

Implementasi Filter Pasif untuk Mereduksi Harmonisa dan Memperbaiki Kualitas Daya pada PT. Eratex Djaja, Tbk Kota Probolinggo

Muhammad Zakaryah, I Made Wartana, Ni Putu Agustini
Institut Teknologi Nasional, Malang, Indonesia
Email : zzakaryah@gmail.com

Abstrak—Salah satu permasalahan kualitas daya listrik adalah harmonisa. Kualitas daya yang mengandung harmonisa akan berdampak banyak kerugian bagi perusahaan. Penyebab timbulnya harmonisa disebabkan oleh beban *non-linier* dimana *Variable speed drive* merupakan beban *non-linier*. Penggunaan beban motor listrik yang dikontrol oleh *Variable Speed Drive* pada perusahaan akan menimbulkan harmonisa yang tinggi. Salah satu cara meredam harmonisa tersebut dengan menggunakan filter harmonisa yaitu filter pasif. Filter pasif ini terdiri dari rangkaian seri kapasitor (C), inductor (L) dan resistor (R) yang berfungsi menginjeksi arus harmonisa dan mengurangi tegangan harmonisa. Pada penelitian ini dilakukan pemasangan filter pasif untuk mereduksi harmonisa yang timbul akibat penggunaan beban motor yang dikontrol oleh *Variable Speed Drive* dan meningkatkan kualitas daya pada PT Eratex Djaja, Tbk Kota Probolinggo dengan simulasi menggunakan *software PSCAD Power Simulation*. Dari hasil analisis terdapat hasil yang bervariasi yaitu sebelum pemasangan filter pasif harmonisa yang terbesar terdapat pada PANEL TOLKAR 5000 yaitu THD_V sebesar 2.61514% dan THD_I sebesar 30.8256%. Sedangkan setelah pemasangan filter pasif harmonisa dapat tereduksi yaitu THD_V turun menjadi 0.823228%. dan THD_I turun menjadi sebesar 0.69926%. Dimana sudah sesuai dengan standart *IEEE 519-1992* $THD_V \leq 5\%$ dan $THD_I \leq 20\%$.

Kata Kunci — Kualitas Daya, Harmonisa, *Variable Speed Drive* (VSD), Filter Pasif.

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Listrik yang berkualitas adalah listrik yang mempunyai tegangan dan frekuensi yang konstan sesuai dengan nilai nominalnya[1]. Dalam kisaran yang ditentukan, frekuensi yang stabil dan sangat dekat dengan nilai nominalnya. Kualitas daya yang kurang baik akan menimbulkan banyak kerugian bagi perusahaan. Salah satu permasalahan yang menimbulkan kerugian dalam kualitas daya listrik adalah permasalahan harmonisa. Harmonisa adalah distorsi gelombang arus dan tegangan yang mempunyai frekuensi gelombang kelipatan dari frekuensi

fundamental. Distorsi harmonisa disebabkan oleh peralatan yang memiliki beban *non-linier*. Peralatan yang memiliki beban *non-linier* merupakan kondisi dimana arus tidak proposional dengan gelombang tegangannya. Contoh beban *non-linier* adalah *Variable Speed Drive* (VSD), menurut Standart *IEEE 519-1992* VSD merupakan salah satu beban *non-linier* penyebab gelombang harmonic[3].

Karena pengaruh yang disebabkan harmonisa ini sangat besar, dapat membuat trafo panas sehingga membuat kinerja trafo terganggu dan menyebabkan kualitas daya turun. Maka diperlukan suatu usaha untuk menurunkan harmonisa yang terjadi. Salah satu usaha untuk mengurangi harmonisa adalah mendesain peralatan yang tidak menimbulkan harmonisa itu sendiri. Cara mendesain peralatan yang bebas harmonisa adalah menambahkan filter pasif[6].

Pada PT.ERATEX DJAJA, Tbk. Kota Probolinggo terdapat beban motor-motor induksi yang kecepatan motornya di kontrol oleh *Variable Speed Drive* (VSD). Dari permasalahan tersebut, penulis akan menganalisa seberapa besar harmonisa yang ditimbulkan dari penggunaan *Variable Speed Drive* pada sebuah motor yang ada pada PT. Eratex Djaja, Tbk. Kota Probolinggo. Dan perencanaan pemasangan filter pasif. Apabila terdapat harmonisa sehingga mampu meminimalkan harmonisa tersebut dengan *software PSCAD Power Simulation*.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka timbul beberapa perumusan masalah, antara lain:

1. Bagaimana pengaruh filter pasif dalam mereduksi harmonisa pada motor yang menggunakan *Variable Speed Drive* (VSD)?
2. Bagaimana menentukan parameter (R, L, C) dari filter pasif?

C. Tujuan

Berdasarkan permasalahan yang dikemukakan diatas, maka tujuan penulisan skripsi ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh filter pasif dalam mereduksi harmonisa pada motor yang menggunakan *Variable Speed Drive* (VSD).
2. Menentukan nilai parameter (R, L, C) pada filter pasif.
3. Meningkatkan kualitas daya pada PT. Eratex Djaja, Tbk. Kota Probolinggo.

D. Manfaat

Manfaat dari analisa pemasangan filter pasif yaitu:

1. Memaparkan suatu konsep yang dapat digunakan sebagai suatu konsep untuk mengurangi harmonisa pada PT. Eratex Djaja Kota Probolinggo.
2. Meningkatkan kualitas daya pada PT. Eratex Djaja Kota Pobolinggo.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Kualitas Daya

Kualitas daya merupakan persoalan perubahan bentuk tegangan, arus atau frekuensi yang bisa menyebabkan kegagalan atau *missoperation* peralatan, baik peralatan milik PLN maupun milik konsumen; artinya masalah kualitas daya bisa merugikan pelanggan maupun PLN[2]. Masalah kualitas daya penting karena:

- Alasan utama adalah nilai ekonomi.
- Kualitas daya mempunyai pengaruh ekonomi secara langsung terhadap konsumen industri dalam menggunakan sistem otomatisasi dan peralatan-peralatan modern, seperti penggunaan peralatan kontrol elektronik, peralatan efisiensi energi yang sangat sensitif terhadap deviasi tegangan suplai.
- Pada sistem utilitas telah terjadi meningkatnya level harmonik.
- Konsumen belum memiliki dan mendapat informasi yang cukup menyangkut masalah *power quality*.
- Kegagalan satu komponen pada sistem distribusi dan instalasi bisa membawa konsekuensi tertentu.

Masalah yang dihadapi saat ini pada sistem, antara lain: peningkatan penggunaan semikonduktor yang mempunyai toleransi rendah terhadap gangguan dan terlalu mahal untuk mendesain dengan kekuatan dan keandalan yang sama.

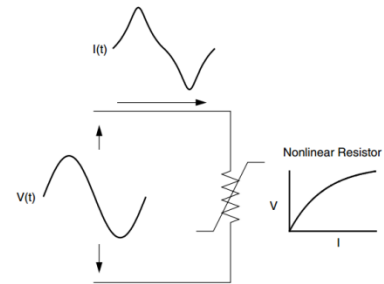
Resiko yang dihadapi adalah sensitifnya terhadap variasi tegangan dan transien. Efek yang ditimbulkan adalah menghasilkan distorsi harmonisa dan interferensi frekuensi tinggi. Isu kualitas daya atau permasalahan yang dihadapi antara lain :

- Transien tegangan lebih (*overvoltage transient*)
- Variasi tegangan, yaitu *voltage sags/dip*, *voltage swell* dan interupsi tegangan

- Fluktuasi tegangan, yaitu *flicker*
- Distorsi harmonisa
- Ketidakseimbangan tegangan (*Unbalanced*)

B. Harmonisa[3]

Harmonisa merupakan distorsi gelombang arus dan tegangan yang mempunyai frekuensi gelombang kelipatan dari frekuensi fundamental. Distorsi harmonisa disebabkan oleh peralatan yang memiliki beban *non-linier*. Peralatan yang memiliki beban *non-linier* merupakan kondisi dimana arus tidak proporsional dengan gelombang tegangannya.



Gelombang 2.3 Distorsi Arus Akibat Beban *Non-Linier*
Sumber : <https://id.wikipedia.org/wiki/Harmonisa>

Gambar 2.3 mengilustrasikan konsep distorsi harmonik 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. Hal ini merupakan sumber dari distorsi harmonisa pada sistem tenaga listrik secara umum.

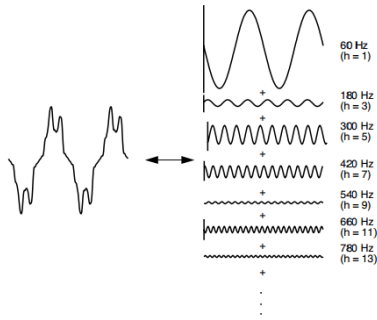
Apabila suatu gelombang yang identik dari suatu siklus ke siklus lain, maka bisa dipresentasikan sebagai penjumlahan gelombang sinusoidal murni dimana frekuensi dari setiap sinusoidal merupakan kelipatan atau hasil perkalian bilangan bulat dari frekuensi gelombang dasar yang terdistorsi seperti yang terlihat pada gambar 2.4. 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[4]:

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

Keterangan :

- Y_0 = Amplitudo dari komponen arus searah dimana biasanya dalam jaringan distribusi bernilai nol.
- Y_n = Nilai rms dari harmonisa komponen ke-n
- f = Frekuensi dasar (50 Hz atau 60 Hz)
- φ_n = Sudut fasa dari komponen harmonisa ke-n

Persamaan Fourier di atas dapat digunakan untuk memecahkan gelombang yang telah terdistorsi menjadi gelombang dasar dan gelombang harmonik. 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 2.4 Representasi Deret Fourier dari Suatu Gelombang Terdistorsi

Sumber : <https://id.wikipedia.org/wiki/Harmonisa>

1) Indeks Harmonisa[5]

Ada dua hal umum yang digunakan untuk mengukur suatu bentuk gelombang harmonisa adalah THD (*Total Harmonic Distorsu*) dan TDD (*Total Demand Distortion*). Kedua langkah ini merupakan perhitungan yang efektif dalam menentukan nilai suatu gelombang dan dapat diterapkan untuk tegangan maupun arus

a. *Total Harmonic Distortion*

THD adalah ukuran nilai efektif dari komponen-komponen harmonic 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 arus:

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

Keterangan:

M_h = Nilai rms dari komponen harmonik ke-n (arus atau tegangan)

M_1 = Nilai rms dari arus atau tegangan pada frekuensi dasar

THD yang berkaitan dengan nilai rms dari distorsi gelombang sebagai berikut:

$$RMS = \sqrt{\sum_{h=1}^{h_{max}} M_h^2} = M_1 \sqrt{1 + THD^2} \dots\dots\dots(3)$$

THD ini sangat berguna dalam beberapa aplikasinya, namun terdapat kelemahannya. THD

dapat mengetahui berapa banyak panas yang dikeluarkan ketika terjadi distorsi tegangan pada beban resistif. Demikian juga dapat memberi indikasi nilai rugi-rugi yang disebabkan oleh arus yang mengalir melalui konduktor. Bagaimanapun juga, ini bukan merupakan suatu indicator yang baik dari sebuah *voltage stress* dalam sebuah kapasitor, Karena berhubungan dengan nilai puncak dari sebuah gelombang tegangan.

THD ini yang paling sering digunakan untuk menggambarkan distorsi harmonisa tegangan. Tegangan harmonisa hampir selalu dijadikan referensi dasar suatu nilai dari gelombang yang dimodelkan. Karena variasi dasar tegangan hanya beberapa persen, THD tegangan ini menjadi hal yang penting.

b. *Total Demand Distortion*

Seperti yang telah dijelaskan di atas, 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 Harmonic Control in Electrical Power Systems*. TDD didefinisikan sebagai berikut:

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{n>1}^{h_{max}} M_n^2}}{M_1} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan:

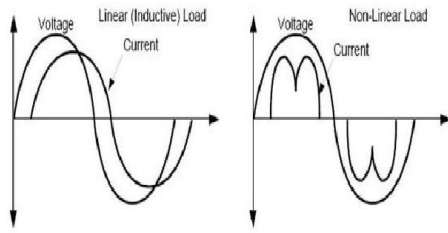
I_L = Arus beban puncak pada frekuensi dasar yang diukur pada PCC (*Point of Common Coupling*)

Terdapat dua cara untuk mengukur I_L , pertama yaitu pada beban yang 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) Sumber-sumber Harmonisa[4]

Berdasarkan klasifikasi pembebanan pada sistem tenaga elektrik terdiri dari 2 macam, yaitu berupa beban *linear* dan beban *non-linear*. Beban *linear* berupa beban yang bersifat resistif sehingga arus dan tegangannya tidak saling mendahului pada gelombang sinusoidalnya. Sedangkan beban *non-linear* berupa beban-beban kapasitif, induktif dan beban lain pada komponen elektronika daya seperti *thyristor, diode*, dll. Karakteristik beban *non-linear* yang mana gelombang

sinusoidal dari arus dan tegangannya saling mendahului Hal tersebut merupakan penyebab utama terjadinya distorsi gelombang harmonisa.



Gambar 2.5 Gelombang Beban *Linear* dan *Non-linear*
 Sumber: <http://listrik-listrik.blogspot.com/2007/03harmonik-pada-transformator-harmonic-in.html>

3) Urutan Fasa Harmonisa[7]

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 harmonisa. Berikut adalah table urutan fasa harmonisa:

Tabel 2.2 Urutan Fasa Harmonisa

Orde Harmonisa	Frekuensi (Hz)	Urutan Fasa
1	50	+
2	100	-
3	150	0
4	200	+
5	250	-
6	300	0
7	350	+
8	400	0
9	450	+
....

Sumber: <https://blogs.itb.ac.id/el2244k0112211041arigustian/2013/04/25/4/>

Pola urutan fasa setiap orde harmonisa dapat dinyatakan sebagai berikut:

- Urutan fasa positif (+) = 3h+1
- Urutan fasa negatif (-) = 3h-1
- Urutan fasa nol (0) = 3h

Pola tersebut akan mempunyai dampak diantaranya seperti yang ditunjukkan pada table berikut.

Tabel 2.3 Dampak Urutan Fasa Harmonisa

Urutan	Pengaruh Pada Motor	Pengaruh Pada Sistem Distribusi
Positif	Menimbulkan medan magnet putar arah maju (<i>forward</i>)	• Panas
Negatif	Menimbulkan medan magnet putar arah mundur (<i>reverse</i>)	• Panas • Arah putaran motor berubah
Nol	Tidak ada	➤ Panas ➤ Menimbulkan tambahan arus pada kawat netral

Sumber: <https://blogs.itb.ac.id/el2244k0112211041arigustian/2013/04/25/4/>

4) Batasan Harmonisa[2]

Beberapa standar batasan harmonisa pada sistem tenaga listrik telah dipublikasikan diantaranya adalah standar IEEE std. 519-1992, 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:

Tabel 2.3 Batas Distorsi Harmonisa Pada Tegangan

Voltage at PCC	Individual Voltage Distortion (%)	Total Harmonic Distortion THD (%)
69 kV and below	3.0	5.0
69 kV – 161 kV	1.5	2.5
161 kV	1.0	1.5

Sumber: IEEE std 519-1992

Tabel 2.4 Batas Distorsi Harmonisa Pada Arus

Maximum Harmonics Current Distortion						
$I_n \% I_L$						
Individual Harmonic Order (Odd Harmonics)						
I_{sc} / I_L	< 11	11= <h <17	17= <h <23	23= <h <35	35= <h	THD
<20	4	2	1.5	0.6	0.3	5
20-50	7	3.5	2.5	1	0.5	8

50-100	10	4.5	4	1.5	0.7	12
100-1000	12	5.5	5	2	1	15
>1000	15	7	6	2.5	1.4	20

Sumber: IEEE std 519-1992

5) Penyebab Harmonisa[4]

Penyebab terjadinya harmonisa karena adanya beban non linier, misalnya: (VSD) Variable Speed Drive. Dalam bentuk aslinya beban non linier adalah beban yang menggunakan komponen power elektronik. Yang dimaksud dengan beban non linier beban yang beraksi seperti impedansi yang berubah-ubah. Ada impedansi beban non linier yang berubah secara periodik seperti (VSD) Variable Speed Drive. Adapun juga penyebab terjadinya harmonisa karena akibat beban linier yaitu beban suatu alat yang memberikan bentuk gelombang keluaran yang linear. Atau dengan kata lain arus yang mengalir sebanding dengan impedansi dan perubahan tegangan. Contoh dari beban ini adalah resistor. Yang kedua adanya beban non-linear yaitu beban suatu alat yang bentuk gelombang keluarannya tidak sebanding dengan tegangan dalam setiap setengah siklus sehingga bentuk gelombang arus maupun tegangan keluarannya tidak sama dengan gelombang masuknya. Contoh dari alat dengan beban non-linear adalah televisi, komputer, mesin las, dll. Penggunaan beban non-linear inilah yang menyebabkan terjadinya harmonisa pada sistem kelistrikan.

C. Variable Speed Drive (VSD)[7]

Variable Speed Drive disebut juga dengan variable frequency drive atau disebut juga inverter. Prinsip kerjanya yaitu dengan menyearahkan gelombang AC menjadi DC menggunakan SCR (Silicon Controlled Rectifier). Setelah gelombang sinusoidal menjadi DC kemudian melewati rangkaian elektronika daya berupa kapasitor dan induktor sebagai filter gelombang karena masih terdapat ripple. Tegangan dan arus yang telah menjadi DC kemudian dikonversi lagi menjadi AC dengan penggunaan IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor). Penggunaan IGBT ini merekayasa gelombang DC agar serupa dengan gelombang AC yang memiliki bentuk gelombang sinusoidal melalui switching IGBT. Dimana switching IGBT dilakukan oleh kontroler yang tertanam pada prosesor VSD. Demikian pula dalam menyearahkan gelombang AC 3 fasa SCR juga akan melakukan switching yang dilakukan oleh kontroler yang tertanam pada prosesor VSD.

Aplikasi VSD banyak diperlukan dalam industri. Jika sebelumnya banyak dipergunakan sistem mekanik, kemudian beralih ke motor slip/ pengereman maka saat ini banyak menggunakan semikonduktor. Tidak seperti softstater yang mengolah level tegangan inverter menggunakan frekuensi tegangan masuk untuk mengatur

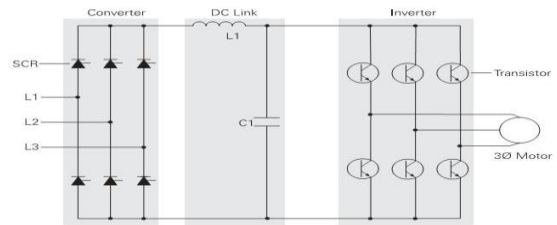
speed motor. Seperti diketahui pada kondisi ideal (tanpa slip).

$$RPM = \frac{120 \times f}{P} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan :

- RPM : Kecepatan motor
- f : Frekuensi
- P : Jumlah kutub

Jadi dengan memainkan perubahan frekuensi tegangan yang masuk pada motor, speed akan berubah. Karena itu inverter disebut juga Variable Speed Drive.



Gambar 2.6 Rangkaian Variable Speed Drive (VSD)

Sumber :

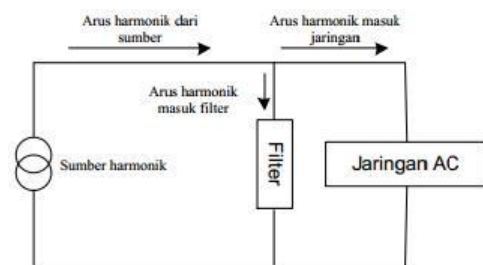
<http://mekatronika08.blogspot.com/2012/09/variable-speed-drive.html>

D. Filter Harmonisa

Filter harrmonisa adalah suatu rangkaian yang fungsinya digunakan untuk membuang tegangan yang tidak dibutuhkan atau harmonisa. Filter ini dapat dikelompokkan menjadi filter aktif dan filter pasif. Dimana Filter aktif bekerja dengan memberikan arus pada grid dengan nilai harmonisa yang sama. Sedangkan filter pasif bekerja dengan mereduksi cacat gelombang mendektai sinus murni bentuk gelombang[8].

Pemasangan filter harmonisa dipasangkan paralel dengan beban yang menimbulkan harmonisa yaitu dengan memiliki tujuan, antara lain[6]:

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



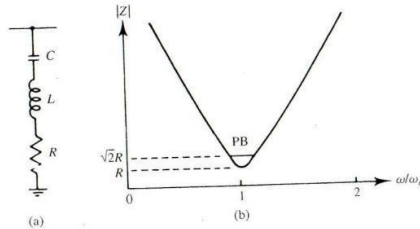
Gambar 2.7 Rangkaian Filter Harmonisa

Sumber:

<http://electrifytheworld.blogspot.com/2011/06/mengenal-filter-harmonisa-1.html>

1) Filter Pasif (single tuned)

Filter ini terdiri dari rangkaian seri kapasitor, induktor dan resistor (RLC). Berikut ini gambar rangkaian single tuned filter dan kurva impedansi[7]:



Gambar 2.8 (a) Rangkaian *Single Tuned Filter*

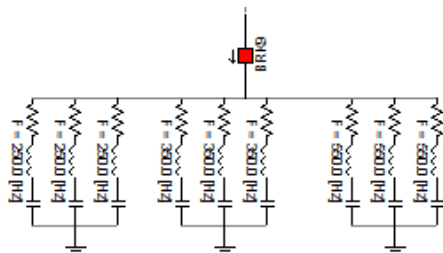
(b) Kurva impedansi terhadap frekuensi

Sumber:

https://hvdc.ca/webhelp/Master_Library_Models/Passive/Filters/Passive_Filter_Design.htm

a. Desain Filter

Desain ini dilakukan dengan menentukan orde yang akan direduksi, penempatan pemasangan, menghitung besar kompensasi daya reaktif, induktor, dan resistor[6].



Gambar 2.9 Desain Filter Pasif
Sumber: PSCAD Power Simulation

b. Perhitungan Filter[8]

Perhitungan filter ini cukup sekali dilakukan karena orde yang akan diredam sama yaitu pada orde ganjil. Hal pertama yang harus dilakukan adalah mengkompensasi daya reaktif.

Pada suatu tegangan (V), daya aktif, daya reaktif dan daya total adalah sebanding dengan arus dan akan sesuai dengan persamaan berikut:

$$|S| = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{(V.I.Cos\theta)^2 + (V.I.Sin\theta)^2} \quad (5)$$

Faktor daya merupakan salah satu indikator baik buruknya kualitas daya listrik. Faktor daya merupakan perbandingan antara daya aktif dan daya reaktif. Faktor daya juga disimbolkan sebagai $\cos \theta$, dimana :

$$Cos\theta = pf = \frac{P}{S} \dots \dots \dots (6)$$

Salah satu cara untuk memperbaiki faktor daya yaitu dengan cara kompensasi daya reaktif dimana sebagian kebutuhan daya reaktif yang dibutuhkan beban didapat dari kompensator daya reaktif. Salah satu kompensator daya reaktif adalah kapasitor *bank* dengan *rating* kVAR sebagai berikut:

$$\Delta Q = P \times (\tan \theta_{awal} - \tan \theta_{target}) \dots (7)$$

Penambahan daya reaktif tersebut dibatasi pada nilai faktor daya maksimal 100% dan tidak merubah keadaan *leading* atau *lagging* sistem sehingga tidak merusak beban terpasang.

Perhitungan nilai parameter R, L, dan C

Untuk perhitungan nilai L

$$n = \frac{f_n}{f_1} = \sqrt{\frac{X_L}{X_C}} \dots \dots \dots (8)$$

Keterangan:

- n = orde harmonisa
 - f_n = frekuensi ordo harmonisa (Hz)
 - f_1 = Frekuensi awal (Hz)
 - X_L = reaktansi inductor (H)
 - X_C = reaktansi kapasitor (F)
- Sehingga didapat

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} \dots \dots \dots (9)$$

Perhitungan nilai R

$$Q = \frac{nX_L}{R} = \frac{X_C}{nR} \dots \dots \dots (10)$$

Keterangan:

- Q = Daya reaktif (Mvar)
- n = ordo harmonisa
- X_L = reaktansi induktif (H)
- X_C = reaktansi kapasitif (F)

Perhitungan Nilai C

$$Q_C = \frac{v^2}{X_C} \frac{n^2}{(n^2-1)} \dots \dots \dots (11)$$

Keterangan:

- Q_C = Kompenasi Daya Reaktif (Mvar)
- v = tegangan pada beban (V)
- X_C = reaktansi kapasitif (C)
- n = ordoharmonisa

Sehingga didapat

$$C = \frac{1}{2\pi f X_C} \dots \dots \dots (12)$$

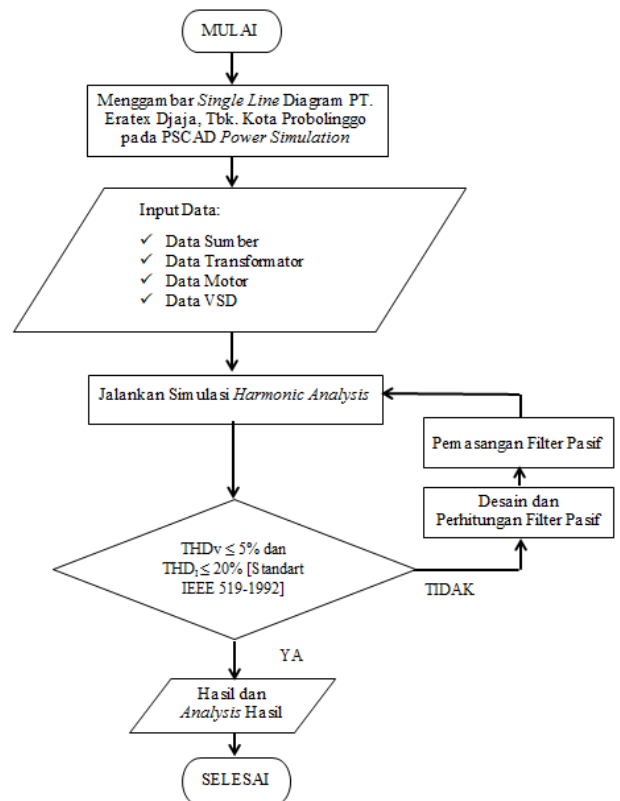
III METODELOGI PENELITIAN

A. Alur Penelitian

Analisa yang dilakukan untuk mereduksi harmonisa ini adalah menggunakan acuan strandart *IEEE 519-1992*. Penelitian ini dimulai dengan melakukan survei data sesuai sumber acuan dan akan dilakukan simulasi menggunakan *software PSCAD/EMTDC V4.5 POWER SIMULATION*. Berikut langkah-langkahnya :

- a. Mulai
- b. Menggambar *single line diagram* PT. Eratex Djaja, Tbk. Kota Probolinggo pada *software PSCAD/EMTDC V4.5 Power Simulation*.
- c. *Input* data sumber, data *transformator*, dan data motor
- d. Menjalankan simulasi rangkaian untuk mengetahui faktor daya pada sistem.
- e. Jalankan Simulasi *Harmonic Analysis*.
- f. Mengecek apakah nilai *total harmonic distortion* ($THD_v < 5\%$ dan $THD_i < 20\%$). Berdasarkan standart *IEEE* pada tabel 2.3 dan tabel 2.4
 - “Ya” : Analisa hasil
 - “Tidak” : Melakukan desain dan perhitungan filter pasif serta melakukan pemasangan pemasangan filter pasif, dan kembali ke langkah d dan dicek kembali apakah sesuai dengan *Standart IEEE*.
- g. Menganalisa dan membuat kesimpulan dari simulsai yang telah dilakukan. Apakah THD_v dan THD_i tereduksi dengan baik dan bagaimana kualitas daya yang ada pada sistem kelistrikan PT. Eratex Djaja, Tbk. Kota Probolinggo.
- h. Selesai

B. Flowchart Pemodelan Filter Pasif

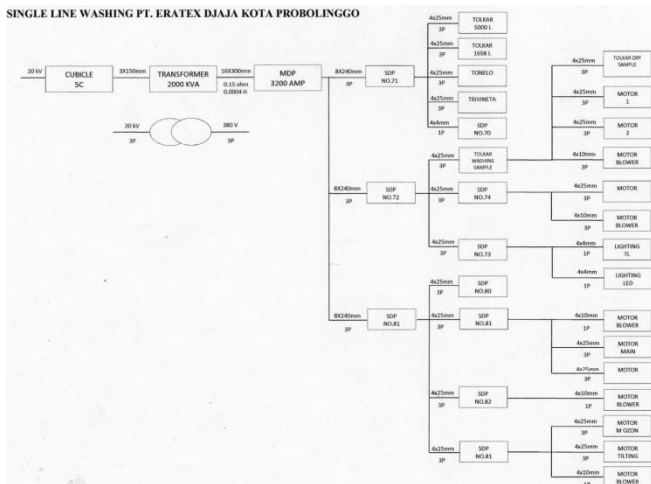


Gambar 3.1 Flowchart Pemasangan Filter Pasif

C. Sistem Kelistrikan PT. Eratex Djaja, Tbk Kota Probolinggo

PT.ERATEX DJAJA ,Tbk ini bergerak dalam bidang garment sehingga aktivitas kegiatan produksinya banyak menggunakan motor-motor induksi. PT Eratex Djaja menggunakan sumber PLN sebesar 20kV dengan kontrak daya 2000 kVA untuk penggunaan beban salah satunya beban motor induksi yang digunakan berkapasitas 1.5 – 24 kW.

Pada beban motor dan beban lampu terbagi keseluruhan menjadi 3 panel utama yaitu panel SDP No 71, SDP No 72 dan SDP No 81, Kemudian dibagi lagi menjadi 26 panel. Sedangkan pada motor induksi yang menggunakan kontrol *Variable Speed Drive* (VSD) terdapat 5 panel yaitu panel TOLKAR 5000, TOLKAR 1658, TRIVINETA, TONELO dan TOLKAR WASHING SAMPLE. Berikut *single line diagram* PT. Eratex Djaja, Tbk. Kota Probolinggo.



Gambar 3.2 Single Line diagram PT. Eratex Djaja Tbk Kota Probolinggo

Sumber: PT. Eratex Djaja, Tbk Kota Probolinggo

1) Data Penelitian

Berikut ini merupakan data-data yang diperlukan untuk melakukan simulasi sistem pada *software PSCAD/EMTDC V4.5 Simulation*

- a. Data Sumber
- b. Data *Tansformator*
- c. Data Beban
- d. Data *Variable Speed Drive (VSD)*

2) Data Pengukuran Harmonisa

Tabel 3.1 Data Pengukuran Harmonisa

Panel	Lokasi	THD _v (%)	THD _i (%)
TOLKAR 5000	SDP. No 71	0.182	30.193
TOLKAR 1658		0.682	28.807
TONELO		0.605	31.29
TRIVINETA		0.625	28.601
TOLKAR WASHING	SDP. No72	3.131	28.316

Sumber: Pengukuran di PT. Eratex Djaja, Tbk Kota Probolinggo

3) Data Beban PT. Eratex Djaja Tbk Kota Probolinggo

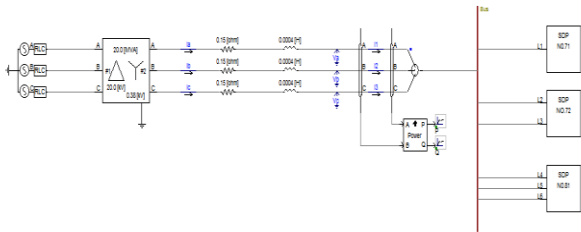
Tabel 3.2 Data beban keseluruhan

Nama Panel	Nama Beban	Jumlah	Daya (W)	Total Daya (W)
SDP NO. 70 Panel Power Lampu Washing	Lampu TL	230	18	4140
SDP NO. 71 Panel Power Mesin Washing L-1	Tolkar 5000 liter	5	18500	92500
	Tolkar 1658 liter	2	9000	18000
	Tonelo	5	24000	120000
	Trivineta	9	3000	27000
SDP NO. 72 Panel Power Mesin Sample & Spray	Tolkar Washing Sample	6	7500	45000
	Tolkar Dry Sample	5	1500	7500
	Lampu TL	52	36	1872
	Motor	3	2200	6600
	Motor	9	550	4950
	Motor Blower	7	1500	10500
	Lampu TL	80	58	4640
	Lampu TL	152	36	5472
	Lampu LED	12	18	216
	Lampu TL	60	36	2160
SDP NO. 74 Panel Power Spray Room	Lampu LED	2	100	200
	Motor	4	220	8800
	Motor	4	7500	30000
	Motor Blower	4	1500	6000
SDP NO. 73 Panel Lampu & Mesin Washing Sample	Lampu TL	78	18	1404
	Lampu TL	32	36	1152
SDP NO. 80 Panel Power Mesin Area L-3	Lampu TL	90	36	3240
	Motor Blower	5	36000	180000
SDP NO. 81 Panel Power Mesin Washing L-4	Lampu TL	40	36	1440
	Motor Blower	8	7500	60000
	Motor	4	5500	22000
	Motor Blower	5	2200	11000
	Motor Main	5	1500	7500
	Motor Blower	10	1500	15000
	Motor Main	5	2200	11000
SDP NO. 82 Panel Power Lampu Washing L-4	Lampu LED	330	18	5940
	Lampu TL	70	36	2520
	Motor Blower	4	1500	6000
SDP NO. 85 Panel Power Office Washing L-4	Lampu LED	56	18	1008
	Lampu TL	10	36	360
	Motor main ozon	2	10000	20000
	Motor tilting	2	1500	3000
	Motor Blower	2	750	1500

Sumber: PT. Eratex Djaja, Tbk Kota Probolinggo

4) Pemodelan *Single Line* dan Input data pada *software* PSCAD:

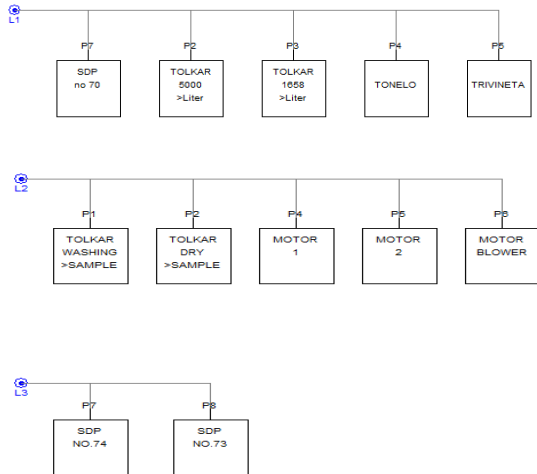
a. *Single Line Diagram* utama kelistrikan PT. Eratex Djaja Tbk Kota Probolinggo pada *Software* PSCAD :



Gambar 3.3 *Single Line* PT Eratex Djaja Tbk Kota Probolinggo pada PSCAD
Sumber: PSCAD *Power Simulation*

Gambar 3.3 merupakan *single line* diagram PT. Eratex Djaja, Tbk. Kota Probolinggo dengan menggunakan sumber langsung dari saluran PLN. Pada *single line* tersebut terbagi menjadi 3 panel yaitu panel tersebut terbagi menjadi 3 panel yaitu panel SDP No. 71, SDP No. 72 dan SDP No. 81. Namun beban motor yang dikontrol VSD terdapat pada panel SDP No. 71 dan panel SDP No.72.

b. *Single Line* subpanel PT Eratex Djaja Tbk Kota Probolinggo pada program PSCAD

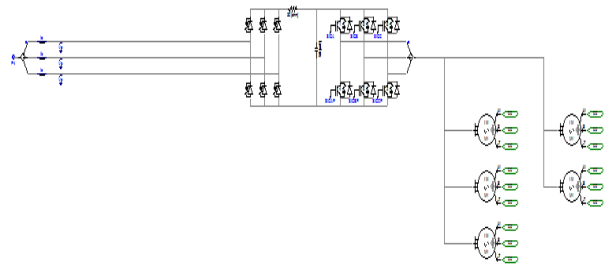


Gambar 3.4 Panel Beban Motor yang menggunakan kontrol VSD
Sumber: PSCAD *Power Simulation*

Gambar 3.4 merupakan gambar *single line* diagram yang terdapat pada panel SDP No. 71. Dan SDP No. 72. Pada gambar tersebut beban motor yang menggunakan kontrol VSD terdapat pada panel TOLKAR 5000 Liter, TOLKAR 1658 Liter, TONELO,

TRIVINETA, dan TOLKAR WASHING SAMPLE.

c. *Single Line* pada panel TOLKAR 5000 yang menggunakan beban motor yang dikontrol *Variable Speed Drive* pada *software* PSCAD sebelum pemasangan filter pasif.



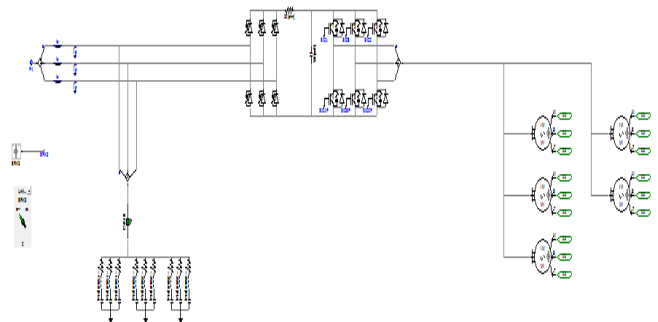
Gambar 3.5 *Single Line* beban motor yang menggunakan VSD tanpa filter pasif
Sumber: PSCAD *Power Simulation*

5) Filter Pasif

Panel-panel yang akan dipasang Filter Pasif adalah panel-panel yang timbul harmonisa yaitu seperti pada panel TOLKAR 5000, TOLKAR 1658, TONELO, TRIVINETA dan TOLKAR WASHING SAMPLE

a. Desain Filter Pasif

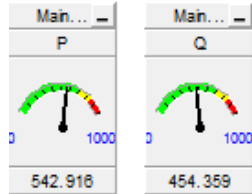
Mendesain filter pasif memiliki tujuan untuk mengetahui letak pemasangan filter pada beban yang akan direduksi harmonisanya. Pada penempatan filter ini ditempatkan paralel sebelum masuk ke beban.



Gambar 3.6 *Single Line* pada panel TOLKAR 5000 dengan pemasangan filter pasif pada program PSCAD.
Sumber: PSCAD *Power Simulation*

- b. Perhitungan nilai parameter komponen pada filter pasif:

Sebelum menentukan nilai parameter R, L dan C hal perlu yang dilakukan adalah mengetahui nilai $\cos \varphi$ dari system agar nantinya bisa diketahui berapa besar kompensasi daya reaktif yang dibutuhkan untuk menentukan nilai parameter dari filter pasif.



Gambar 3.13 Daya Aktif (P) dan Daya Reaktif (Q) pada *software* PSCAD PT. Eratex Djaja, Tbk Kota Probolinggo
Sumber: PSCAD *Power Simulation*

Berdasarkan data yang telah dimasukkan dan dijalankan programnya maka diperoleh besar Daya Aktif dan Daya Reaktif seperti pada Gambar 3.13. Dengan persamaan rumus (5) maka:

$$P_{awal} = 542.916 \text{ W}$$

$$Q_{awal} = 454.359 \text{ VAR}$$

$$S = \sqrt{(542.916)^2 + (454.359)^2}$$

$$S = 707 \text{ VA}$$

Sehingga:

$$\cos \varphi_{awal} = \frac{542.916}{707} \times 100\%$$

$$\cos \varphi_{awal} = 0.8 \times 100 \%$$

$$\cos \varphi_{awal} = 80 \%$$

Kompensasi Daya Reaktif

Berdasarkan persamaan rumus (7) maka:

$$\Delta Q = 542 (0.8 - 0.9)$$

$$\Delta Q = 75.88 \text{ VAR}$$

Nilai Parameter R, L dan C

Berdasarkan persamaan rumus (11)

- Untuk ordo 3

$$454 = \frac{380^2}{X_C} \frac{9}{8}$$

$$X_C = 357.81 \Omega$$

Sehingga:

$$C = \frac{1}{(314 \times 357.81)} = 0.0000089 \text{ F} = 8.9 \mu\text{F}$$

- Untuk ordo 5

$$454 = \frac{380^2}{X_C} \frac{25}{24}$$

$$X_C = 331.31 \Omega$$

Sehingga:

$$C = \frac{1}{(314 \times 331.31)} = 0.0000096 \text{ F} = 9.6 \mu\text{F}$$

- Untuk ordo 7

$$454 = \frac{380^2}{X_C} \frac{49}{48}$$

$$X_C = 324.68 \Omega$$

Sehingga:

$$C = \frac{1}{(314 \times 324.68)} = 0.0000098 \text{ F} = 9.8 \mu\text{F}$$

Berdasarkan persamaan rumus (8)

$$3^2 = \frac{357.81}{X_L}$$

$$9 = \frac{357.81}{X_L}$$

$$X_L = 39.75 \Omega$$

Sehingga:

$$L = \frac{39.75}{314} = 0.126 \text{ H}$$

Berdasarkan persamaan rumus (10)

$$R = \frac{357.81}{(3 \times 9)}$$

$$R = \frac{357.81}{(3 \times 75)} = 1.59 \Omega$$

Tabel 3.3 Nilai Parameter dari Filter Pasif

R (Ω)	L (H)	C (μF)		
		Ordo 3	Ordo 5	Ordo 7
1.59	0.126	8.9	9.6	9.8

IV. ANALISA HASIL

A. Pengujian Filter Pasif pada PT. Eratex Djaja Tbk Kota Probolinggo

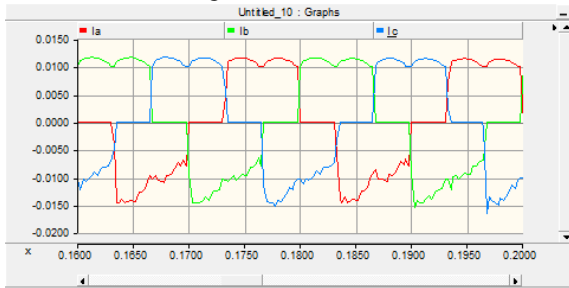
Pemodelan sistem kelistrikan PT. Eratex Djaja, Tbk. Kota Probolinggo ini menggunakan *software* PSCAD/EMTDC V4.5 *Power Simulation*. Selanjutnya dilakukan *harmonic analysis* pada system PT. Eratex Djaja, Tbk. Kota Probolinggo untuk mengetahui *Total Harmonic Distorti* tegangan (THD_V) maupun *Total Harmonic Distorti* arus (THD_I) pada setiap sub panel yang menggunakan beban motor yang dikontrol oleh *Variable Speed Drive* (VSD). *Harmonic analysis* juga digunakan untuk membandingkan kondisi sistem sebelum dan sesudah pemasangan filter pasif pada sistem

B. Simulasi dan Hasil Sebelum Pemasangan Filter Pasif pada PT. Eratex Djaja Tbk Kota Probolinggo

Berikut ini merupakan hasil dari simulasi PT. Eratex Djaja, Tbk. Kota Probolinggo yang menunjukkan gelombang tegangan, gelombang arus, nilai harmonisa tegangan, dan nilai harmonisa arus sebelum pemasangan filter pasif.

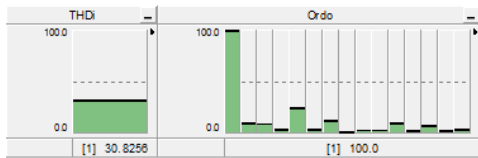
1) Pada Panel TOLKAR 5000

a. Gelombang arus dan nilai harmonisa arus:



Gambar 4.5 Gelombang Arus pada Panel TOLKAR 5000 sebelum pemasangan filter pasif

Sumber: PSCAD Power Simulation

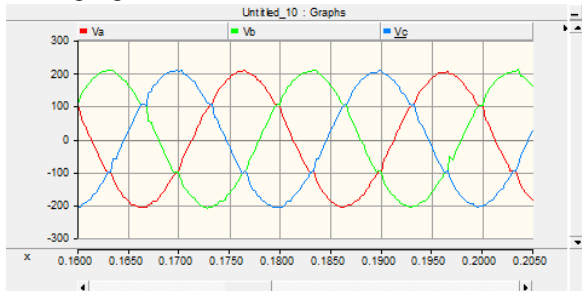


Gambar 4.6 Harmonisa Arus pada Panel TOLKAR 5000 sebelum pemasangan filter pasif

Sumber: PSCAD Power Simulation

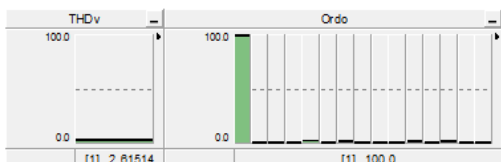
Pada gambar 4.5 menunjukkan gelombang arus pada Panel TOLKAR 5000 sebelum pemasangan filter pasif dimana gelombang arus tersebut tidak sinusoidal yang artinya mengandung harmonisa. Dan pada gambar 4.6 menunjukkan besar THD_I pada panel TOLKAR 5000 sebelum pemasangan filter pasif yaitu sebesar 30.8256% yang menurut standart IEEE 519-1992 melebihi batas aman yaitu $\leq 20\%$.

b. Gelombang tegangan dan Nilai harmonisa tegangan



Gambar 4.7 Gelombang Tegangan pada Panel TOLKAR 5000 sebelum pemasangan filter pasif

Sumber: PSCAD Power Simulation



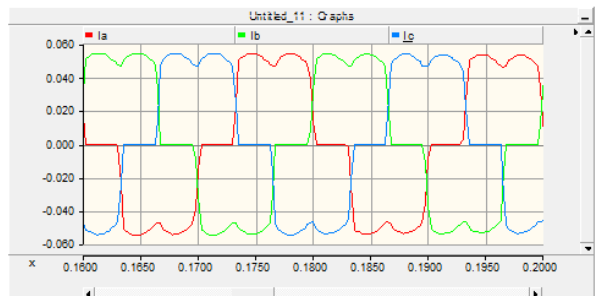
Gambar 4.8 Hamonisa Tegangan pada Panel TOLKAR 5000 sebelum pemasangan filter pasif

Sumber: PSCAD Power Simulation

Pada gambar 4.7 menunjukkan gelombang tegangan pada panel TOLKAR 5000 sebelum pemasangan filter pasif yang mengandung harmonisa. Dan pada gambar 4.8 menunjukkan THD_V sebelum pemasangan filter pasif yaitu sebesar 2.61514% yang menurut standart IEEE 519-1992 masih dalam batas aman yaitu $\leq 5\%$

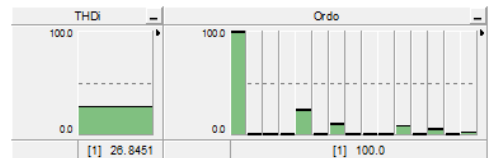
2) Pada Panel TOLKAR 1658

a. Gelombang arus dan nilai harmonisa arus



Gambar 4.7 Gelombang Arus pada Panel TOLKAR 1658 sebelum pemasangan filter pasif

Sumber: PSCAD Power Simulation

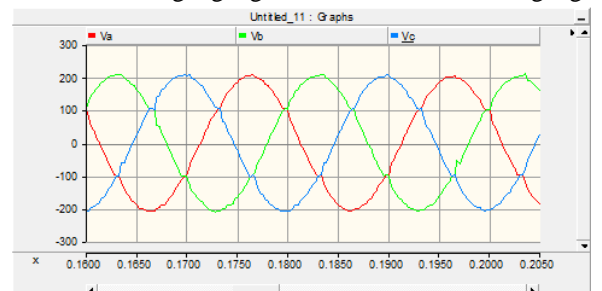


Gambar 4.8 Harmonisa Arus pada Panel TOLKAR 1658 sebelum pemasangan filter pasif

Sumber: PSCAD Power Simulation

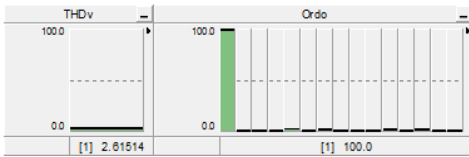
Pada gambar 4.7 menunjukkan gelombang arus pada Panel TOLKAR 1658 sebelum pemasangan filter pasif dimana gelombang arus tersebut tidak sinusoidal yang artinya mengandung harmonisa. Dan pada gambar 4.8 menunjukkan besar THD_I pada panel TOLKAR 1658 sebelum pemasangan filter pasif yaitu sebesar 26.8451% yang menurut standart IEEE 519-1992 melebihi batas aman yaitu $\leq 20\%$.

b. Gelombang tegangan dan nilai harmonisa tegangan



Gambar 4.9 Gelombang Tegangan pada Panel TOLKAR 1658 sebelum pemasangan filter pasif

Sumber: PSCAD Power Simulation

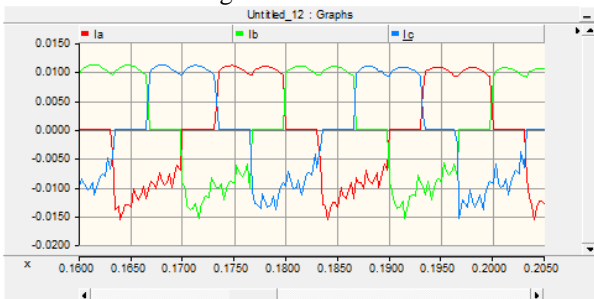


Gambar 4.10 Hamonisa Tegangan pada Panel TOLKAR 1658 sebelum pemasangan filter pasif
 Sumber: PSCAD Power Simulation

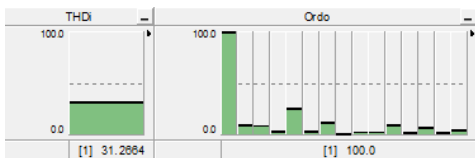
Pada gambar 4.9 menunjukkan gelombang tegangan pada panel TOLKAR 1658 sebelum pemasangan filter pasif yang mengandung harmonisa. Dan pada gambar 4.10 menunjukkan THD_v sebelum pemasangan filter pasif yaitu sebesar 2.61514% yang menurut standart IEEE 519-1992 masih dalam batas aman yaitu $\leq 5\%$.

3) Pada Panel TONELO

a. Gelombang arus dan nilai harmonisa arus



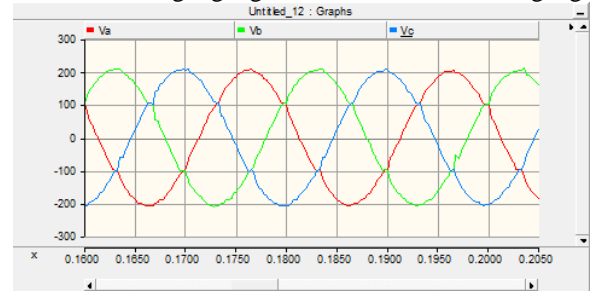
Gambar 4.11 Gelombang Arus pada Panel TONELO sebelum pemasangan filter pasif
 Sumber: PSCAD Power Simulation



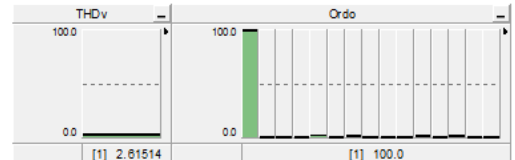
Gambar 4.12 Harmonisa Arus pada Panel TONELO sebelum pemasangan filter pasif
 Sumber: PSCAD Power Simulation

Pada gambar 4.11 menunjukkan gelombang arus pada Panel TONELO sebelum pemasangan filter pasif dimana gelombang arus tersebut tidak sinusoidal yang artinya mengandung harmonisa. Dan pada gambar 4.12 menunjukkan besar THD_i pada panel TONELO sebelum pemasangan filter pasif yaitu sebesar 31.2664% yang menurut standart IEEE 519-1992 melebihi batas aman yaitu $\leq 20\%$.

b. Gelombang tegangan dan nilai harmonisa tegangan



Gambar 4.13 Gelombang Tegangan pada Panel TONELO sebelum pemasangan filter pasif
 Sumber: PSCAD Power Simulation

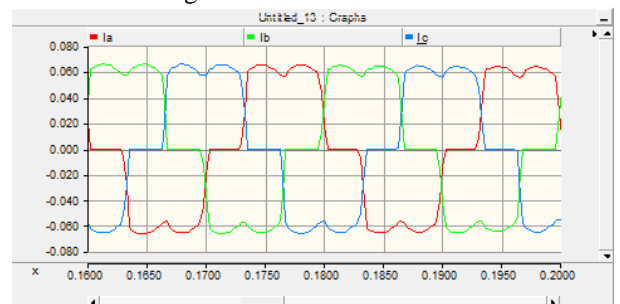


Gambar 4.14 Hamonisa Tegangan pada Panel TONELO sebelum pemasangan filter pasif
 Sumber: PSCAD Power Simulation

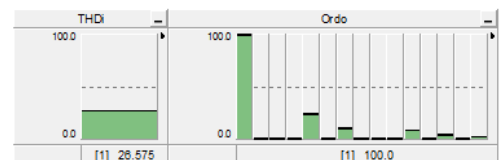
Pada gambar 4.13 menunjukkan gelombang tegangan pada panel TONELO sebelum pemasangan filter pasif yang mengandung harmonisa. Dan pada gambar 4.14 menunjukkan THD_v sebelum pemasangan filter pasif yaitu sebesar 2.61514% yang menurut standart IEEE 519-1992 masih dalam batas aman yaitu $\leq 5\%$

4) Pada Panel TRIVINETA

a. Gelombang arus dan Nilai harmonisa arus



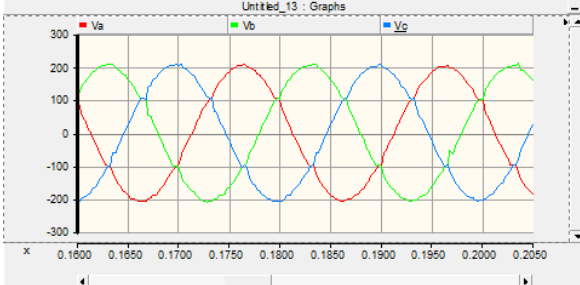
Gambar 4.15 Gelombang Arus pada Panel TRIVINETA sebelum pemasangan filter pasif
 Sumber: PSCAD Power Simulation



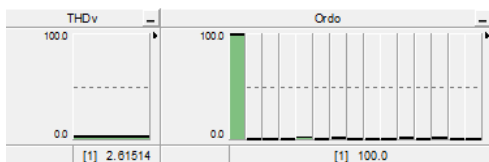
Gambar 4.16 Harmonisa Arus pada Panel TRIVINETA sebelum pemasangan filter pasif
 Sumber: PSCAD Power Simulation

Pada gambar 4.15 menunjukkan gelombang arus pada Panel TRIVINETA sebelum pemasangan filter pasif dimana gelombang arus tersebut tidak sinusoidal yang artinya mengandung harmonisa. Dan pada gambar 4.16 menunjukkan besar THD_i pada panel TRIVINETA sebelum pemasangan filter pasif yaitu sebesar 26.575% yang menurut standart IEEE 519-1992 melebihi batas aman yaitu $\leq 20\%$.

b. Gelombang tegangan dan nilai harmonisa tegangan



Gambar 4.17 Gelombang Tegangan pada Panel TRIVINETA sebelum pemasangan filter pasif
Sumber: PSCAD Power Simulation

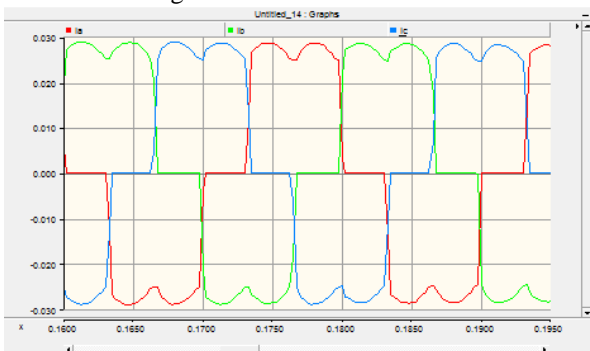


Gambar 4.18 Hamonisa Tegangan pada Panel TRIVINETA sebelum pemasangan filter pasif
Sumber: PSCAD Power Simulation

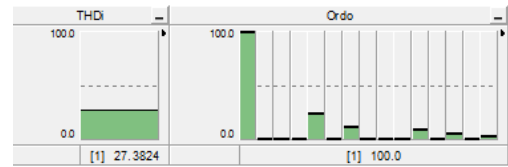
Pada gambar 4.17 menunjukkan gelombang tegangan pada panel TRIVINETA sebelum pemasangan filter pasif yang mengandung harmonisa. Dan pada gambar 4.18 menunjukkan THD_v sebelum pemasangan filter pasif yaitu sebesar 2.61514% yang menurut standart IEEE 519-1992 masih dalam batas aman yaitu $\leq 5\%$.

5) Pada Panel TOLKAR WASHING SAMPLE

a. Gelombang arus dan Nilai harmonisa arus



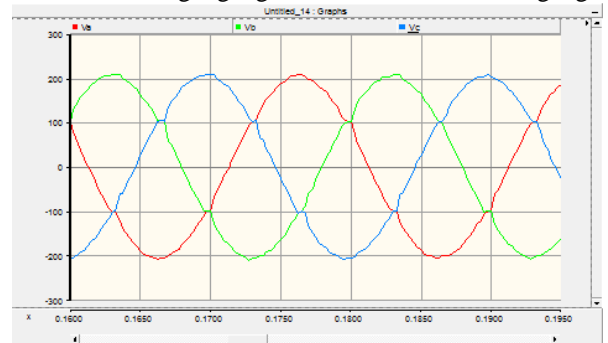
Gambar 4.18 Gelombang Arus pada Panel TOLKAR WASHING SAMPLE sebelum pemasangan filter pasif
Sumber: PSCAD Power Simulation



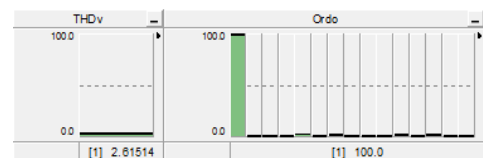
Gambar 4.19 Harmonisa Arus pada Panel TOLKAR WASHING SAMPLE sebelum pemasangan filter pasif
Sumber: PSCAD Power Simulation

Pada gambar 4.18 menunjukkan gelombang arus pada Panel TOLKAR WASHING SAMPLE sebelum pemasangan filter pasif dimana gelombang arus tersebut tidak sinusoidal yang artinya mengandung harmonisa. Dan pada gambar 4.19 menunjukkan besar THD_i pada panel TOLKAR WASHING SAMPLE sebelum pemasangan filter pasif yaitu sebesar 27.3824% yang menurut standart IEEE 519-1992 melebihi batas aman yaitu $\leq 20\%$.

b. Gelombang tegangan dan nilai harmonisa tegangan



Gambar 4.20 Gelombang Tegangan pada Panel TOLKAR WASHING SAMPLE sebelum pemasangan filter pasif
Sumber: PSCAD Power Simulation



Gambar 4.21 Hamonisa Tegangan pada Panel TOLKAR WASHING SAMPLE sebelum pemasangan filter pasif
Sumber: PSCAD Power Simulation

Pada gambar 4.20 menunjukkan gelombang tegangan pada panel TOLKAR WASHING SAMPLE sebelum pemasangan filter pasif yang mengandung harmonisa. Dan pada gambar 4.21 menunjukkan THD_v sebelum pemasangan filter pasif yaitu sebesar 2.61514% yang menurut standart IEEE 519-1992 masih dalam batas aman yaitu $\leq 5\%$.

6) Tabel Harmonisa sebelum pemasangan filter

Tabel 4.1 Nilai Harmonisa dan factor daya sebelum pemasangan filter pasif

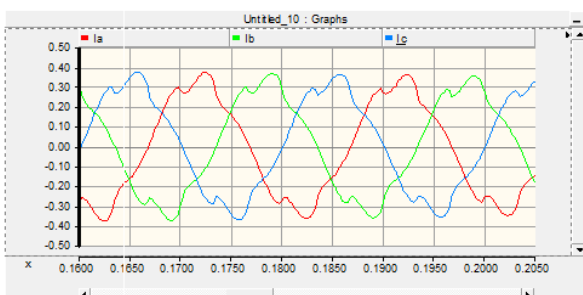
Panel	THD _I (%)	THD _V (%)
TOLKAR 5000	30.82	2.61514
TOLKAR 1658	26.84	
TONELO	31.26	
TRIVINETA	26.57	
TOLKAR WASHING SAMPLE	27.38	

Pada Tabel 4.1 menunjukkan THD_I pada Outgoing Transformator yaitu sebesar 0.211% Panel TOLKAR 5000 sebesar 30.82%, Panel TOLKAR 1658 sebesar 26.84%, Panel TONELO sebesar 31,26%, Panel TRIVINETA sebesar 26.5%, dan Panel TOLKAR WASHING SAMPLE sebesar 27.38%. dimana melebihi standar aman IEEE 519-1992 yaitu ≤20% Sedangkan THD_V pada system dan semua panel adalah sebesar 2.61514% yang masih dalam standart aman IEEE 512-1992 yaitu ≤ 5%.

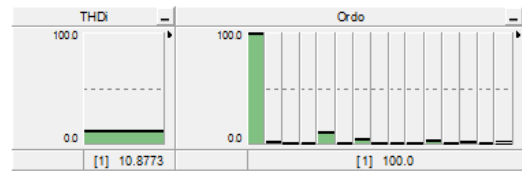
C. Simulasi dan Hasil Sesudah Pemasangan Filter Pasif pada PT. Eratex Djaja, Tbk Kota Probolinggo

Berikut ini merupakan hasil dari simulasi PT. Eratex Djaja, Tbk. Kota Probolinggo yang menunjukkan gelombang tegangan, gelombang arus, nilai harmonisa tegangan, dan nilai harmonisa arus setelah pemasangan filter pasif dengan beberapa percobaan yaitu percobaan pertama dengan menggunakan 1 filter, percobaan kedua menggunakan 2 filter dan percobaan ketiga menggunakan 3 filter. Percobaan ini hanya dilakukan pada PANEL TOLKAR 5000 dengan tujuan untuk mengetahui filter mana yang bekerja lebih baik dalam mereduksi harmonisa.

- 1) Percobaan Filter pasif Pada Panel TOLKAR 5000
 - a. Hasil percobaan menggunakan 1 filter

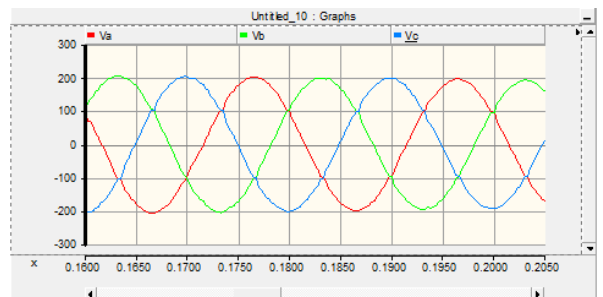


Gambar 4.21 Gelombang Arus pada Panel TOLKAR 5000 dengan menggunakan 1 filter
Sumber: PSCAD Power Simulation

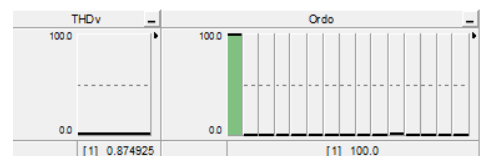


Gambar 4.22 Harmonisa Arus pada Panel TOLKAR 5000 dengan pemasangan 1 filter
Sumber: PSCAD Power Simulation

Pada gambar 4.21 menunjukkan gelombang arus pada Panel TOLKAR 5000 setelah pemasangan 1 filter dimana gelombang arus sudah mulai mendekati bentuk sinusoidal namun masih ada distorsi yang timbul. Dan pada gambar 4.22 menunjukkan besar THD_I pada panel TOLKAR 5000 setelah pemasangan 1 filter yang awalnya sebesar 30.8256% turun menjadi 10.87% dan sudah sesuai standart IEEE 519-1992 batas aman yaitu ≤20%.



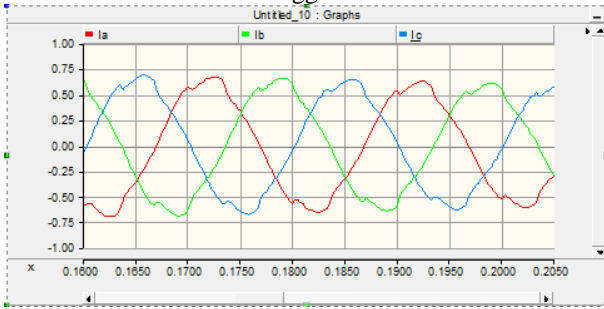
Gambar 4.23 Gelombang Tegangan pada Panel TOLKAR 5000 dengan menggunakan 1 filter
Sumber: PSCAD Power Simulation



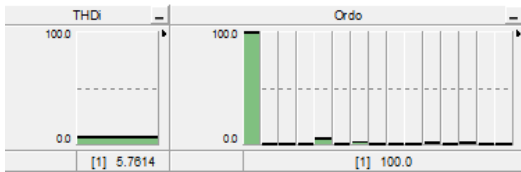
Gambar 4.24 Harmonisa Tegangan pada Panel TOLKAR 5000 dengan pemasangan 1 filter
Sumber: PSCAD Power Simulation

Pada gambar 4.23 menunjukkan gelombang tegangan pada panel TOLKAR 5000 setelah pemasangan 1 filter dimana gelombang tersebut sudah sinusoidal yang artinya gelombang sudah tidak mengandung harmonisa. Dan pada gambar 4.24 menunjukkan THD_V setelah pemasangan 1 filter yang awalnya sebesar 2.61514% turun menjadi 0.8742% yang menurut standart IEEE 519-1992 sudah dalam batas aman yaitu ≤5%.

b. Hasil Percobaan menggunakan 2 Filter

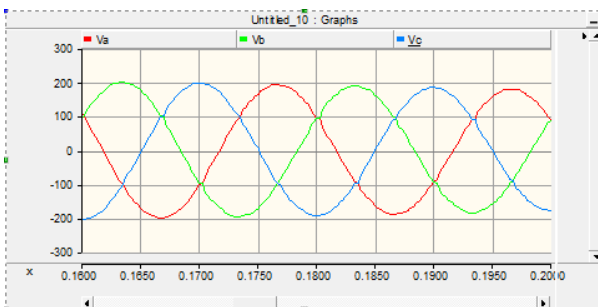


Gambar 4.25 Gelombang Arus pada Panel TOLKAR 5000 dengan menggunakan 2 filter
Sumber: PSCAD Power Simulation

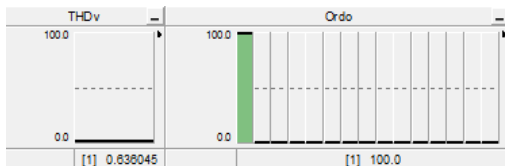


Gambar 4.26 Harmonisa Arus pada Panel TOLKAR 5000 dengan pemasangan 2 filter
Sumber: PSCAD Power Simulation

Pada gambar 4.25 menunjukkan gelombang arus pada Panel TOLKAR 5000 setelah pemasangan 2 filter dimana gelombang arus sudah mulai mendekati bentuk sinusoidal namun masih ada distorsi yang timbul. Dan pada gambar 4.26 menunjukkan besar THD_I pada panel TOLKAR 5000 setelah pemasangan 1 filter yang awalnya sebesar 30.8256% turun menjadi 5.761% dan sudah sesuai standart IEEE 519-1992 batas aman yaitu $\leq 20\%$.



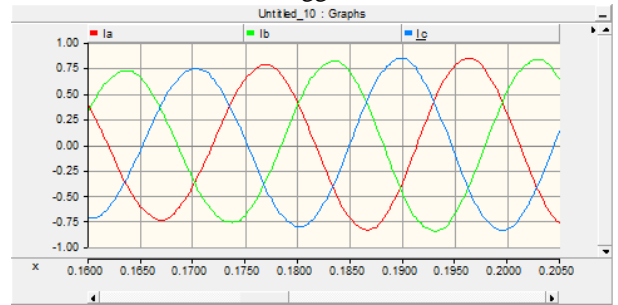
Gambar 4.27 Gelombang Tegangan pada Panel TOLKAR 5000 dengan menggunakan 2 filter
Sumber: PSCAD Power Simulation



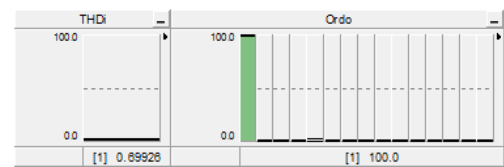
Gambar 4.28 Harmonisa Tegangan pada Panel TOLKAR 5000 dengan pemasangan 2 filter
Sumber: PSCAD Power Simulation

Pada gambar 4.27 menunjukkan gelombang tegangan pada panel TOLKAR 5000 setelah pemasangan 2 filter dimana gelombang tersebut sudah sinusoidal yang artinya gelombang sudah tidak mengandung harmonisa. Dan pada gambar 4.28 menunjukkan THD_V setelah pemasangan 1 filter yang awalnya sebesar 2.61514% turun menjadi 0.63% yang menurut standart IEEE 519-1992 sudah dalam batas aman yaitu $\leq 5\%$.

c. Hasil Percobaan Menggunakan 3 Filter

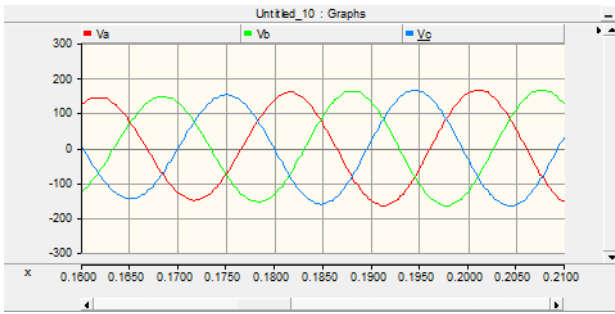


Gambar 4.28 Gelombang Arus pada Panel TOLKAR 5000 setelah pemasangan 3 filter pasif
Sumber: PSCAD Power Simulation

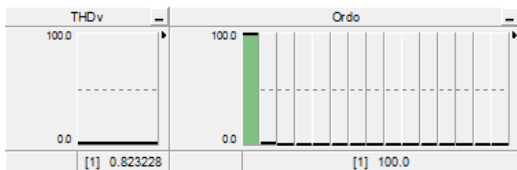


Gambar 4.29 Harmonisa Arus pada Panel TOLKAR 5000 setelah pemasangan 3 filter
Sumber: PSCAD Power Simulation

Pada gambar 4.28 menunjukkan gelombang arus pada Panel TOLKAR 5000 setelah pemasangan 3 filter pasif dimana gelombang arus sudah sinusoidal yang artinya sudah tidak mengandung harmonisa. Dan pada gambar 4.29 menunjukkan besar THD_I pada panel TOLKAR 5000 setelah pemasangan filter pasif yang awalnya sebesar 30.8256% turun menjadi 0.69926% dan sudah sesuai standart IEEE 519-1992 batas aman yaitu $\leq 20\%$.



Gambar 4.29 Gelombang Tegangan pada Panel TOLKAR 5000 setelah pemasangan 3 filter pasif
 Sumber: PSCAD Power Simulation



Gambar 4.30 Harmonisa Tegangan pada Panel TOLKAR 5000 setelah pemasangan 3 filter pasif
 Sumber: PSCAD Power Simulation

Pada gambar 4.29 menunjukkan gelombang tegangan pada panel TOLKAR 5000 setelah pemasangan 3 filter pasif dimana gelombang tersebut sudah sinusoidal yang artinya gelombang sudah tidak mengandung harmonisa. Dan pada gambar 4.30 menunjukkan THD_v setelah pemasangan filter pasif yang awalnya sebesar 2.61514% turun menjadi 0.823228% yang menurut standart IEEE 519-1992 sudah dalam batas aman yaitu $\leq 5\%$.

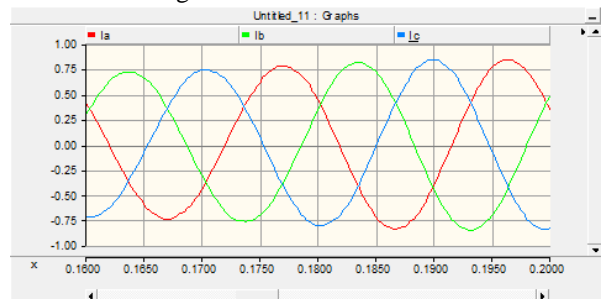
Tabel 4.2 Hasil Percobaan Filter pasif pada Panel TOLKAR 5000

Jumlah filter	Nilai Parameter Filter					THD_v (%)	THD_I (%)
	R (Ω)	L (H)	C (μF)				
			Ordo				
			3	5	7		
1	1.59	0.126	8.9	9.6	9.8	0.87	10.87
2	3.18	0.252	17.8	19.2	19.6	0.63	5.716
3	4.77	0.378	26.7	28.8	29.4	0.82	0.699

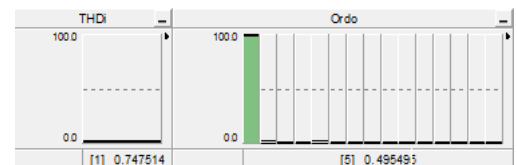
Berdasarkan pada table 4.2 dapat kita ketahui bahwa percobaan menggunakan 1 filter dengan nilai parameter yang sudah dihitung dapat mereduksi harmonisa pada THD_I yang awalnya 30.82% turun menjadi 10.87% dan THD_v yang awalnya 2.615% turun menjadi 0.87%. Pada percobaan menggunakan 2 filter juga dapat mereduksi lebih baik dibandingkan dengan menggunakan 1 filter yaitu pada THD_I turun menjadi 5.716% dan THD_v turun menjadi 0.63%. Dan percobaan menggunakan 3 filter dapat mereduksi harmonisa lebih baik lagi dibandingkan dengan menggunakan 1 filter maupun 2 filter dimana THD_I turun menjadi 0.699% dan THD_v turun menjadi 0.82 dan sesuai dengan standart IEEE 519-1992. Untuk itu dilakukan pemasangan filter pasif pada panel-panel yang timbul harmonisa dengan menggunakan 3 filter pasif yang dirangkai secara paralel.

2) Pada Panel TOLKAR 1658

a. Gelombang arus dan nilai harmonisa arus



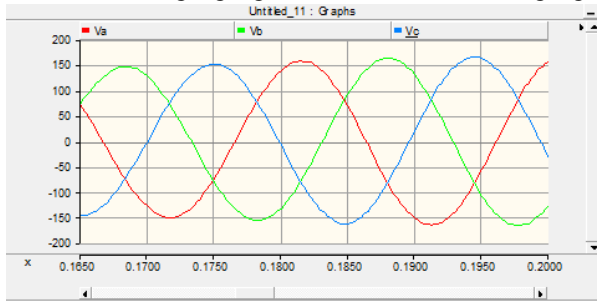
Gambar 4.31 Gelombang Arus pada Panel TOLKAR 1658 setelah pemasangan filter pasif
 Sumber: PSCAD Power Simulation



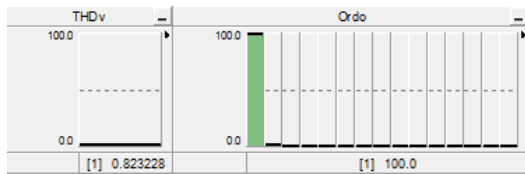
Gambar 4.32 Harmonisa Arus pada Panel TOLKAR 1658 setelah pemasangan filter pasif
 Sumber: PSCAD Power Simulation

Pada gambar 4.31 menunjukkan gelombang arus pada Panel TOLKAR 1658 setelah pemasangan filter pasif dimana gelombang arus sudah sinusoidal yang artinya sudah tidak mengandung harmonisa. Dan pada gambar 4.32 menunjukkan besar THD_I pada panel TOLKAR 1658 setelah pemasangan filter pasif yang awalnya sebesar 26.8451% turun menjadi 0.747514% yang menurut standart IEEE 519-1992 dalam batas aman yaitu $\leq 20\%$.

b. Gelombang tegangan dan nilai harmonisa tegangan



Gambar 4.33 Gelombang Tegangan pada Panel TOLKAR 1658 setelah pemasangan filter pasif
 Sumber: PSCAD Power Simulation

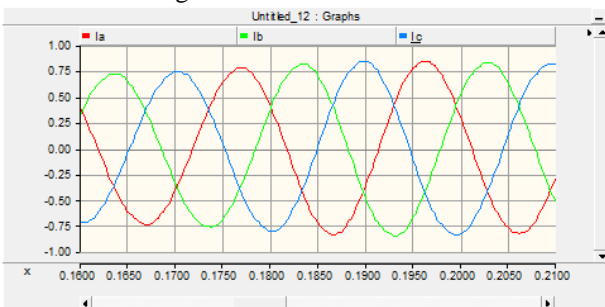


Gambar 4.44 Hamonisa Tegangan pada Panel TOLKAR 1658 setelah pemasangan filter pasif
 Sumber: PSCAD Power Simulation

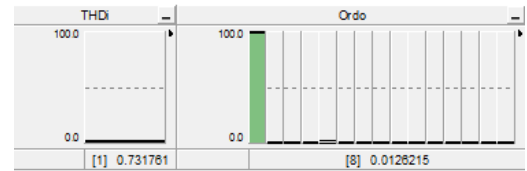
Pada gambar 4.43 menunjukkan gelombang tegangan pada panel TOLKAR 1658 setelah pemasangan filter pasif dimana gelombang tegangan sudah sinusoidal yang artinya tidak mengandung harmonisa. Dan pada gambar 4.44 menunjukan THD_v setelah pemasangan filter pasif yang awalnya sebesar 2.61514% turun menjadi 0.823228% yang menurut standart IEEE 519-1992 dalam batas aman yaitu $\leq 5\%$.

3) Pada Panel TONELO

a. Gelombang arus dan Nilai Harmonisa Arus



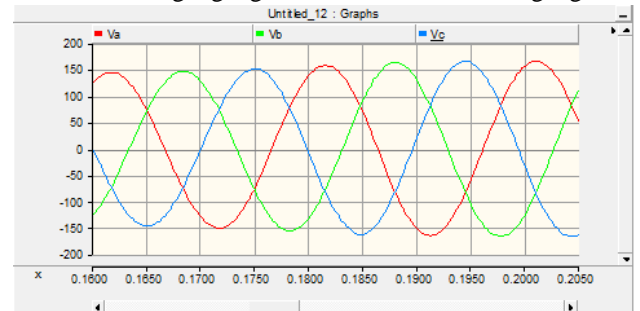
Gambar 4.45 Gelombang Arus pada Panel TONELO setelah pemasangan filter pasif
 Sumber: PSCAD Power Simulation



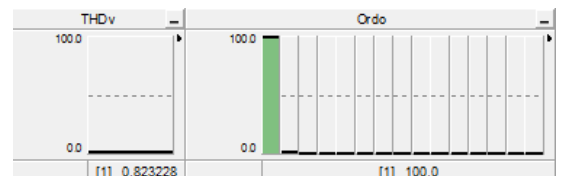
Gambar 4.46 Harmonisa Arus pada Panel TONELO setelah pemasangan filter pasif
 Sumber: PSCAD Power Simulation

Pada gambar 4.45 menunjukkan gelombang arus pada Panel TONELO setelah pemasangan filter pasif dimana gelombang arus tersebut sudah sinusoidal yang artinya sudah tidak mengandung harmonisa. Dan pada gambar 4.46 menunjukkan besar THD_i pada panel TONELO setelah pemasangan filter pasif yang awalnya sebesar 31.2664% turun menjadi 0.731761% yang menurut standart IEEE 519-1992 sudah dalam batas aman yaitu $\leq 20\%$.

b. Gelombang tegangan dan nilai harmonisa tegangan



Gambar 4.47 Gelombang Tegangan pada Panel TONELO setelah pemasangan filter pasif
 Sumber: PSCAD Power Simulation

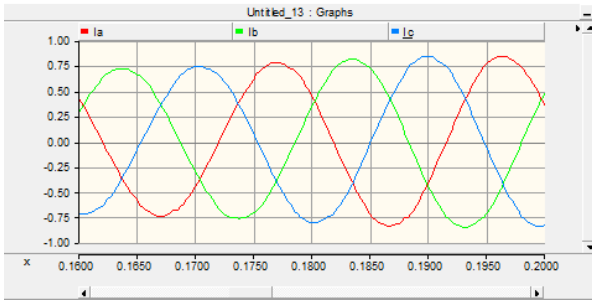


Gambar 4.48 Hamonisa Tegangan pada Panel TONELO setelah pemasangan filter pasif
 Sumber: PSCAD Power Simulation

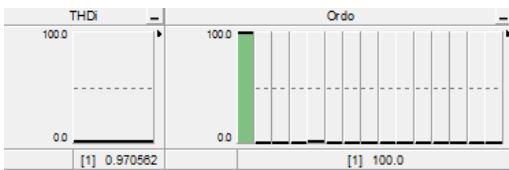
Pada gambar 4.47 menunjukkan gelombang tegangan pada panel TONELO setelah pemasangan filter pasif dimana gelombang sudah sinusoidal yang artinya tidak mengandung harmonisa. Dan pada gambar 4.48 menunjukan THD_v setelah pemasangan filter pasif awalnya sebesar 2.61514% turun menjadi 0.823228% yang menurut standart IEEE 519-1992 dalam batas aman yaitu $\leq 5\%$.

4) Pada Panel TRIVINETA

a. Gelombang arus dan Nilai Harmonisa Arus



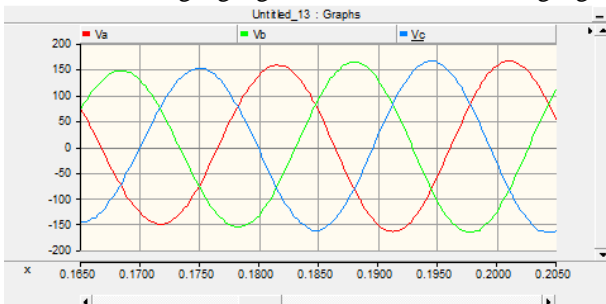
Gambar 4.49 Gelombang Arus pada Panel TRIVINETA setelah pemasangan filter pasif
Sumber: PSCAD Power Simulation



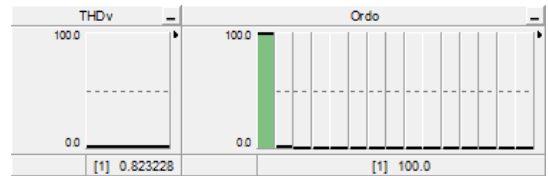
Gambar 4.50 Harmonisa Arus pada Panel TRIVINETA setelah pemasangan filter pasif
Sumber: PSCAD Power Simulation

Pada gambar 4.49 menunjukkan gelombang arus pada Panel TRIVINETA setelah pemasangan filter pasif dimana gelombang arus tersebut sudah sinusoidal yang artinya sudah tidak mengandung harmonisa. Dan pada gambar 4.50 menunjukkan besar THD_I pada panel TRIVINETA setelah pemasangan filter pasif awalnya sebesar 26.575% turun menjadi 0.970562% yang menurut standart IEEE 519-1992 sudah dalam batas aman yaitu $\leq 20\%$

b. Gelombang tegangan dan nilai harmonisa tegangan



Gambar 4.51 Gelombang Tegangan pada Panel TRIVINETA setelah pemasangan filter pasif
Sumber: PSCAD Power Simulation

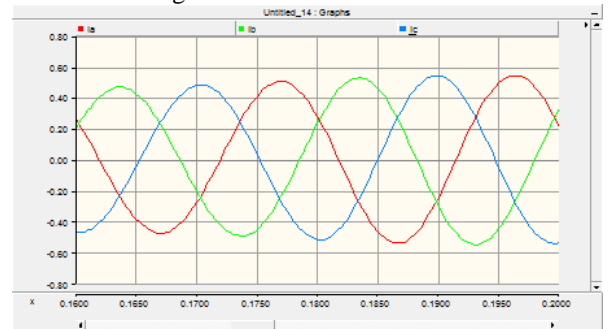


Gambar 4.52 Hamonisa Tegangan pada Panel TRIVINETA setelah pemasangan filter pasif
Sumber: PSCAD Power Simulation

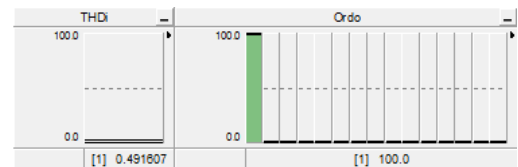
Pada gambar 4.51 menunjukkan gelombang tegangan pada panel TRIVINETA setelah pemasangan filter pasif dimana gelombang sudah tidak mengandung harmonisa. Dan pada gambar 4.52 menunjukkan THD_V setelah pemasangan filter pasif yang awalnya sebesar 2.61514% turun menjadi 0.823228% yang menurut standart IEEE 519-1992 dalam batas aman yaitu $\leq 5\%$.

5) Pada Panel TOLKAR WASHING SAMPLE

a. Gelombang arus dan nilai harmonisa arus



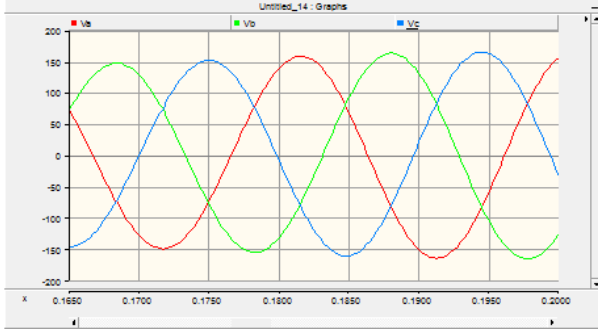
Gambar 4.53 Gelombang Arus pada Panel TOLKAR WASHING SAMPLE setelah pemasangan filter pasif
Sumber: PSCAD Power Simulation



Gambar 4.54 Harmonisa Arus pada Panel TOLKAR WASHING SAMPLE setelah pemasangan filter pasif
Sumber: PSCAD Power Simulation

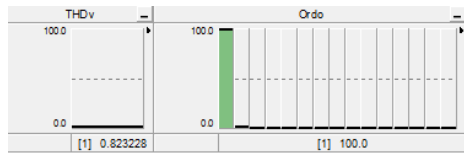
Pada gambar 4.53 menunjukkan gelombang arus pada Panel TOLKAR WASHING SAMPLE setelah pemasangan filter pasif dimana gelombang arus tersebut sudah sinusoidal yang artinya sudah tidak mengandung harmonisa. Dan pada gambar 4.54 menunjukkan besar THD_I pada panel TOLKAR WASHING SAMPLE setelah pemasangan filter pasif yang awalnya sebesar 27.3824% turun menjadi 0.491607% yang menurut standart IEEE 519-1992 dalam batas aman yaitu $\leq 20\%$.

b. Gelombang tegangan dan nilai harmonisa tegangan



Gambar 4.55 Gelombang Tegangan pada Panel TOLKAR WASHING SAMPLE setelah pemasangan filter pasif

Sumber: PSCAD Power Simulation



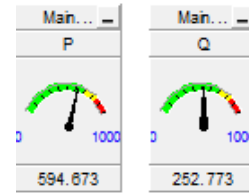
Gambar 4.56 Hamonisa Tegangan pada Panel TOLKAR WASHING SAMPLE setelah pemasangan filter pasif

Sumber: PSCAD Power Simulation

Pada gambar 4.55 menunjukkan gelombang tegangan pada panel TOLKAR WASHING SAMPLE setelah pemasangan filter pasif yang sudah tidak mengandung harmonisa. Dan pada gambar 4.21 menunjukkan THD_v setelah pemasangan filter pasif yang awalnya sebesar 2.61514% turun menjadi 0.823228% yang menurut standart IEEE 519-1992 dalam batas aman yaitu $\leq 5\%$.

6) Kondisi PT. Eratex Djaja, Tbk Kota Probolinggo Setelah Pemasangan Filter pasif

Simulasi hasil sesudah pemasangan Filter Pasif menunjukkan adanya perubahan daya aktif, daya reaktif, penurunan THD_i dan THD_v dan perubahan gelombang arus maupun gelombang tegangan pada Panel TOLKAR 5000, Panel TOLKAR 1658, Panel TONELO, Panel TRIVINETA, Panel TOLKAR WASHING SAMPLE pada PT. Eratex Djaja, Tbk Kota Probolinggo. Berikut merupakan hasil perubahan daya dan Tabel THD sesudah pemasangan filter pasif:



Gambar 4.57 Daya Aktif (P) dan Daya Reaktif (Q) pada software PSCAD PT. Eratex Djaja, Tbk Kota Probolinggo setelah pemasangan filter pasif
Sumber: PSCAD Power Simulation

Setelah pemasangan filter pasif Daya Aktif (P) sebesar 594.673 Watt dan Daya Reaktif (Q) sebesar 252.773 VAR.

Tabel 4.2 THD_i dan THD_v sebelum dan sesudah pemasangan filter pasif pada PT Eratex Djaja, Tbk Kota Probolinggo

Panel	THD_i (%)		THD_v (%)	
	sebelum	sesudah	sebelum	sesudah
TOLKAR 5000	30.82	0.699	2.615	0.823
TOLKAR 1658	26.84	0.747		
TONELO	31.26	0.731		
TRIVINETA	26.57	0.970		
TOLKAR WASHING S	27.38	0.491		

Sumber: PSCAD Power Simulation

Pada panel TOLKAR 5000 (THD_i) sebelum pemasangan filter sebesar 30.8256% sedangkan setelah pemasangan filter turun menjadi 0.69926%. Pada Panel TOLKAR 1658 (THD_i) sebelum pemasangan filter sebesar 26.8451% sedangkan setelah pemasangan filter turun menjadi 0.747514%. Pada Panel TONELO (THD_i) sebelum pemasangan filter sebesar 31.2664% sedangkan setelah pemasangan filter turun menjadi 0.731761%. Pada Panel TRIVINETA (THD_i) sebelum pemasangan filter sebesar 26.575% sedangkan setelah pemasangan filter turun menjadi 0.970562%. Pada Panel TOLKAR WASHING SAMPLE (THD_i) sebelum pemasangan filter sebesar 27.3827% sedangkan setelah pemasangan filter turun menjadi 0.491607% yang sudah sesuai dengan standart IEEE 519-1992 $\leq 20\%$. Dan pada *Total Harmonic Distortion* tegangan (THD_v) sebelum pemasangan filter sebesar 2.61514% namun setelah pemasangan filter pasif THD_v dapat direduksi menjadi 0.823228% yang sudah sesuai dengan standart IEEE 519-1992 $\leq 5\%$.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa, maka dapat disimpulkan bahwa :

Hasil analisis dari simulasi PT. Eratex Djaja Tbk Kota Probolinggo dengan software PSCAD ini terdapat harmonisa pada beban motor yang menggunakan kontrol *Variable speed Drive* (VSD) yaitu terdapat pada PANEL TOLKAR 5000, PANEL TOLKAR 1658, PANEL TONELO, PANEL TRIVINETA dan PANEL TOLKAR WASHING. Tetapi harmonisa yang paling tinggi terdapat pada PANEL TOLKAR 5000 yaitu (THD_I) sebesar 30.8256% dan (THD_V) sebesar 2.61514%.

Untuk mereduksi harmonisa dilakukan pemasangan filter pasif pada beban motor yang menggunakan kontrol *Variable Speed Drive* (VSD) dengan melakukan perhitungan untuk menentukan nilai parameter pada filter pasif tersebut. Ditemukan besar nilai resistor (R) sebesar 1,59 Ω , nilai inductor sebesar 0.126 H dan nilai kapasitor untuk ordo 3 sebesar 8,9 F, untuk ordo 5 sebesar 9.6 F dan untuk ordo 7 sebesar 9.8 F.

Dengan melakukan percobaan pemasangan filter pasif pada beban motor yang menggunakan kontrol *Variable Speed Drive* (VSD) harmonisa yang timbul dapat tereduksi dengan baik menggunakan 3 filter pasif yang dirangkai secara paralel, dimana seperti pada PANEL TOLKAR 5000 (THD_I) turun menjadi 0.69926% dan (THD_V) juga dapat direduksi menjadi 0.823228% yang sudah sesuai dengan standart *IEEE 519-1992*.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Meier, Alexander Von, *Electric Power System: a conceptual introduction*, United States of America, 2006
- [2] Roger, C. Dugan, Mark, F. Mc Granaghan, Santoso, Surya, dan Beaty, H. Wayne. (2003). *Electrical Power System Quality*. Mc Graw-Hill.
- [3] Damian, Gonzales, *Design of Filter to Reduce Harmonic Distortion in Industrial Power System*, IEEE Transaction on Industry Applications Vol. 1A. No.3. 1987
- [4] Nurul, Hamdi Muhammad, *Implementasi Transformator Zigzag untuk Mereduksi Harmonisa akibat VSD pada PT. Sumber Abadi Bersam*. Teknik Energi Listrik Institut Teknologi Nasional Malang, September 2018.
- [5] Prasetijo, Hari, *Analisa Perancangan Filter Pasif untuk Meredam Hamonisa pada Instalasi Beban Non Linier*. Teknik Elektro Universitas Jenderal Soedirman, 2012
- [6] Sik, Cho Young & Hanju Cha, *Single-tuned Passive Harmonic Filter Design Considering Variances of Tuning and Quality Factor*, Journal of International

Council on Electrical Engineering Vol. 1. No.1. pp. 7-13, 2011.

- [7] Pratama, Muhammad Rifqi Aji, *Analisis Pemasangan Filter Pasif untuk Meminimalkan Distorsi Harmonisa akibat Operasional Variable Speed Drive (VSD) di PT. AKHASA WIRAINTERNASIONAL PANDAAN*. Teknik Tenaga Listrik Institut Teknologi Nasional Malang, 2016.
- [8] Parelmuter, Viktor M. *Electrotechnical System Simulation with Simulink and SimPowerSystem*, Taylor & Francis Group, 2013.
- [9] Budi, Eko Hariadi. *Perbaikan Faktor Daya Menggunakan Kapasitor Bank pada Peralatan Rumah Tangga*. Universitas Yogyakarta, 2015