

Research Article

Penerapan Filter Pasif *Single Tuned* Untuk Mengurangi Distorsi Harmonik Akibat Penggunaan *Multi-Variable Speed Drive*

^{1*}Muhammad Fahmi Arif, ¹Reyhan Exsa Kurniawan, ¹Imam Suri Tauladan, ¹Boy Ihsan, ¹Nurhalim Dani Ali, ¹Antonius Rajagukguk

ABSTRAK: Penerapan *Variable Speed Drive* (VSD) pada motor induksi tiga fasa sudah umum dalam industri karena kemampuannya dalam mengendalikan kecepatan motor secara fleksibel dan efisien. Namun, pemanfaatan VSD juga dapat memicu masalah kualitas daya berupa distorsi harmonik, yang mampu menurunkan efisiensi sistem dan mempercepat kerusakan peralatan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengevaluasi efektivitas filter pasif *single tuned* dalam mereduksi harmonisa yang diakibatkan oleh VSD pada sistem tenaga listrik. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak ETAP pada sistem dengan beban 3.500 kW, terdiri dari 5 motor yang beroperasi menggunakan VSD dan satu *lump load* 650 kW. Tiga buah filter pasif disetting pada harmonisa orde ke-5, ke-7, dan ke-11. Hasil simulasi menunjukkan penurunan *Total Harmonic Distortion* (THD) dari 14,92% menjadi 1,84% dan peningkatan faktor daya dari 86,59% menjadi 98,83%. Penurunan arus dan peningkatan profil tegangan juga menunjukkan bahwa filter ini efektif dalam meningkatkan kualitas daya. Dengan demikian, penerapan filter pasif *single tuned* dapat menjadi solusi praktis untuk mengurangi harmonisa yang terjadi pada sistem tenaga listrik yang memiliki beban *non-linear*.

Kata kunci: *Electric Transient Analysis Program, Variable Speed Drive, Passive Filter, Distorsi Harmonik, Kualitas Daya*

1. PENDAHULUAN

Pada sektor industri, penggunaan motor induksi 3 fasa sudah sangat umum digunakan karena kehandalan mekanis nya yang baik serta perawatan yang mudah, namun penggunaan motor induksi ini juga memerlukan sistem pengontrolan guna mengatur kecepatan sesuai variasi beban dan pengoptimalan konsumsi energi [1][2]. penggunaan *Variable Speed Drive* (VSD) sebagai sistem pengontrolan pada motor induksi tiga fasa sudah menjadi pendekatan dominan untuk meningkatkan efisiensi energi dan fleksibilitas pengendalian proses, terutama pada motor induksi dengan rating besar [3][4].

VSD bekerja dengan mengatur frekuensi dan tegangan input pada motor melalui konversi AC-DC-AC, namun topologi ini secara inheren bersifat *non-linear* mengikuti standard IEEE 519 atau yang dapat menghasilkan distorsi harmonik arus [5][6]. Metode yang paling sederhana dan tetap efisien digunakan untuk mereduksi distorsi harmonik tersebut adalah dengan menggunakan *single tuned passive filter*. Filter ini dipilih karena kemudahannya dalam implementasi serta kinerjanya yang efisien dalam menurunkan harmonisa dominan (orde 5 dan 7) pada beban seperti VSD [7].

OPEN ACCESS



Afiliasi:

¹S1-Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia, 28293

*Korespondensi:

Email:

muhammad.fahmi2571@student.unri.ac.id

Diterima Redaksi:

14-06-2025

Selesai Revisi:

25-06-2025

Diterbitkan Online:

26-05-2025

Cara Mengutip Artikel ini (IEEE):

M. F. Arif, "Penerapan Filter Pasif Single Tuned Untuk Mengurangi Distorsi Harmonik Akibat Penggunaan Multi-Variable Speed Drive", *Electrical Today*, Vol. 1, No. 1, Hal 1-10, Juni 2025

This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.



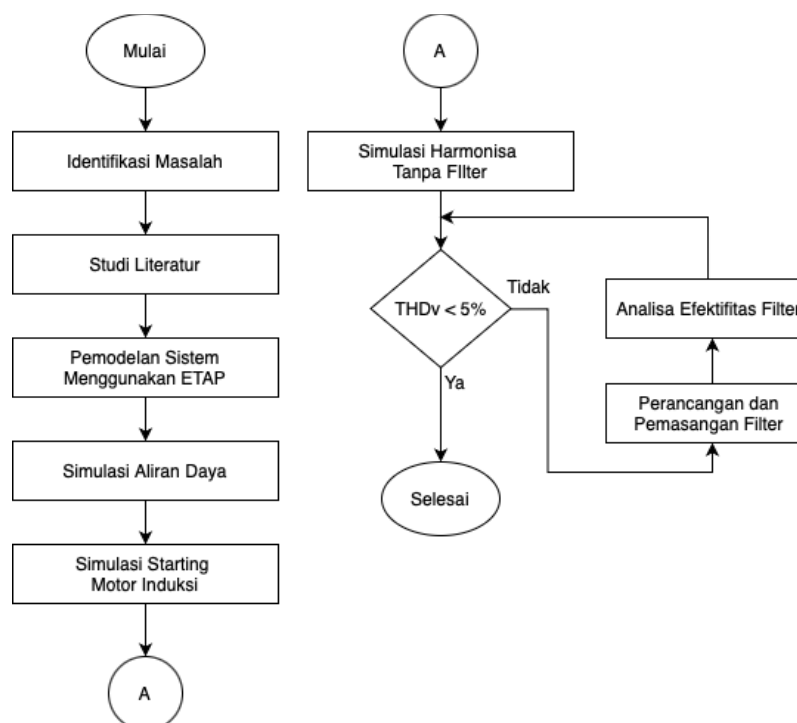
Penelitian terdahulu membuktikan penerapan filter pasif LC efektif untuk mereduksi distorsi harmonik akibat penggunaan VSD. [8] Melakukan studi lapangan di salah satu sumur minyak PT. Chevron Pacific Indonesia dengan menggunakan VSD 6-Pulse sebagai penggerak motor ESP 3 fasa. Penelitian ini berhasil menurunkan THDi dari 93,03% menjadi 5,93% dan THDv dari 37,6% menjadi 4,04% dengan filter pasif LC, sehingga hasilnya berada dalam batas aman standar IEEE 519.

Penelitian yang dilakukan oleh [9] adalah pencegahan harmonik dengan *single-tuned passive filter* dan kapasitor bank pada sistem yang terdampak distorsi oleh VFD. Simulasi dengan ETAP menunjukkan penurunan THDv dari 6,9% menjadi 3,3% dan peningkatan faktor daya dari 73,56% menjadi 98,27%, memenuhi standar IEEE 519-2014.

Alasan diadakannya penelitian ini untuk menjawab kebutuhan industri terhadap peredaman harmonisa yang efektif namun tetap ekonomis pada sistem dengan banyak VSD [1]. Meskipun filter aktif dan hybrid dapat memberikan performa yang baik, impelementasinya membutuhkan biaya tinggi dan control kompleks [5][10], sehingga kurang sesuai untuk sistem distribusi dengan beban VSD paralel. Filter pasif *single tuned* memiliki keunggulan dari sisi kesederhanaan dan biaya, namun belum banyak diteliti dalam konteks *multi-VSD*. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk merancang filter pasif multiorde serta mengevaluasi efektivitasnya melalui simulasi ETAP berdasarkan standar IEEE 519 atau aturan jaringan PLN 2020.

2. METODE PENELITIAN

Metode kegiatan ini diawali dengan identifikasi masalah terkait distorsi harmonisa pada sistem tenaga Listrik akibat penggunaan *Variable Speed Drive* (VSD) yang berdampak pada menurunnya efisiensi dan kualitas daya. Untuk itu dilakukan studi literatur terhadap standar IEEE 519, prinsip kerja filter pasif *single tuned*, dan hasil penelitian terdahulu. Kemudian dilakukan simulasi berbasis perangkat lunak ETAP dengan memodelkan sistem distribusi tenaga Listrik dengan beban 5 *Variable Speed Drive* (VSD) mengontrol 5 motor induksi tiga fasa berkapasitas total 2.850 kW dan *lump load* berkapasitas 650 kW. Langkah awal dilakukan dengan simulasi kondisi eksisting tanpa filter untuk memperoleh data *baseline Total Harmonic Distortion* (THD) arus dan tegangan. Selanjutnya dilakukan perancangan tiga unit filter pasif *single tuned* dengan konfigurasi LC paralel. Nilai L dan C ditentukan berdasarkan frekuensi tuning yang ingin dikompensasi. Penalaan dilakukan pada frekuensi 250 Hz, 350 Hz, dan 550 Hz dengan frekuensi sistem/ fundamental 50 Hz.



Tabel 1. Batas Harmonisa Tegangan Berdasarkan Standar IEEE 519

2.1. Harmonisa Dalam Sistem Tenaga

Distorsi harmonisa merupakan gangguan kualitas daya yang terjadi Ketika bentuk gelombang arus dan tegangan tidak lagi sinusoidal, melainkan terganggu oleh gelombang dengan frekuensi kelipatan dari frekuensi dasar, fenomena ini muncul dikarenakan penggunaan beban *non-linear* [11][12]. Distorsi ini menghasilkan harmonik yang mempengaruhi profil tegangan sistem dan *menurunkan power factor* [13]. Pada fasilitas industri, akumulasi harmonik dapat menyebabkan deviasi tegangan yang dapat melampaui standar IEEE 519 dan aturan jaringan PLN 2020 yang dapat meningkatkan resiko *malfunction* dan memperpendek umur isolasi peralatan [7].

Tabel 1. Batas Harmonisa Tegangan Berdasarkan Standar IEEE 519

Tegangan Bus (V)	Harmonisa Individu (%)	Distorsi Harmonisa Tunggal (%)
$V \leq 1\text{kV}$	5,0	8,0
$1\text{kV} \leq 69\text{kV}$	3,0	5,0
$69\text{kV} \leq 161\text{kV}$	1,5	2,5
$161\text{kV} \leq V$	1,0	1,5

2.2. Filter Pasif *Single Tuned*

Filter pasif *single tuned* merupakan rangkaian seri dari komponen pasif yang kemudian dihubungkan secara paralel terhadap sistem tenaga. Filter jenis ini didesain untuk menyaring atau mereduksi arus harmonisa pada suatu orde harmonik tertentu. Prinsip kerja dari filter ini adalah dengan menyatel frekuensinya agar sesuai dengan frekuensi harmonisa yang ingin dikurangi [14].

Ketika frekuensi harmonisa sesuai dengan frekuensi resonansi dari filter, maka impedansi filter akan menjadi sangat rendah akibatnya, arus harmonisa dengan frekuensi tersebut akan mengalir ke filter, bukan ke sistem utama, sehingga kualitas daya dapat ditingkatkan. Adapun tahapan dalam menentukan parameter dari filter pasif *single tuned* meliputi langkah-langkah berikut:

- a. Menentukan kompensasi daya reaktif untuk perbaikan faktor daya [15]:

$$Q_c = kW (\tan\theta_{aktual} - \tan\theta_{target}) \quad (1)$$

- b. Menentukan reaktansi kapasitif (X_c) [12]:

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

- c. Menentukan kapasitansi kapasitor (C):

$$C = \frac{1}{2\pi f_0 X_c} \quad (3)$$

- d. Menentukan reaktansi induktif (X_L) [13]:

$$X_L = \frac{X_c}{h^2} \quad (4)$$

- e. Menentukan induktansi induktor (L):

$$L = \frac{X_L}{2\pi f_0} \quad (5)$$

- f. Menentukan tahanan (R) dari reaktansi induktif (X_L) [14]:

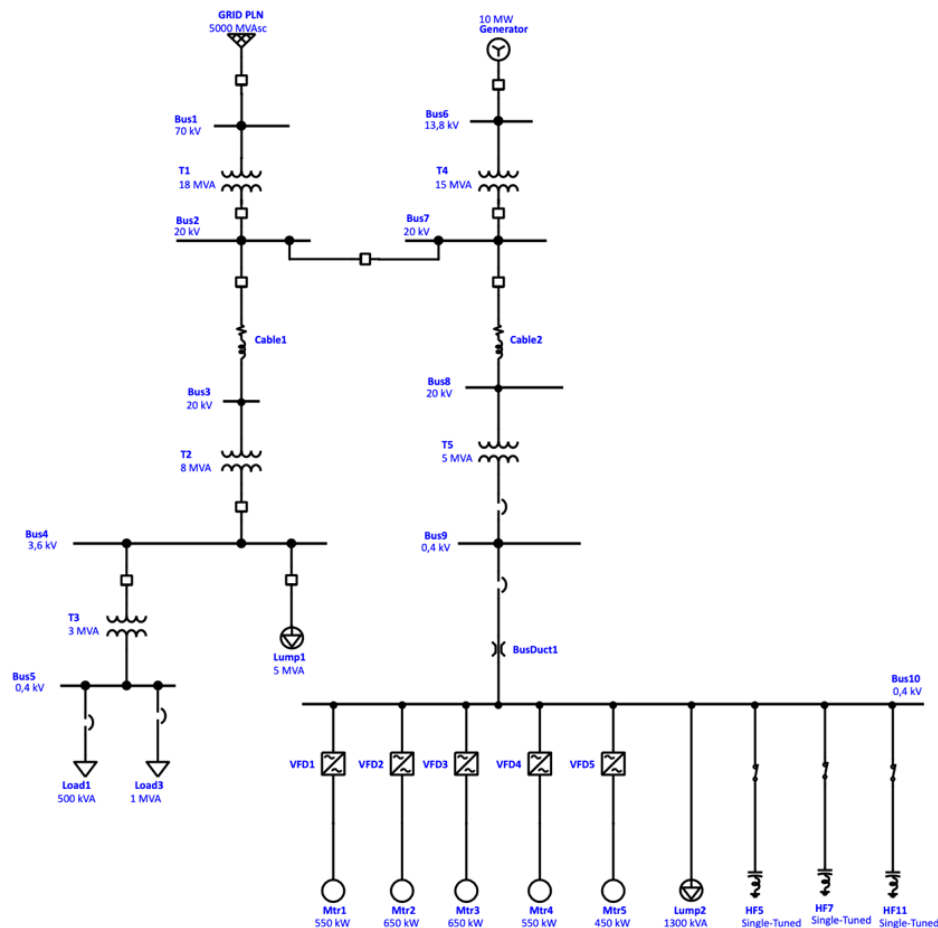
$$R = \frac{X_L}{Q} \quad (6)$$

Ketika kondisi resonansi tercapai, nilai reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif pada filter akan saling meniadakan karena besarnya sama. Pada kondisi ini, impedansi total dari filter menjadi sangat rendah terhadap frekuensi tertentu, sehingga arus harmonisa dengan frekuensi tersebut cenderung mengalir menuju filter dan bukan ke sistem utama. Karakteristik penyetelan tuning filter ditentukan oleh faktor kualitasnya (Q). Q adalah ukuran ketajaman penyetelan [11]. Untuk resistansi filter seri didefinisikan sebagai faktor kualitas seperti pada persamaan berikut:

$$Q = \frac{nX_L}{R} \quad (7)$$

2.2. Pemodelan Beban Pada ETAP

Sistem dimodelkan mengikuti konfigurasi beban dengan 5 *Variable Speed Drive* (VSD) mengontrol 5 motor induksi tiga fasa berkapasitas total 2.850 kW dan *lump load* berkapasitas 650 kW. Untuk mereduksi harmonisa yang diakibatkan oleh VSD, maka diterapkan tiga buah filter pasif *single tuned* yang tiap-tiapnya disetel pada orde harmonisa yang melebihi batas standar. Ketiga filter tersebut dimodelkan secara paralel terhadap jalur suplai VSD dalam diagram satu garis (*Single Line Diagram*) yang dibuat pada platform ETAP.



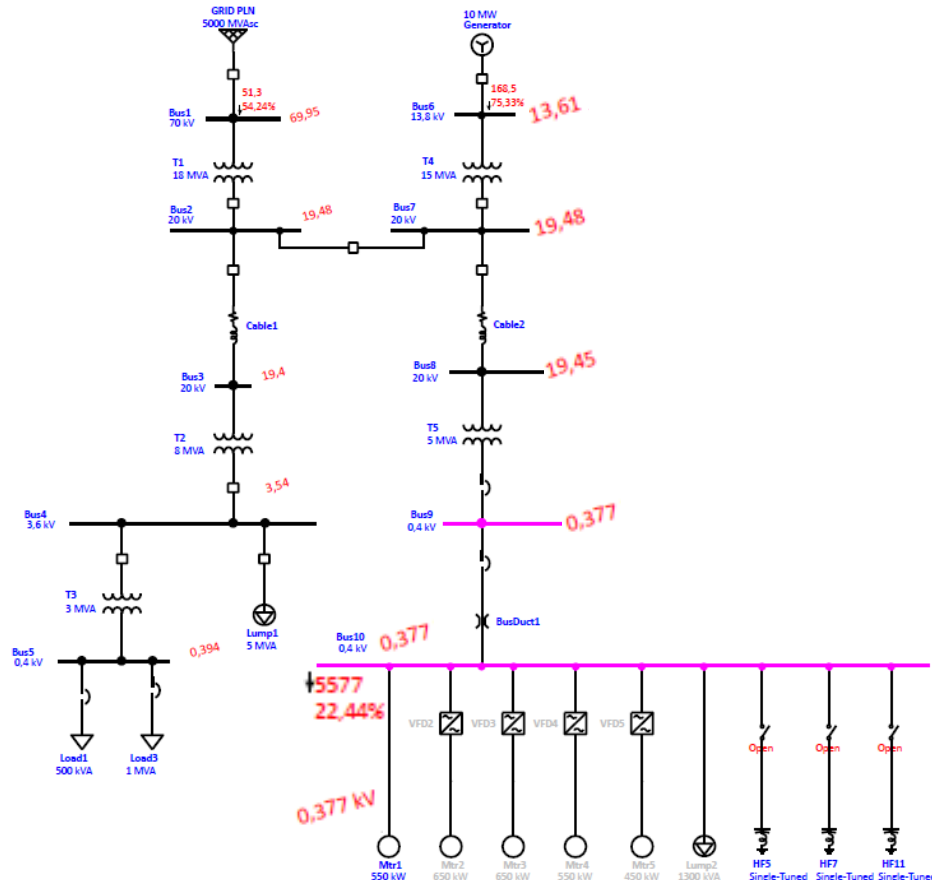
Gambar 1. *Single Line Diagram* Sistem Kelistrikan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan simulasi ETAP untuk menganalisis efektivitas penggunaan filter pasif *single tuned* dalam mengurangi distorsi harmonik pada sistem tenaga dengan beban *Variable Speed Drive* (VSD). Sebelum melakukan analisis harmonisa, terlebih dahulu dilakukan analisis pada *starting* motor induksi

secara langsung (*Direct On-Line*) dan menggunakan *Variable Speed Drive* (VSD). Penggunaan *Variable Speed Drive* (VSD) sendiri bertujuan untuk memberikan kontrol penuh terhadap pengaturan kecepatan motor secara fleksibel.

Selain itu penggunaan *Variable Speed Drive* (VSD) juga dapat memberikan arus starting yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan metode penyalan motor secara langsung (*Direct On-Line*) yang dapat mencapai 5 hingga 7 kali arus nominal dari motor sedangkan jika menggunakan *Variable Speed Drive* (VSD), arus *starting* motor dapat direduksi hingga 1 sampai 2 kali arus nominal motor. Hasil simulasi menunjukkan adanya perbedaan yang cukup besar antara menyalakan motor secara langsung (*Direct On-Line*) dan menggunakan *Variable Speed Drive* (VSD).



Gambar 2. Hasil Simulasi *Starting Motor Direct On-Line* pada Sistem Kelistrikan.

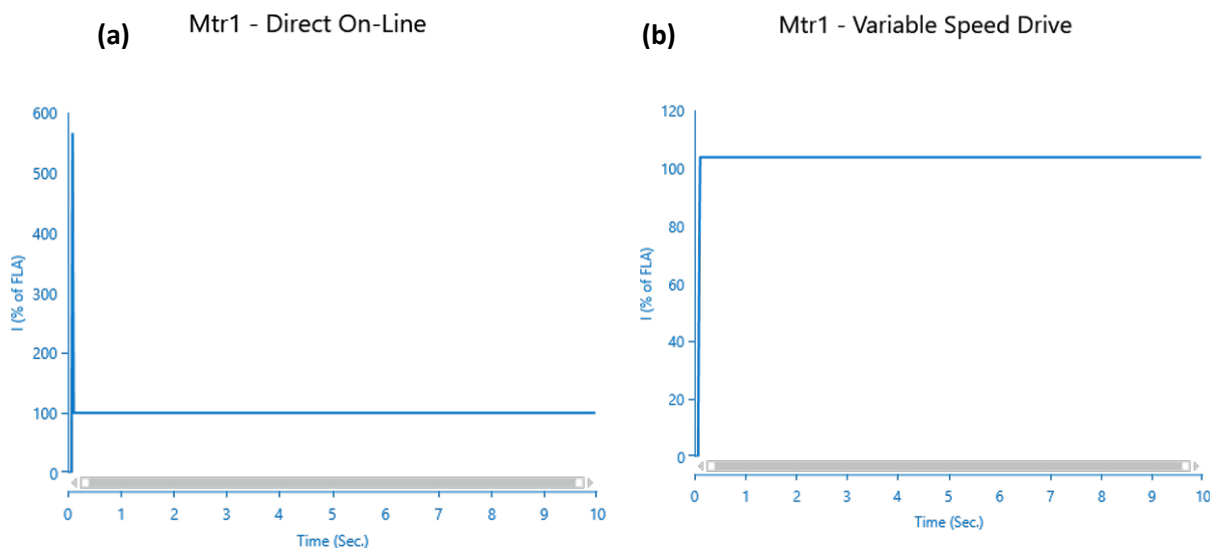
Pada motor Mtr1 dengan daya 550 kW serta tegangan operasional di 400 V jika dinyalakan secara langsung (*Direct On-Line*) akan memberikan dampak yang cukup signifikan pada tegangan sistem khususnya pada tegangan di Bus 9 dan 10 yang langsung mengarah ke motor. Hasil simulasi menunjukkan adanya penurunan tegangan pada bus 9 dan 10 dari nilai nominalnya di angka 400 V, kemudian turun menjadi 377 V atau turun sebesar 5,83% ketika melakukan penyalan motor secara langsung (*Direct On-Line*). Pada kondisi ini, Bus 9 dan 10 telah mengalami *undervoltage* karena tegangannya pada bus tersebut mengalami penurunan yang melebihi standar. Penurunan tegangan ini pada bus 9 dan 10 ini dapat ditinjau menggunakan rumus daya aktif.

$$P = V \times I \times \cos \phi$$

Jika ditinjau dari persamaan tersebut, dengan daya yang dibutuhkan konstan, maka saat arus dari motor naik ketika melakukan *starting*, akan menyebabkan turunnya tegangan untuk menyesuaikan dengan besarnya daya yang dibutuhkan. Menurut IEC 60364, penurunan tegangan pada titik sumber menuju ke peralatan seperti

motor haruslah $\leq 5\%$, sedangkan penurunan tegangan yang terjadi pada bus 9 dan 10 berada di angka 5,83% dan telah melampaui standar yang telah ditetapkan. Kemudian faktor daya pada Bus 10 juga mengalami penurunan dari angka 86,5% menjadi 22,44% ketika motor dinyalakan secara langsung (*Direct On-Line*).

Karena itulah metode penyalan motor secara langsung (*Direct On-Line*) kurang cocok diterapkan pada motor yang memiliki daya yang besar seperti yang ada pada sistem. Untuk itu diperlukan metode penyalan motor yang dapat menyalakan motor induksi tanpa membuat sistem mengalami *undervoltage* seperti menggunakan *Variable Speed Drive* (VSD). Selain mengalami penurunan pada sisi tegangan dan faktor daya, penyalan motor induksi secara langsung (*Direct On-Line*) juga berdampak pada peningkatan arus yang mengalir pada sistem khususnya pada bus 10 yang langsung mengarah ke motor.



Gambar 3. (a) Kurva Arus Starting Motor Metode *Direct On-Line*, (b) Kurva Arus Starting Motor Menggunakan *Variable Speed Drive*.

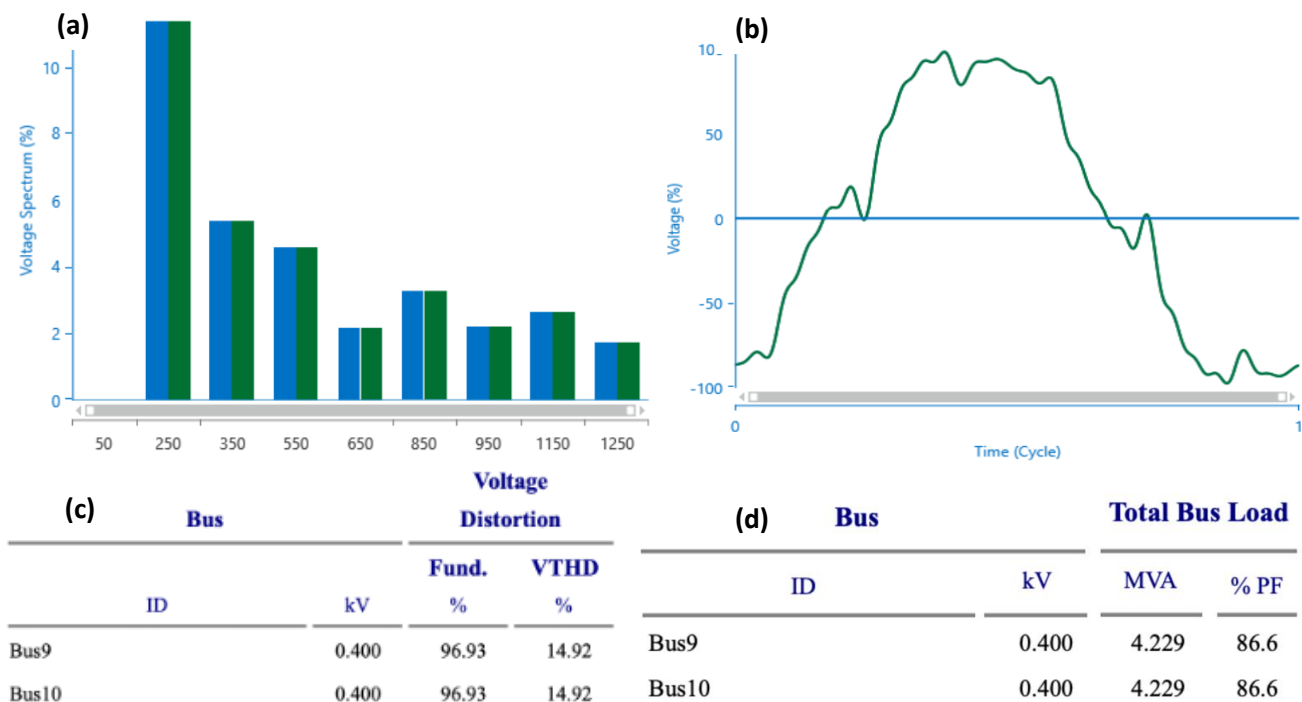
Pada sisi arusnya, ketika motor induksi Mtr1 dengan daya 550 kW dan arus nominal 986 A yang dinyalakan secara langsung (*Direct On-Line*) terlihat dialiri arus *starting* sebesar 565% dari arus nominal nya. Kenaikan arus saat *starting* ini disebabkan karena pada saat dinyalakan secara langsung (*Direct On-Line*), motor langsung menerima tegangan secara penuh, dengan impedansi stator yang rendah serta belum adanya back EMF pada saat motor diam, pemberian tegangan penuh secara langsung dapat menyebabkan lonjakan arus pada saat motor dinyalakan. Hal inilah yang kemudian menyebabkan *starting* motor secara langsung dapat menyebabkan lonjakan arus dan *drop* pada tegangan. Dikarenakan arus *starting*nya yang sangat tinggi, metode *starting* secara langsung (*Direct On-Line*) hanya diperbolehkan untuk motor dengan daya $< 5,5$ kW sesuai dengan standart IEC 60364.

Sedangkan jika menggunakan *Variable Speed Drive* (VSD), terlihat arus yang mengalir pada saat *starting* sebesar 10% dari arus nominal motor. Ini sesuai dengan standar IEC 61800 yang menyatakan bahwa arus *starting* pada saat menggunakan *Variable Speed Drive* sebesar 1 hingga 2 kali arus nominal motor. Hal ini disebabkan karena *Variable Speed Drive* dapat melakukan *soft starting* dimana tegangan yang disuplai ke motor akan diberikan secara bertahap dari nilai yang paling rendah. Karena tegangan awal yang diberikan rendah, maka arus pada saat *starting* juga ikut rendah. Kemudian tegangan tersebut perlahan akan naik seiring dengan naiknya nilai frekuensi hingga mencapai nilai frekuensi yang telah ditentukan. Oleh karena itu, penggunaan *Variable Speed Drive* tidak hanya terbatas pada pengaturan kecepatan motor yang dinamis, tetapi *Variable Speed Drive* juga telah terbukti dapat mengurangi arus *starting* motor induksi yang sangat tinggi

Kemudian simulasi harmonisa dilakukan dengan dua skenario, skenario pertama sistem tanpa filter atau kondisi eksisting. Dan skenario kedua sistem setelah pemasangan filter. Pembahasan meliputi analisis *total harmonic distortion* (THD), faktor daya, profil tegangan, serta arus sebelum dan setelah pemasangan filter. Data ditampilkan dalam bentuk grafik spektrum dan kurva gelombang harmonik, dan tabel perhitungan.

3.1. Hasil Simulasi Sistem Sebelum Pemasangan Filter

Simulasi awal dilakukan untuk melihat kondisi sistem tanpa filter pasif, khususnya pengaruh harmonisa akibat penggunaan *Variable Speed Drive* (VSD). Hasil analisis menunjukkan adanya distorsi harmonisa yang cukup signifikan pada bus Bus9 dan Bus10.



Gambar 4. (a) *Spectrum Harmonic* Bus 9 dan 10 sebelum filter, (b) Kurva Harmonik Bus 9 dan 10 sebelum filter, (c) VTHD bus 9 dan 10 sebelum filter, (d) Total Bus Load sebelum filter

Simulasi load flow sebelum pemasangan filter menunjukkan bahwa sistem mengalami kondisi operasi yang kurang efisien, ditandai dengan nilai faktor daya di 86,6% serta terdapat *critical condition* pada bus dan VSD dan daya nyata total sistem tercatat sebesar 4.229 MVA

Arus pada Bus9 mencapai 6.297 A, yang menandakan adanya beban reaktif yang besar dan aliran arus harmonik signifikan ke jaringan distribusi. Nilai tegangan pada Bus9 dan Bus10 turun hingga menyentuh angka 96,93% dari tegangan nominal, yang sudah memasuki area *critical condition* sesuai standar IEEE 141. Kondisi ini menunjukkan distorsi harmonisa yang ditimbulkan oleh beban *non-linear* seperti VSD tidak hanya memperburuk efisiensi energi, tetapi juga dapat mengganggu stabilitas tegangan sistem secara keseluruhan.

Gambar spektrum tegangan (a) pada Bus 9 dan 10 menunjukkan puncak harmonisa pada frekuensi 250 Hz (orde ke-5), serta komponen lain pada 350 Hz dan 550 Hz (orde ke-7 dan ke-11) yang menyumbang $\pm 5\%$ THD. Bentuk gelombang tegangan (b) pada Bus 9 dan 10 tampak tidak mulus dan menyimpang dari bentuk sinusoidal ideal, yang menandakan adanya distorsi akibat harmonisa. Kondisi diatas mengindikasikan harmonisa yang ditimbulkan oleh *Variable Speed Drive* (VSD) menyebabkan distorsi arus yang berdampak buruk pada efisiensi distribusi daya dan menimbulkan kerugian energi tambahan.

3.2. Perhitungan Filter Pasif *Single Tuned*

Filter dirancang agar bekerja pada frekuensi 250 Hz, 350 Hz, dan 550 Hz (orde ke-5 dari 50 Hz), karena komponen ini merupakan harmonisa dominan dalam sistem berdasarkan hasil analisis sebelumnya. sehingga dapat mengalihkan arus harmonisa dari sistem ke jalur filter. Untuk merancang filter pasif dilakukan perhitungan menggunakan metode pada persamaan 1 hingga 7.

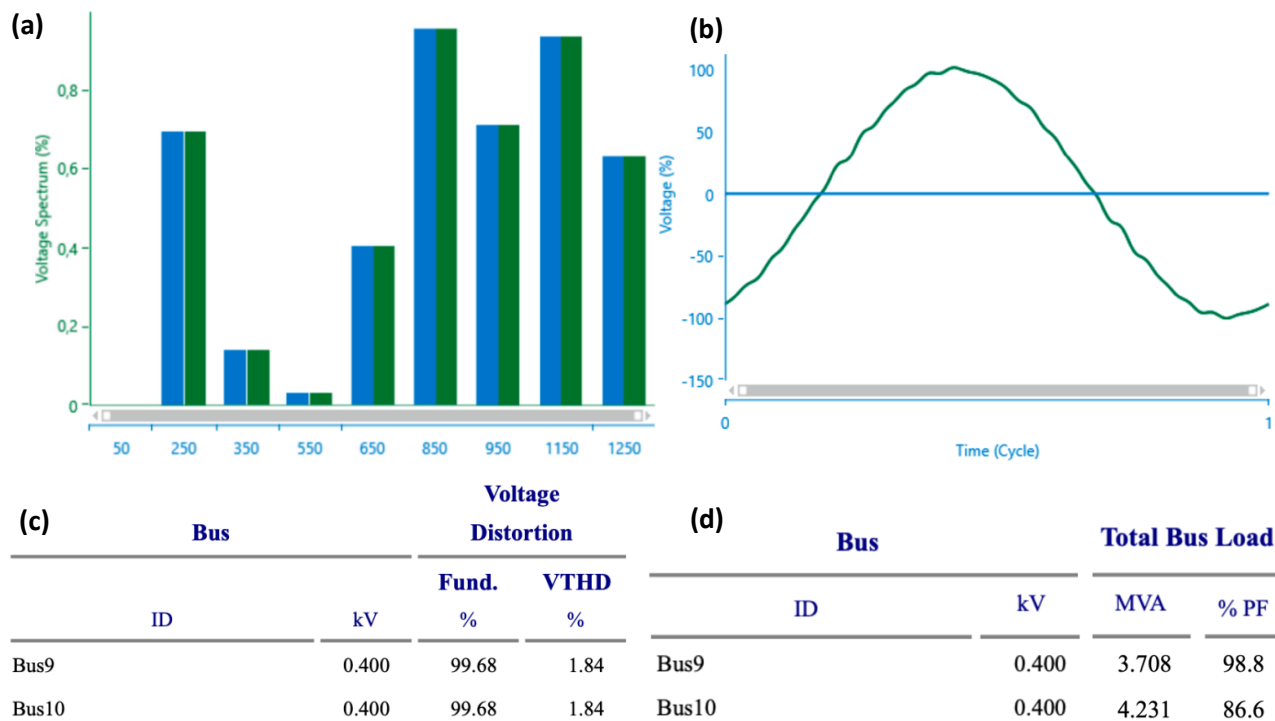
Untuk melakukan perbaikan faktor daya dari kondisi awal 0,865 menuju kondisi target 0,99, maka dibutuhkan kompensasi daya reaktif yang jika diperhitungkan sebesar 1.523,172 kVAR. Nilai kompensasi ini dibagi rata ke dalam tiga filter pasif *single tuned* yang masing-masing diatur pada orde harmonik ke-5, 7, dan 11, sehingga setiap filter memiliki nilai Q_c sebesar 507,724 kVAR. Pembagian daya reaktif ini dilakukan secara seimbang untuk memastikan setiap filter mampu bekerja optimal pada frekuensi *tuning*-nya dan menghindari konsentrasi arus harmonik berlebih pada satu titik filter.

Tabel 2. Design Filter Pasif Single Tuned

F (Hz)	Q	Pload (kW)	Orde	$\cos \theta_0$	$\cos \theta_{set}$	Q_c (kVAR)	V_{bus} (V)	X_c (Ω)	C(F)	X_L (Ω)	L(uH)
50	15	3500	5	0,865	0,99	507,724	400	0,315	0,010	0,0126	40,123
			7							0,0064	20,471
			11							0,0026	8,290

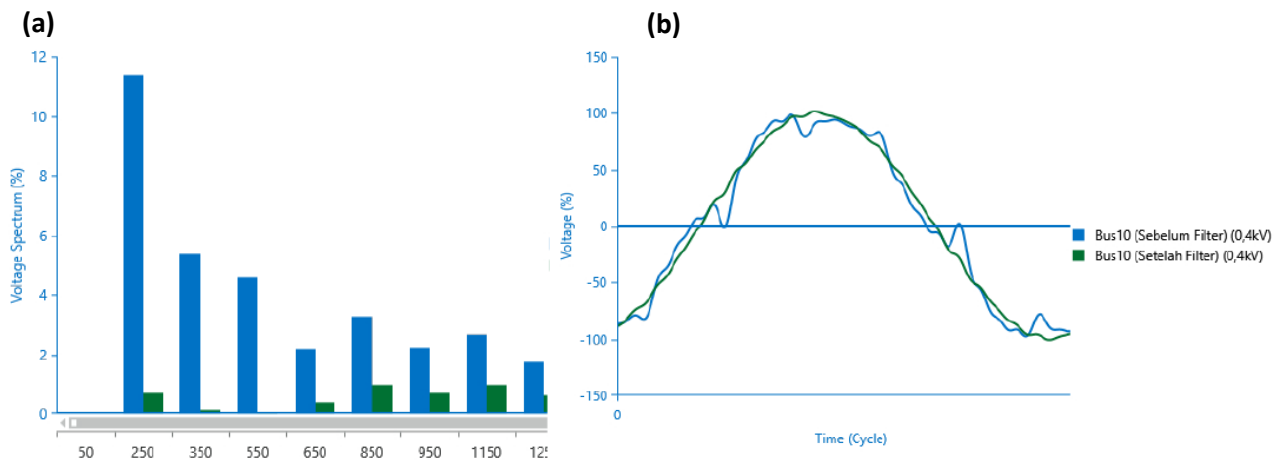
3.3. Hasil Simulasi Sistem Setelah Pemasangan Filter

Simulasi kembali dijalankan setelah pemasangan filter untuk melihat pengaruhnya terhadap kualitas daya, terkhusus dalam mereduksi harmonisa. Filter difokuskan untuk mereduksi harmonisa orde ke-5, 7, dan 11 yang sebelumnya teridentifikasi sebagai komponen dominan.



Gambar 5. (a) *Spectrum Harmonic* Bus 9 dan 10 setelah filter, (b) Kurva Harmonik Bus 9 dan 10 setelah filter, (c) VTHD bus 9 dan 10 setelah filter, (d) Total Bus Load setelah filter

Setelah pemasangan filter pasif *single tuned*, performa sistem menunjukkan perbaikan yang signifikan. Total daya nyata sistem bus 9 menurun menjadi 3.708 MVA, dengan faktor daya di Bus 9 meningkat menjadi 98,8%. Penurunan arus pada Bus 9 menjadi 5.369 A menunjukkan bahwa energi reaktif dan komponen harmonik telah berhasil dikompensasi oleh filter, sehingga aliran daya menjadi lebih efisien dan proporsional terhadap daya aktif yang dibutuhkan beban. Selain itu, nilai tegangan pada Bus9 dan Bus10 meningkat menjadi 99,68% dari tegangan nominal, yang menandakan sistem telah keluar dari area kritis dan kembali ke batas tegangan yang stabil dan aman. Simulasi ini menunjukkan filter tidak hanya efektif dalam mereduksi arus harmonik, tetapi juga mampu meningkatkan kestabilan tegangan pada titik-titik distribusi utama, sehingga kualitas daya sistem secara keseluruhan menjadi jauh lebih baik.



Gambar 6. (a) Spektrum Harmonik perbandingan sebelum dan setelah filter, (b) Kurva Harmonik perbandingan sebelum dan setelah filter

Tabel 3. Perubahan Spektrum Harmoik

Orde	Sebelum Filter (%)	Setelah Filter (%)
5	11,3	0,7%
7	5,37	0,14
11	4,59	0,03

Terlihat perbedaan yang signifikan antara sistem sebelum dan setelah menggunakan filter, dimana sebelum menggunakan filter sistem mengalami harmonisa yang sangat tinggi khususnya pada orde 5, 7 dan 11 akibat dari penggunaan *Variable Speed Drive*. Ini juga berdampak pada gelombang listrik yang terdistorsi dan tidak berbentuk sinusoidal murni. Sedangkan setelah penggunaan filter, terlihat bahwa harmonisa pada sistem dapat direduksi dengan sangat efektif, dimana sebelum penggunaan filter *voltage spectrum* tertinggi (orde 5) berada diangka 11,3% sedangkan setelah pemasangan filter dapat diturunkan hingga 0,7%. Filter ini juga memperbaiki gelombang sinusoidal yang sebelumnya terdistorsi, setelah menggunakan filter gelombang sinusoidal tersebut mendekati bentuk sinusoidal murni nya.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi menggunakan *software* ETAP, dapat disimpulkan pemasangan filter pasif *single tuned* mampu meningkatkan kualitas daya pada sistem distribusi dengan beban *non-linear* seperti pada kasus ini *Variable Speed Drive* (VSD). Sebelum pemasangan filter, sistem menunjukkan hasil yang tidak efisien, dengan faktor daya hanya sebesar 86,59%, arus tinggi sebesar 6.297 A pada Bus9, serta tegangan pada Bus9 dan Bus10 yang turun hingga 96,93%. Kondisi ini telah memasuki *critical condition*. Selain itu, Total Harmonic Distortion (THD) mencapai 14,92%, yang melebihi ambang batas standar IEEE 519.

Setelah pemasangan filter pasif *single tuned*, terjadi peningkatan pada performa sistem. Faktor daya meningkat menjadi 98,83% di sisi beban, arus turun menjadi 5.369 A, dan tegangan pada Bus9 dan Bus10 meningkat ke 99,68%, yang menandakan sistem kembali ke zona stabil. THD juga berhasil diturunkan hingga 1,84%, jauh di bawah ambang batas. Sehingga hasil dari laporan ini membuktikan bahwa filter pasif *single tuned* efektif dalam mereduksi harmonisa dominan, memperbaiki profil tegangan, mengurangi rugi-rugi daya, serta meningkatkan efisiensi sistem tenaga secara keseluruhan.

❖ UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dilakukan melalui penerapan pembelajaran berbasis proyek pada Mata Kuliah Kendali Mesin Listrik dan Mata Kuliah Kualitas Daya yang dilaksanakan selama 1 Semester.

❖ DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. S. Utomo and I. Irfan, “Efisiensi Energi Listrik Menggunakan Variable Speed Drive (VSD) Pada Motor Induksi 3 Fasa,” *J. EEICT (Electric Electron. Instrum. Control Telecommun.*, vol. 5, no. 2, pp. 35–39, 2022, doi: 10.31602/eeict.v5i2.9214.
- [2] A. Prasetyo and A. Darwanto, “Analisis Simulasi Gelombang Harmonisa dan Instalasi Filter Menggunakan ETAP 12.6 pada Bus PWI di JOB Pertamina - Petrochina East Java Tuban,” *Simetris*, vol. 14, no. 1, pp. 22–27, 2020.
- [3] E. Zondra and M. Putra Halilintar, “Analisis Pemasangan Filter Pasif Untuk Mereduksi Harmonisa Variable Speed Drive di PT. IKPP Perawang,” *J. Sain, Energi, Teknol. Ind.*, vol. 8, no. 1, pp. 1–12, 2023, doi: 10.31849/sainetin.v8i1.10030.
- [4] Rido Rahmadani, “Analisis Pemasangan Filter Pasif Untuk Mengurangi Harmonisa Pada Transformator Rectifier Di PT. Indah Kiat Pulp And Paper Perawang,” *SainETIn*, vol. 3, no. 2, pp. 59–68, 2020, doi: 10.31849/sainetin.v3i2.3083.
- [5] D. E. Okojie, H. O. Omoregbee, C. G. Richards, A. F. Nnachi, and B. W. Bornebroek, “Harmonic generation of variable speed drive under complex-voltage unbalance conditions,” *J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 69, no. 1, pp. 1–16, 2022, doi: 10.1186/s44147-022-00146-9.
- [6] T. Harianto, Y. Shalahuddin, and D. A. Widining K., “Filter Pasif Single Tuned LC sebagai Kompensator Harmonisa Pada Beban Listrik Rumah Tangga Menggunakan Matlab Simulink,” *Setrum Sist. Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer*, vol. 7, no. 1, p. 127, 2018, doi: 10.36055/setrum.v7i1.3416.
- [7] A. M. Risca, M. Facta, and D. Denis, “Perencanaan Filter Pasif Pada Sisi Tegangan Rendah Untuk Mengurangi Harmonisa Beban Non-Linear Di Departemen Teknik Elektro Universitas Diponegoro,” *Transient J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 10, no. 3, pp. 543–551, 2021, doi: 10.14710/transient.v10i3.543-551.
- [8] MARCHTINDRA. AL, A. Atmam, and E. Zondra, “Analisis Harmonisa Menggunakan Filter Pasif pada Variable Speed Drive (VSD) dengan Beban Motor Electrical Submersible Pump (ESP) di PT. Chevron Pasific Indonesia (CPI),” *J. Tek.*, vol. 15, no. 1, pp. 9–17, 2021, doi: 10.31849/teknik.v14i2.4029.
- [9] R. S. Widagdo, K. Setyadjit, and I. A. Wardah, “Analysis and Mitigation of Harmonics Distortion with Optimization Capacitor Banks and Single-Tuned Passive Filters,” *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 5, no. 2, pp. 204–209, 2023, doi: 10.37905/jjee.v5i2.19016.
- [10] R. S. Widagdo and A. H. Andriawan, “Harmonic Mitigation with Active Filter in Coal Boiler Plant PT. Salim Ivomas Pratama,” *J. Elektro dan Mesin Terap.*, vol. 9, no. 2, pp. 235–245, 2023, doi: 10.35143/elementer.v9i2.6047.
- [11] Rido Rahmadani, Atmam, and Elvira Zondra, “Analisis Pemasangan Filter Pasif Untuk Mengurangi,” *SainETIn (Jurnal Sain, Energi, Teknol. Ind.*, vol. 9, no. 1, pp. 1–10, 2019.
- [12] I. S. Tauladan, H. Novia, and A. Gunawan, “Penerapan Sensor PZEM-004T Untuk Monitoring Tegangan Fluktuasi 1 Fasa dengan Menggunakan Metode Fast Fourier Transform (FFT),” *J. Elektro dan Mesin Terap.*, no. 20, 2024, doi: 10.35143/elementer.v10i2.
- [13] R. A. Ananto, R. Duanaputri, and A. H. Santoso, “Perencanaan Desain Single Tuned Passive Filter Harmonisa Pada AC Microgrid Turbin Tenaga Angin,” *Elposys J. Sist. Kelistrikan*, vol. 10, no. 1, pp. 78–81, 2023, doi: 10.33795/elposys.v10i1.1025.
- [14] Y.-S. Cho and H. Cha, “Single-tuned Passive Harmonic Filter Design Considering Variances of Tuning and Quality Factor,” *J. Int. Counc. Electr. Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 7–13, 2011, doi: 10.5370/jicee.2011.1.1.007.
- [15] A. Irawan, “Analisis Pemasangan Filter Pasif Single Tuned Untuk Mereduksi Harmonisa Pada Motor Listrik Satu Fasa,” *SainETIn (Jurnal Sain, Energi, Teknol. Ind.*, vol. 9, no. 1, pp. 24–31, 2024.