

Analisis Pemasangan Filter Pasif Untuk Mengurangi Harmonisa Pada Motor Debarker WP- 8 Di PT. Indah Kiat *Pulp And Paper* Tbk.Perawang

Arlenny¹, Abrar Tanjung², Tegar Dimas Herlambang³, Darmansyah⁴

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lancang Kuning

Jl. Yos Sudarso km. 8 Rumbai, Pekanbaru, Telp. (0761) 52324

Email: arlenny@unilak.ac.id, abrar@unilak.ac.id, tegardimash@gmail.com, darmansyah@unilak.ac.id

Correspondend Author : abrar@unilak.ac.id

Submitted : 22 Maret 2023

Accept : 24 Nopember 2024

Abstrak

Motor induksi diklasifikasikan ke dalam kelompok beban nonlinier karena gaya karakteristik saturasi, yaitu keadaan pada titik tertentu dari arus yang dihasilkan, tidak sebanding dengan peningkatan tegangan yang diterapkan pada motor dan bahkan tegangan tetap yang dapat menyebabkan harmoni. Dari hasil pengukuran diperoleh komponen harmonik yang cukup tinggi pada sisi sumber VSD tipe ACS800-01-0075-3 dengan kecepatan mesin 1495 rpm. IHDI urutan ke-5, ke-7 dan ke-11 rata-rata 64,20%, 39,62% dan 8,01%, dan kandungan harmonik THDI adalah 75,625%. Karena harmonisa melebihi batas standardisasi IEEE 519-2014, satu filter pasif yang disetel harus dipasang. Pemasangan filter pasif tunggal yang disetel dilakukan menggunakan simulasi MATLAB/Simulink dengan metode simulasi sumber arus. Setelah dilakukan simulasi dengan single tuned maka diperoleh IHDI orde ke-5, orde ke-7 dan orde ke -11 yang telah diturunkan bernilai sebesar 0,30 %, 3,82%, dan 2,17% untuk THDI bernilai sebesar 4,54% maka dari hasil tersebut sudah sesuai dengan standarisasi IEEE 519-2014 dengan batasan 4% untuk IHDI dan THDI 5%. Filter pasif single tuned dipilih disebabkan lebih efektif, ekonomis, dan pemeliharaan lebih mudah.

Kata Kunci: Harmonisa, motor induksi, *variable speed drive*, filter pasif

Abstract

Induction motors are classified into nonlinear load groups because the saturation characteristic force, that is, the state at a certain point of the resulting current, is not proportional to the increase in the voltage applied to the motor and even a fixed voltage that can cause harmony. From the measurement results, a fairly high harmonic component was obtained on the source side of the VSD type ACS800-01-0075-3 with an engine speed of 1495 rpm. The 5th, 7th and 11th IHDI averaged 64.20%, 39.62% and 8.01%, and the THDI harmonic content was 75.625%. Since harmonics exceed the IEEE 519-2014 standardization limits, one tuned passive filter must be installed. The installation of a tuned single passive filter is carried out using a MATLAB / Simulink simulation with a current source simulation method. After a simulation with single tuned, the 5th-order, 7th-order and 11th-order IHDI were obtained which had been lowered to a value of 0.30%, 3.82%, and 2.17% for THDI worth 4.54%, then from these results it was in accordance with IEEE 519-2014 standardization with a limit of 4% for IHDI and THDI 5%. Single tuned passive filters were chosen because they are more effective, economical, and easier maintenance.

Keywords: Harmonisa, induction motor, *variable speed drive*, passive filter

1. PENDAHULUAN

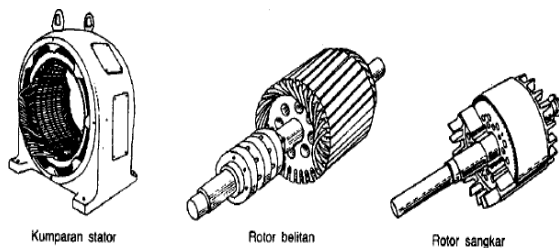
Perusahaan besar saat ini yang bergerak di industri *pulp and paper* terkait erat dengan penggunaan motor induksi. Salah satu perusahaan di provinsi Riau yaitu PT. Indah kiat *Pulp and Paper* berbasis di Perawang, yang

memproduksi *pulp* dan kertas dalam jumlah yang sangat besar. Motor induksi tiga fasa sangat cocok untuk digunakan sebagai penggerak motor produksi karena strukturnya yang sederhana, kuat, dan mudah dirawat. Contohnya pada industri seperti penggerak *fan*, penggerak *pump*, *blower*, *elevator*, dan

conveyor. Produksi kertas di PT. Indah Kiat Pulp and Paper Perawang menggunakan motor 3 fasa untuk produksi proses pulp dan membutuhkan proses pengupasan kulit kayu (*debarking*) di area WP-08 (*wood preparation*) dengan penyulang 33kV yang memasok listrik pada tegangan operasi 380 volt. Sistem kerja terletak di awal penggerak motor listrik yang terhubung ke *gearbox*, dan *output* dari *gearbox* adalah akselerasi besar yang membantu memutar drum / selinder besar dan mengupas kulit kayu. Pada motor induksi tiga fasa, terdapat harmonisa yang disebabkan oleh perubahan kecepatan yang dikendalikan oleh konverter frekuensi (VSD). VSD memiliki sebagian besar komponen yang merupakan beban non linier yang akan menimbulkan harmonisa pada sistem kelistrikan dan tegangan pada motor bermasalah. VSD adalah peralatan yang terdiri dari beberapa komponen yang terdiri dari *reactifier*, *intermediate circuit* dan *inverter*.

Motor Induksi

Motor induksi adalah motor listrik arus bolak-balik (AC) yang putaran rotornya tidak sama dengan rotasi medan magnet stator, dengan kata lain, ada perbedaan antara rotasi medan stator dan rotasi rotor, yang disebut slip. Motor Induksi dibagi dalam dua tipe rotor yaitu rotor belitan dan rotor sangkar tupai seperti pada Gambar 1 [14]:

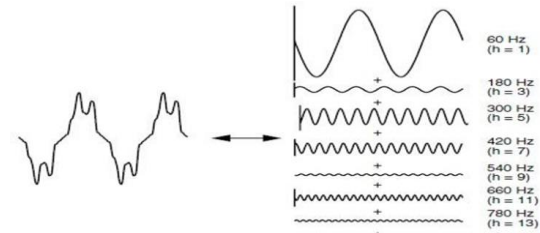


Gambar 1. Kumparan Stator Dan Tipe Rotor Motor Induksi

Harmonisa

Harmonisa adalah gelombang yang bukan merupakan gelombang sinus (tegangan dan arus) dengan frekuensi yang merupakan kelipatan dari frekuensi fundamental. Gabungan dari gelombang frekuensi fundamental dengan gelombang frekuensi harmonisa ketiga akibat beban non linier menyebabkan gelombang terdistorsi [8]. Bentuk gelombang terdistorsi

akibat harmonisa adalah seperti pada Gambar 2. [4]



Gambar 2. Gelombang Terdistorsi Deret Fourier

Perhitungan Harmonisa

Dalam kondisi non sinusoidal disebabkan gelombang terdistorsi harmonisa, maka nilai RMS tegangan dan arus dapat dihitung dengan cara akar kuadrat dari penjumlahan kuadrat RMS contoh pada persamaan 1 dan 2. [4]

$$V_{rms} = \sqrt{\sum_{h=1}^{h_{max}} \left(\frac{1}{\sqrt{2}} V_h\right)^2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_{h_{max}}^2} \quad (1)$$

$$I_{rms} = \sqrt{\sum_{h=1}^{h_{max}} \left(\frac{1}{\sqrt{2}} I_h\right)^2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_{h_{max}}^2} \quad (2)$$

Sebagai perbandingan dari nilai arus RMS harmonisa total dan nilai RMS dari arus fundamental total dapat di definisikan sebagai nilai THD. Nilai THD_I dan THD_V seperti pada contoh persamaan 3 dan persamaan 4. [4]

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

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} (V_h)^2}}{V_1} \quad (4)$$

Saat menghitung *short cicuit* pada titik kopling umum (PCC), kapasitansi hubung singkat minimum dapat digunakan. Nilai I_{sc} dalam satuan A (amp) ditampilkan langsung pada *name plate* sistem. Jika tersedia sebagai satuan MVA, itu dapat dikonversi dengan persamaan menjadi satuan A (amp). Sedangkan untuk merubah permintaan kilowatt rata-rata menjadi arus permintaan dalam amper melalui persamaan 5, maka rasio hubung singkat (SC ratio) dapat dilihat melalui persamaan 6 [4].

$$I_{sc} = \frac{kW}{PF \sqrt{3} kV} \quad (5)$$

$$SC \text{ ratio} = \frac{I_{sc}}{I_L} \quad (6)$$

Keterangan:

V_{rms} = Tegangan puncak (Volt)

I_{rms} = Arus puncak (Ampere)

THD_I = Total Harmonic Distorsi Current (%)

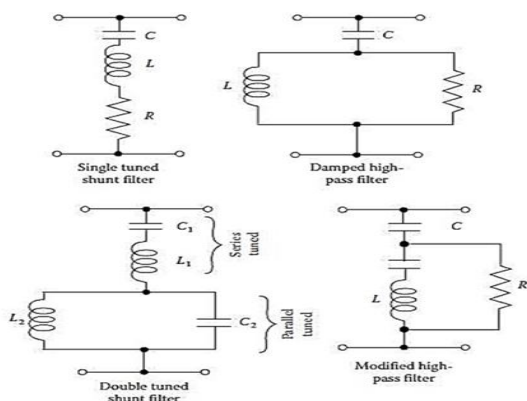
I_{sc} = Short circuit current (Ampere)

PF = Power Factor

I_L = Load Current (Ampere)

Filter Pasif

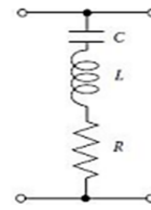
Filter pasif adalah salah satu cara paling efektif untuk menyelesaikan masalah harmonisa. Filter pasif sengaja dibuat untuk mengarahkan arus harmonisa dalam sistem energi. Kehilangan daya reaktif yang disebabkan oleh komponen harmonisa biasanya dikompensasi dengan filter pasif. Berdasarkan karakteristiknya, filter pasif dapat dibedakan atas empat bagian yaitu: low-pass, high-pass, bandpass, dan tuned filter. Jenis – jenis rangkaian filter pasif dengan komponel C, L, dan R seperti yang ada pada Gambar 3. [5]



Gambar 3. Jenis-Jenis Rangkain Filter Pasif

Filter Pasif Single Tuned

Susunan komponen dalam pasif ini, yaitu R, L dan C, adalah jenis filter tipe penyetelan tunggal. Frekuensi resonansi dalam filter pasif ini memiliki impedansi rendah, yang menyebabkan arus harmonizer dari frekuensi yang sama beralih ke filter. Jenis sirkuit filter pasif yang disetel tunggal ditunjukkan pada gambar 4. [5]



Gambar 4. Filter pasif single tuned

Ada pun cara menentukan parameter filter pasif *single tuned* berikut langkah-langkah nya:

1. Kompensasi daya reaktif untuk koreksi faktor daya harus ditentukan untuk dihitung menggunakan rumus persamaan 7.[4]

$$\Delta Q = kW(\tan \theta_{orig} - \tan \theta_{new}) \quad (7)$$

2. Reaktansi kapasitif (X_c) dihitung dengan menggunakan persamaan 8. [4]

$$X_c = \frac{(kV)^2}{MVA_r} \quad (8)$$

3. Untuk kapasitansi kapasitor (C) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 9.[8]

$$C = \frac{1}{2\pi f_o X_c} \quad (9)$$

4. Reaktansi induktif dari induktor (X_L) dapat dihitung menggunakan persamaan 10. [4]

$$X_L = \frac{X_c}{h^2} \quad (10)$$

5. Menentukan induktansi induktif dari induktor (L) dapat dihitung menggunakan persamaan 11. [4]

$$L = \frac{X_L}{2\pi f_o} \quad (11)$$

6. Sementara untuk menentukan reaktansi karakteristik dari filter (X_n) dapat dihitung menggunakan persamaan 12.[8]

$$X_n = h_n X_L \quad (12)$$

7. Menentukan tahanan (R) dari induktor dapat dihitung menggunakan persamaan 13. [8]

$$R = \frac{X_n}{Q} \quad (13)$$

Ketika` resonansi terjadi, reaktansi induktif dengan filter menjadi sama dengan reaktansi kapasitif, dan arus dari harmonisa dalam sistem diarahkan ke filter. Impedansi pada filter *single tuned* terdapat pada persamaan 14. [8]

$$Z_F = R \quad (14)$$

Karakteristik *tunning* pada filter dapat ditentukan oleh faktor kualitasnya (Q). Merupakan *value* ketepatan penyetelan.

Resistansi filter seri dapat didefinisikan sebagai faktor kualitas seperti persamaan 15. [4]

$$Q = \frac{nX_L}{R} \quad (15)$$

Dimana :

Q = *Quality factor*

n = Tuning (Penyetelan harmonisa ($n=1, 2, 3, \dots$))

X_L = Reaktansi reaktor filter pada frekuensi dasar

R = Resistansi (Ω)

Faktor Daya & Segitiga Daya

Beda sudut fasa antara fasor tegangan dan arus adalah θ , dan $\cos \theta$ disebut *faktor daya*. Sudut θ memiliki rentang nilai antara -90° dan $+90^\circ$. Namun, faktor daya adalah $\cos \phi$, sehingga nilainya selalu positif. Namun, faktor kekuatan ini bisa lagging atau leading. Faktor daya disebut penundaan ketika segitiga daya berada dalam kuadran pertama, yaitu, daya reaktif Q positif. Perhatikan gambar 5. [11]. Ketika fasor arus mendahului fasor tegangan atau arus leading terhadap tegangan maka faktor daya disebut leading. Dalam hal ini segitiga daya berada di kwadran ke-empat karena daya reaktif Q bernilai negatif. Keadaan ini terjadi apabila beban bersifat kapasitif. Perhatikan pula gambar 5 dan gambar 6.

$$\text{Faktor daya} = \cos \phi = \frac{P}{S} \quad (16)$$

Dimana:

P = Daya aktif (*Watt*)

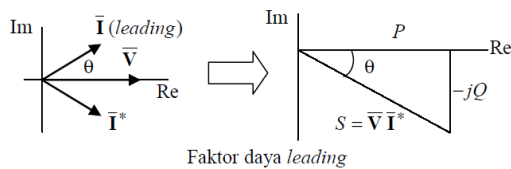
S = Daya total (*VA*)

V = Tegangan antar saluran (*Volt*)

I = Arus saluran (*Ampere*)

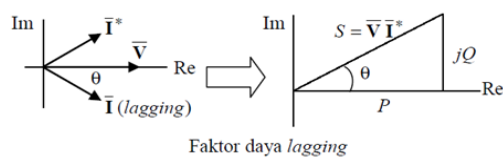
$\cos \phi$ = Faktor Daya

$\sin \phi$ = Faktor Daya (tergantung nilai $\cos \phi$)



Faktor daya *leading*

Gambar 5. Faktor daya lagging dan segitiga daya



Faktor daya *lagging*

Gambar 6. Faktor daya leading dan segitiga daya

Simulink/Matlab V.10

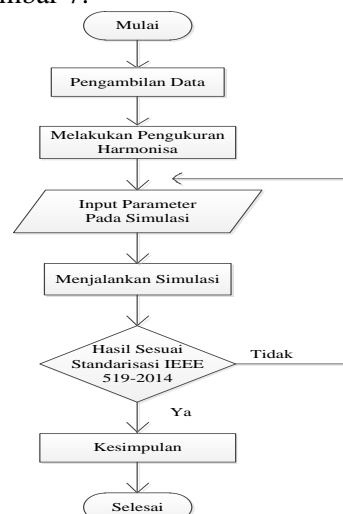
MATLAB adalah perangkat lunak dengan bahasa yang kuat yang digunakan untuk komputasi teknik. Karena ini adalah platform pemrograman yang menggunakan bahasa berbasis matriks, sering digunakan untuk menganalisis data, membuat algoritma, dan membuat pemodelan dan aplikasi. Ini mengintegrasikan perhitungan, visualisasi, dan pemrograman untuk mengekspresikan solusi dan masalah dalam notasi matematika yang sudah dikenal. *Simulink* merupakan platform perangkat lunak yang di gunakan untuk mendesign, menganalisis dan mensimulasikan berbagai sistem dinamis *Simulink* menyediakan antarmuka grafis untuk membangun model dan memiliki perpustakaan komponen standar, yang membuat representasi diagram blok lebih mudah dan lebih cepat. Hal ini sangat berguna untuk mempelajari efek perilaku pada sistem non linier.

2. METODE PENELITIAN

Tahapan Penelitian

Tahapan yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengumpulkan referensi dari buku, jurnal, dan tulisan ilmiah.
 2. Melakukan pengambilan data sumber ,data transformator,data motor dan data VSD.
 3. Melakukan perhitungan manual dan mendesain filter pasif.
 4. Menjalankan simulasi analisa harmonisa sesuai dengan standarisasi IEEE 519-2014.
 5. Menarik kesimpulan dari hasil penelitian, serta menambahkan saran untuk penelitian
- Berikut ini adalah diagram alir tahap penelitan pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram Alir Penelitian
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Total Harmonisa Arus THD_I

Berdasarkan perhitungan harmonisa arus (THD_I) dilakukan sebagai pembandingan antara hasil berdasarkan teori harmonisa dengan hasil pengukuran yang terdapat pada sisi sumber *Variable Speed Drive* dengan kecepatan motor induksi tiga fasa nya bernilai 1495 rpm dengan menggunakan alat ukur EMPATH 2000.6.3. Perhitungan THD_I pada fasa R, S, T menggunakan persamaan 3 adalah sebagai berikut :

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} (I_h)^2}}{I_1}$$

$$THD_I = \frac{1}{I_1} \sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + I_5^2 + I_6^2 + I_7^2 + I_8^2 + I_9^2 + I_{10}^2 + I_{11}^2 + I_{12}^2 + I_{13}^2}$$

$$THD_I = \frac{1}{50,1} \sqrt{(0,4)^2 + (1,7)^2 + (0,2)^2 + (32,2)^2 + (0,1)^2 + (19,7)^2 + (0,1)^2 + (0,3)^2 + (0,1)^2 + (4,2)^2 + (0,0)^2 + (3,3)^2}$$

$$THD_I = 0,7618 \times 100 \%$$

$$THD_I = 76,18 \%$$

Sementara untuk perhitungan nilai THD_I pada fasa (R) diperoleh sebesar 76,18%. Selanjutnya dengan menggunakan persamaan tersebut diperoleh juga nilai perhitungan THD_I untuk fasa (S) sebesar 75,72 % dan pada fasa (T) sebesar 76,75%.

$$THD_{I \text{ rata-rata}} = \frac{THD_{I \text{ fasa R}} + THD_{I \text{ fasa S}} + THD_{I \text{ fasa T}}}{3}$$

$$THD_{I \text{ rata-rata}} = \frac{76,18 + 75,72 + 76,75}{3}$$

$$THD_{I \text{ rata-rata}} = 76,21 \%$$

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh THD_I dengan rata-rata sebesar 76,21 % dengan selisih error 0,59 % jika dibandingkan dengan hasil yang terdapat pada sisi sumber *Variable Speed Drive* tipe ACS800-01-0075-3 pada kecepatan 1495 rpm.

Perhitungan Rasio Short Circuit

Berdasarkan arus hubung singkat (I_{sc}) pada *Point of Common Coupling* (PCC) telah

tersedia berdasarkan spesifikasi VSD tipe ACS800-01-0075-3 drumbarker.

$$I_{sc} = 1630 \text{ A}$$

Arus beban (I_L) VSD drum dengan beban motor induksi tiga fasa berkapasitas 37 kW dapat dihitung menggunakan persamaan (5).

$$I_L = \frac{kW}{Pf \times \sqrt{3} \times kV} = \frac{37}{0,83 \times \sqrt{3} \times 0,38} = 67,72 \text{ A}$$

Sementara nilai rasio hubung singkat (SC_{ratio}) pada titik koplingan umum (PCC) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (6).

$$SC_{ratio} = \frac{I_{sc}}{I_L} = \frac{1630}{67,72} = 24,06$$

Perhitungan Parameter Filter Pasif *Single Tuned*

Langkah-langkah perhitungan parameter filter pasif jenis *single tuned* untuk mereduksi harmonisa pada orde ke-5, orde ke-7 dan orde ke-11 adalah sebagai berikut:

1. Koreksi faktor daya

Faktor daya yang berdasarkan hasil pengukuran yaitu 0,323 Perbaikan faktor daya berdasarkan kebutuhan daya reaktif dari faktor daya hasil pengukuran (orig) 0,323 menjadi 0,95 (new), dapat dihitung menggunakan persamaan (7)

$$\Delta Q = kW(\tan \theta_{orig} - \tan \theta_{new})$$

$$= 27,419\{\tan(\cos^{-1}(0,323)) - \tan(\cos^{-1}(0,95))\}$$

$$= 27,419\{\tan(71,155 - \tan(18,19))\}$$

$$= 27,419(2,929 - 0,328)$$

$$= 72,413 \text{ kVar}$$

2. Reaktansi kapasitor X_C dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (8). Besarnya kV dengan tegangan pada fasa R sebesar 367,770 V atau 0,367 kV.

$$X_c = \frac{(kV)^2}{Mvar}$$

$$X_c = \frac{0,367^2}{0,0724}$$

$$X_c = 1,860 \text{ k}\Omega$$

$$X_c = 1860 \Omega$$

3. Kapasitansi dari kapasitor (C) dihitung menggunakan persamaan (9) besar f_o adalah frekuensi hasil pengukuran

$$C = \frac{1}{2\pi f_o X_c}$$

$$C = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 50,068 \times 1860}$$

$$C = 0.000001709F$$

$$C = 1.709 \mu F$$

Berdasarkan besar nya komponen induktor (L) orde ke-5, orde ke-7, dan orde ke-11 diawali dengan menentukan nilai impedansi (Z) pada frekuensi resonansi nilai I adalah 42,896 A merupakan rata-rata dari hasil pengukuran yang dilakukan. Besarnya impedansi diperoleh dengan menggunakan persamaan (14)

$$Z_F = R \text{ maka } Z_F = \frac{V_s}{I}$$

$$Z_F = \frac{V_s}{I} = \frac{379,510}{42,896} = 8,847 \Omega$$

4. Untuk menentukan reaktansi induktif (X_L) dari induktor untuk filter pada orde ke-5, orde ke-7, dan orde ke-11 adalah dengan menggunakan persamaan (10).

$$X_L = \frac{X_c}{h^2}$$

$$X_{L5} = \frac{X_c}{h^2} = \frac{1860}{5^2} = 74,4 \Omega$$

$$X_{L7} = \frac{X_c}{h^2} = \frac{1860}{7^2} = 37,95 \Omega$$

$$X_{L11} = \frac{X_c}{h^2} = \frac{1860}{11^2} = 15,37 \Omega$$

5. Sementara untuk menentukan (L) dari induktor untuk filter harmonisa pada harmonisa orde ke-5, orde ke-7 dan orde ke-11 dengan menggunakan persamaan (11).

$$L_5 = \frac{X_L}{2\pi f_o} = \frac{74,4}{2 \times 3.14 \times 50,068} = 0,2366 H$$

$$L_7 = \frac{X_L}{2\pi f_o} = \frac{37,95}{2 \times 3.14 \times 50,068} = 0,1206 H$$

$$L_{11} = \frac{X_L}{2\pi f_o} = \frac{15,37}{2 \times 3.14 \times 50,068} = 0,0488 H$$

6. Menentukan reaktansi karakteristik filter pada orde tuning (X_n) dari filter orde ke-5, orde ke-7 dan orde ke-11 dengan menggunakan persamaan (12).

$$X_{n5} = h_n X_L = 5 \times 74,4 = 372 \Omega$$

$$X_{n7} = h_n X_L = 5 \times 37,95 = 189,75 \Omega$$

$$X_{n11} = h_n X_L = 5 \times 15,37 = 76,85 \Omega$$

7. Menentukan tahanan R dari induktor untuk filter orde ke-5, orde ke-7, dan orde ke-11

adalah dengan menggunakan persamaan (13).

$$R_5 = \frac{X_n}{Q} = \frac{372}{80} = 4,65 \Omega$$

$$R_7 = \frac{X_n}{Q} = \frac{189,75}{80} = 2,371 \Omega$$

$$R_{11} = \frac{X_n}{Q} = \frac{76,85}{80} = 0,96 \Omega$$

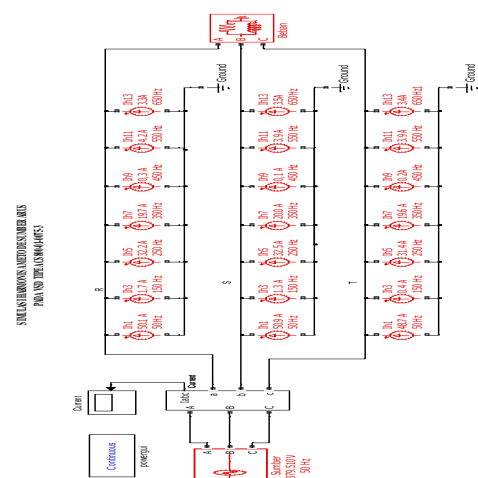
Berdasarkan hasil perhitungan parameter filter pasif jenis single tuned komponen pasif R, L, dan C, untuk nilai Q (*quality factor*) didapatkan dari reaktor inti besi perkiraan nilai Q lebih dari 75 [8]. Setelah dilakukan nya simulasi hasil yang mampu memperbaiki nilai Q adalah 80 yang digunakan untuk mereduksi harmonisa pada orde ke-5, orde ke-7, dan orde ke-11 adalah seperti pada Tabel 1 dibawah ini:

Tabel 1. Simulasi hasil perhitungan parameter R,L,C

Jenis Filter	Orde	R	L	C
Single tuned	5	4,65 Ω	0,2366 H	1,709 μF
	7	2,371 Ω	0,1206 H	1,709 μF
	11	0,96 Ω	0,0488 H	1,709 μF

Diagram Simulasi Tanpa Filter dan Hasil Simulasi Tanpa Filter

Simulasi yang dilakukan untuk memperoleh besaran nilai harmonisa pada kondisi eksisting sama dengan hasil pengukuran menggunakan metode simulasi sumber arus disebut dengan simulasi tanpa filter.



Gambar 8 Diagram Simulasi Tanpa Filter

Tabel 2. Hasil Simulasi Tanpa Filter

Arus	R (%)	S (%)	T (%)	Rata-rata (%)
I ₁	100	100	100	100
I ₂	0,11	0,13	0,24	0,16
I ₃	3,18	2,71	0,87	2,25
I ₄	0,36	0,30	0,43	0,36
I ₅	63,84	63,76	64,20	63,93
I ₆	0,24	0,63	0,70	0,52
I ₇	39,15	38,99	39,77	39,30
I ₈	0,61	0,50	0,37	0,49
I ₉	0,77	0,21	0,11	0,36
I ₁₀	0,23	0,22	0,25	0,23
I ₁₁	14,85	7,06	7,29	9,73
I ₁₂	0,48	0,06	0,11	0,21
I ₁₃	0,29	0,13	0,4	0,27
THD _I	76,56%	75,12%	75,88%	75,52 %
I _{PEAK}	50,09 A	50,89 A	48,71 A	49,89 A
IRMS	35,42 A	35,98 A	34,45 A	35,27 A

Tabel 3. Hasil Perbandingan Pengukuran Dan Hasil Simulasi Tanpa Filter

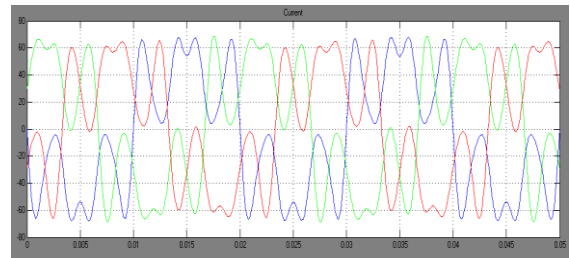
Arus	Hasil Pengukuran Rata-rata	Hasil simulasi tanpa filter Rata-rata	Selisih Error Rata-rata
(I _{h5})	32,03 A	31,89 A	0,53 %
(I ₇)	19,77 A	19,10 A	3.38 %
(I ₁₁)	4,00 A	4,85 A	1,7 %
THD _I	75,625 %	75,52 %	0.13%

Tabel 4. Hasil Simulasi Tanpa Filter Dengan Standarisasi IEEE 519-2014

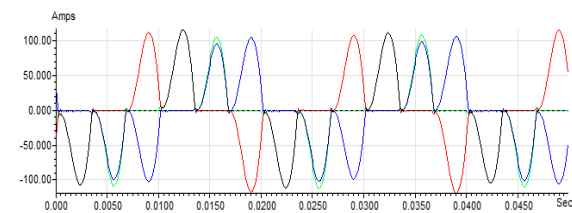
Arus	Hasil Simulasi tanpa Filter Rata-rata (%)	Batasan Harmonisa Standarisasi IEEE 519-2014 (%)
(I ₅)	63,93 %	4%
(I ₇)	39,30 %	4%
(I ₁₁)	9,37 %	4%
THD _I	75,52 %	5%

Dari hasil simulasi tanpa filter yang dilakukan diperoleh nilai kandungan harmonisa tinggi pada IHD_I orde ke-5, orde ke-7, dan orde ke-11 dengan masing-masing bernilai sebesar 63,93% ,39,30%,dan 9,37% Sedangkan pada THD_I diperoleh nilai sebesar 75,52 % melebihi nilai standarisasi yang telah di tentukan IEEE 519-2014 sebesar 4%.

Berdasarkan gelombang arus yang diperoleh dari blok *scope* hasil simulasi tanpa filter dengan menggunakan perangkat lunak *MATLAB / Simulink* terdapat pada Gambar 9 dan Bentuk gelombang arus dari hasil pengukuran adalah seperti pada Gambar 10.



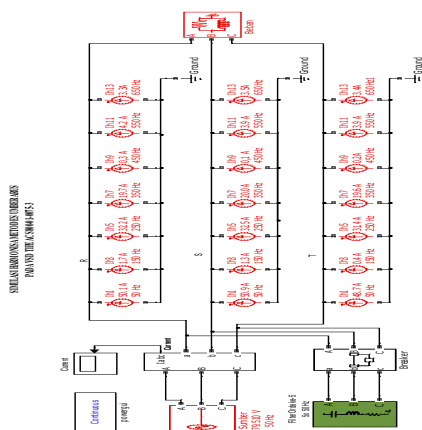
Gambar 9. Gelombang Arus Hasil Simulasi Tanpa Filter



Gambar 10. Gelombang Arus Hasil Pengukuran

Diagram Simulasi dengan Filter Pasif *Single Tuned* dan Hasil Simulasi dengan Filter Pasif *Single Tuned*

Simulasi ini merupakan simulasi yang ditambahkan dengan sebuah block filter harmonisa yang tersedia di *MATLAB/ Simulink* dan sebuah breaker sebagai pemutus dan penghubung pada saluran daya .Terdiri dari satu blok filter yang akan di gunakan untuk mereduksi harmonisa pada orde ke-5,orde ke-7 dan orde ke-11.



Gambar 11. Diagram Simulasi dengan Filter Pasif *Single Tuned*

Tabel 5. Hasil Simulasi Filter Pasif *Single Tuned*

Arus	R (%)	S (%)	T (%)	Rata-rata (%)
I ₁	100	100	100	100
I ₂	0,10	0,17	0,13	0,13
I ₃	1,46	0,80	0,29	0,85
I ₄	0,03	0,06	0,09	0,06
I ₅	0,15	0,45	0,31	0,30
I ₆	0,04	0,04	0,05	0,04
I ₇	3,79	3,92	3,75	3,82
I ₈	0,03	0,07	0,04	0,04
I ₉	0,15	0,05	0,13	0,11
I ₁₀	0,02	0,05	0,03	0,03
I ₁₁	3,06	1,71	1,74	2,17
I ₁₂	0,04	0,0	0,04	0,02
I ₁₃	0,04	0,01	0,02	0,02
THD _I	5,09 %	4,38 %	4,16 %	4,54%
I _{PEAK}	170,4 A	170,9 A	170,1 A	170,46 A
I _{RMS}	120,5 A	120,9 A	120,3 A	120,56 A

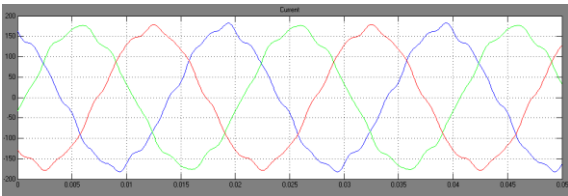
Tabel 6. Hasil Kinerja Filter Pasif *Single Tuned*

Arus	Hasil simulasi filter pasif <i>Single tuned</i>	Kinerja Filter Pasif <i>Single tuned</i>
(I ₅)	0,51 A	98,40%
(I ₇)	6,50 A	67,12%
(I ₁₁)	3,69 A	7,75%
THD _I	4,54%	93,99%

Tabel 7. Perbandingan Filter Pasif Dengan Standarisasi IEEE 519-2014

Arus	Hasil Simulasi dengan Filter Pasif <i>Single tuned</i> Rata-rata (%)	Batasan Harmonisa Standarisasi IEEE 519-2014 (%)
IHD _I (I ₅)	0,30	4
IHD _I (I ₇)	3,82	4
IHD _I (I ₁₁)	2,17	4
THD _I	4,54	5

Pada Tabel 7 bahwa kinerja filter pasif *single tuned* mampu menurunkan atau mereduksi IHD_I orde ke-5, orde ke-7 dan orde ke-11 menjadi nilai sebesar 0,30%, 3,82%, dan 2,17% sementara pada THD_I yang berhasil diturunkan atau direduksi menjadi sebesar 4,54%. Berdasarkan hasil simulasi dengan filter pasif *single tuned* mampu menurunkan harmonisa dan hasil yang diperoleh sesuai dengan standarisasi yang digunakan yaitunya IEEE 519-2014 dengan nilai toleransinya 4% IHD_I dan 5% untuk nilai THD_I. Berikut gelombang arus yang di peroleh dari blok scope perangkat lunak *MATLAB / Simulink* hasil simulasi dengan filter pasif *single tuned* seperti pada Gambar 12 sebagai berikut:



Gambar 12. Gelombang Arus Penggunaan Filter Pasif *Single Tuned*

Sementara untuk gelombang arus dari hasil simulasi dengan filter pasif *single tuned* dapat dilihat sudah mendekati menjadi gelombang arus sinusoidal, sedangkan spektrumnya arus terlihat jauh lebih rendah bila dibandingkan dengan spektrum arus yang peroleh saat pengukuran, dapat juga dilihat pada Tabel 8

Tabel 8. Perbandingan Hasil Kinerja Filter Pasif Single Tuned

I	Hasil		filter pasif Single tuned	Kinerja Filter Pasif Single tuned
	Perhitungan	Simulasi		
(I ₅)	32,04 A	31,89 A	0,51 A	98,40%
(I ₇)	19,77 A	19,20 A	6,50 A	67,12%
(I ₁₁)	4,00 A	4,85 A	3,69 A	7,75%
THD _I	75625%	75,52 %	4,54%	93,99%

4. KESIMPULAN

Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengukuran yang dilakukan pada sisi sumber *variable speed drive* tipe ACS800-01-0075-3 dengan kecepatan motor 1495 memiliki kandungan harmonisa yang cukup tinggi. Pada IHDI orde ke-5, orde ke-7 dan orde ke-11 yang masing-masing dengan rata-rata bernilai 64,20% , 39,62% dan 8,01% sementara untuk total THDI bernilai sebesar 75,625%.
Harmonisa tersebut telah melebihi batas standarisasi yang di izinkan berdasarkan IEEE 519-2014 dengan nilai 4% dan THDI 5%. Maka dari itu untuk menurunkan harmonisa tersebut maka diperlukan pemasangan filter pasif jenis *single tuned*.
2. Simulasi dengan filter pasif *Single tuned* maka diperoleh pada IHDI orde ke 5, orde ke-7 dan orde-11 mengalami penurunan menjadi masing masing bernilai sebesar 0,30 %, 3,82% dan 2,17% dan untuk THD_I bernilai 4,54%.
Hasil sudah sesuai dengan standarisasi yang di gunakan IEEE 519-2014 yang mana dibatasi 4% untuk IHDI dan 5% untuk THD_I.

Saran

Adapun saran untuk penelitian yang dapat dilakukan untuk selanjutnya dalam menurunkan harmonisa sebagai berikut:

1. Analisa pemasangan filter aktif dan kecerdasan buatan.

2. Analisa pemasangan filter pasif jenis lainnya pada sisi sumber VSD dan motor induksi tiga fasa lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Amalia, R., & Nazir, R. (2015). Pemodelan dan Simulasi Beban Non-Linier 3-Fasa dengan Metoda Sumber Arus Harmonik. Jurnal Nasional Teknik Elektro, 4(2), 165–171.
- [2] Chaturvedi, D. K. (2001). Modeling and Simulation of Systems Using MATLAB and Simulink. CRC Press, New York
- [3] Duarsana, I. Nyoman, I. Wayan Rinas, and I. Wayan Arta Wijaya. "Analisa unjuk kerja motor induksi 3phasa terhadap pengaruh harmonisa (THD) dengan penambahan filter aktif menggunakan MATLAB
- [4] Dugan, R. c., McGranahgan, M. F., Santoso, S., & Beaty, H. W. (2004). Electrical Power Systems Quality (Second Edi). McGraw-Hill, New York.
- [5] Gill, P. (2009). Electrical Power Equipment Maintenance and Testing (2nd ed.). CRC Press, New York.
- [6] IEEE Std 519-2014. (2014). IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York.
- [7] Marchtindra, A., Atmam, & Zondra, E. (2021). Analisis Harmonisa Menggunakan Filter Pasif pada VSD dengan Beban Motor Electrical Submersible Pump di PT . CPI. SainETIn, 15(April), 9–17.
- [8] Mustamam, M. (2017). Penggunaan Passive Filter Single Tuned untuk Mereduksi Harmonisa pada Juicer. JET (Journal of Electrical Technology), 2(3), 54-60.
- [9] Rahmadani, R., Atmam, & Zondra, E. (2019). Analisis Pemasangan Filter Pasif untuk Mengurangi Harmonisa pada Transformator Rectifier di PT. Indah Kiat Pulp and Paper Perawang. SainETIn, 3(2), 59–68.
- [10] Rakhmawati, R & Ahshari, M.P, (2009), Filter pasif untuk Meredam Harmonik ke 5 dalam Sistem Tenaga Listrik. Surabaya Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember..

- [11] Sudirham, S. (2012). Analisis Rangkaian Listrik Jilid 1. Darpublic
- [12] Zakaryah, M. (2019). Implementasi filter pasif untuk mereduksi harmonisa dan memperbaiki kualitas daya pada PT. ERA-TEX DJAJA KOTA PROBOLINGGO.
- [13] Zondra, E., Tanjung, A., & Arlenny. (20-16) Pengaruh Tegangan Sumber dan Beban terhadap Tingkat Harmonisa pada Motor Induksi Tiga Phasa. SainETIn, 1(1), 17–24
- [14] Zuhaili. (2000). Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya. PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.