
2.1	Batas Distorsi Arus Berdasarkan IEEE Std 519-1992	15
2.2	Batas Distorsi Tegangan Berdasarkan IEEE Std 519-1992	17
3.1	Jadwal Penelitian	26
4.1	Data Parameter Sumber Tegangan pada PSCAD	29
4.2	Data Parameter Transformator HV-MV pada PSCAD	29
4.3	Data Parameter Transformator MV-LV pada PSCAD	30
4.4	THD Tegangan dan Arus Sebelum Pemasangan Filter Pasif	31
4.5	<i>Individusl Harmonic Distortion</i> (IHD) Arus	33
4.6	<i>Individusl Harmonic Distortion</i> (IHD) Tegangan	34
4.7	Nilai Induktor dan Kapasitor untuk <i>Passive Filter</i>	41
4.8	THD Tegangan dan Arus Setelah Pemasangan Filter Pasif	43
4.9	<i>Individusl Harmonic Distortion</i> (IHD) Arus	44
4.10	<i>Individusl Harmonic Distortion</i> (IHD) Tegangan	44

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran A Bentuk dan Kegunaan Komponen yang Digunakan
- Lampiran B Grafik Gelombang Keluaran Hasil Simulasi Tanpa Filter dengan Menggunakan Program PSCAD
- Lampiran C Grafik Gelombang Keluaran Hasil Simulasi dengan Filter Menggunakan Program PSCAD



DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

Notasi	Definisi dan Keterangan
Harmonik	Gejala pembentukan gelombang-gelombang dengan frekuensi berbeda yang merupakan perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya
Filter Harmonik	Untuk mengurangi dan menekan semaksimal mungkin harmonik
Beban Linear	Beban yang memberikan bentuk gelombang keluaran yang linear artinya arus yang mengalir sebanding dengan impedansi dan perubahan tegangan
Beban Non Linear	Bentuk keluarannya tidak sebanding dengan tegangan dalam setiap setengah siklus sehingga bentuk gelombang arus maupun tegangan keluarannya tidak sama dengan bentuk gelombang masukannya
Orde Harmonik	Perkalian frekuensi harmonik dengan frekuensi dasar
Spektrum	Distribusi dari semua amplitude harmonik sebagai fungsi dari orde harmoniknya, dan diilustrasikan menggunakan histogram
PSCAD	<i>Power Systems Computer Aided Design</i>
EMTDC	<i>Electro Magnetic Transient DC</i>
THD	<i>Total Harmonic Distortion</i>
IHD	<i>Individual Harmonic Distortion</i>

Hz	Frekuensi
n	Orde Harmonik
R	Resistor
L	Induktor
C	Kapasitor
AC	Arus Bolak Balik
DC	Arus Searah
PCC	<i>Point Of Common Coupling</i>
I_L	Arus beban fundamental nominal
I_{sc}	Arus hubung singkat yang ada pada PCC
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
EAF	<i>Electric Arc Furnace</i>
SCR	<i>Short Circuit Ratio</i>

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Tanur busur listrik (*Electric Arc Furnace*) yang digunakan dalam industri besi dan baja adalah beban non-linear yang tidak seimbang sehingga mempengaruhi kualitas sistem daya. Kualitas daya terutama dipengaruhi oleh harmonik tegangan dan arus, faktor daya rendah dan fluktuasi tegangan. Harmonik sendiri merupakan komponen sinusoidal dari gelombang periodik atau kuantitas yang memiliki frekuensi kelipatan bilangan bulat dari frekuensi fundamentalnya (Rao, 2013). Frekuensi dasar suatu sistem tenaga listrik adalah 50 Hz (di Indonesia), maka harmonik kedua adalah gelombang dengan frekuensi 100 Hz, harmonik ketiga adalah gelombang dengan frekuensi 150 Hz dan seterusnya (Mubarak, 2013). Masalah harmonik timbul karena meningkatnya penggunaan sistem elektronik daya dan fluktuasi tegangan terjadi karena beban industri besar seperti EAF, roler mill, dan pompa beroperasi secara berkala dalam sistem distribusi daya yang lemah.

Dampak harmonisa jika dibiarkan akan menimbulkan kerugian teknis dan finansial bagi pihak industri. Namun, harmonik tidak bisa dihilangkan secara keseluruhan tetapi dapat diredam nilainya sampai berada dalam batas aman. Banyak cara yang bisa dilakukan untuk meredam harmonisa, tetapi yang paling sering dilakukan adalah dengan pemasangan filter pasif. Sebelum merencanakan

sebuah filter, terlebih dahulu kita harus melakukan studi harmonik untuk mengetahui kondisi



harmonik di sistem kelistrikan tersebut. Maka dilakukan studi analisis dan mitigasi harmonisa menggunakan software PSCAD (*Power System Computer Aied Desain*) atau EMTDC (*Electro Magnetic Transient DC*).

B. Rumusan Masalah

Atas dasar penjelasan di atas maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana model sistem daya dan tanur listrik menggunakan program PSCAD?
2. Bagaimana hasil pengukuran performa distorsi harmonik sistem akibat busur listrik pada saat filter pasif belum terpasang?
3. Bagaimana desain filter pasif untuk mereduksi harmonik yang disebabkan oleh tanur listrik?
4. Bagaimana hasil pengukuran performa harmonik pada seluruh sistem?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini diantaranya:

1. Dapat memodelkan sistem daya dan tanur listrik menggunakan program PSCAD.
2. Dapat mengetahui hasil pengukuran performa distorsi harmonik sistem akibat busur listrik pada saat filter belum terpasang.
3. Dapat mendesain filter pasif untuk mereduksi harmonik yang disebabkan oleh tanur listrik.

4. Dapat mengetahui hasil pengukuran performa harmonik pada seluruh sistem.

D. Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini adalah:

1. Penelitian hanya meneliti efek harmonik dari frekuensi fundamental sampai dengan harmonik ke-7.
2. Penelitian hanya meneliti tanur busur listrik yang terjadi pada industri baja
3. Tipe filter yang digunakan adalah tipe *passive filter*.
4. Simulasi rangkaian filter harmonik dengan menggunakan software PSCAD.

E. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah menambah wawasan penulis dalam penggunaan program software PSCAD dalam mendesain pemodelan filter pasif.

F. Sistematika Penulisan

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

Bab pertama, Bab ini menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, serta tujuan dan manfaat dari penelitian yang dilakukang serta sistematika penulisan dari laporan hasil peneitian.

Bab Kedua, Bab ini menjelaskan tentang teori-teori pendukung yang berkaitan dengan judul penelitian.

Bab Ketiga, Bab ini menjelaskan tentang waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan yang digunakan, diagram balok dan gambar rangkaian penelitian, serta metode penelitian yang berisi langkah-langkah dalam proses melakukan penelitian. **Bab Keempat,** Bab ini merupakan penutup yang berisi tentang simpulan dan saran terkait judul penelitian.

Daftar Pustaka, Berisi tentang daftar sumber referensi penulis dalam memilih teori yang relevan dengan judul penelitian.

Lampiran, Berisi tentang dokumentasi hasil penelitian serta alat dan bahan yang digunakan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Kualitas Daya

Salah satu masalah paling penting dalam pasokan listrik konsumen saat ini adalah untuk memastikan kualitas daya. Setiap gangguan yang dihasilkan dalam sistem daya oleh salah satu elemennya (komponen) dapat sangat mempengaruhi kualitas daya yang dikonsumsi oleh elemen lain terutama yang terletak dekat dengan komponen yang mengganggu. Kualitas daya dapat diartikan oleh adanya dua komponen:

- Kualitas tegangan. Ini mengungkapkan penyimpangan tegangan dari yang ideal dan dapat ditafsirkan sebagai kualitas produk yang disampaikan oleh utilitas.
- Kualitas arus. Ini mengungkapkan penyimpangan saat ini dari yang ideal dan dapat ditafsirkan sebagai kualitas produk yang diterima oleh pelanggan.

Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) Standar IEEE 1100 mendefinisikan kualitas daya sebagai "konsep *powering* dan *grounding* peralatan elektronik yang sensitif dengan cara yang sesuai untuk peralatan". Tetapi ini bukan satu-satunya penafsiran. Definisi lain yang lebih sederhana dan lebih ringkas menyatakan "Kualitas daya adalah sekumpulan batasan listrik yang memungkinkan peralatan berfungsi sebagaimana mestinya tanpa kehilangan kinerja yang signifikan atau harapan hidup". Definisi lain kualitas daya

berdasarkan prinsip EMC, adalah sebagai berikut: kualitas daya mengacu pada berbagai fenomena elektromagnetik yang mencirikan tegangan dan arus pada waktu tertentu dan di lokasi tertentu sistem tenaga. IEC 61000-4-30 mendefinisikan kualitas daya sebagai "karakteristik listrik pada titik tertentu pada sistem kelistrikan, dievaluasi terhadap sekumpulan referensi parameter teknis" (Horia Andrei, 2011); (Toulouevski & Zinurov, 2010).

1. Analisa Kualitas Daya

Distorsi harmonik dalam sistem tenaga listrik menimbulkan kerugian berupa penurunan kualitas sistem tenaga listrik antara lain terjadi pemanasan, penurunan faktor daya, masalah resonansi dan lain-lain (Hari Prasetyo, 2012).

Untuk mengetahui nilai distorsi harmonis sudah memenuhi persyaratan limit yang diperbolehkan, maka perlu dilakukan perhitungan yang biasanya disebut dengan Total Harmonic Distorsion (THD). THD adalah harga efektif (rms) dari gabungan seluruh komponen harmonis dibagi dengan nilai efektif (rms) komponen fundamental (Mochamad Ashari, 2017). Dalam persamaan matematika dituliskan:

- Faktor distorsi tegangan:

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \quad (1)$$

$$THD_V = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots}}{V_1} \quad (2)$$

- Faktor distorsi arus:

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (3)$$

$$THD_I = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots}}{I_1} \quad (4)$$

Dimana V_1, I_1 adalah nilai rms untuk tegangan dan arus fundamental dan V_n, I_n adalah nilai efektif untuk tegangan dan arus pada harmonik orde n.

B. Tanur Busur Listrik

Tanur busur listrik secara luas digunakan dalam pembuatan baja dan peleburan logam non besi. Tanur busur listrik khas beroperasi pada level daya mulai dari 10 MW hingga 100 MW. Tingkat daya secara langsung terkait dengan keluaran produksi, sehingga penting untuk mengontrol tanur busur listrik pada kekuatan rata-rata tertinggi yang mungkin dengan varians rendah untuk menghindari perjalanan *breaker* di bawah kondisi lonjakan arus. Untuk kontrol daya yang efisien, diperlukan model tanur busur listrik yang baik dan dinamis (S.Arab dkk, 2010).

Seringkali perubahan beban dinamis dari tanur dapat menyebabkan dampak yang signifikan pada peralatan pembangkitan, stabilitas transien dari sistem tenaga dan kualitas daya pada beban – beban lain yang terinterkoneksi (M. Muslim, 2002).

Tanur busur listrik secara umum dapat digolongkan kedalam dua jenis yaitu *direct heat arc furnace* dan *indirect heat arc furnace* (Bowman, 2009) (Supriyatna, 2014). Pada *direct heat arc furnace*, kutub positif dan kutub negatif tanur dikontakkan secara langsung sehingga timbul panas. Sedangkan pada *indirect heat arc furnace*, kontak antara kedua kutub tersebut tidak langsung, tetapi hubungan

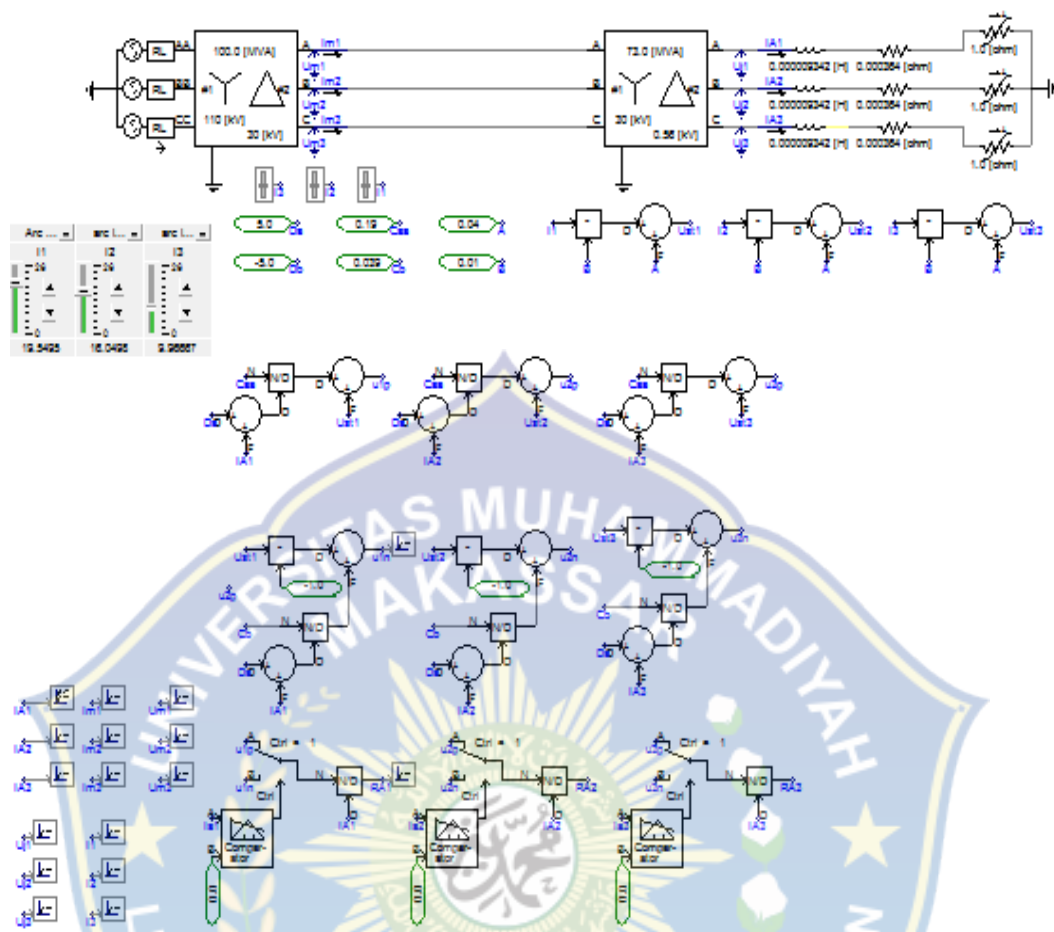
kedua kutub tersebut melalui muatan (Supriyatna, 2014).



Gambar 2.1 Tanur Busur Listrik (Paiva, 1996)

1. Memodelkan Instalasi Tungku Busur Listrik

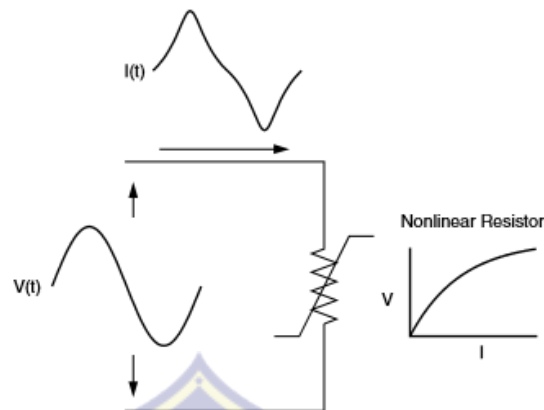
Untuk memodelkan dan menyimulasikan operasi seluruh instalasi EAF tiga fase, diidentifikasi parameter diagram listrik. Kemudian ditentukan parameter model busur. Selanjutnya simulasi, akan diperoleh hasil yang sangat dekat dengan hasil mengikuti pengukuran selama pembakaran stabil busur listrik.



Gambar 2.2 Simulasi Instalasi Tungku Busur Listrik

C. Harmonik

Harmonik didefinisikan sebagai komponen sinusoidal dari gelombang periodik atau kuantitas yang memiliki frekuensi kelipatan bilangan bulat dari frekuensi fundamentalnya (Rao, 2013). Frekuensi dasar suatu sistem tenaga listrik adalah 50 Hz di Indonesia, maka harmonik kedua adalah gelombang dengan frekuensi 100 Hz, harmonik ketiga adalah gelombang dengan frekuensi 150 Hz dan seterusnya (Mubarak, 2013).



Gambar 2.3 Distorsi yang disebabkan oleh resistansi nonlinear

(Dugan dkk, 2003)

Penyebab terjadinya gelombang harmonisa adalah penggunaan beban-beban non linier pada sistem tenaga yang menimbulkan distorsi pada bentuk gelombang sinus. Beban non-linier ini dimodelkan sebagai sumber arus yang menginjeksikan arus harmonisa ke dalam sistem tenaga. Salah satu dampak yang umum dari gangguan harmonik adalah panas lebih pada kawat netral dan transformator sebagai akibat timbulnya harmonik ketiga yang dibangkitkan oleh peralatan listrik satu fase.

Harmonik sangat mempengaruhi sistem tenaga listrik karena harmonik cenderung akan menuju ke tempat yang mempunyai impedansi yang rendah. Dalam sistem penyaluran energi listrik harmonik dapat bergerak menuju generator pembangkit tenaga listrik karena mempunyai impedansi yang sangat rendah. Harmonik juga dapat bergerak menuju transformator, sehingga transformator akan mengalami panas berlebihan yang disebabkan oleh naiknya *losses*. Untuk mengetahui hal tersebut diantaranya bisa dilakukan dengan memasang tumpuk

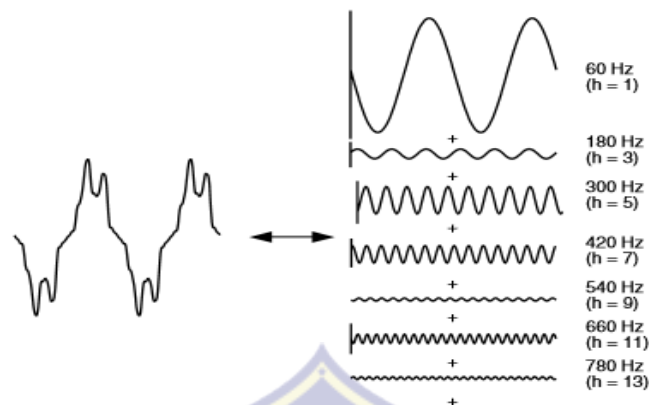
kapasitor. Sifat kapasitor adalah memiliki impedansi yang rendah sehingga arus harmonik dapat menuju tumpuk kapasitor. Untuk mengetahui berbagai persoalan yang ditimbulkan oleh adanya arus harmonik pada sistem distribusi tenaga listrik, dengan cara menghilangkan atau mengurangi kandungan arus harmonik sampai memenuhi batasan harmonik yang diijinkan (Sutiawati, 2016).

Frekuensi harmonik adalah suatu frekuensi yang menyebabkan cacatnya gelombang amplitudo dalam suatu sistem tenaga listrik. Untuk bilangan bulat pengali frekuensi dasar disebut angkatan urutan harmonik. Misal, frekuensi dasar suatu system tenaga listrik adalah 50 Hz, maka harmonik kedua adalah gelombang dengan frekuensi 100 Hz, harmonisa ketiga adalah gelombang dengan frekuensi 150 Hz dan seterusnya.

Gelombang ini kemudian menumpang pada gelombang murni atau aslinya sehingga terbentuk gelombang cacat. Ini merupakan penjumlahan antara gelombang murni sesaat dengan gelombang harmoniknya (Sutiawati, 2016).

1. Analisis *Fourier*

Fourier menyatakan bahwa setiap fungsi periodik yang berulang dalam interval waktu T dapat direpresentasikan sebagai penjumlahan dari komponen sinusoidal fundamental dengan komponen deret harmoniknya pada frekuensi yang merupakan hasil kali antara bilangan bulat (*integer*) dengan frekuensi fundamentalnya. Deret *fourier* dapat dinyatakan dalam persamaan matematis sebagai berikut:



Gambar 2.4 Representasi deret Fourier dari bentuk gelombang terdistorsi

(Dugan dkk, 2003)

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + a_1 \cos \omega_0 t + a_2 \cos 2\omega_0 t + \dots$$

$$+ b_1 \sin \omega_0 t + b_2 \sin 2\omega_0 t + \dots \quad (5)$$

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega_0 t + b_n \sin n\omega_0 t) \quad (6)$$

Dimana n adalah orde harmonik, yaitu bilangan 1,2,3... dan seterusnya. Orde $n = 1$ menyatakan komponen dasar untuk fundamental dari gelombang. Suku $a_0/2$ menyatakan komponen DC atau nilai rata-rata dari gelombang. Suku $a_1 \cos \omega_0 t + b_1 \sin \omega_0 t$ adalah komponen fundamental yang mempunyai frekuensi dan periode yang sama seperti gelombang semula atau gelombang dasarnya. Suku $a_n \cos \omega_0 t + b_n \sin \omega_0 t$ memberikan komponen harmonik ke- n .

2. Dampak harmonisa

Pengaruh hamonisa 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

Secara khusus, efek atau dampak yang ditimbulkan oleh harmonik pada sistem tenaga listrik dapat dibagi menjadi dua yaitu (Irpandi, 2012):

1. Efek jangka pendek
 - a. Tegangan harmonik dapat mengganggu pengendalian yang digunakan pada sistem elektronik.
 - b. Harmonik dapat menyebabkan kesalahan pada peralatan pengukuran listrik yang menggunakan prinsip induksi magnetik.
 - c. Harmonik dapat mengganggu alat-alat pengaman dalam sistem tenaga listrik seperti relay.
 - d. Pada mesin-mesin berputar seperti generator dan motor, torsi mekanik yang diakibatkan oleh arus harmonik dapat menyebabkan getaran dan suara bising pada mesin-mesin tersebut.
 - e. Bila pada sistem komunikasi yang dekat dengan sistem tenaga listrik maka sistem tersebut dapat terganggu oleh harmonik. Biasanya sistem control dari sistem telekomunikasi yang terganggu oleh harmonik.
2. Efek jangka Panjang
 - a. 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.

b. 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.

c. Pemanasan pada transformator

Transformator sangat rentan terhadap pengaruh harmonik. Transformator dirancang sesuai dengan frekuensi kerjanya. Frekuensi harmonik yang lebih tinggi dari frekuensi kerjanya akan mengakibatkan penurunan efisiensi dan pada akhirnya mengakibatkan kerugian daya. Pengaruh utama harmonik pada transformator adalah:

- 1) Panas lebih yang dibangkitkan oleh arus beban yang mengandung harmonik.
- 2) Kemungkinan resonansi paralel transformator dengan kapasitansi sistem.
- 3) Menghasilkan arus netral yang lebih tinggi dari arus fasa.

d. Pemanasan pada kabel dan peralatan lainnya

Rugi-rugi kabel yang dilewati oleh arus harmonik akan semakin besar. Hal ini disebabkan meningkatnya resistansi dari tembaga akibat meningkatnya frekuensi (efek kulit).

3. Standard Distorsi Harmonisa

a. Standar Distorsi Arus Harmonisa

Menurut IEEE Standar 519-1992, untuk menentukan standar batas maksimum THD arus pada utility, maka harus diketahui terlebih dahulu rasio hubung singkat (*short-circuit ratio*). SCR dapat dicari dengan menggunakan rumus (Suartika, 2016):

$$SC_{ratio} = \frac{I_{sc}}{I_L} \quad (7)$$

I_{sc} adalah arus hubung singkat yang ada pada PCC (*Point of Common Coupling*), sedangkan I_L adalah arus beban fundamental nominal (Sugiarto, 2012). Persyaratan tentang limit harmonisa yang diperbolehkan tertulis dalam *IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power System Std. 519-1992*.

Tabel 2.1 Batas Distorsi Arus Berdasarkan IEEE Std 519-1992

Batas Distorsi Arus untuk Sistem Distribusi Umum (120 V - 69000 V)

Distorsi Arus Harmonik Maksimum Dalam I_L						
Urutan Harmonik Individu (Harmonik Ganjil)						
I_{sc}/I_L	<11	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD
<20*	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0

>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0
-------	------	-----	-----	-----	-----	------

Bahkan harmonik dibatasi hingga 25% dari batas harmonik di atas.

Distorsi saat ini yang menghasilkan dc offset, mis. konverter setengah gelombang, tidak diizinkan.

Dimana

I_{SC} = arus hubung singkat maksimum di PCC

I_L = arus beban permintaan maksimum (komponen frekuensi dasar) di PCC

TDD = Total permintaan distorsi (RSS), distorsi arus harmonik dalam % dari beban permintaan saat ini maksimum (15 atau 30 permintaan min).

PCC = Titik penggabungan umum.

b. Standar Distorsi Tegangan

Tegangan memiliki batas-batas toleransi yang diperbolehkan. Batas-batas toleransi tersebut ditentukan oleh suatu institusi, asosiasi profesi dalam bentuk standard. Dikenal beberapa institusi yang menetapkan peraturan atau standard dan diacu oleh berbagai kalangan diseluruh dunia, seperti IEEE, IEC, ANSI, SNI. Salah satu standard, yaitu IEEE Std 519-1992 dikeluarkan oleh IEEE tentang cacat gelombang tegangan dan arus pada sistem jaringan listrik. Standar tersebut memberikan filosofi bahwa pada setiap sistem jaringan kelistrikan :

- Kualitas tegangan menjadi tanggung jawab penyedia sistem tenaga listrik

- Kualitas arus menjadi tanggung jawab konsumen atau pengguna sistem tenaga listrik. Cacat gelombang arus disebabkan oleh beban beban listrik yang dioperasikan oleh konsumen.

Dalam standard IEEE Std 519-1992, batas toleransi cacat tegangan dikelompokkan dalam beberapa group sesuai dengan level tegangannya seperti disajikan pada tabel.

Tabel 2.2 Batas Distorsi Tegangan Berdasarkan IEEE Std 519-1992

Batas Distorsi Tegangan

Bus Voltage at PCC	Distorsi Tegangan	Tegangan Total
	Individual (%)	Distorsi THD (%)
69 Kv	3.0	5.0
69.001 kV - 161 kV	1.5	2.5
> 161.001 kV	1.0	1.5

Catatan: Sistem tegangan tinggi dapat memiliki hingga 2,0% THD di mana penyebabnya adalah terminal HVDC yang akan menipis pada saat disadap untuk pengguna.

4. Filter Pasif Harmonik

Gangguan harmonik yang cukup besar dapat mengakibatkan kualitas listrik menjadi kurang baik. Untuk itu dibutuhkan cara untuk meredam gangguan harmonik tersebut dengan cara memasang filter harmonik. Filter harmonik adalah rangkaian yang digunakan pada sistem tenaga listrik untuk mengurangi distorsi

tegangan dan sebagai koreksi faktor daya (Irfa Hambali, 2010). Filter harmonik selain dapat meredam harmonik juga dapat berfungsi sebagai kompensator reaktif pada frekuensi fundamental (Hari Prasetijo, 2012). Didalam mendesain suatu filter, perlu dilakukan studi untuk menentukan kompensasi daya reaktif yang diperlukan oleh sistem. Filter harus didesain untuk menyediakan daya reaktif dalam jumlah yang tepat.

Filter pasif adalah elemen induktansi, kapasitansi, dan hambatan yang dikonfigurasi dan disetel untuk mengontrol harmonik. Filter pasif pada rangkaian kapasitor dan sirkuit meresonansi reaktor untuk menyajikan jalur impedansi tinggi ke frekuensi dasar dan jalur impedansi rendah ke frekuensi spesifik yang lebih tinggi (yaitu 5 – 250 Hz, 7 – 350 Hz). Filter pasif sebagian didesain untuk memberikan bagian khusus untuk mengalihkan arus harmonisa yang tidak diinginkan dalam sistem tenaga (Hari Prasetijo, 2012).

Filter pasif umumnya digunakan dan relatif murah dibandingkan dengan cara lain untuk menghilangkan distorsi harmonik. Namun, mereka memiliki kelemahan berpotensi berinteraksi dengan sistem daya, dan penting untuk memeriksa semua kemungkinan interaksi sistem ketika mereka dirancang.

Filter harmonik pasif yang sering digunakan pada sistem distribusi adalah filter jenis *single tuned* dan *high pass damper*. *Single tuned filter* digunakan untuk mengurangi penyimpangan tegangan pada sistem tenaga dan juga sebagai koreksi faktor daya (Mustari Rochibi, 2018). Pada prinsipnya sebuah *single tuned* filter dipasang untuk setiap harmonik yang akan dihilangkan. Filter-filter ini dihubungkan pada busbar dimana pengurangan tegangan harmonik

ditentukan (Prasetijo, 2012). Proses desain filter melibatkan sejumlah langkah yang akan memastikan biaya serendah mungkin dan kinerja yang tepat dibawah batas THD.

Pengukuran harmonik harus digunakan untuk mengkarakterisasi tingkat pembangkitan harmonik untuk beban nonlinear yang ada. Jika tidak disaring harmonisa yang dihasilkan oleh pelanggan industri, pada bus utama pabrik dikembalikan ke PCC. Jika level hubung singkat yang tersedia di PCC cukup tinggi, maka akan mempengaruhi pelanggan lain. Salah satu solusi yang paling banyak diadopsi untuk mengurangi dampak harmonisa adalah penerapan bank kapasitor sebagai filter harmonik yang disetel, ini merupakan solusi yang sangat hemat karena kapasitor koreksi faktor daya cukup umum dipasang di fasilitas industri. Untuk menghindari resonansi, dapat menggunakan induktor secara seri dengan kapasitor faktor daya untuk menghasilkan filter harmonik. Tergantung pada tingkat keparahan harmonik individu. Filter harmonik harus disesuaikan dengan harmonik yang menyebabkan kondisi resonansi (Skvarenina, 2002). Persamaan dibawah ini untuk menghitung nilai kapasitor dan induktor pada filter pasif (Suartika, 2016):

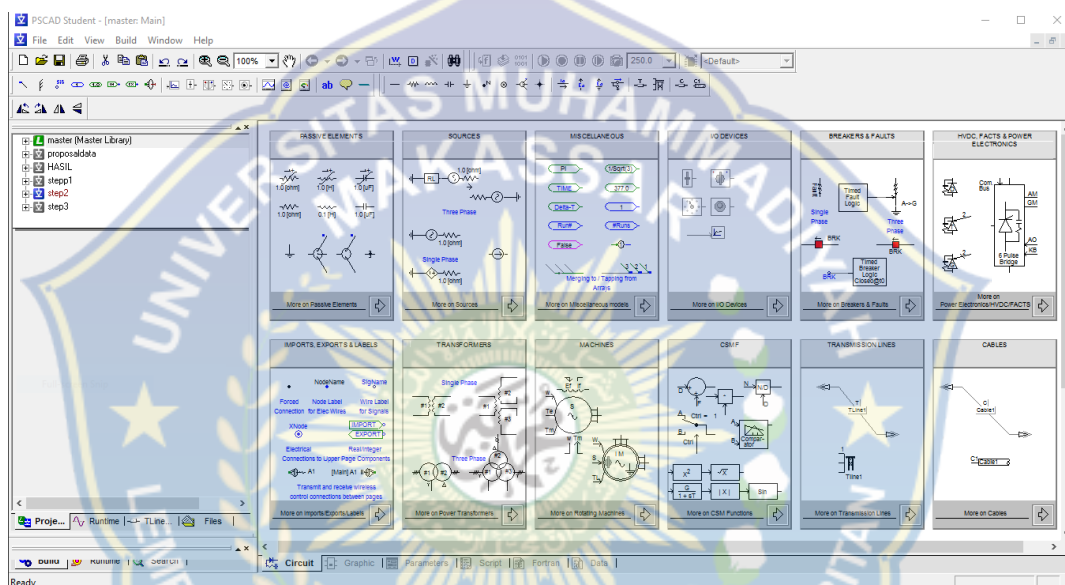
$$C_n = \frac{Q_n}{V^2 \cdot \omega} \quad (8)$$

$$L_n = \frac{1}{(2\pi x f)^2 x C_n} \quad (9)$$

Level distorsi arus dan tegangan yang ditentukan melalui simulasi dibandingkan dengan batas yang direkomendasikan yang diuraikan dalam standar IEEE 519-1992. Jika tingkat distorsi tegangan harmonik masih belum dalam batas

yang dapat diterima, mudah untuk mengubah ukuran dan atau lokasi kapasitor, atau ukuran reaktor seri. Perubahan-perubahan ini mempengaruhi karakteristik respon frekuensi dari fasilitas industri sedemikian rupa sehingga kedekatan dengan titik-titik resonansi dapat diubah (Skvarenina, 2002).

D. Perangkat Lunak PSCAD/EMTDC

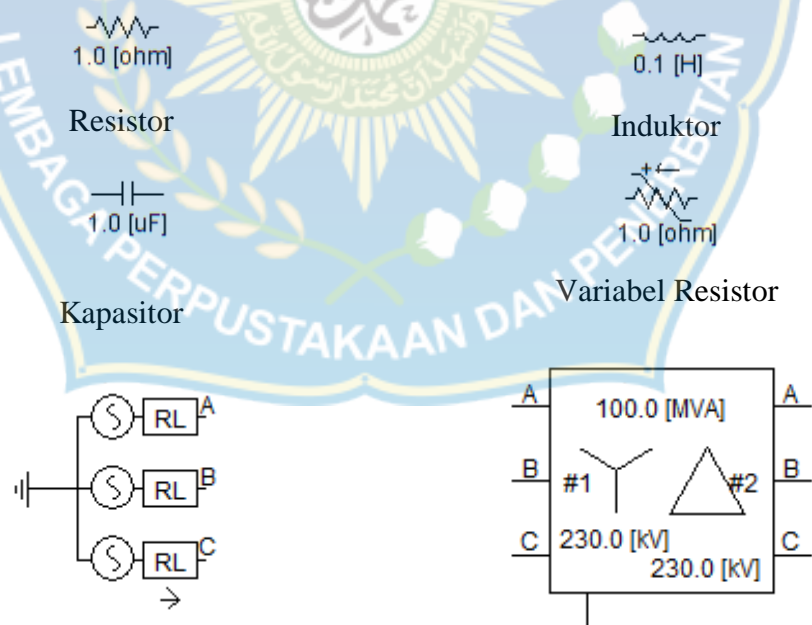


Gambar 2.5 Layar utama aplikasi PSCAD

PSCAD (*Power Systems Computer Aided Design*) adalah antarmuka pengguna grafis yang kuat dan fleksibel untuk mesin simulasi transien elektromagnetik EMTDC yang terkenal di dunia. PSCAD memungkinkan pengguna untuk secara skematis membangun sirkuit, menjalankan simulasi, menganalisis hasil, dan mengelola data dalam lingkungan grafis yang sepenuhnya terintegrasi. Fungsi, kontrol, dan meter plot online juga disertakan, memungkinkan pengguna untuk mengubah parameter sistem selama menjalankan

simulasi, dan dengan demikian melihat efeknya saat simulasi sedang berlangsung. PSCAD dilengkapi dengan perpustakaan model simulasi yang telah diprogram dan diuji, mulai dari elemen pasif sederhana dan fungsi kontrol, hingga model yang lebih kompleks, seperti mesin listrik, perangkat FACTS lengkap, saluran transmisi dan kabel. Jika model yang diperlukan tidak ada, PSCAD menyediakan jalan untuk membangun model khusus. Misalnya, model khusus dapat dibangun dengan menyatukan model-model yang ada untuk membentuk modul, atau dengan membangun model-model dasar dari awal dalam lingkungan desain yang fleksibel (*Manitoba HVDC Research Centre, 2018*)

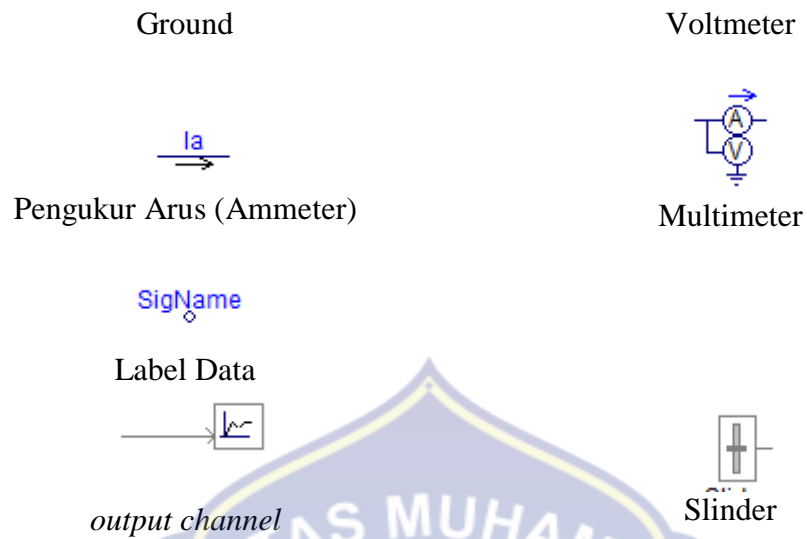
Berikut adalah beberapa model komponen yang ditemukan dalam sistem pembelajaran menggunakan PSCAD:



Sumber Tegangan tiga fasa Model 1

3-Phase 2-Winding Transformer





Gambar 2.6 Beberapa model komponen dalam PSCAD

PSCAD dan mesin simulasi EMTDC telah mengalami pembangunan selama hampir 30 tahun yang terinspirasi oleh ide-ide dan saran yang kuat dari kebanyakan pengguna diseluruh dunia. Filosofi pembangunan ini telah membantu untuk membangun PSCAD sebagai salah satu perangkat lunak CAD yang paling kuat yang tersedia dimasa sekarang (*Manitoba HVDC Research Centre, 2018*).

BAB III

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan simulator PSCAD (*Power Sistem Computer Aided Design*) untuk menyimulasikan dan menganalisis besarnya distorsi harmonik yang dihasilkan pada rangkaian AC EAF. Kemudian kita memasang *passive filter* pada rangkaian tersebut dan menganalisa berapa besaran pengukuran harmonik yang terjadi.

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu : Desember 2018- April 2019.

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
Jalan Sultan Alauddin No. 259 Makassar.

B. Alat atau Bahan

Adapun alat yang digunakan pada penelitian ini adalah:

a. Laptop Lenovo ideapad 330-14AST dengan spesifikasi:

Prosesor : AMD A9-9425 RADEON R5, 5 COMPUTE CORES
2C+3G 3.10 GHz.

Prosesor Grafis : AMD A9 RADEON R5.

Memori RAM : 4,00 GB (3.39 GB usable).

Sistem Operasi : Windows 10 enterprise 64 bit, x64-based processor.

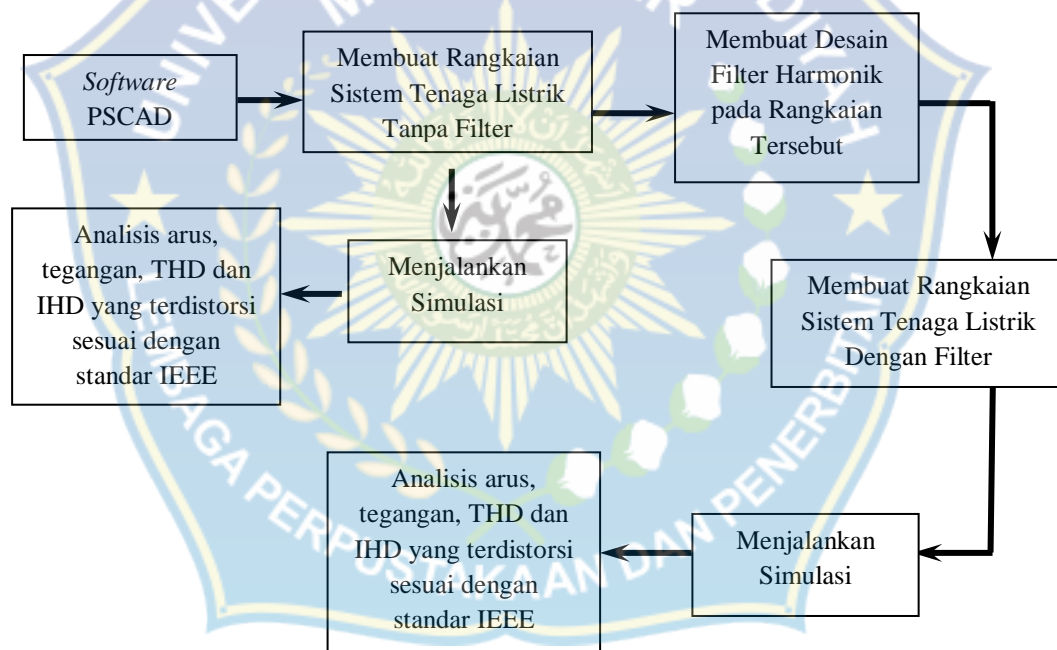
b. Perangkat Lunak *Power System Aiden Design* (PSCAD)

C. Data (Parameter) dan Variabel Penelitian

Data dan Variabel yang diteliti pada penelitian ini adalah *Total Harmonik Distorsion* (THD), *Individual Harmonic Distorsion* (IHD), *Point of Common Coupling* (PCC), *Variable Resistance* (R), *Inductance* (L), *Capacitance* (C), *Maximum short-circuit current* (I_{SL}), dan *Maximum demand load current* (I_L).

D. Skema Penelitian

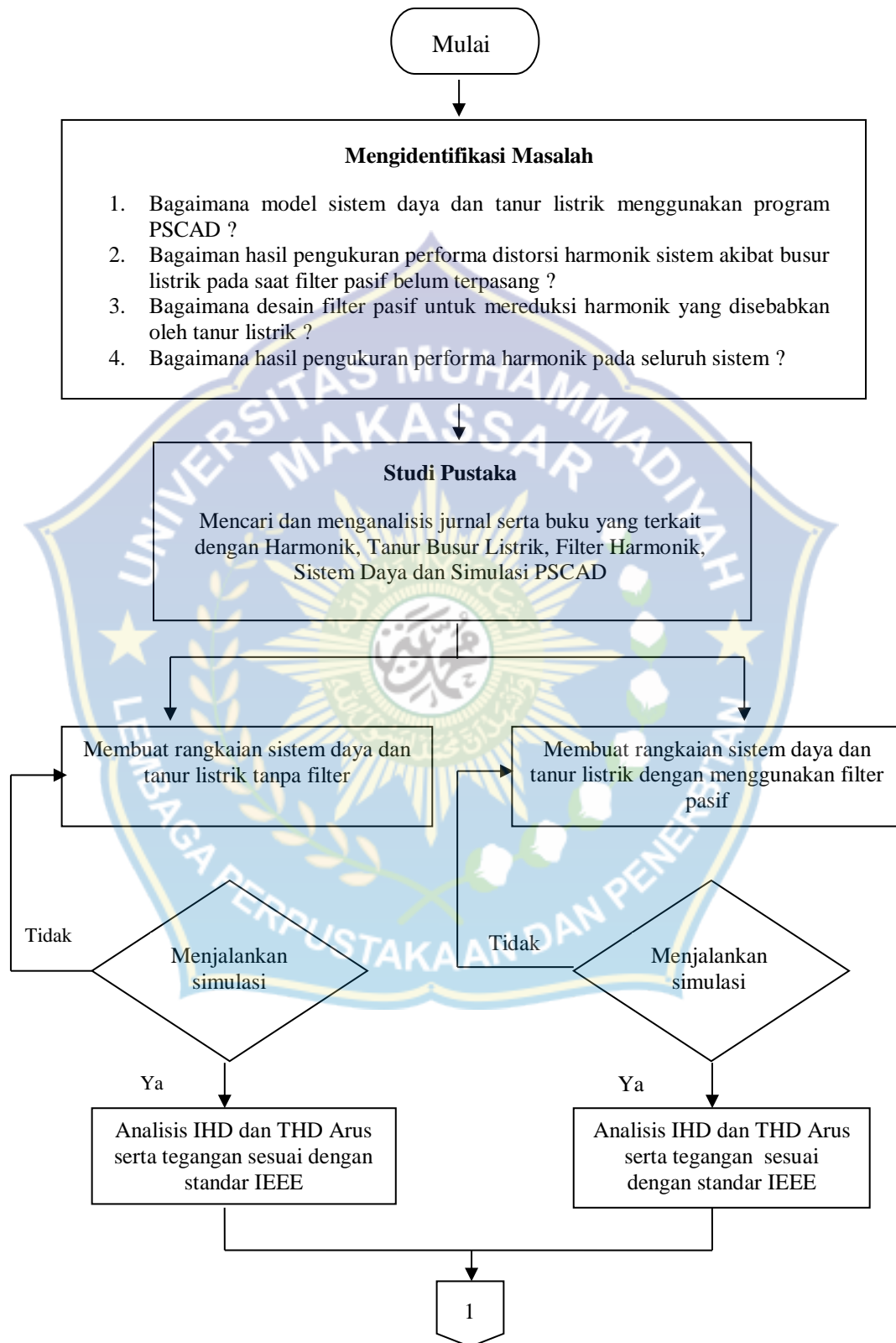
Secara garis besar skema penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.1 berikut:

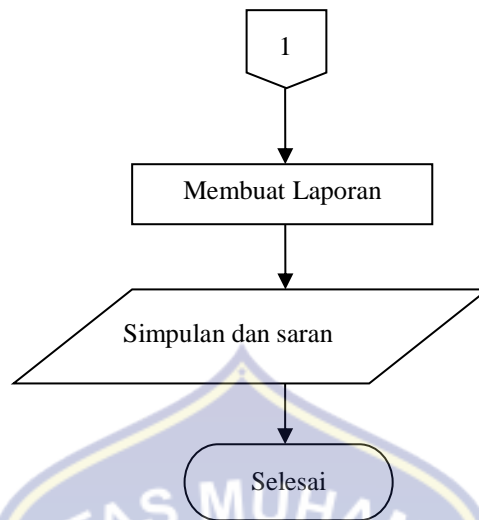


Gambar 3.1 Diagram Balok Skema Penelitian

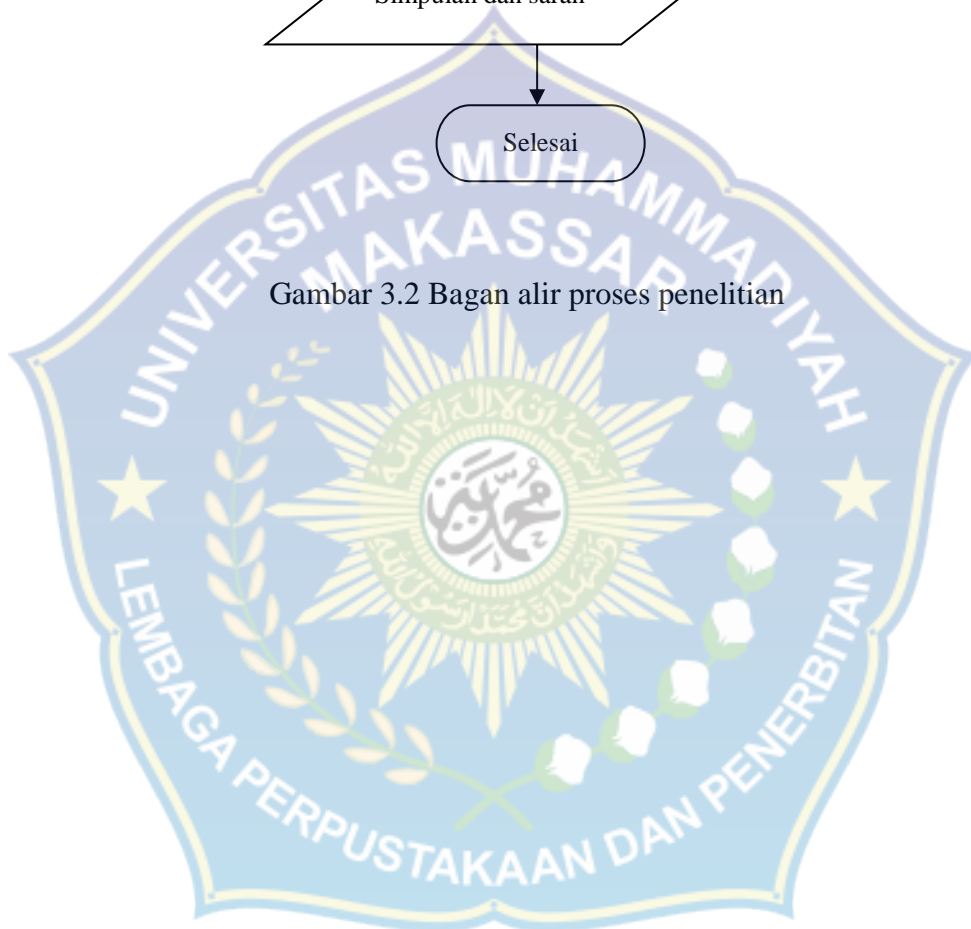
E. Langkah Penelitian

Secara garis besar tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini ditunjukkan pada bagan alir berikut:





Gambar 3.2 Bagan alir proses penelitian

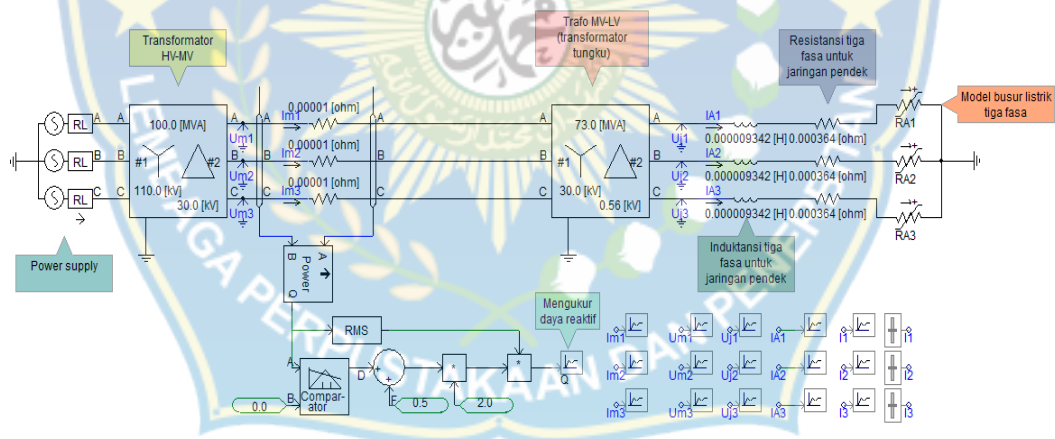


BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Model Sistem Daya Tanpa Filter

Model simulasi sistem daya dan tanur listrik tanpa filter merupakan rangkaian yang terdiri dari sumber tegangan tiga fasa 230 kV, transformator HV-MV yang terhubung Δ -Y dengan tegangan 110 kV-30 kV, transformator MV-LV yang terhubung Δ -Y dengan tegangan 30 kV-0.56 kV dan model tanur listrik tiga fasa. Gambar rangkaian yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4.1 yang disimulasikan menggunakan PSCAD.



Gambar 4.1 Model sistem daya dan tanur listrik tanpa filter disimulasikan pada PSCAD

Simulasi pada PSCAD dilakukan dengan konfigurasi rangkaian yang terdiri dari:

- a. Sumber tegangan dengan tipe *three phase voltage source model 1* dengan $V_{rms} = 230$ kV dan $f = 50$ Hz. Agar lebih jelas maka dapat dilihat pada Tabel 4.1 dibawah ini:

Tabel 4.1 Data parameter sumber tegangan pada PSCAD

NAME	CAPTION	TYPE	UNIT	MIN.	MAX.	DATA	VALUE	F
MVA	<i>Base MVA (3-Phase)</i>	Real	MVA	0.001	1e+038	100 [MVA]	100.0	*
Vm	<i>Base Voltage (L-L, RMS)</i>	Real	kV	0.001	1e+038	30.0 [kV]	230.0	*
F	<i>Base Frequency</i>	Real	Hz	0,001	1e+038	50 [Hz]	50.0	*
Tc	<i>Voltage Input Time Constant</i>	Real	S	0	1e+038	0.05 [s]	0.05	*
Vbase	<i>Measurement Voltage Base (L-L, RMS)</i>	Real	kV	0.001	1e+038	230.0 [kV]	230.0	

- b. Transformator HV-MV dengan tipe *3 phase 2 winding transformer*. Agar lebih jelas dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut ini:

Tabel 4.2 Data parameter transformator HV-MV pada PSCAD

NAME	CAPTION	TYPE	UNIT	MIN.	MAX.	DATA	VALUE	F
Name	Transformer Name	String				T ₁	T ₁	*
Tmva	3 Phase Transformer MVA	Real	MVA	1e-006	1e+038	100.0 [MVA]	100.0	*
F	Base Operation Frequency	Real	Hz	0.0001	1e+038	50.0 [Hz]	50.0	*
YD1	Winding #1 Type	Choice				0	0	*
YD2	Winding #2 Type	Choice				1	1	*
Lead	Delta Lags or Leads Y	Choice				1	1	*
XL	Positive Sequence Leakage Reactance	Real	Pu	0	1	0.1 [Pu]	0.1	*
Ideal	Ideal Transformer Model	Choice				0	0	*
NLL	No Load Losses	Real	Pu	0	1	0.0 [Pu]	0.0	*
CuL	Copper Losses	Real	Pu	0	1	0.0 [Pu]	0.0	*
V1	Winding 1 Line to Line Voltage (RMS)	Real	kV	0.0001	1e+038	110.0 [kV]	110.0	*
V2	Winding 2 Line to Line Voltage (RMS)	Real	kV	0.0001	1e+038	30.0 [kV]	30.0	*
Xair	Air Core Reactance	Real	Pu	0.001	10	0.2 [Pu]	0.2	*
Tdc	In Rush Decay Time Constant	Real	S	-100	1e-038	1.0 [s]	1.0	*
Xknee	Knee Voltage	Real	Pu	0	1e-038	1.25 [Pu]	1.25	*
Txk	Time To Release Flux Clipping	Real	S	0	1e+038	0.1 [s]	0.1	*
Im1	Magnetizing Current	Real	%	0.0001	1000	1 [%]	1.0	*

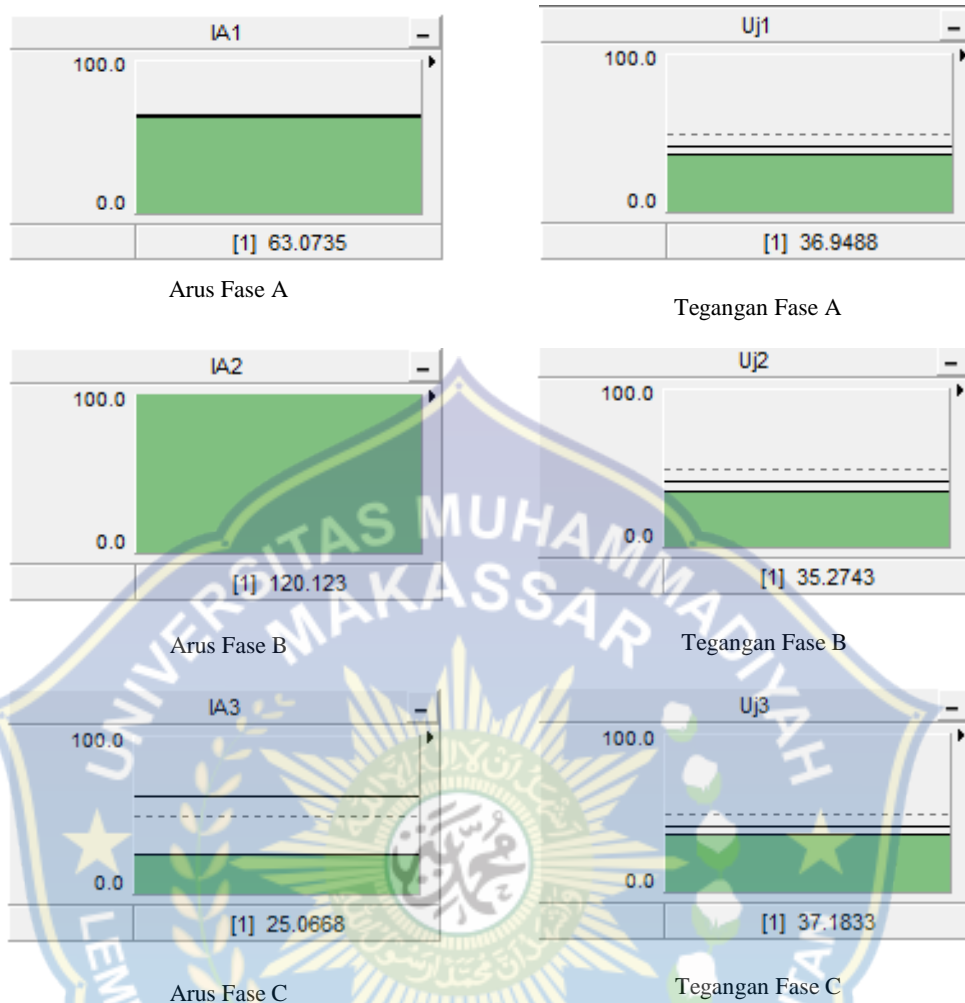
- c. Transformator MV-LV dengan tipe *3 phase 2 winding transformer* . Agar lebih jelas dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut ini:

Tabel 4.3 Data parameter transformator MV-LV pada PSCAD

NAME	CAPTION	TIPE	UNIT	MIN.	MAX.	DATA	VALUE	F
Name	Transformer Name	String				T ₂	T ₂	*
Tmva	3 Phase Transformer MVA	Real	MVA	1e-006	1e+038	73.0 [MVA]	73.0	*
F	Base Operation Frequency	Real	Hz	0.0001	1e+038	50.0 [Hz]	50.0	*
YD1	Winding #1 Type	Choice				0	0	*
YD2	Winding #2 Type	Choice				1	1	*
Lead	Delta Lags or Leads Y	Choice				1	1	*
XL	Positive Sequence Leakage Reactance	Real	Pu	0	1	0.1 [Pu]	0.1	*
Ideal	Ideal Transformer Model	Choice				0	0	*
NLL	No Load Losses	Real	Pu	0	1	0.0 [Pu]	0.0	*
CuL	Copper Losses	Real	Pu	0	1	0.0 [Pu]	0.0	*
V1	Winding 1 Line to Line Voltage (RMS)	Real	kV	0.0001	1e+038	30.0 [kV]	30.0	*
V2	Winding 2 Line to Line Voltage (RMS)	Real	kV	0.0001	1e+038	0.56 [kV]	0.56	*
Xair	Air Core Reactance	Real	Pu	0.001	10	0.2 [Pu]	0.2	*
Tdc	In Rush Decay Time Constant	Real	S	-100	1e+038	1.0 [s]	1.0	*
Xknee	Knee Voltage	Real	Pu	0	1e+038	1.25 [Pu]	1.25	*
Txk	Time To Release Flux Clipping	Real	S	0	1e+038	0.1 [s]	0.1	*
Im1	Magnetizing Current	Real	%	0.0001	1000	1 [%]	1.0	*

B. Hasil Simulasi THD dan IHD Sebelum Pemasangan Filter

Rangkaian disimulasikan pada PSCAD seperti pada Gambar 4.1 (grafik dapat dilihat pada lampiran B). Berdasarkan percobaan maka diperoleh nilai THD tegangan dan arus pada fase A, B dan C yang diperlihatkan pada Gambar 4.2 berikut:



Gambar 4.2 Diagram THD arus dan tegangan pada fase A, B dan C tanpa filter

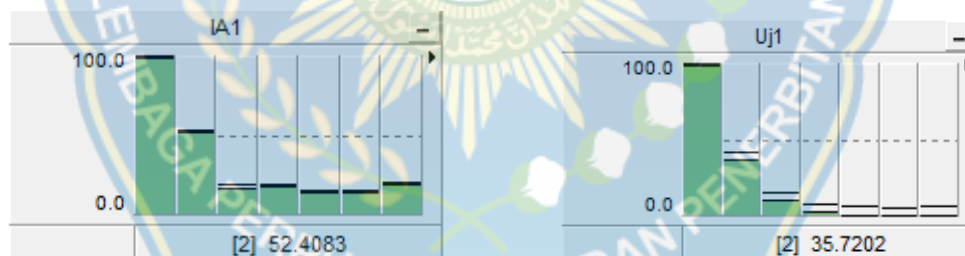
Untuk lebih jelasnya nilai THD arus dan tegangan setiap fase diperlihatkan pada Tabel 4.4 berikut:

Tabel 4.4 THD tegangan dan arus sebelum pemasangan filter pasif

Fase	THD Arus	THD Tegangan
A	63.0735 %	36.9488 %
B	120.123 %	35.2743 %
C	25.0668 %	37.1833 %

Berdasarkan ketentuan dari IEEE *Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power System* Std. 519-1992, jika SRC (*Short Circuit Ratio*) lebih kecil dari 20, maka batas THD arus yang diizinkan adalah 5%. Jadi THD arus yang terjadi pada fase A, B dan C telah melewati batas yang diizinkan dan seharusnya ada penanganan.

Berdasarkan standar IEEE Std 519-1992, jika tegangan bus pada pengukuran berada pada tegangan 1 kV - 69 kV maka batas THD tegangan yang diizinkan adalah 5%. Jadi THD tegangan telah melewati batas yang diizinkan dan harus ada penanganan berupa pemasangan filter harmonik. Nilai IHD harus diketahui untuk dapat menentukan pada orde ke berapa filter harmonik akan dipasang. Berdasarkan percobaan maka diperoleh nilai IHD tegangan dan arus pada fase A, B dan C yang diperlihatkan pada Gambar 4.2 berikut:



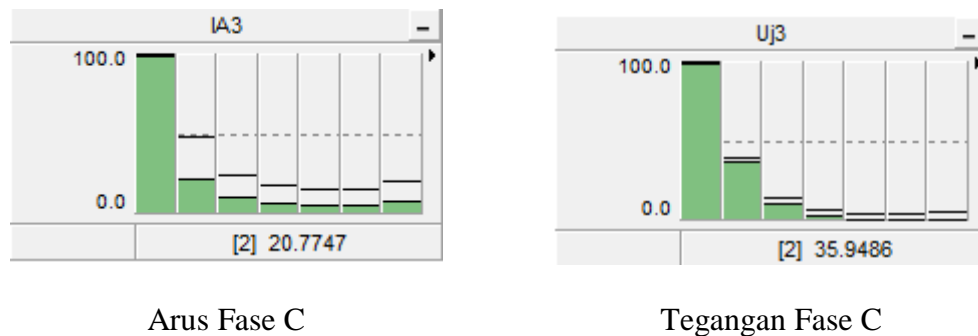
Arus Fase A

Tegangan Fase A



Arus Fase B

Tegangan Fase B



Gambar 4.3 Diagram IHD arus dan tegangan pada fase A, B dan C tanpa filter

Untuk lebih jelasnya nilai IHD arus dan tegangan setiap fase diperlihatkan pada Tabel 4.5 berikut:

Tabel 4.5 *Individual Harmonic Distortion (IHD) arus*

Fase	Orde Harmonik ke- (%)					
	2	3	4	5	6	7
A	52,4083	16,1489	16,5697	13,5081	13,5199	18,1946
B	93,1804	38,2451	34,1717	28,6897	28,547	38,452
C	20,7747	8,52778	5,60267	4,98597	4,90191	6,61484

Berdasarkan Tabel 4.5 IHD distorsi arus pada orde ke 2 fase A sekitar 52 %, fase B sekitar 93 % dan fase C sekitar 20 %. Pada orde ke 3 fase A sekitar 16 %, fase B sekitar 38 % dan fase C sekitar 8 %. Pada orde ke 4 fase A sekitar 16 %, fase B sekitar 34 % dan fase C sekitar 5 %. Pada orde ke 5 fase A sekitar 13 %, fase B sekitar 28 % dan fase C sekitar 4 %. Pada orde ke 6 fase A sekitar 13 %, fase B sekitar 28 % dan fase C sekitar 4 %. Pada orde ke 7 fase A sekitar 18 %, fase B sekitar 28 % dan fase C sekitar 6 %. Sementara berdasarkan standar IEEE Std 519-1992 jika SRC (*Short Circuit Ratio*) lebih kecil dari 20, maka batas

IHD arus yang diizinkan adalah 4 %. Jadi IHD arus yang terjadi pada fase A, B dan C telah melewati batas yang diizinkan dan seharusnya ada penanganan.

Tabel 4.6 *Individual Harmonic Distortion* (IHD) tegangan

Fase	Orde Harmonik ke- (%)					
	2	3	4	5	6	7
A	35,7202	9,17958	2,19203	0,447162	0,112957	0,00999334
B	34,0859	8,8258	2,08126	0,435622	0,103987	0,0175587
C	35,9486	9,22727	2,22453	0,437181	0,126406	0,0133933

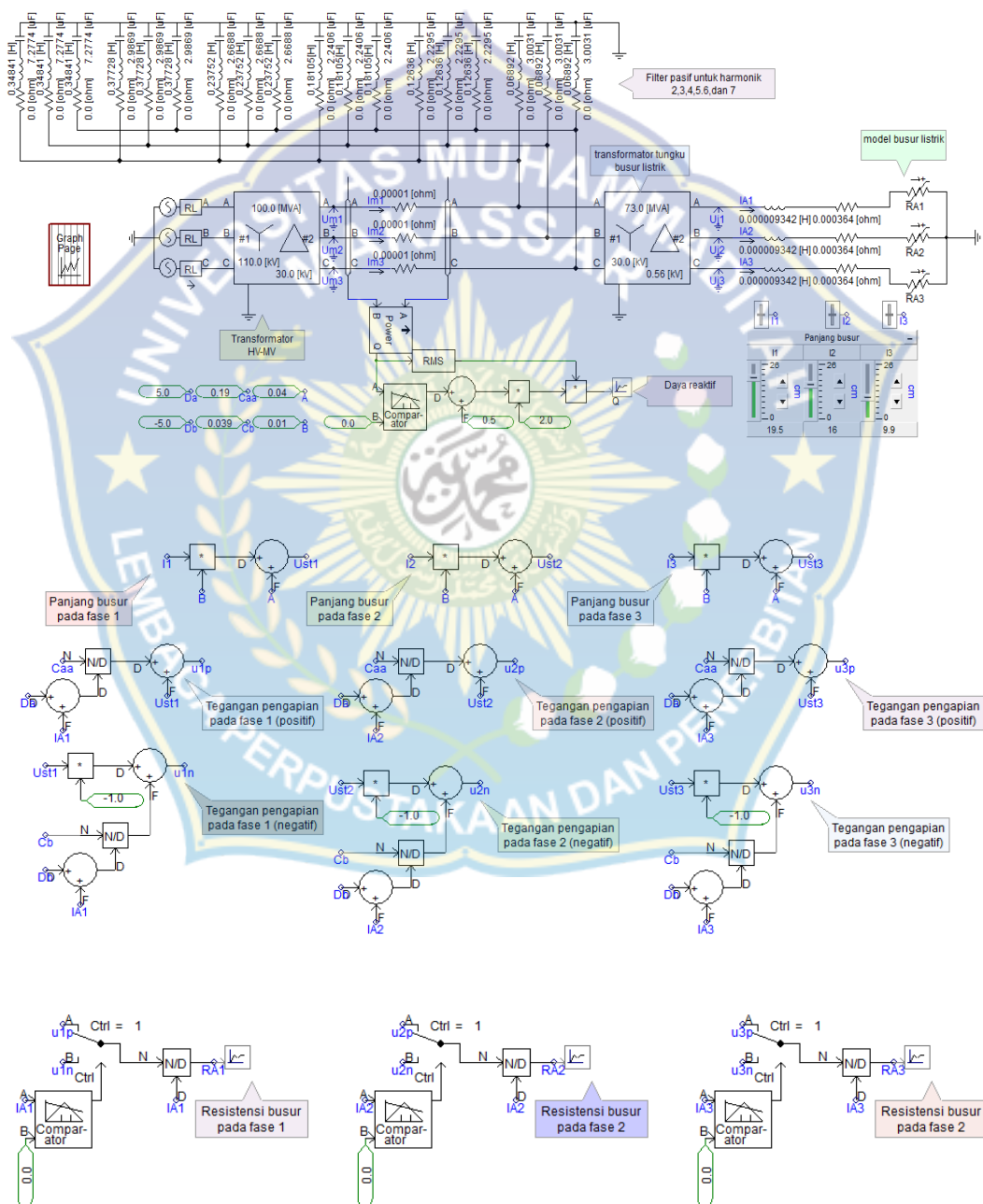
Berdasarkan Tabel 4.6 IHD distorsi tegangan pada orde ke 2 sekitar 35 %, pada orde ke 3 sekitar 9 %, ada orde ke 4 sekitar 2 %, pada orde ke 5, 6 dan 7 sekitar 0 %. Sementara berdasarkan standar IEEE Std 519-1992 untuk tegangan 1 kV – 69 kV maka IHD tegangan yang diizinkan yaitu sebesar 3 %. Dari hasil tersebut maka IHD tegangan pada orde ke 2 dan 3 telah melewati batas, sehingga perlu dilakukan penanganan untuk mengurangi harmonik tersebut.

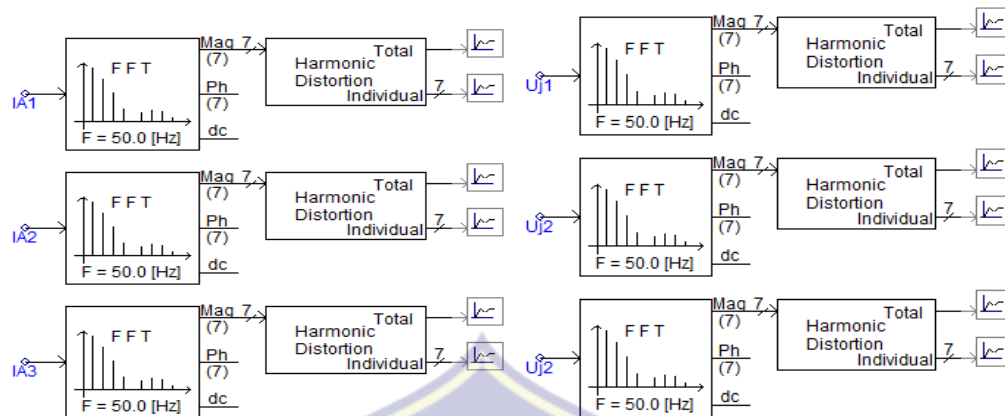
C. Model Sistem Daya Dengan Filter

Berdasarkan data-data yang didapatkan pada simulasi PSCAD di atas maka perlu digunakan filter guna mereduksi polusi harmonik yang terjadi pada tanur busur listrik. Salah satu cara penanganan harmonik adalah dengan menggunakan *passive filter* jenis *single tuned*. Filter ini merupakan jenis filter

yang sering digunakan pada industri karena efektif dan ekonomis untuk mengalihkan arus harmonik yang tidak diinginkan.

Passive filter pada rangkaian dipasang di antara trafo HV-MV dan MV-LV. Seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.2 dibawah:





Gambar 4.4 Model sistem daya dan tanur listrik dengan filter disimulasikan pada

PSCAD

Rangkaian *passive filter* diatas terdiri dari rangkaian induktor (L) dan kapasitor (C) yang ditentukan besarnya dan digunakan untuk mengeliminasi IHD yang dominan yaitu harmonik pada orde ke 2, 3, 4, 5, 6 dan 7. Berikut analisis perhitungan besar L dan C untuk *passive filter* jenis *single tuned*.

Berdasarkan data simulasi, diperoleh nilai daya reaktif (Q) = 2207,12 kVAR, tegangan nominal (V) = 30 kV, harmonik arus yang melebihi standar ada pada orde ke 2, 3, 4, 5, 6 dan 7 sehingga filter pasif akan didesain untuk mereduksi harmonik ke 2, 3, 4, 5, 6 dan 7.

Persentase harmonisa arus yang dominan adalah 93,1804%, 38,2451%, 34,1717%, 28,6897%, 28,547% dan 38,452%. Sehingga daya reaktif untuk masing-masing filter harmonisa:

$$V = 30 \text{ kV} = 30.000 \text{ V}$$

$$Q = 2207,12 \text{ kVAR} = 2.207.120 \text{ VAR}$$

Orde ke-2

Frekuensi : 100 Hz

$$Q_2 = 93,1804\% \times 2207120$$

$$Q_2 = 2056603,244 \text{ VAR}$$

$$C_2 = \frac{Q_2}{V^2 \cdot \omega}$$

$$C_2 = \frac{2056603,244}{(30.000)^2 \cdot 2.3,14.50}$$

$$C_2 = 7,277435402 \times 10^{-6} \text{ F}$$

$$C_2 = 7,277435402 \mu\text{F}$$

$$L_2 = \frac{1}{(2\pi x f)^2 \times C_2}$$

$$L_2 = \frac{1}{(2.3,14.100)^2 \times 7,277435402 \times 10^{-6}}$$

$$L_2 = 0,34841942 \text{ H}$$

Orde ke-3

Frekuensi : 150 Hz

$$Q_3 = 38,2451\% \times 2207120$$

$$Q_3 = 844115,2511 \text{ VAR}$$

$$C_3 = \frac{Q_3}{V^2 \cdot \omega}$$

$$C_3 = \frac{844115,251}{(30.000)^2 \cdot 2.3,14.50}$$

$$C_3 = 2,986961257 \times 10^{-6} F$$

$$C_3 = 2,986961257 \mu F$$

$$L_3 = \frac{1}{(2\pi x f)^2 x C_3}$$

$$L_3 = \frac{1}{(2.3,14.150)^2 x 2,986961257 \times 10^{-6}}$$

$$L_3 = 0,3772841885 H$$

Orde ke-4

Frekuensi : 200 Hz

$$Q_4 = 34,1717\% x 2207120$$

$$Q_4 = 754210,425 VAR$$

$$C_4 = \frac{Q_4}{V^2 \cdot \omega}$$

$$C_4 = \frac{754210,425}{(30.000)^2 \cdot 2.3,14.50}$$

$$C_4 = 2,668826699 \times 10^{-6} F$$

$$C_4 = 2,668826699 \mu F$$

$$L_4 = \frac{1}{(2\pi xf)^2 \times C_4}$$

$$L_4 = \frac{1}{(2.3,14.200)^2 \times 2,668826699 \times 10^{-6}}$$

$$L_4 = 0,2375200891 H$$

Orde ke-5

Frekuensi : 250 Hz

$$Q_5 = 28,6897\% \times 2207120$$

$$Q_5 = 633216,1066 VAR$$

$$C_5 = \frac{Q_5}{V^2 \cdot \omega}$$

$$C_5 = \frac{633216,1066}{(30.000)^2 \cdot 2.3,14.50}$$

$$C_5 = 2,240679783 \times 10^{-6} F$$

$$C_5 = 2,240679783 \mu F$$

$$L_5 = \frac{1}{(2\pi xf)^2 \times C_5}$$

$$L_5 = \frac{1}{(2.3,14.250)^2 \times 2,240679783 \times 10^{-6}}$$

$$L_5 = 0,1810593261$$

Orde ke-6

Frekuensi : 300 Hz

$$Q_6 = 28,547\% \times 2207120$$

$$Q_6 = 630066,5464 \text{ VAR}$$

$$C_6 = \frac{Q_6}{V^2 \cdot \omega}$$

$$C_6 = \frac{630066,5464}{(30.000)^2 \cdot 2.3,14.50}$$

$$C_6 = 2,229534842 \times 10^{-6} \text{ F}$$

$$C_6 = 2,229534842 \text{ } \mu\text{F}$$

$$L_6 = \frac{1}{(2\pi xf)^2 \times C_6}$$

$$L_6 = \frac{1}{(2.3,14.300)^2 \times 2,229534842 \times 10^{-6}}$$

$$L_6 = 0,1263641672 \text{ H}$$

Orde ke-7

Frekuensi : 350 Hz

$$Q_7 = 38,452\% \times 2207120$$

$$Q_7 = 848681,7824 \text{ VAR}$$

$$C_7 = \frac{Q_7}{V^2 \cdot \omega}$$

$$C_7 = \frac{848681,7824}{(30.000)^2 \cdot 2.3,14.50}$$

$$C_7 = 3,003120249 \times 10^{-6} F$$

$$C_7 = 3,003120249 \mu F$$

$$L_7 = \frac{1}{(2\pi x f)^2 x C_7}$$

$$L_7 = \frac{1}{(2.3,14.350)^2 x 3,003120249 \times 10^{-6}}$$

$$L_7 = 0,06892422659 H$$

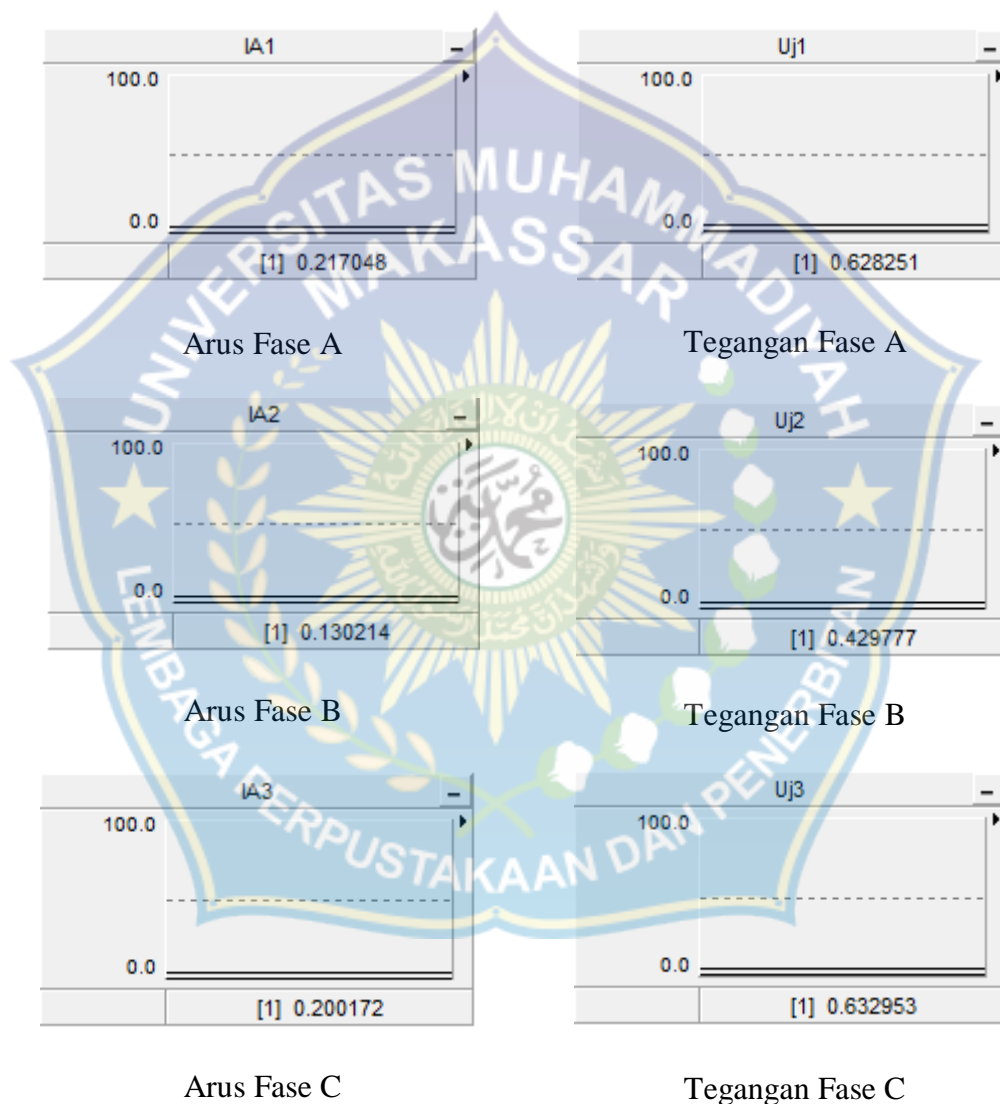
Jadi berdasarkan perhitungan, maka didapatkan besar nilai L dan C untuk *passive filter* yaitu dengan nilai kapasitor dan induktor sebagai berikut:

Tabel 4.7 Nilai kapasitor dan induktor untuk *passive filter*

Orde ke-	Kapasitor (μF)	Induktor (H)
2	7,277435402	0,34841942
3	2,986961257	0,37728418854
4	2,668826699	0,2375200891
5	2,240679783	0,1810593261
6	2,229534842	0,1263641672
7	3,003120249	0,06892422659

D. Hasil Simulasi THD dan IHD Setelah Pemasangan Filter

Setelah nilai L dan C diperoleh, kemudian disimulasikan ke dalam rangkain simulator, maka diperoleh nilai THD arus dan tegangan seperti pada gambar dibawah ini (grafik diperlihatkan pada lampiran C):



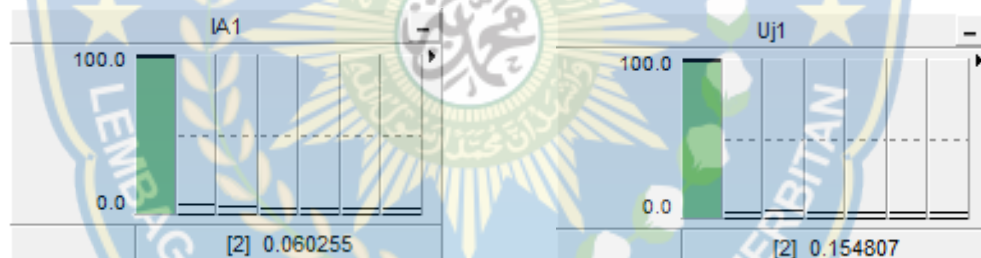
Gambar 4.5 Diagram THD arus dan tegangan pada fase A, B dan C setelah pemasangan filter

Untuk lebih jelasnya nilai THD arus dan tegangan setiap fase diperlihatkan pada tabel 4.8 berikut:

Tabel 4.8 THD tegangan dan arus setelah pemasangan filter pasif

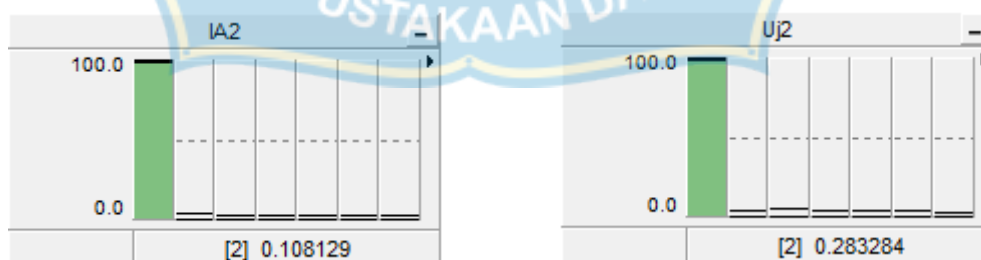
Fase	Arus		Tegangan	
	Standar IEEE	THD	Standar IEEE	THD
A	5,0 %	0,0817073 %	5,0 %	0,190639 %
B	5,0 %	0,13617 %	5,0 %	0,336661 %
C	5,0 %	0,0874288 %	5,0 %	0,231588 %

Nilai IHD arus dan tegangan dijelaskan dalam Gambar 4.6 berikut:



Arus Fase A

Tegangan Fase A



Arus Fase B

Tegangan Fase B



Arus Fase C

Tegangan Fase C

Gambar 4.6 Diagram IHD arus dan tegangan pada fase A, B dan C setelah pemasangan filter

Untuk lebih jelasnya nilai IHD arus dan tegangan setiap fase diperlihatkan pada Tabel 4.9 berikut:

Tabel 4.9 *Individual Harmonic Distortion (IHD)* arus

Fase	Orde Harmonik ke- (%)					
	2	3	4	5	6	7
A	0,060255	0,0405142	0,0171744	0,0212063	0,0132317	0,0220059
B	0,108129	0,0707575	0,00663361	0,0292383	0,0140355	0,0273508
C	0,0672186	0,0489778	0,0237126	0,0115936	0,000941074	0,00538882

Tabel 4.10 *Individual Harmonic Distortion (IHD)* tegangan

Fase	Orde Harmonik ke- (%)					
	2	3	4	5	6	7
A	0,154807	0,0633191	0,0839365	0,0267205	0,0197488	0,0148078
B	0,283284	0,131432	0,107229	0,0526788	0,0314979	0,0234726
C	0,146905	0,137966	0,102447	0,0471478	0,0137477	0,0104803

Berdasarkan hasil simulasi, maka dapat disimpulkan, dengan penggunaan *passive filter* pada rangkaian tanur busur listrik menghasilkan besar THD arus sekitar 0 % dan THD tegangan sekitar 0 % sehingga nilai THD arus dan tegangan tersebut telah memenuhi standar IEEE Std 519-1992.



BAB V

PENUTUP

A. Simpulan

Dari analisis yang dilakukan, maka diperoleh simpulan-simpulan sebagai berikut, yaitu:

1. Model sistem daya dan tanur listrik telah terealisasi dengan komponen utamanya adalah generator, transformator dan tanur listrik.
2. Hasil studi analisis THD dan IHD pada tanur busur listrik sebelum pemasangan filter berdasarkan simulasi telah melebihi standar IEEE 519-1992. Untuk standar THD_i yang diizinkan yaitu sebesar 5 % dengan hasil pengukuran THD_i bervariasi antara 25,0668 % - 120,123 %. Dilain sisi, standar THD_v yang diizinkan yaitu sebesar 5 % dengan hasil pengukuran THD_v bervariasi antara 35,2743% - 37,1833 %. Untuk standar IHD_i yang diizinkan yaitu sebesar 4 % dengan hasil pengukuran IHD_i bervariasi antara 4,98597 % - 52,4083 %. Untuk standar IHD_v yang diizinkan yaitu sebesar 3 % dengan hasil pengukuran IHD_v bervariasi antara 0,00999334 % - 35,9486 %.
3. Model filter pasif jenis *single tuned* berhasil dibuat dan dipasang pada setiap fase dengan nilai induktor dan kapasitor diperoleh dari hasil perhitungan.
4. Dengan pemakaian filter pasif jenis *single tuned*, THD_v dan THD_i mengalami penurunan. Sehingga THD arus dan tegangan memenuhi standar IEEE 519-

1992. THD arus setelah pemakaian filter menyentuh nilai terendah 0,0817073 % hingga nilai tertinggi pada 0,13617 %. THD tegangan setelah pemakaian filter menyentuh nilai terendah 0,190639 hingga nilai tertinggi pada 0,231558%.

B. Saran

Penelitian selanjutnya dapat melakukan penelitian lanjutan dengan menggunakan perangkat lunak PSCAD dengan kemampuan yang lebih baik dan lebih lengkap.



DAFTAR PUSTAKA

- Dugan, Roger.C., Mark F. McGranaghan, Surya S., dan H. W. Beaty. 2003. *Electrical Power Systems Quality*. New York: McGraw-Hill.
- Rao, Reneru Nageswara. 2013. *Harmonic Analysis of Small Scale Industrial Loads and Harmonic Mitigation Techniques in Industrial Distribution System*. Department of Electrical Engineering, Osmania University. Vol. 3, Issue 4, Halaman 1511-1540.
- Panoiu, M., Caius P., dan Ioan S. 2009. *Modelling the Electromagnetic Pollution of the Electric Arc Furnaces*, Bucurest, halaman 165-174.
- Panoiu, M., Caius P., Mihaela O., dan Ionel M. 2008. *Simulation Result about Harmonics Filtering using Measurement of Some Electrical Items in Electrical Installation on UHP EAF*. Electrical Engineering and Industrial Informatics Department, Volume 7, Issue 1, halaman 22-31.
- Irawan, H., Hermawan, dan Tejo S. 2011. *Analisis Pengaruh Pemasangan Filter Pasif Terhadap Penurunan Harmonik pada Sistem Multi Mesin 9 Bus IEEE*. Jurnal Hasil Penelitian Fakultas Teknik Universitas Diponegoro (Undip). Jawa Tengah.
- Prihatama, E.F., Ontoseno P., dan Ardyono P. 2013. *Perancangan Filter Harmonisa Pasif untuk Sistem Distribusi Radial Tidak Seimbang*. Jurnal

Hasil Penelitian Fakultas Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember,
Vol: 2 No: 2, halaman 228-233.

Sungkowo, H. 2013. *Perancangan Filter Pasif Single Tuned Filter untuk Mereduksi Harmonisa pada Beban Non Linear*. Jurnal ELTEK, Vol:11 Nomor 01, halaman 146-157.

Supriyatna, I.Y., Rina R., Fajar N., dan Achmad S. 2014. *Rancang Bangun Tungku Busur Listrik Satu Fase untuk Peleburan Konsentrat Mangan dan Besi menjadi Feromangan*. Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara, Volume 10 Nomor 3, halaman 165-173.

Prasetijo, H. 2012. *Analisa Perancangan Filter Pasif untuk Meredam Harmonik pada Instalasi Beban Nonlinear*. Fakultas Sains dan Teknik Universitas Jenderal Soedirman, Volume 13 No: 1, halaman 57-67.

Rochibi, M., Setyo S., dan M. Ilyas Sikki. 2018. *Analisa Perancangan Filter Pasif untuk Meredam Harmonisa dan Perbaikan Faktor Daya pada Beban Area Welding*. Seminar Nasional Teknik Elektro 2018, halaman 89-95.

Rohi, D., Dion D.U., dan Ontoseno P. *Distorsi Harmonisa pada Pelanggan Domestik dengan Daya $250 VA \leq daya \leq 2200 VA$* . Jurnal EECCIS, Vol:3 No:1.

Abidin J.F. 2015. *Analisis Unjuk Kerja Harmonik di Instalasi Listrik Industri dan Upaya Penanggulangannya*. Jurnal Teknologi Elektro Universitas Mercu Buana, Vol:6 No:3

Paiva, R.P. 1996. *Modelling and Control of an Electric Arc Furnace*. Department of Automatic Control Lund Institute Of Technology, Lund Sweden.

Eberhard, A. ed. 2011. *Power Quality*. InTech, Croatia.

Sutiawati, Mirnawati Dewi dan Pseloi, Ishnaeni Choshari. 2016. Simulasi Pengaruh Beban Linear dan Nonlinear Terhadap Arus Netral di Sistem Tiga Fase Simetris dengan Menggunakan Perangkat Lunak PSCAD/EMTDC. Skripsi Tidak Diterbitkan. Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar, Makassar.

Irpandi dan Wahad, A. 2012. Studi Tingkat Distorsi Harmonik pada Sistem Distribusi Pabrik Gula Takalar. Skripsi Tidak Diterbitkan. Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar, Makassar.

Suartika, I Made. 2016. *Analisis Penanggulangan THD (Total Harmonic Distortion) dengan Filter Pasif pada Sistem Tenaga Listrik*. Karya Ilmiah. Fakultas Teknik Universitas Udayana, Bali.

Sugiarto, Hadi. 2012. *Kajian Harmonisa Arus dan Tegangan Listrik di Gedung Administrasi Politeknik Negeri Pontianak*. Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Pontianak. Volume 8 Nomor 2, Hal 80-89.

Skvarenina, Timothy L (eds). 2002. *The Power Electronics Handbook*. Purdue University. West Lafayette, Indiana.

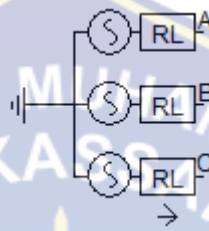


LAMPIRAN A
BENTUK DAN KEGUNAAN
KOMPONEN YANG DIGUNAKAN

LAMPIRAN A

Komponen-komponen yang digunakan dalam permodelan rangkaian simulasi penggunaan pada *PSCAD/EMTDC*, antara lain:

1. *Three Phase Voltage Source Model 1*



Gamabar A.1 Komponen *Tree Phase Voltage Source Model 1*

Komponen ini memodelkan sumber tegangan AC 3 fase, dengan sumber tertentu dan impedansi yang diinginkan dengan menambahkan secara langsung dalam komponen. Selain itu, komponen ini memungkinkan pengguna untuk mengatur tegangan bus di lokasi yang jauh di jaringan, atau sudut fase internal dapat diatur untuk mengontrol daya yang keluar dari sumber.

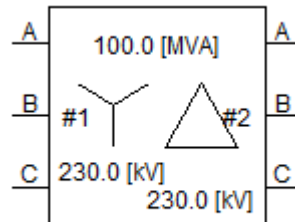
Sumber ini dapat dikontrol baik melalui sinyal internal, parameter internal atau variabel eksternal. Input eksternal dijelaskan sebagai berikut:

V: Line-to-Line, RMS Besarnya Tegangan [kV]

F: Frekuensi [Hz]

Ph: Fase angle [°] atau [rad]

3-Phase 2-Winding Transformer



Gambar A.2 Komponen 3-Phase 2-Winding Transformer

3-Phase 2-Winding Transformer adalah komponen yang berfungsi untuk mengatur tegangan yang dibutuhkan beban.

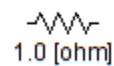
2. Ground



Gambar A.3 Komponen Ground

Ground adalah simpul listrik dimana semua pengukuran tegangan dilakukan. Semua *ground node* dalam satu subsistem dianggap terhubung bersama. Komponen ini digunakan sebagai pentanahan.

3. Three-Phase Resistif Load



Gambar A.4 Komponen Resistansi

Resistor adalah komponen listrik linier dasar. Komponen ini digunakan dalam bentuk beban resistif pada sebuah sistem daya tiga-fase.

4. *Three-Phase Induktif Load*



Gambar A.5 Komponen Induktansi

Three-Phase Induktif Load adalah suatu komponen yang digunakan dalam bentuk beban induktif pada sebuah system daya tiga-fase.

5. *Three-Phase Capasitif Load*



Gambar A.6 Komponen Capasitansi

Three-Phase Capasitif Load adalah suatu komponen yang digunakan dalam bentuk kapasitif pada sebuah system daya tiga-fase.

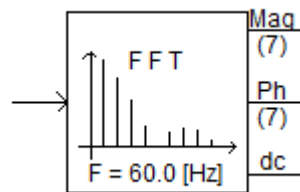
6. *Output Channel*



Gambar A.7 Komponen *Output Channel*

Output Channel adalah komponen yang berfungsi sebagai keluaran sinyal dari suatu simulasi, keluaran dapat berupa kurva atau grafik, polimeter, meter dan lain-lain.

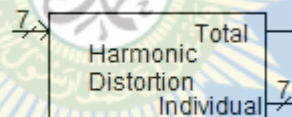
7. *On-Line Frequency Scanner*



Gambar A.8 Komponen *FFT (Fast Fourt Transformation)*

FFT (Fast Fourt Transformation) adalah komponen yang dapat menentukan besarnya harmonik dan fase sinyal input sebagai fungsi waktu. Digunakan untuk memproses nilai arus atau tegangan sehingga menghasilkan nilai *magnitude* dan sudut fase.

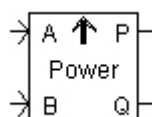
8. *Harmonic Distortion*



Gambar A.9 Komponen Harmonik Distorsi

Harmonik Distortion adalah suatu komponen yang dapat memproses nilai arus atau tegangan untuk mengetahui distorsi yang terjadi.

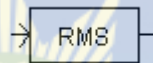
9. *Real/Reactive Power Meter*



Gambar A.10 Komponen Pengukur Daya Reaktif

Komponen ini mengukur aliran daya nyata dan reaktif 3-fase antara dua *node* 3-fase yang ditentukan dalam suatu rangkaian. Meteran daya nyata dan reaktif mengukur daya nyata sesaat dengan mengalikan tegangan dan arus sesaat dari setiap fase dan kemudian menambahnya bersama-sama. Kekuatan reaktif dihitung dengan asumsi bahwa ketiga fase itu seimbang. Daya reaktif yang dihitung diperhalus melalui fungsi tiang nyata untuk mensimulasikan penundaan transduser dan untuk mengurangi riak keluaran.

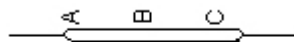
10. *Single-Phase RMS (Root Mean Square) Meter*



Gambar A.11 Komponen *Single-Phase RMS Meter*

Meter RMS fase tunggal menghitung nilai RMS dari setiap variabel input, sebagai fungsi waktu. Komponen dapat diatur ke *output* salah satu dari dua algoritma yang berbeda (analog dan digital), tergantung pada preferensi yang diinginkan.

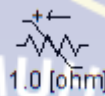
11. *Node Loop*



Gambar A.12 Komponen *Node Loop*

Node Loop adalah komponen yang berfungsi untuk menghasilkan tipe khusus dari sinyal informasi yang menyediakan informasi nomor simpul ke komponen yang digunakan. *Output Node Loop* bukan sinyal data dan tidak dapat dipantau atau *diplot*.

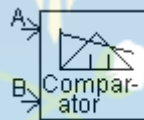
12. *Variable RLC*



Gambar A.13 Komponen Variabel Resistansi

Komponen *Variable RLC* digunakan untuk membuat model resistor, induktor atau kapasitor, yang nilainya dapat diubah berdasarkan sinyal kontrol seperti frekuensi, tegangan, arus, suhu, panjang busur dll.

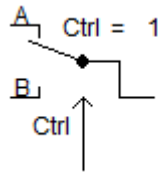
13. *Input Comparator*



Gambar A.14 Komponen *Input Comparator*

Komponen ini membandingkan dua input dan menghasilkan sinyal pulsa ketika satu sinyal melintas. Jika kompatibilitas interpolasi diaktifkan, maka informasi yang diinterpolasi (yaitu untuk waktu yang tepat kedua input saling bersilangan) dihasilkan oleh perangkat dan dikirim ke output. Ketika interpolasi digunakan, perangkat ini sangat akurat.

14. *Input Selector*



Gambar A.15 komponen *Input Selector*

Output dari komponen ini berupa sinyal yang terhubung ke A, atau sinyal yang terhubung ke B, tergantung pada nilai Ctrl.

15. *Variable Real/Integer Input Slider*



Gambar A.16 Komponen *Input Slider*

Variable Real/Integer Input Slider adalah komponen yang berfungsi untuk bagian khusus, kontrol antarmuka pengguna, di mana pengguna dapat secara manual menyesuaikan output selama menjalankan simulasi. Kelompok komponen ini juga mencakup sakelar putar sakelar dua status dan tombol tekan.

16. Voltmeter dan Ammeter

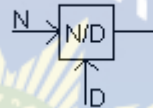


Gambar A.17 Komponen Voltmeter dan Ammeter

Voltmeter digunakan untuk membuat sinyal, yang mewakili perbedaan potensial (dalam kV) antara dua node dalam gambar rangkaian. Sinyal ini

diberikan nama oleh pengguna. Untuk mengakses sinyal, pengguna harus menggunakan nama sebagai label data pada kawat atau pada koneksi input komponen kontrol. Ammeter digunakan untuk membuat sinyal, yang mewakili arus (dalam kA) yang mengalir melalui cabang. Sinyal ini diberikan nama oleh pengguna. Untuk mengakses sinyal, nama harus digunakan sebagai label data pada kabel atau pada koneksi input komponen kontrol.

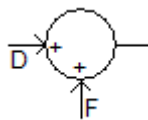
17. *Divider*



Gambar A.18 Komponen *Divider*

Komponen Divider digunakan untuk membagi dua sinyal. Untuk mencegah pembagian dengan 0 kesalahan, Pembagi secara internal dibatasi di atas $1,0^{-10}$ atau di bawah $-1,0^{-10}$.

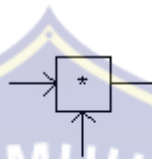
18. *Summing/Difference Junction*



Gambar A.19 Komponen *Summing/Difference Junction*

Summing/Difference Junction adalah komponen yang digunakan untuk menjumlah dua sinyal. memungkinkan perancang sirkuit untuk menggabungkan beberapa sinyal secara linear.

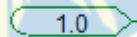
19. *Multiplier*



Gambar A.20 Komponen *Multiplier*

Multiplier adalah komponen yang berfungsi memperbanyak masukan dari dua sinyal.

20. *Real Constant*



Gambar A.21 Komponen *Real Constant*

Komponen ini digunakan untuk menetapkan nilai konstan ke kabel sinyal data, atau input komponen.



LAMPIRAN B

GRAFIK GELOMBANG KELUARAN

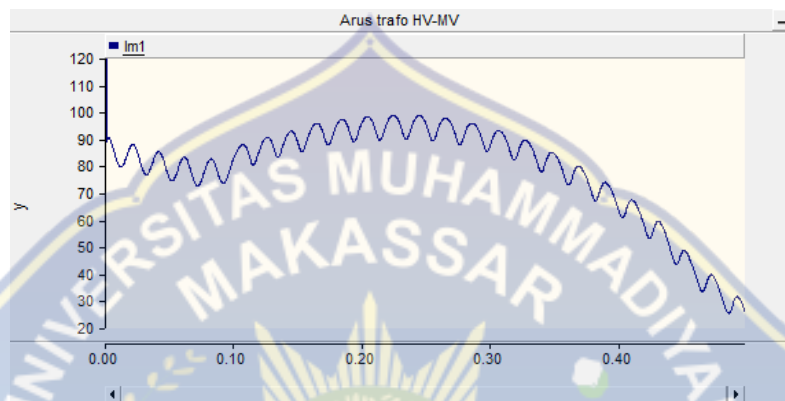
HASIL SIMULASI TANPA FILTER

DENGAN MENGGUNAKAN

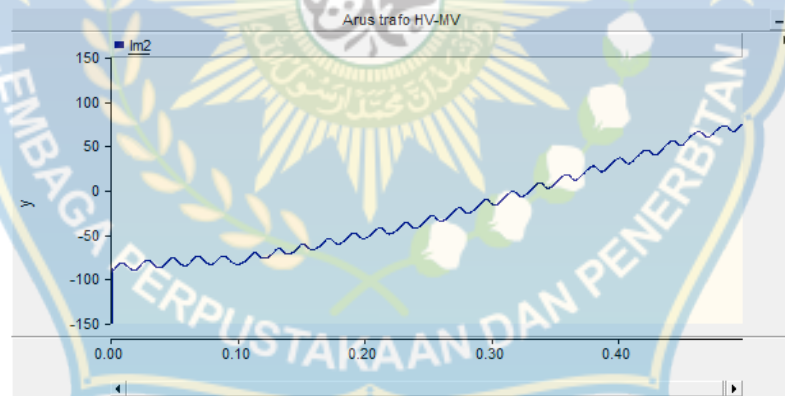
PROGRAM PSCAD

LAMPIRAN B

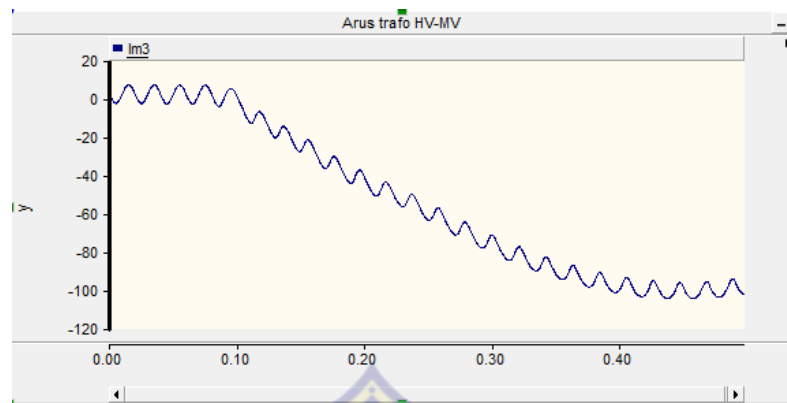
Tampilan grafik gelombang keluaran hasil simulasi tanpa filter dengan menggunakan program PSCAD.



(a) Grafik Arus di Fase A

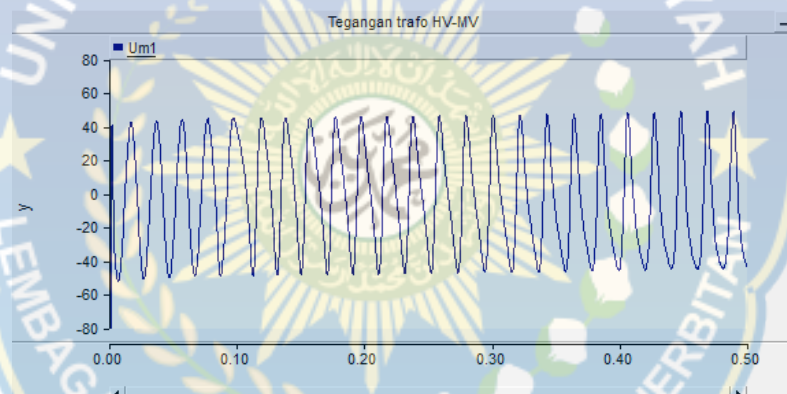


(b) Grafik Arus di Fase B

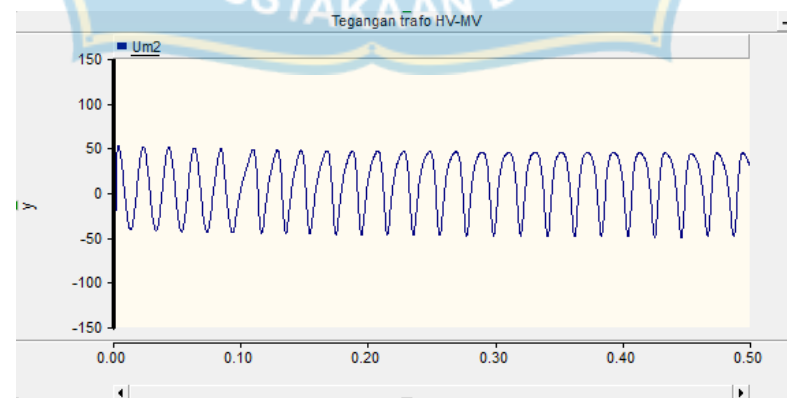


(c) Grafik Arus di Fase C

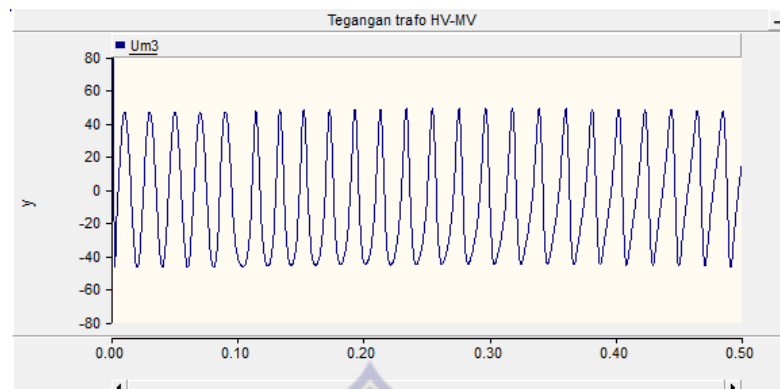
Gambar B.1 Tampilan Grafik Arus Fase A,-B,-C pada trafo HV-MV Sebelum Pemasangan *Series RLC Tuned Filter*



(a) Grafik Tegangan di Fase A

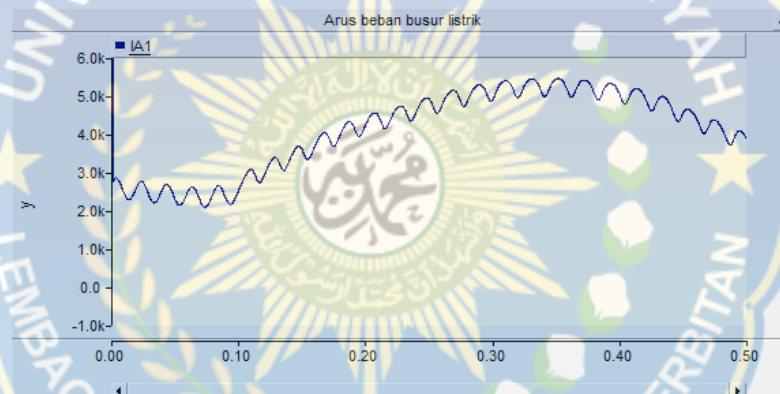


(b) Grafik Tegangan di Fase B

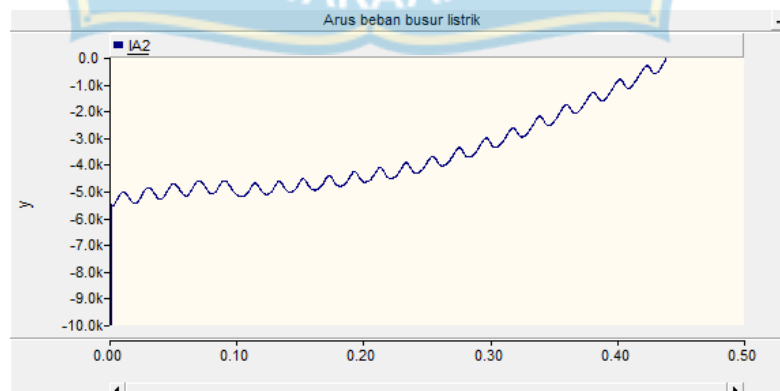


(c) Grafik Tegangan di Fase C

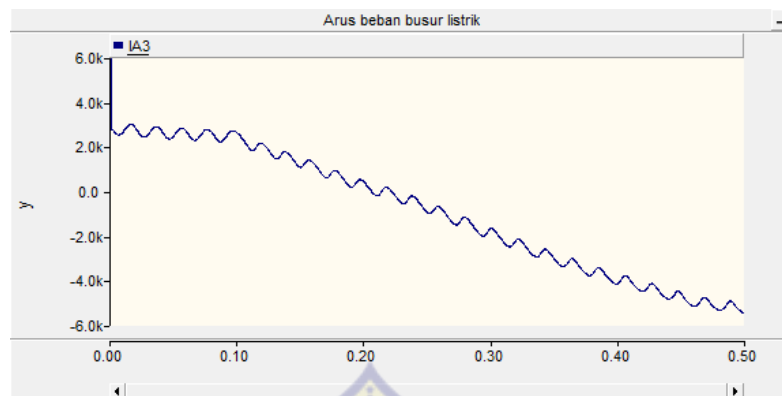
Gambar B.2 Tampilan Grafik Tegangan Fase A,-B,-C pada Trafo HV-MV
Sebelum Pemasangan *Series RLC Tuned Filter*



(a) Grafik Arus di Fase A

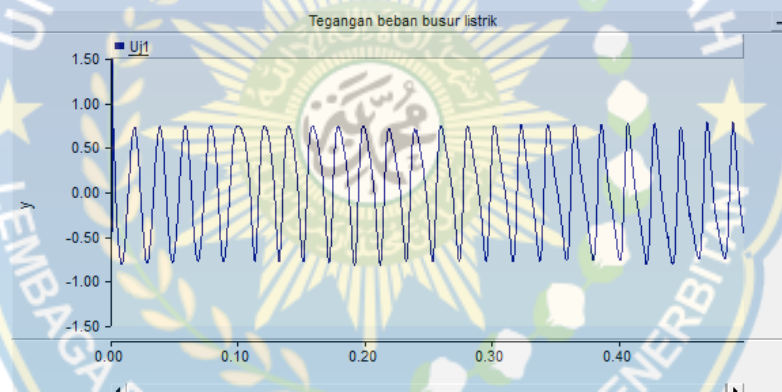


(b) Grafik Arus di Fase B

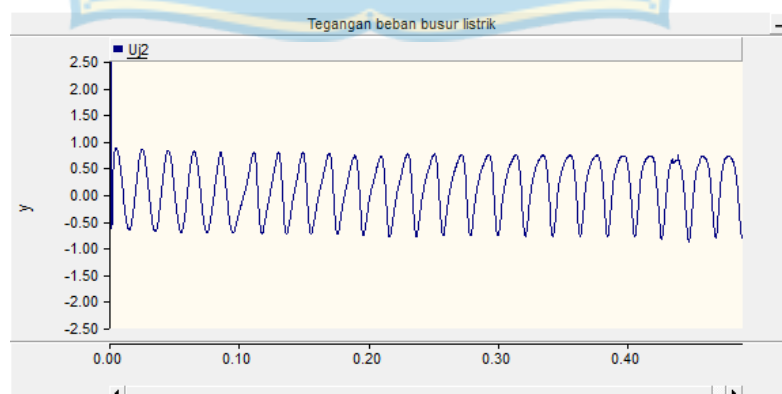


(c) Grafik Arus di Fase C

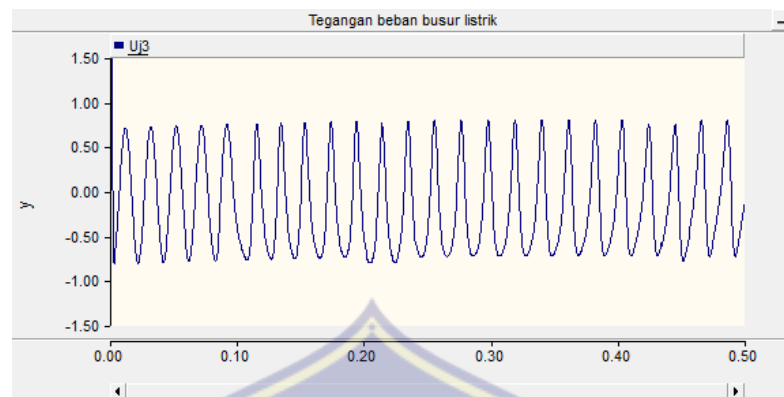
Gambar B.3 Tampilan Grafik Arus Busur Listrik Fase A,-B, dan C Sebelum Pemasangan *Series RLC Tuned Filter*



(a) Grafik Tegangan di Fase A

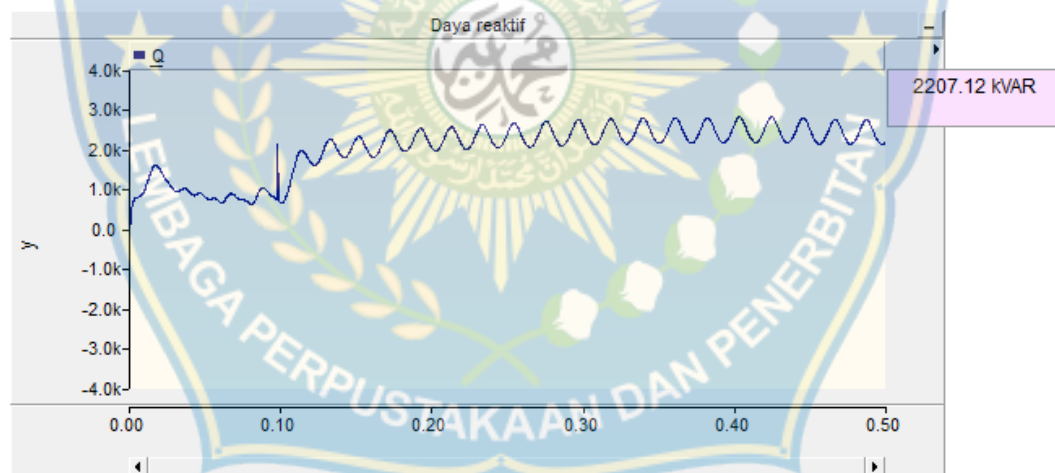


(b) Grafik Tegangan di Fase B

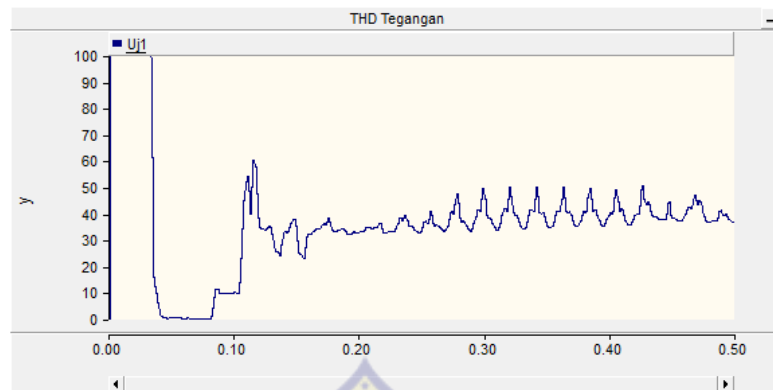


(c) Grafik Tegangan di Fase C

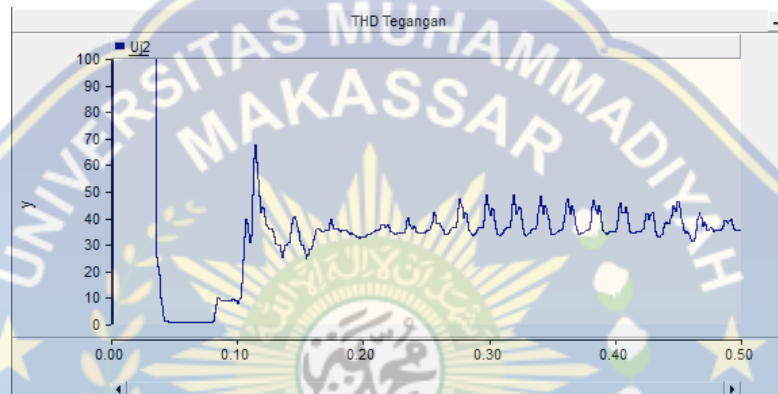
Gambar B.4 Tampilan Grafik Tegangan Beban Busur Listrik Fase A,-B, dan C
Sebelum Pemasangan *Series RLC Tuned Filter*



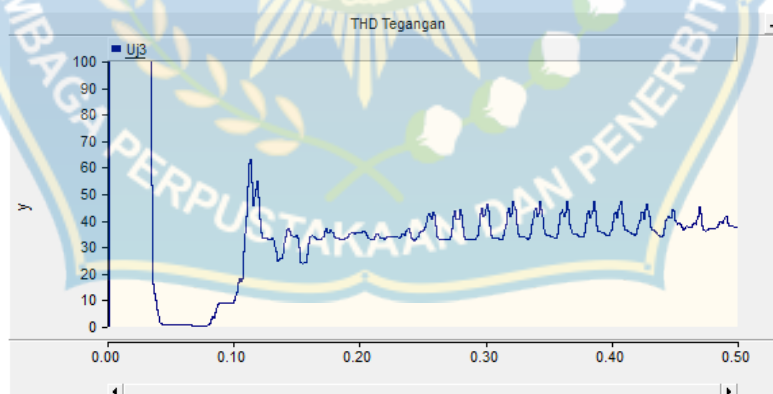
Gambar B.5 Tampilan Grafik Daya Reaktif sebelum pemasangan filter.



(a) Grafik THD Tegangan di Fase A



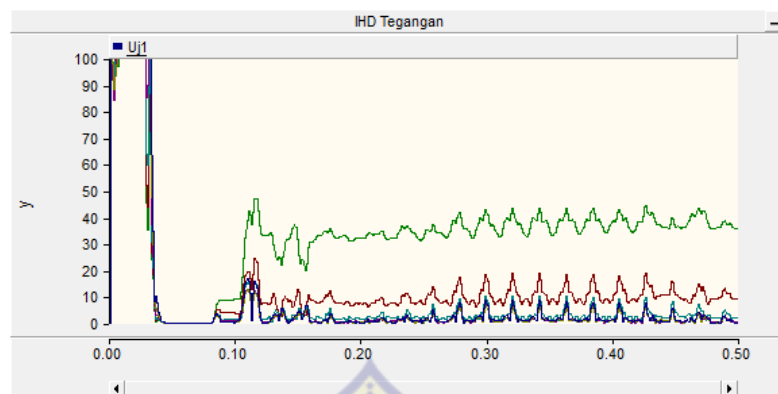
(b) Grafik THD Tegangan di Fase B



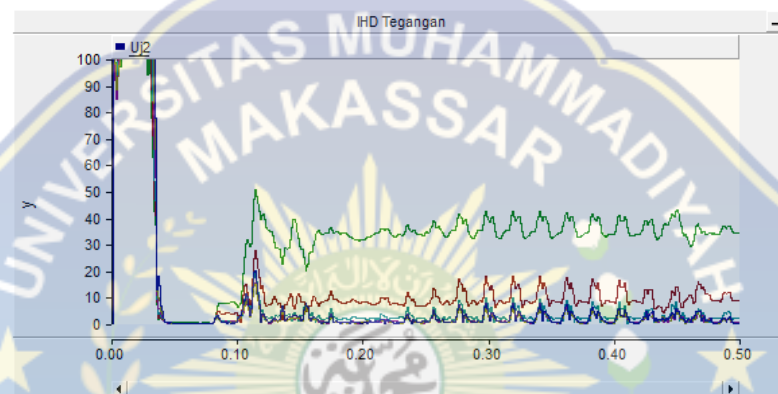
(c) Grafik THD Tegangan di Fase C

B.6 Tampilan Grafik THD Tegangan Beban Busur Listrik Fase A,-B, dan C

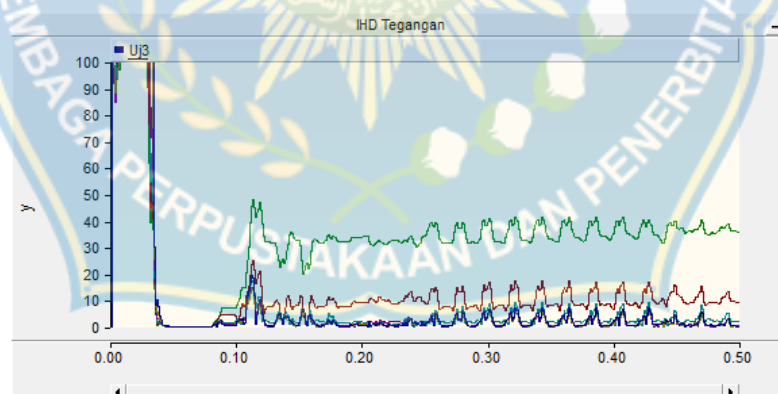
Sebelum Pemasangan *Series RLC Tuned Filter*



(a) Grafik IHD Tegangan di Fase A



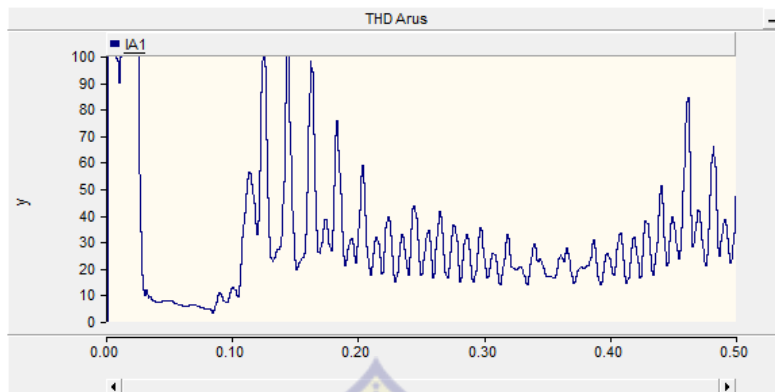
(b) Grafik IHD Tegangan di Fase B



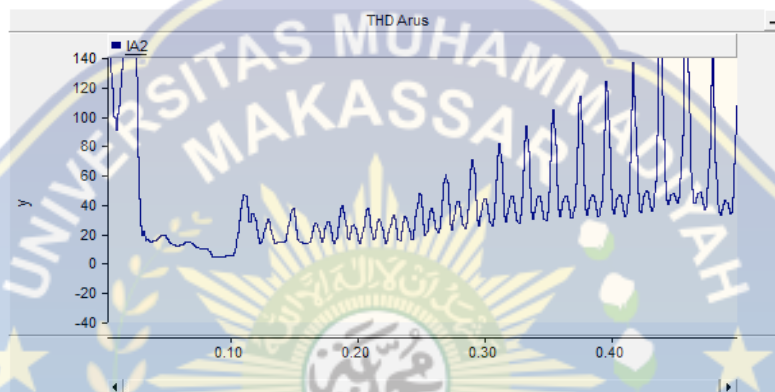
(c) Grafik IHD Tegangan di Fase C

B.7 Tampilan Grafik IHD Tegangan Busur Listrik Fase A,-B, dan C Sebelum

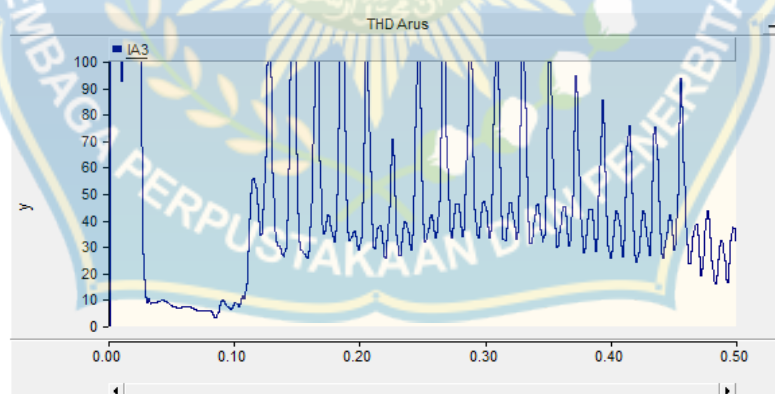
Pemasangan *Series RLC Tuned Filter*



(a) Grafik THD Arus di Fase A



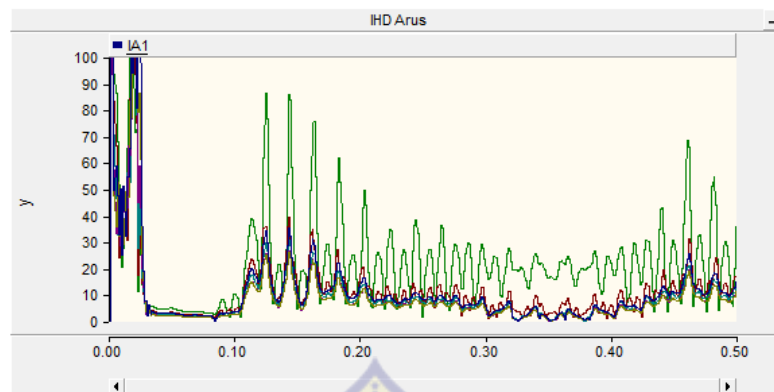
(b) Grafik THD Arus di Fase B



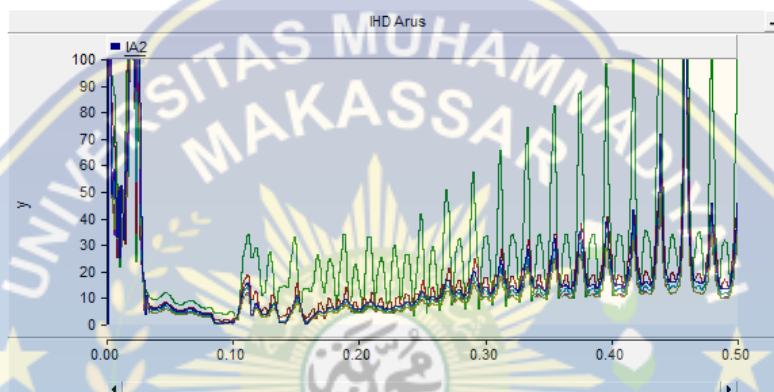
(c) Grafik THD Arus di Fase C

B.8 Tampilan Grafik IHD Tegangan Busur Listrik Fase A,-B, dan C Sebelum

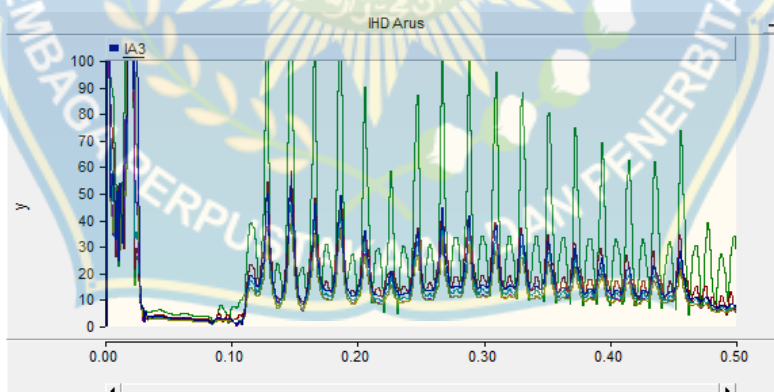
Pemasangan *Series RLC Tuned Filter*



(a) Grafik IHD Arus di Fase A



(b) Grafik IHD Arus di Fase B



(c) Grafik IHD Arus di Fase C

B.9 Tampilan Grafik IHD Arus Busur Listrik Fase A,-B, dan C Sebelum

Pemasangan *Series RLC Tuned Filter*



LAMPIRAN C

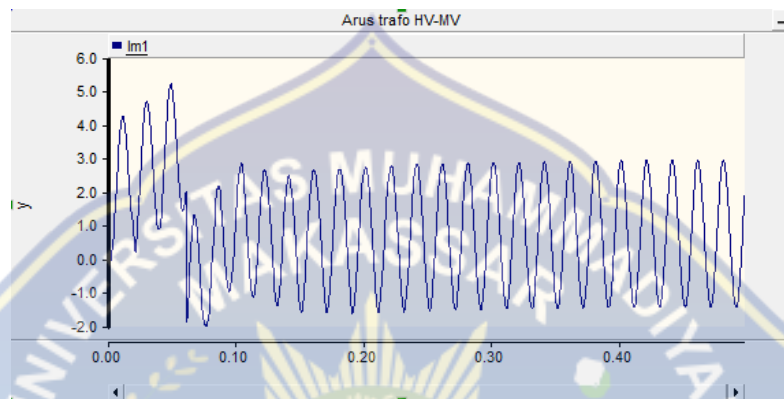
GRAFIK GELOMBANG KELUARAN

HASIL SIMULASI MENGGUNAKAN

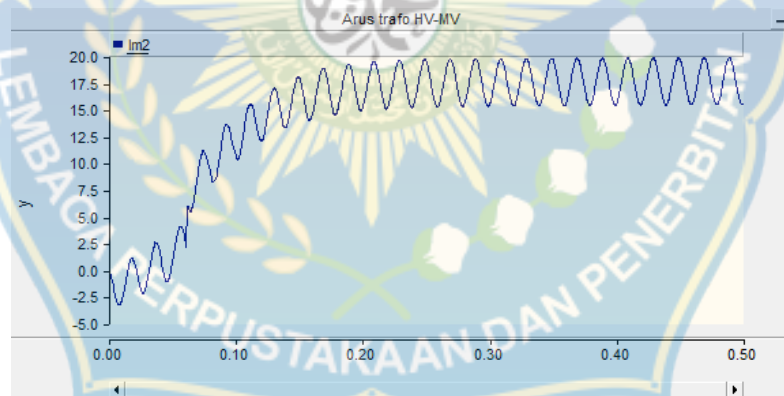
FILTER DENGAN PROGRAM PSCAD

LAMPIRAN C

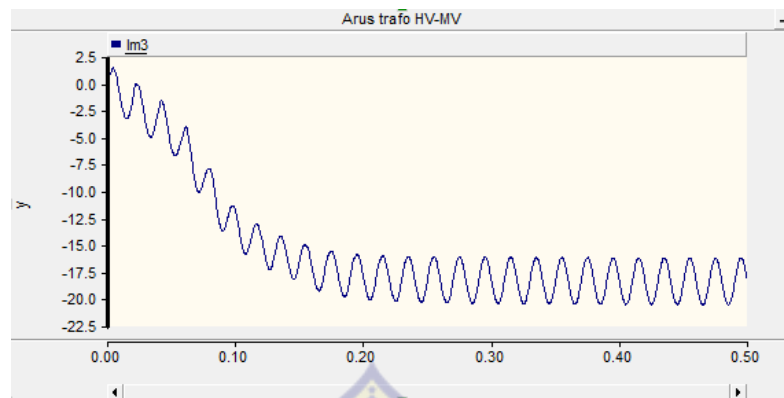
Tampilan grafik gelombang keluaran hasil simulasi menggunakan filter pasif dengan program PSCAD.



(a) Grafik Arus di Fase A



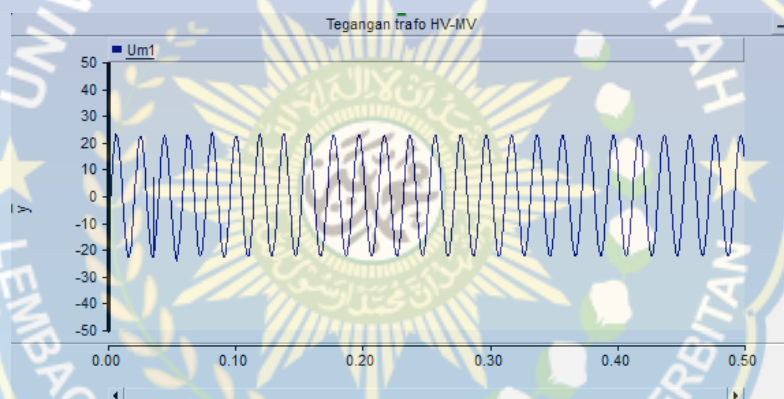
(b) Grafik Arus di Fase B



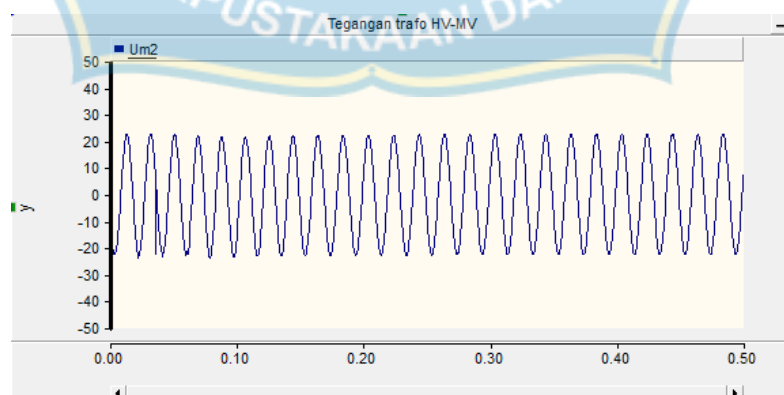
(c) Grafik Arus di Fase C

Gambar C.1 Tampilan Grafik Arus Fase A,-B,-C Setelah Pemasangan *Series RLC*

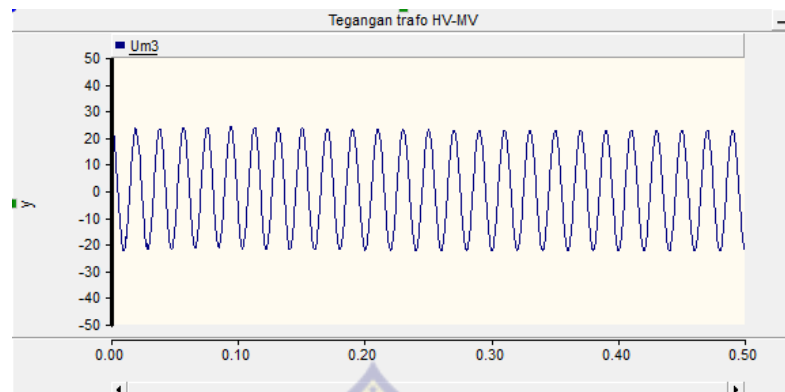
Tuned Filter



(a) Grafik Tegangan di Fase A



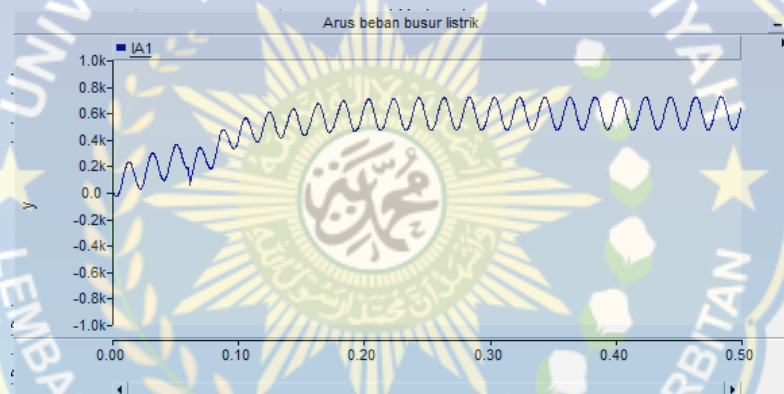
(b) Grafik Tegangan di Fase B



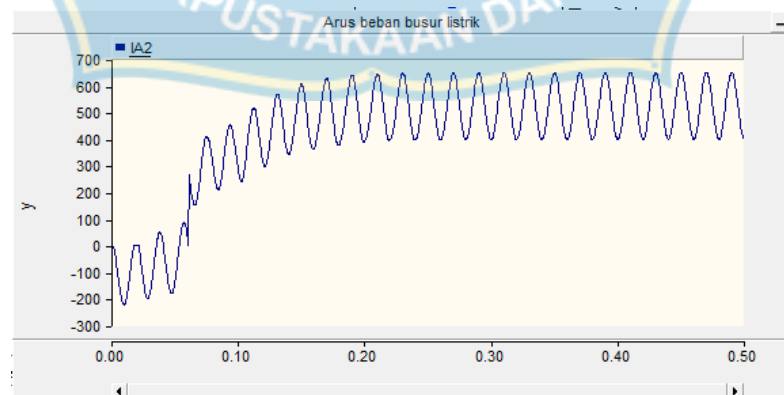
(c) Grafik Tegangan di Fase C

Gambar C.2 Tampilan Grafik Tegangan Fase A,-B,-C Setelah Pemasangan *Series*

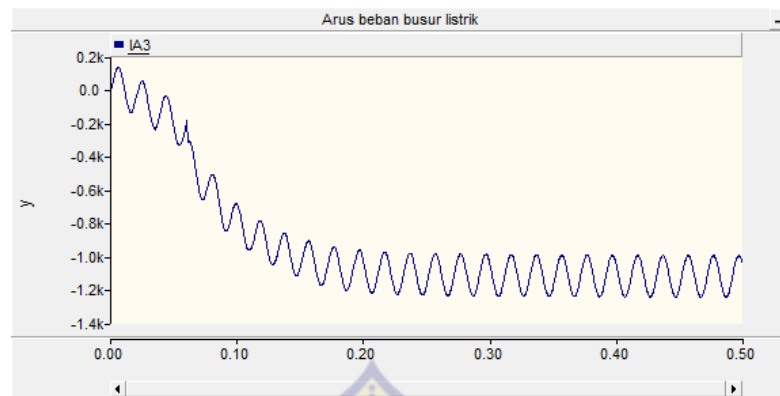
RLC Tuned Filter



(a) Grafik Arus di Fase A

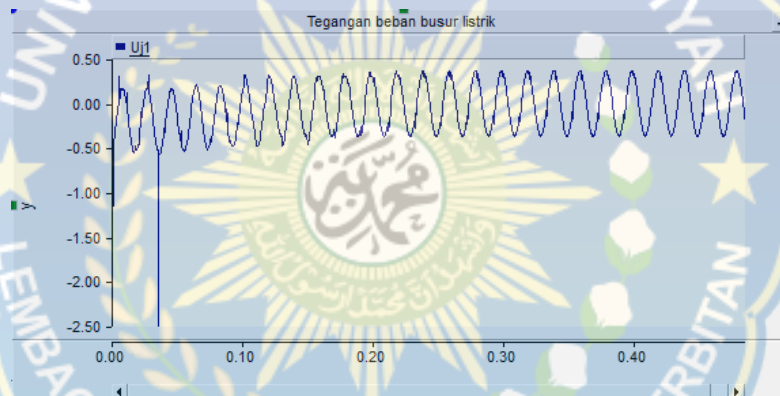


(b) Grafik Arus di Fase B

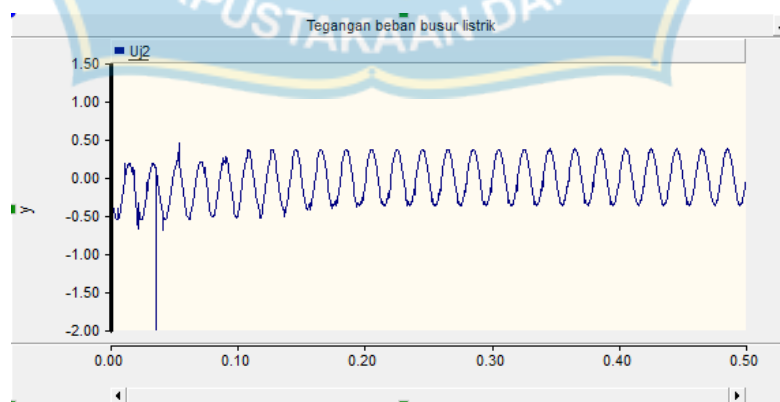


(c) Grafik Arus di Fase C

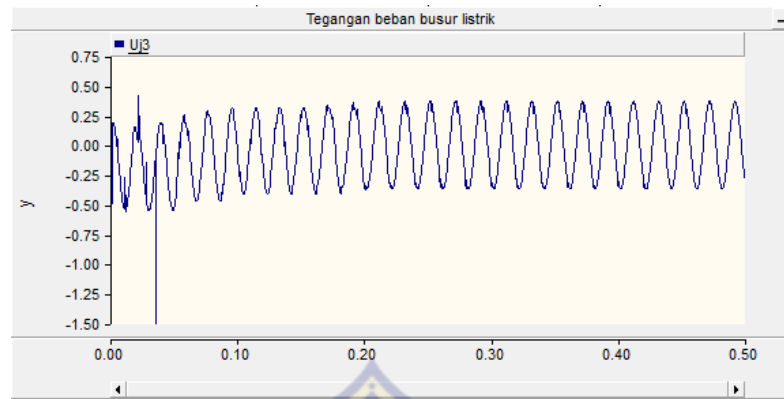
Gambar C.3 Tampilan Grafik Arus Busur Listrik Fase A,-B,-C Setelah Pemasangan *Series RLC Tuned Filter*.



(a) Grafik Tegangan di Fase A

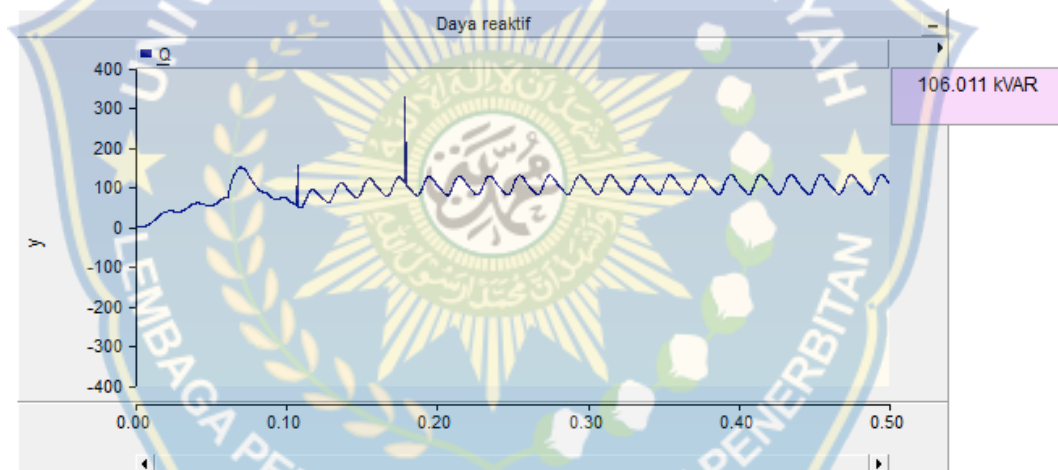


(b) Grafik Tegangan di Fase B

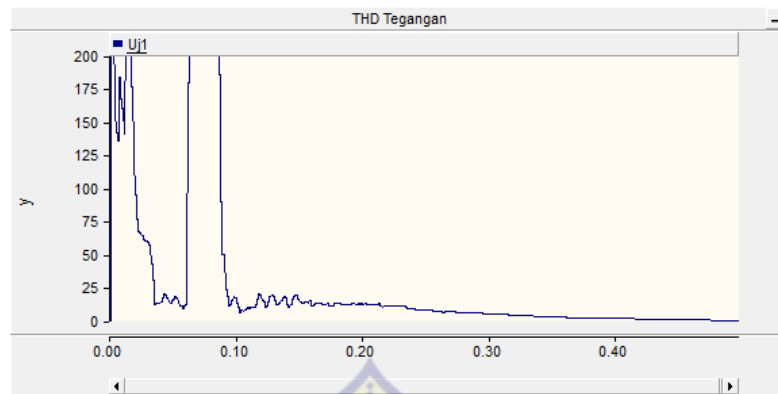


(c) Grafik Tegangan di Fase C

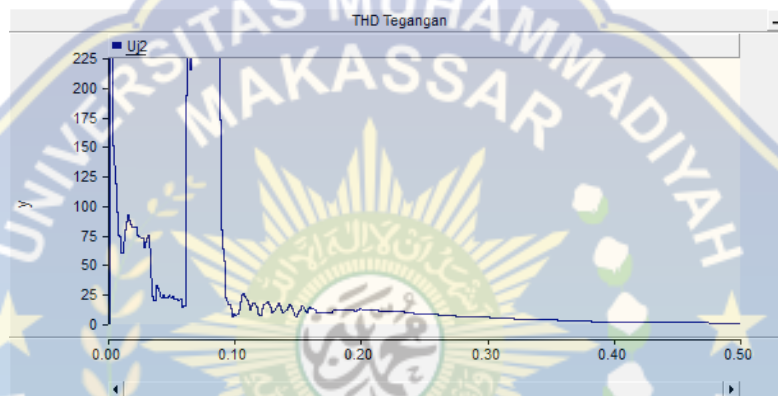
Gambar C.4 Tampilan Grafik Tegangan Busur Listrik Fase A,-B,-C Setelah Pemasangan *Series RLC Tuned Filter*.



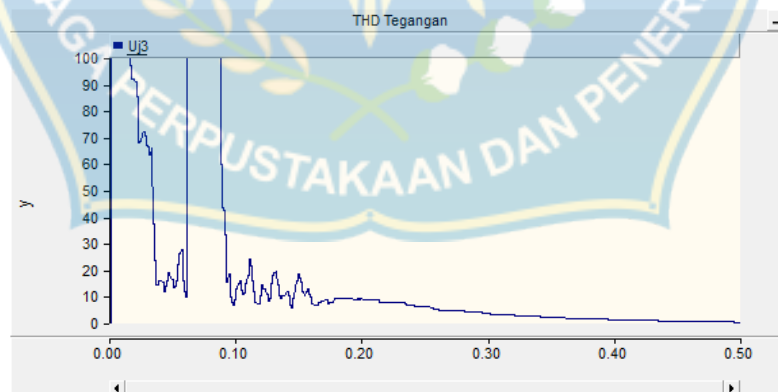
Gambar C.5 Tampilan Grafik Daya Reaktif Setelah Pemasangan *Series RLC Tuned Filter*.



(a) Grafik THD Tegangan di Fase A



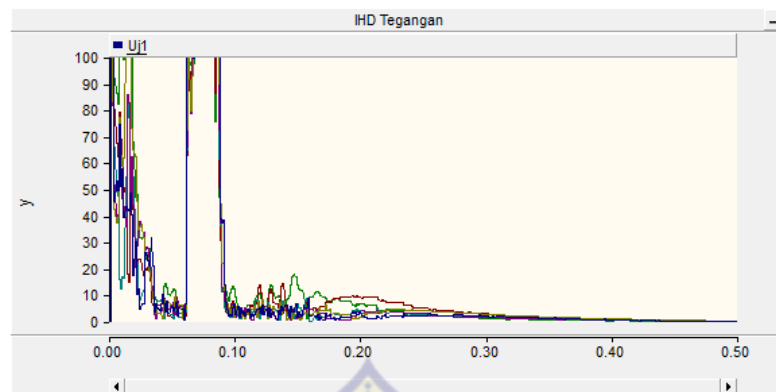
(b) Grafik THD Tegangan di Fase B



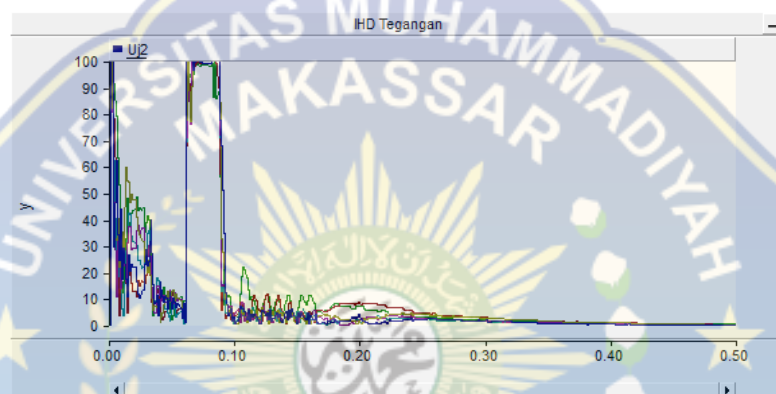
(c) Grafik THD Tegangan di Fase C

Gambar C.6 Tampilan Grafik THD Tegangan Busur Listrik Fase A,-B,-C

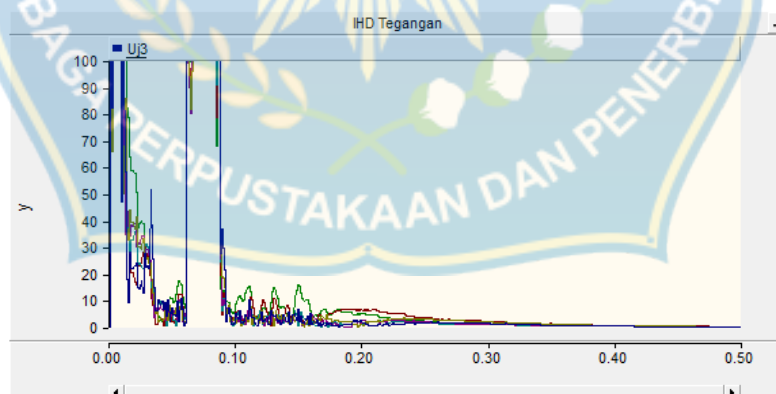
Setelah Pemasangan *Series RLC Tuned Filter*



(a) Grafik IHD Tegangan di Fase A



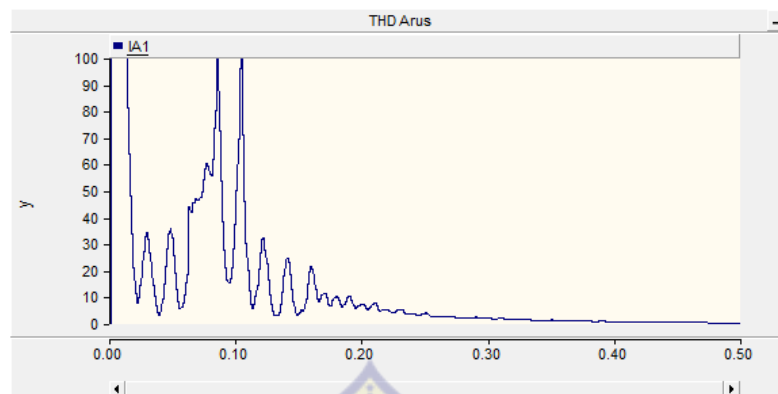
(b) Grafik IHD Tegangan di Fase B



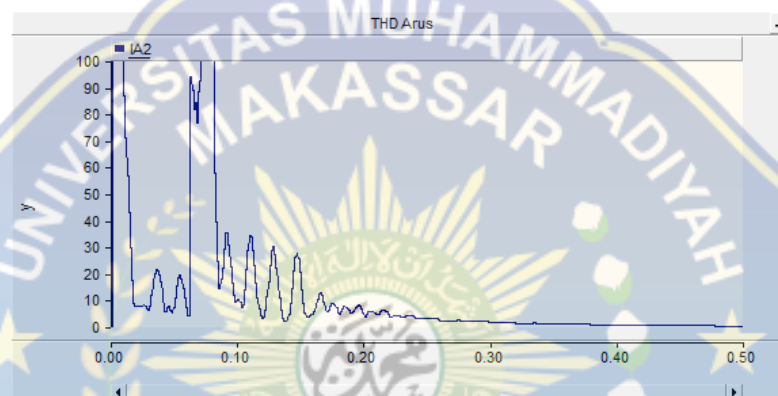
(c) Grafik IHD Tegangan di Fase C

Gambar C.7 Tampilan Grafik IHD Tegangan Busur Listrik Fase A,-B,-C

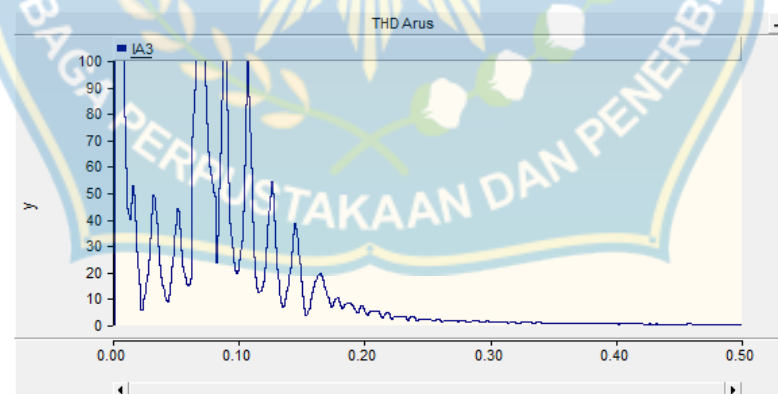
Setelah Pemasangan *Series RLC Tuned Filter*



(a) Grafik THD Arus di Fase A



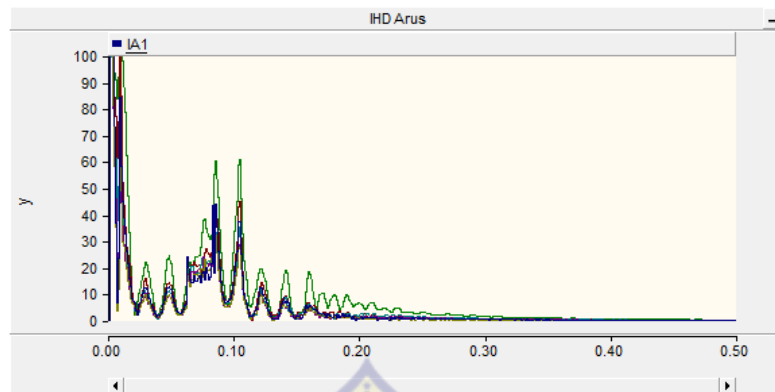
(b) Grafik THD Arus di Fase B



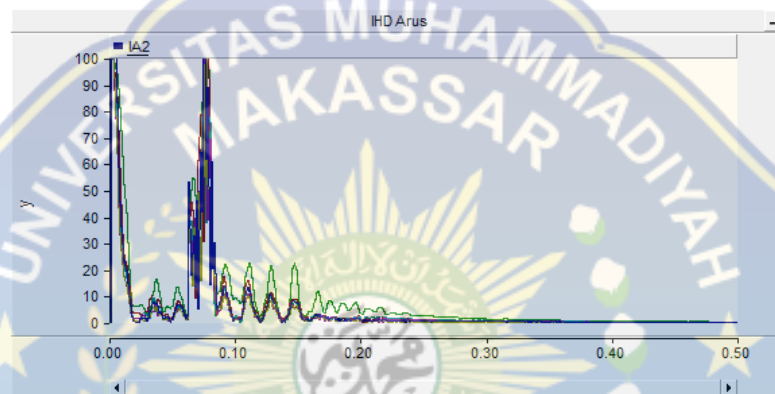
(c) Grafik THD Arus di Fase C

Gambar C.8 Tampilan Grafik THD Arus Busur Listrik Fase A,-B,-C

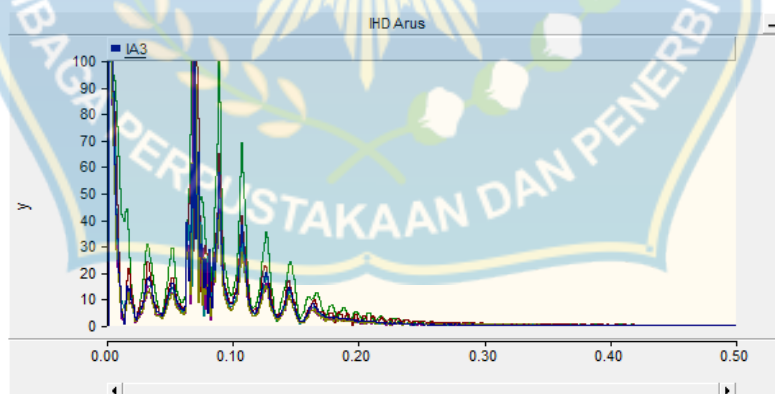
Setelah Pemasangan *Series RLC Tuned Filter*



(a) Grafik IHD Arus di Fase A



(b) Grafik IHD Arus di Fase B



(c) Grafik IHD Arus di Fase C

Gambar C.9 Tampilan Grafik IHD Arus Busur Listrik Fase A,-B,-C

Setelah Pemasangan *Series RLC Tuned Filter*