



# ANALISIS REDUKSI HARMONISA (STUDI KASUS *POWER QUALITY* DI PDS *LINE 1* STASIUN ASEAN MRT JAKARTA)

Alfikri Raihan Nugraha <sup>1</sup>, Agus Suryanto <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universitas Negeri Semarang, 50228, Indonesia

<sup>2</sup> Universitas Negeri Semarang, 50228, Indonesia

<p><b>INFORMASI ARTIKEL</b></p>	<p><b>A B S T R A K</b></p>
<p>Received: December 18, 2024 Revised: March 23, 2025 Available online: March 24, 2025</p>	<p>Penelitian ini diambil sebagai studi kasus terkait reduksi harmonisa di Stasiun ASEAN MRT Jakarta. Stasiun ASEAN memiliki gardu non traksi atau PDS (<i>power distribution system</i>) yang berfungsi sebagai catu daya untuk keperluan kelistrikan dan persinyalan di stasiun. PDS <i>line 1</i> Stasiun ASEAN ditemukan gangguan harmonisa atau THDi yang belum memenuhi standar aman IEEE 519-2014 yaitu sebesar 8%. Oleh karena itu, diperlukan analisis untuk mereduksi harmonisa dengan menggunakan filter pasif <i>single tuned</i> pada software ETAP, mengingat saat ini belum ada filter harmonisa yang terpasang dan <i>maintenance</i> terkait mitigasi harmonisa. Dari data <i>power quality</i> di lapangan selama 3 hari, didapatkan bahwa gangguan harmonisa tertinggi berada pada fasa R pada hari Selasa (2/7/2024). Rata-rata THDi sebesar 39,90% dan THDv sebesar 1,16% dengan karakteristik faktor daya negatif atau <i>leading</i>. Hasil penelitian menunjukkan bahwa filter pasif <i>single tuned</i> mampu mereduksi harmonisa pada orde penyumbang tertinggi (orde 5, 7, dan 11) pada simulasi ETAP dengan efektifitas reduksi THDi sebesar 91,81% pada hari Selasa (2/7/2024), 91,62% pada hari Rabu (3/7/2024), dan 90,01% pada hari Kamis (4/7/2024). Sedangkan untuk THDv adalah 76,16% pada hari Selasa (2/7/2024), 75,85% pada hari Rabu (3/7/2024), dan 74,77% pada hari Kamis (4/7/2024). Namun, pemasangan filter ini kurang efektif atau tidak direkomendasikan pada karakteristik pembebanan kapasitif (<i>leading</i>) di PDS <i>line 1</i> Stasiun ASEAN karena mengakibatkan penurunan faktor daya menjadi 0,48 (<i>leading</i>).</p> <p>Kata kunci— Harmonisa, Filter Pasif Single Tuned, THDi, THDv</p>
<p><b>CORRESPONDENCE</b></p>	<p><b>A B S T R A C T</b></p>
<p>E-mail: <sup>1</sup> <a href="mailto:alfikriraihan28@students.unnes.ac.id">alfikriraihan28@students.unnes.ac.id</a></p>	<p>This research is taken as a case study related to harmonic reduction at the ASEAN Station MRT Jakarta. ASEAN Station has a non-traction substation or PDS (<i>power distribution system</i>) which functions as a power supply for electrical and signaling purposes. PDS <i>line 1</i> ASEAN Station has a THDi value that is not in accordance with the safe standard of IEEE 519-2014 which is 8%. Therefore, an analysis is needed to reduce harmonics by using a single tuned passive filter in ETAP software, considering that currently there is no harmonic filter installed. From power quality data in the field for 3 days, it was found that the highest harmonic disturbance was in phase R on Tuesday (2/7/2024). The average THDi is 39.90% and THDv is 1.16% with negative or leading power factor characteristics. The results showed that the single tuned passive filter was able to reduce harmonics at the highest contributing orders (orders 5, 7, and 11) in the ETAP simulation with THDi reduction effectiveness of 91.81% on Tuesday (2/7/2024), 91.62% on Wednesday (3/7/2024), and 90.01% on Thursday (4/7/2024). As for THDv, it was 76.16% on Tuesday (2/7/2024), 75.85% on Wednesday (3/7/2024), and 74.77% on Thursday (4/7/2024). However, the installation of this filter is less effective or not recommended in the characteristics of capacitive loading (<i>leading</i>) in PDS <i>line 1</i> ASEAN Station because it results in a decrease in power factor to 0.48 (<i>leading</i>).</p> <p>Keywords— Harmonic, Single tuned passive filter, THDi, THDv</p>

## I. PENDAHULUAN

Dalam beberapa studi, disebutkan bahwa permasalahan kualitas daya listrik khususnya pada level distribusi tenaga listrik sering ditemukan penurunan tegangan (*voltage sag*) dan harmonisa oleh pengguna industri dan komersial

(Kumar & Arya, 2025). Stasiun ASEAN MRT Jakarta merupakan salah satu fasilitas milik MRT Jakarta yang di dalamnya termasuk ke dalam sistem PDS (*power distribution system*). Sistem distribusi tenaga listrik atau PDS ini memiliki risiko munculnya gangguan harmonisa

karena berkaitan langsung dengan proses pembebanan di stasiun. Apabila tidak dilakukan mitigasi terkait harmonisa, maka akan berpengaruh jangka panjang bagi *lifetime* instalasi listrik yang terpasang karena dapat menyebabkan panas atau ketidakstabilan beban akibat dari adanya arus harmonisa (Mujahid et al., 2021).

Harmonisa termasuk ke dalam jenis gangguan kelistrikan. Gangguan kelistrikan adalah sebuah kondisi yang mengakibatkan tidak normalnya sebuah sistem tersebut dalam beroperasi, sehingga sistem tidak dapat bekerja dalam keadaan yang seharusnya (Pardede & Pujiantara, 2021). Sistem kelistrikan yang ideal yaitu minim dari gangguan tersebut, sehingga apabila terdapat gangguan dalam sistem kelistrikan akan mempengaruhi operasional di MRT Jakarta khususnya di stasiun dan kereta (Ratangga). Oleh 2 karena itu, penting menjaga keandalan dan kualitas operasional MRT Jakarta agar tetap beroperasi dengan andal dan optimal, karena MRT Jakarta merupakan salah satu objek vital nasional. Hal ini dikarenakan kualitas produksi atau pelayanan dari sebuah industri sangat bergantung dari kualitas sistem kelistrikan yang dimiliki (Pujiantara et al., 2021).

Filter pasif *single tuned* merupakan salah satu dari jenis filter yang dapat mereduksi munculnya gangguan harmonisa. Harmonisa bisa bersumber dari beban – beban non-linear seperti perangkat elektronik, VFD (*variable frequency drive*) UPS (*uninterruptible power supply*), *converter*, dan lain sebagainya (Alonzo dan Alizadeh dalam Mujahid dkk. (2021)). Filter jenis ini banyak digunakan pada masalah harmonisa yang muncul di sisi distribusi tenaga listrik. Alasan kenapa filter jenis ini banyak digunakan karena filter ini dapat mereduksi arus harmonisa dengan baik pada frekuensi yang dekat dari titik tuning-nya, memiliki resistansi rendah, struktur yang sederhana, potensi losses yang rendah, dan tentunya lebih hemat biaya serta perawatan yang mudah (Hsiao et al., 2024).

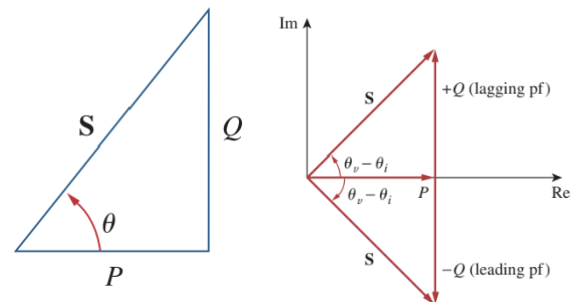
Dari penelitian Awadalla, Omer, dan Mohamed dalam Mujahid dkk. (2021) didapatkan bahwa untuk mereduksi harmonisa yang muncul pada sistem kelistrikan bisa dilakukan dengan menggunakan filter pasif jenis *single tuned* melalui pemodelan dan simulasi di *software* ETAP dan mampu mereduksi harmonisa pada orde ke-5 dan orde ke-7. Pada penelitian ini akan menggunakan ETAP versi 21.0.1 untuk melakukan analisis dan simulasi *load flow harmonic* untuk menentukan *rating* dari filter pasif *single tuned*. Bentuk *wiring diagram* akan direpresentasikan melalui ETAP 21.0.1 untuk mendapatkan analisis *load flow* dari sistem, sehingga akan mempermudah proses analisis dalam reduksi harmonisa di PDS *line* 1 Stasiun ASEAN.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Konsep Daya Listrik

Arus netral, faktor daya rendah, ketidakseimbangan beban (*load unbalance*), komponen harmonisa, dan kebutuhan daya reaktif merupakan beberapa contoh masalah yang ditemui dalam daya listrik (Akbari & Zare Ghaleh Seyyedi, 2024). Dalam konsep daya listrik, harmonisa menjadi faktor penting kualitas daya (*power quality*) akibat dari penggunaan beban non-linear (*non-linear loads*) (Rustemli et al., 2023). Konsep daya listrik menjadi sebuah ukuran untuk menyatakan produksi energi listrik dari sebuah pembangkit hingga penggunaan energi pada beban listrik

dengan pendekatan segitiga daya. Segitiga daya adalah sebuah pendekatan sederhana untuk memahami bagaimana representasi dari daya semu (S), daya reaktif (Q), dan daya aktif (P) (Alexander & Matthew n. o. Sadiku, 2013).



Gambar 1. Segitiga daya listrik

Dari konsep segitiga daya, maka didapatkan persamaan berikut.

$$1) \text{ Listrik satu fasa} \\ S = V \times I \quad (1)$$

$$P = V \times I \times \cos \theta = S \times \cos \theta \quad (2)$$

$$Q = V \times I \times \sin \theta = S \times \sin \theta \quad (3)$$

$$\cos \theta = \frac{P}{S} \quad (4)$$

$$2) \text{ Listrik tiga fasa} \\ S = V \times I \times \sqrt{3} \quad (5)$$

$$P = V \times I \times \cos \theta \times \sqrt{3} = S \times \cos \theta \quad (6)$$

$$Q = V \times I \times \sin \theta \times \sqrt{3} = S \times \sin \theta \quad (7)$$

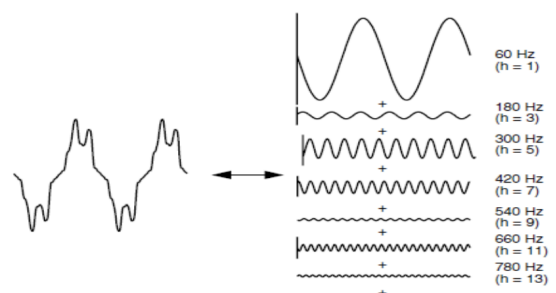
$$Q = \sqrt{P^2 + S^2} \quad (8)$$

$$\cos \theta = \frac{P}{S} \quad (9)$$

Faktor daya *lagging* mengindikasikan sebuah pembebanan listrik yang cenderung induktif, sehingga akan mempengaruhi bentuk segitiga daya dan sudut phi ( $\cos \phi$ ) yang bernilai positif. Sebaliknya, faktor daya *leading* akan mengindikasikan sebuah pembebanan listrik yang bersifat kapasitif, sehingga akan mempengaruhi bentuk segitiga daya dan sudut phi ( $\cos \phi$ ) yang bernilai negatif (Alexander & Matthew n. o. Sadiku, 2013).

### B. Harmonisa

Menurut Setiawan (2007) dalam Nugroho & Reza (2022) menyebutkan bahwa bentuk gelombang sinusoidal akan mengalami distorsi gelombang menjadi bentuk tidak murni (non-sinusoidal) jika bergabung dengan frekuensi sumber.



Gambar 2. Bentuk gelombang distorsi harmonik

C. Total Harmonic Distortion (THD)

Untuk menganalisis suatu harmonisa (THDi dan THDv) memerlukan pendekatan dengan penghitungan THD (*Total Harmonic Distortion*). *Total Harmonic Distortion* (THD) adalah penghitungan harmonisa total yang bisa diamati untuk tegangan (THDv) dan arus (THDi) (Kritsanasuwan et al., 2022).

$$THDv = \frac{\sqrt{\sum V_n^2}}{V_1} \tag{10}$$

$$THDi = \frac{\sqrt{\sum I_n^2}}{I_1} \tag{11}$$

Dari persamaan di atas dapat diketahui nilai  $V_1$  dan  $I_1$  adalah nilai dasar atau fundamental untuk harmonisa tegangan dan arus, sedangkan  $V_n$  dan  $I_n$  adalah bukan nilai fundamental harmonisa untuk tegangan dan arus. Dari persamaan (10) dan (11) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$THDv = \frac{\sqrt{\sum_{h>1}^{h_{max}} V_h^2}}{V_1} \tag{12}$$

$$THDi = \frac{\sqrt{\sum_{h>1}^{h_{max}} I_h^2}}{I_1} \tag{13}$$

D. Individual Harmonic Distortion (IHD)

Individual Harmonic Distortion (IHD) adalah nilai perbandingan dari RMSIHD dengan RMS frekuensi dasar (Alfarizi, 2021). Sama seperti THD, IHD dapat dinyatakan dalam bentuk persen maupun dalam satuan nominal arus atau tegangan RMS sesuai dari kelipatan frekuensi harmonisa. IHD dalam istilah lain juga bisa disebut sebagai orde harmonisa baik dalam bentuk tegangan maupun arus. Berikut adalah persamaan untuk sebuah IHDi dan IHDv.

$$IHDv = \frac{V_{h\ ke-n}}{V_1} \times 100\% \tag{14}$$

$$IHDi = \frac{I_{h\ ke-n}}{I_1} \times 100\% \tag{15}$$

E. IEEE 519-2014

Untuk mengetahui lebih dalam tentang pedoman standar ini, perlu diketahui bahwa untuk tingkat distribusi (atau *end user*) IEEE memberikan batasan untuk injeksi arus harmonisa pada PCC (*point of common coupling*). Dari standar IEEE 519-2014, nilai harmonisa pada sistem tenaga listrik dengan tegangan 20kV adalah tidak lebih dari 5% untuk harmonik individu dan 8% untuk total harmonik tegangan (THDv).

Tabel 1. Standar distorsi tegangan (THDv dan IHDv) IEEE 519-2014

Bus Voltage V at PCC	Individual Harmonic (%)	Total Harmonic Distortion (THD) (%)
$V \leq 1.0kV$	5.0	8.0
$1kV < V \leq 69kV$	3.0	5.0

$69kV < V \leq 161kV$	1.5	2.5
$161kV < V$	1.0	1.5

THDi atau distorsi arus juga dinyatakan dalam bentuk persen dengan standar rekomendasi dari IEEE 519-2014. Berdasarkan tabel 1 elektrifikasi pada sistem berada pada kategori  $V \leq 1.0kV$ , sehingga perlu dilakukan kalkulasi untuk mengetahui persamaan hubung singkat ( $I_{sc}$ ) (Akbar & Nugraha, 2024). Berikut adalah beberapa persamaannya.

$$I_{sc} = \frac{I_{FL}}{Z\%} = \frac{S \times 100\%}{\sqrt{3} \times V \times Z(\%)} \tag{16}$$

$$I_L = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} = \frac{kW}{\sqrt{3} \times kV \times PF} \tag{17}$$

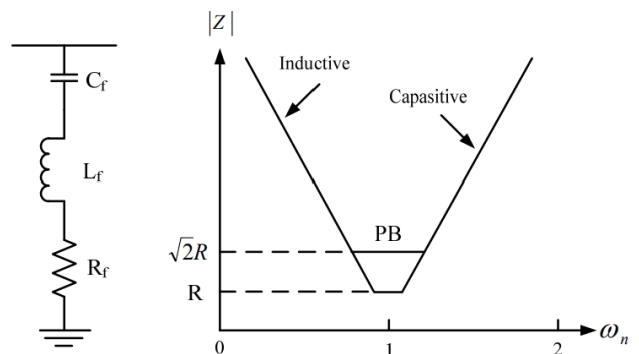
$$R_{sc} = \frac{I_{sc}}{I_L} \tag{18}$$

Tabel 2. Standar distorsi arus (TDD dan IHDi) dari IEEE 519-2014 untuk sistem  $120 \leq V < 69kV$

Maximum harmonic current distortion in percent of $I_L$						
Individual harmonic order (odd harmonics)						
$I_{sc}/I_L$	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
$< 20$	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
$20 < 50$	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
$50 < 100$	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
$100 < 1000$	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
$> 1000$	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

F. Filter Pasif *Single Tuned*

Filter pasif adalah rangkaian yang susunannya terdiri dari komponen listrik seperti induktor (L), kapasitor (C), dan resistor (R) (Rahmadani et al., 2020). Komponen utama dari penyusun filter pasif adalah induktor (L) dan kapasitor (C). Kapasitor dipasang secara seri untuk mendapatkan total nilai tegangan dan kVAR yang diinginkan, sedangkan induktor dalam rangkaian filter akan berfungsi sebagai penahan selubung frekuensi tinggi berupa efek kulit (*skin effect*).



Gambar 3. Rangkaian filter pasif *single tuned* (kiri) dan grafik *tuning* impedansi (Z) filter pasif *single tuned* (kanan)

Gambar di atas merupakan bentuk rangkaian filter pasif *single tuned* (kiri). Filter pasif *single tuned* tersusun dari komponen kapasitor ( $X_C$ ), induktor ( $X_L$ ), dan resistor (R).

Filter pasif RLC atau jenis single tuned memiliki kemampuan mereduksi harmonisa yang baik apabila dipasang di masing-masing fasa, sehingga sistem tenaga listrik dapat beroperasi dengan baik (Mohd Nor & Abdullah, 2024). Berikut adalah parameter yang digunakan untuk menentukan *rating* filter pasif *single tuned* (Fernando et al., 2024).

1) Menentukan kompensasi daya reaktif

$$\Delta Q = P \times [\tan(\cos^{-1} \theta_{awal}) \tan(\cos^{-1} \theta_{target})] \quad (19)$$

$$Q_2 \sqrt{S_2^2 - P^2} \quad (20)$$

$$\Delta Q = Q_1 - Q_2 \quad (21)$$

2) Menentukan *rating* kapasitor untuk filter

$$X_C = \frac{V_L - L^2}{\Delta Q} \quad (22)$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f X_C} \quad (23)$$

3) Menentukan *rating* induktor untuk filter

$$X_L = \frac{X_C}{n^2} \quad (24)$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} \quad (25)$$

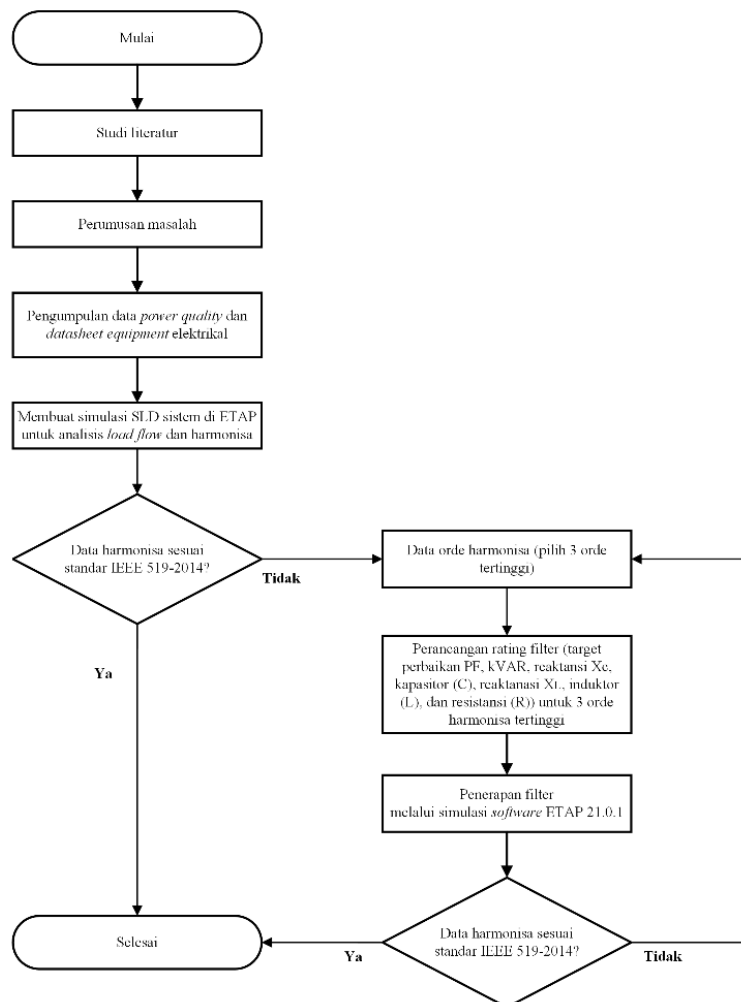
4) Menentukan *rating* resistor

$$R = \frac{X_L}{Q_f} \quad (26)$$

### III. METODE PENELITIAN

#### A. Diagram Alir Penelitian

Berikut adalah diagram alir untuk analisis dan simulasi secara keseluruhan dari penelitian.



Gambar 4. Diagram alir penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen dengan melakukan analisis dan simulasi yang dibantu oleh software ETAP. Untuk melakukan analisis dan simulasi, akan dilakukan pengambilan data di lokasi penelitian terlebih dahulu. Data – data yang diperoleh dari proses pengukuran dan pengumpulan akan diolah ke dalam simulasi ETAP, sehingga akan didapatkan bentuk single line

diagram agar untuk melihat aliran daya (load flow) dari sistem. Setelah merepresentasikan bentuk sistem kelistrikan tersebut, maka akan akan didapatkan nilai harmonisa yang sesuai dengan kondisi eksisting di lapangan. Selanjutnya akan dilakukan perancangan dan penghitungan rating dari filter harmonisa melalui software ETAP 21.0.1. Hasil perancangan dan rating ini akan dianalisis sehingga

didapatkan rating yang tepat untuk mereduksi harmonisa pada sistem.

Penelitian di lapangan diawali dengan proses pengambilan data primer di lapangan. Data primer yang digunakan adalah data yang bersumber dari proses pengukuran instrumen kelistrikan seperti tegangan, arus, harmonisa, dan daya (semu, aktif, dan reaktif). Adapun alur untuk mendapatkan data tersebut adalah sebagai berikut.

Setelah melakukan pengambilan dan pengukuran data PQA, maka data tersebut akan dijadikan sebagai input untuk membuat sistem di software ETAP 21.0.1 untuk mendapatkan kondisi eksisting di lapangan melalui SLD yang dibuat di software ETAP. Dari simulasi dan analisis load flow akan didapatkan nilai PQA atau profil daya, yang selanjutnya akan digunakan sebagai parameter rating filter pasif single tuned. Untuk analisis harmonisa, akan dilakukan load flow harmonic di software ETAP dan akan dilakukan komparasi dengan standar aman rekomendasi IEEE 519-2014 yang selanjutnya akan dilakukan mitigasi dengan reduksi harmonisa.

#### 1) Studi Literatur

Penelitian diawali dengan mencari dan membaca literatur terkait gangguan kelistrikan harmonisa pada sistem distribusi tenaga listrik. Literatur bersumber dari beberapa bahan bacaan seperti artikel jurnal ilmiah dan penelitian – penelitian (tesis dan skripsi) yang memiliki relevansi dengan penelitian yang akan berlangsung.

#### 2) Perumusan Masalah

Permasalahan yang didapatkan dari studi literatur dan pengalaman yang penulis pernah lakukan. Perumusan masalah ini diharapkan akan menjawab dan menemukan solusi dari permasalahan yang muncul, sehingga pada penelitian ini diharapkan akan terselesaikan.

#### 3) Pengumpulan Data PQA dan Datasheet Elektrikal

Data PQA (power quality analyzer) merupakan sekumpulan data yang di dalamnya terdapat beberapa parameter kualitas daya listrik, termasuk jenis gangguan seperti harmonisa. Selain itu juga dilakukan pengumpulan data spesifikasi atau datasheet dari equipment elektrikal milik MRT Jakarta, khususnya di PDS line 1 Stasiun ASEAN.

4) Setelah mendapatkan data terkait datasheet equipment pada sistem elektrikal, maka selanjutnya akan dilakukan simulasi dari sistem kelistrikan dengan software ETAP 21.0.1. Simulasi ini dibuat untuk melihat bagaimana aliran daya (load flow) dari sistem kelistrikan yang ada, agar pemilihan filter pasif single tuned lebih mudah dilakukan.

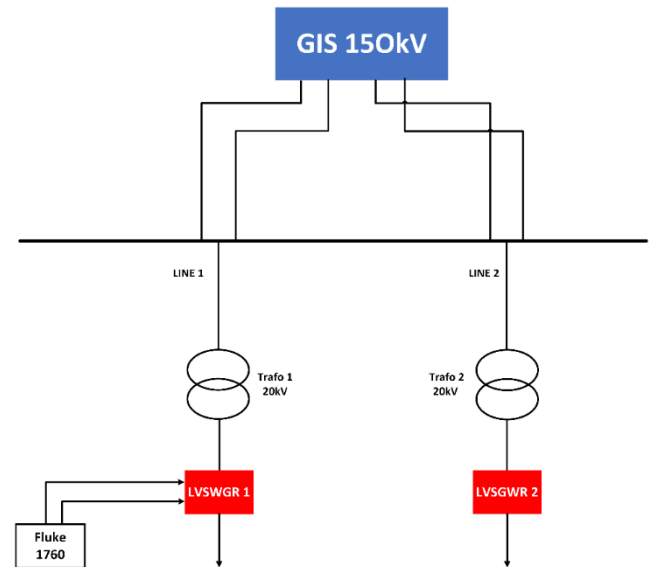
5) Proses ini bertujuan untuk menentukan spesifikasi dari filter yang akan digunakan. Ada beberapa parameter yang harus dihitung terlebih dahulu seperti menentukan nilai faktor daya, menentukan target daya reaktif (kVAR), nilai atau rating kapasitansi dari kapasitor, nilai atau rating induktansi dari induktor, dan terakhir nilai resistansi.

#### 6) Simulasi Filter Pasif Single Tuned

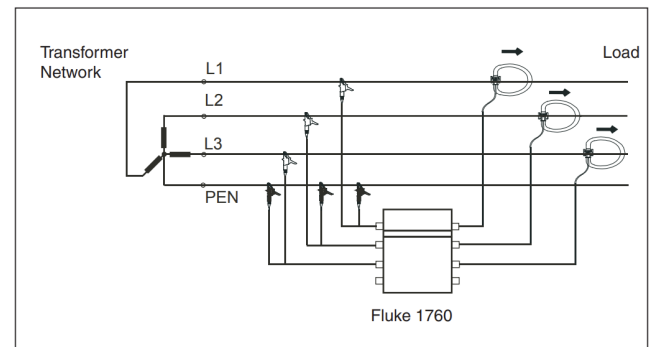
Setelah perencanaan dan penghitungan dilakukan, selanjutnya adalah menjalankan simulasi pada software ETAP 21.0.1. Hasil simulasi akan dilakukan komparasi dengan standar rekomendasi IEEE 519-2014 terkait nilai harmonisa yang aman pada level distribusi tenaga.

### B. Cara Kerja dan *Setting Wiring System* Alat PQA

Untuk mendapatkan data pengukuran PQA, akan digunakan alat Fluke 1760 Three-Phase PQ Recorder sebagai alat ukur untuk mendapatkan profil kualitas daya dan nilai harmonisa pada sistem elektrikal PDS Line 1 Stasiun ASEAN. Setting wiring alat ini akan dipasang pada panel LVSWGR (low voltage switchgear) yang posisinya berada pada sisi outgoing trafo 20kV di line 1. Durasi pengambilan data diambil selama 3 hari dengan interval data pencuplikan setiap 10 menit. Berikut adalah gambar setting wiring alat PQA.



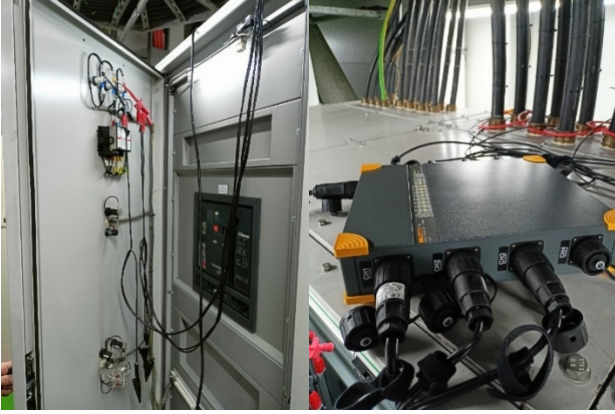
Gambar 5. Skema pemasangan alat PQA Fluke 1760



Gambar 6. Wiring system alat PQA

Berikut adalah dokumentasi pemasangan alat PQA Fluke 1760 Three-Phase PQ Recorder di Panel LVSWGR line 1 Stasiun ASEAN.



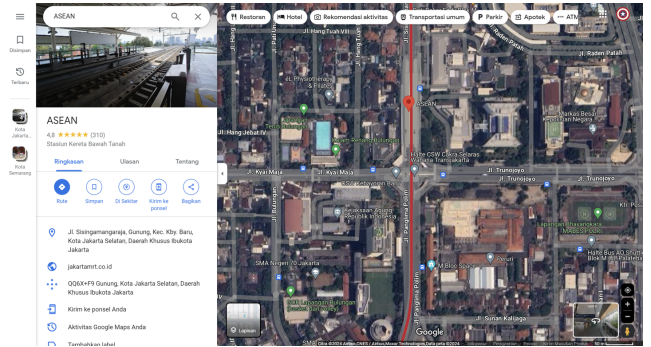


Gambar 7. Gambar wiring alat PQA Fluke 1760 (kiri) & alat PQA Fluke 1760 (kanan)

### C. Lokasi Penelitian

Penelitian dimulai pada tanggal 1 Juli hingga 5 Juli 2024 di Railway Power Maintenance MRT Jakarta yang berlokasi

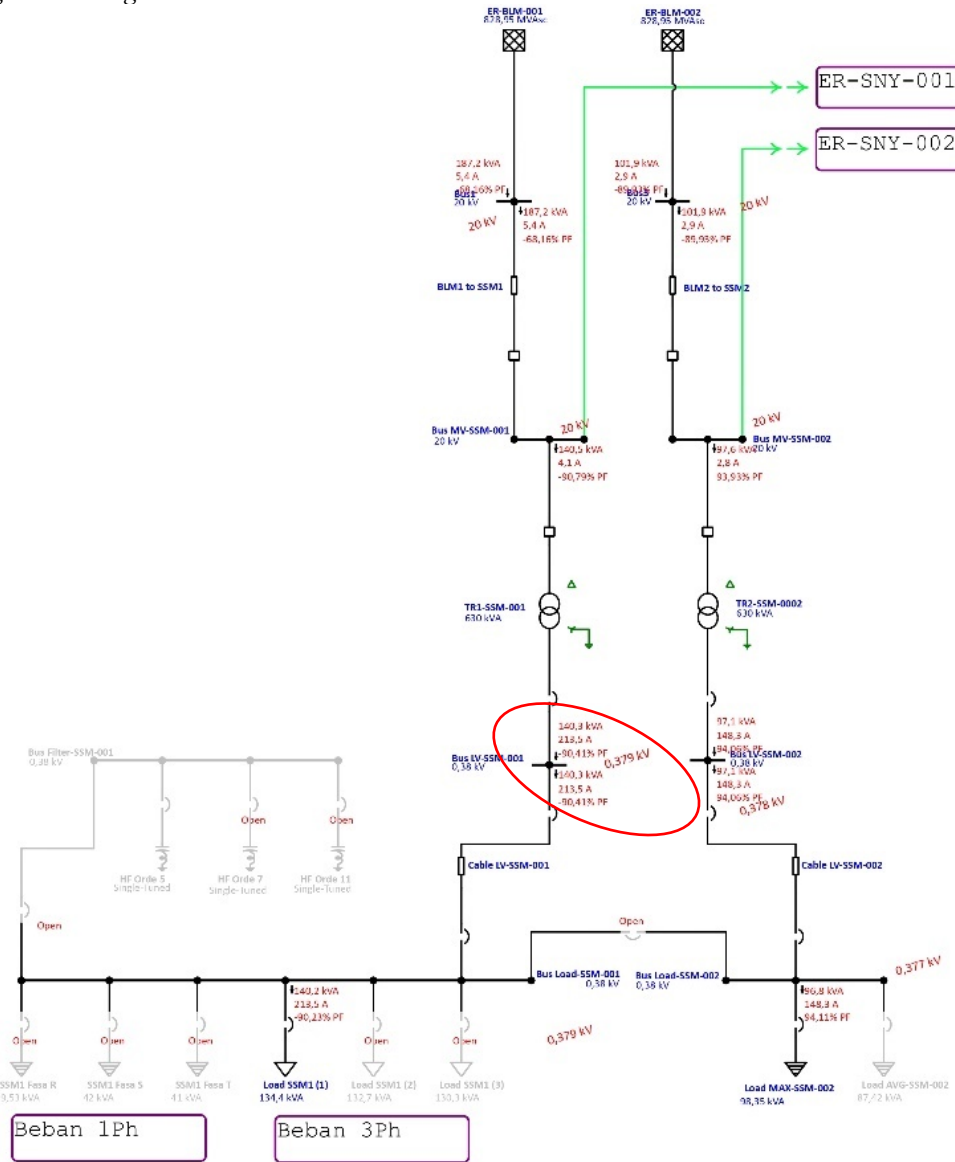
di Depo Kereta MRT Jakarta, Lebak Bulus, Jakarta Selatan dan lokasi kedua sebagai tempat pengambilan data di PDS *line* 1 Stasiun ASEAN. Penelitian ini meliputi kegiatan observasi dan pengambilan data – data primer secara langsung ke lapangan dan didukung oleh beberapa data sekunder dari literatur jurnal ilmiah, modul, serta *manual book* milik Railway Power Maintenance MRT Jakarta.



Gambar 8. Lokasi penelitian Stasiun ASEAN MRT Jakarta

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pemodelan *Single Line Diagram* di ETAP



Gambar 9. *Single line diagram* PDS line 1 Stasiun ASEAN

SLD eksisting PDS line 1 Stasiun ASEAN disimulasikan di *software* ETAP. Melalui simulasi ini, akan didapatkan hasil *load flow* yang menyerupai kondisi asli di lapangan (eksisting). Dari data pengukuran PQA dan harmonisa (THDi dan THDv) selama 3 hari (2/7/2024 – 4/7/2024) akan digunakan sebagai input data beban (*static load*). Dari hasil pengukuran eksisting dan *load flow* di ETAP didapatkan profil daya sebagai berikut.

Tabel 3. Profil daya listrik maksimum di Panel LVSWGR line 1 Stasiun ASEAN Kamis (4/7/2024)

**Hasil Pengukuran Profil Daya Listrik Maksimum di Panel LVSWGR line 1 Stasiun ASEAN Selasa (2/7/2024) – Kamis (4/7/2024)**

Parameter	Selasa	Rabu	Kamis
Daya Aktif	MAX 120,96	118,41	115,94

	(kW)			
Daya Reaktif (kVAR)	MAX	-58,56	-59,94	-59,39
Daya Semu (kVA)	MAX	134,39	132,72	130,27
Tegangan (V)	MAX	371,00	371,95	370,96
Arus (I)	MAX	209,16	206,52	202,75
PF	AVG	-0,90	-0,89	-0,89

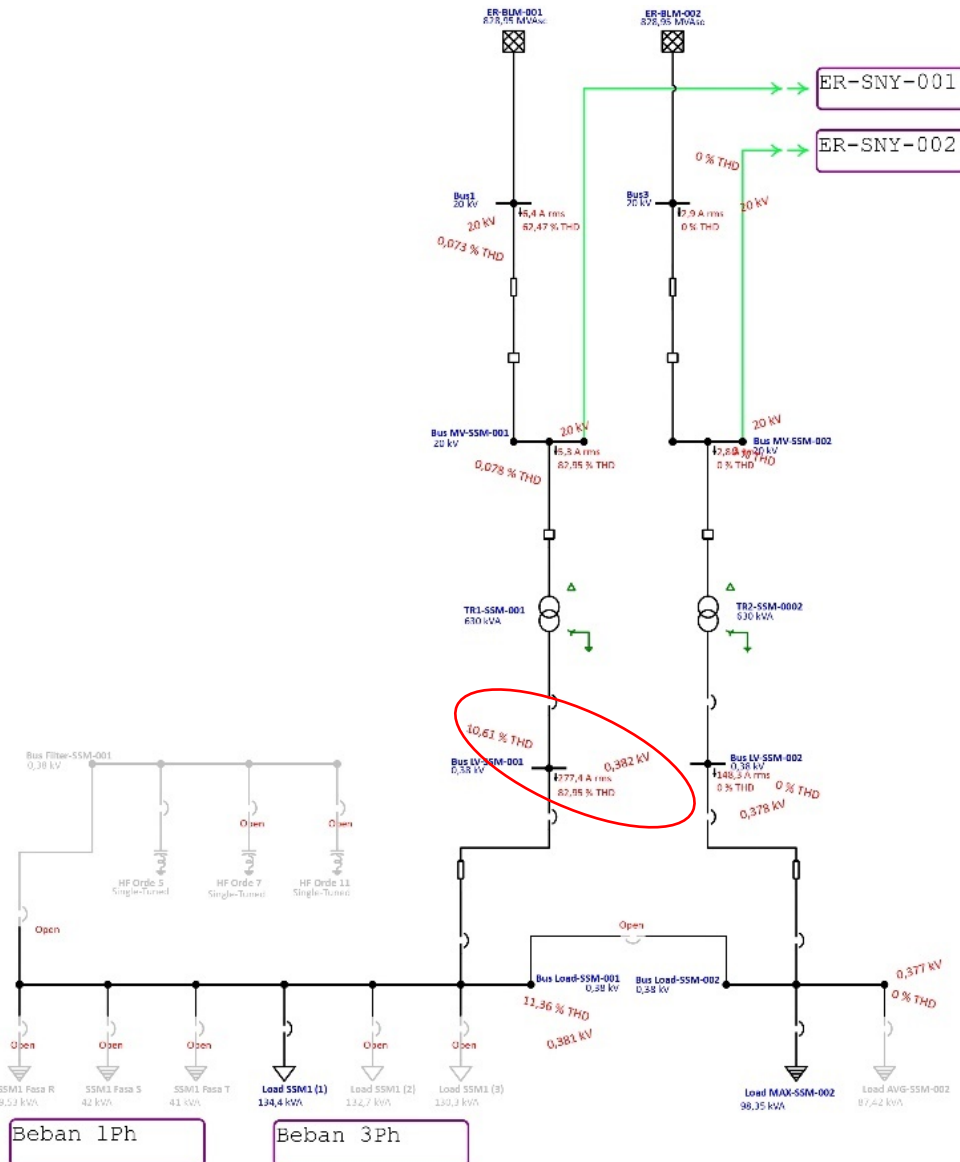
Tabel 4. Hasil simulasi load flow daya listrik di Panel LVSWGR line 1 Stasiun ASEAN

Hasil Simulasi Load Flow Daya Listrik di Panel LVSWGR line 1 Stasiun ASEAN Selasa (2/7/2024) – Kamis (4/7/2024)				
Parameter		Selasa	Rabu	Kamis
Daya Aktif (kW)	MAX	126,80	123,90	122,30
Daya Reaktif (kVAR)	MAX	-60,70	62,80	62,00
Daya Semu (kVA)	MAX	140,60	138,90	137,10

Tegangan (V)	MAX	380,00	380,00	380,00
Arus (I)	MAX	213,80	211,20	208,50
PF	AVG	-0,90	-0,89	-0,89

Profil daya listrik pada tabel 3 dan tabel 4 menunjukkan nilai faktor daya (*power factor*) bernilai negatif. Hal ini mengindikasikan karakteristik pembebanan pada line 1 adalah bersifat kapasitif atau *leading* dengan indikasi *power factor* (PF) bernilai negatif.

B. Hasil Load Flow Harmonic (THDi dan THDv)



Gambar 10. Hasil load flow harmonic untuk pembebanan hari Selasa (2/7/2024)



Dari hasil load flow pada gambar 9 di atas, maka didapatkan nilai THDv dan THDi sebagai berikut.

Tabel 5. Hasil *load flow* harmonisa hari Selasa (2/7/2024) – Kamis (4/7/2024) di software ETAP

Hasil <i>Load Flow</i> Harmonisa Hari Selasa (2/7/2024) – Kamis (4/7/2024) di <i>Software</i> ETAP		
Hari	THDv (%)	THDi (%)
Fasa R hari Selasa (2/7/2024)	11,36	82,95
Fasa S hari Rabu (3/7/2024)	11,14	77,69
Fasa T hari Kamis (4/7/2024)	10,03	62,84

Dari tabel 5, didapatkan bahwa nilai THD tertinggi berada di hari Selasa (2/7/2024) dengan THDv sebesar 11,36% dan THDi sebesar 82,95%. Nilai THD ini belum memenuhi standar IEEE 519-2014 yang dimana untuk THDv adalah sebesar 8% dan THDi atau TDD sebesar 8%. Maka dari itu diperlukan penambahan filter harmonisa yaitu pasif *single tuned* untuk mereduksi nilai harmonisa.

#### C. Penghitungan Rating Filter Harmonisa

Filter pasif *single tuned* tersusun atas komponen induktor (L), kapasitor (C), dan resistor (R). Agar filter ini mampu melakukan reduksi harmonisa pada orde yang dipilih (*tuning*). Dari data yang didapatkan, orde penyumbang harmonisa tertinggi berada di orde ke-5, ke-7, dan ke-11. Maka dari itu, akan digunakan 3 filter pasif *single tuned* untuk mereduksi harmonisa di orde-orde tersebut.

Untuk menentukan nilai atau *rating* filter, maka akan digunakan parameter pembebanan dari profil daya listrik. Pembebanan tertinggi berada di hari Selasa (2/7/2024), sehingga parameter pembebanan pada hari tersebut akan digunakan sebagai parameter untuk menghitung *rating* filter harmonisa yang ada di tabel 3 dan 4. Berikut adalah hasil kalkulasi dari *rating* filter pasif *single tuned* berdasarkan kondisi eksisting dan *load flow* di ETAP.

Tabel 6. Hasil kalkulasi rating filter pasif *single tuned*

Rating Filter Pasif <i>Single Tuned</i> Berdasarkan Hasil <i>load flow</i> di ETAP dan Eksisting	
Orde ke-5	
Parameter	Nilai
$X_C (\Omega)$	7,58
$C (\mu F)$	420,14
$X_L (\Omega)$	0,3032
$L (mH)$	0,965
$R (\Omega)$	0,005
Orde ke-7	
Parameter	Nilai
$X_C (\Omega)$	7,58
$C (\mu F)$	420,14
$X_L (\Omega)$	0,1546

$L (mH)$	0,492
$R (\Omega)$	0,01
Orde ke-11	
Parameter	Nilai
$X_C (\Omega)$	7,58
$C (\mu F)$	420,14
$X_L (\Omega)$	0,0626
$L (mH)$	0,2
$R (\Omega)$	0,01

#### D. Load Flow Harmonic Setelah Pemasangan Filter

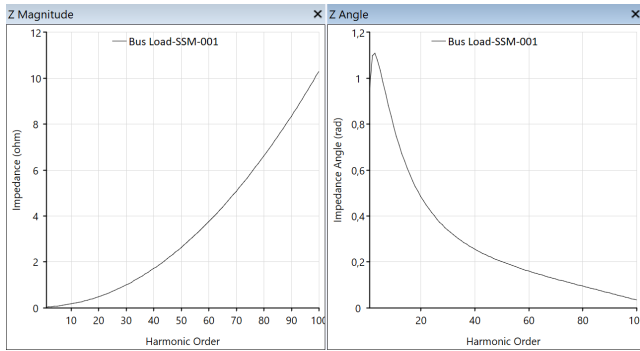
Tabel 7. Perbandingan nilai THDi (eksisting dan ETAP) dan efektifitas reduksi setelah dipasang filter pasif *single tuned*

Perbandingan Nilai THDi (Eksisting dan ETAP) dan Efektifitas Reduksi Setelah Dipasang Filter Pasif <i>Single Tuned</i>			
Hari	THDi (%) (Sebelum Filtering)	THDi (%) (Setelah Filtering)	Efektifitas (%)
Fasa R hari Selasa (2/7/2024)	82,95	6,79	91,81
Fasa S hari Rabu (3/7/2024)	77,69	6,51	91,62
Fasa T hari Kamis (4/7/2024)	62,83	6,43	90,01

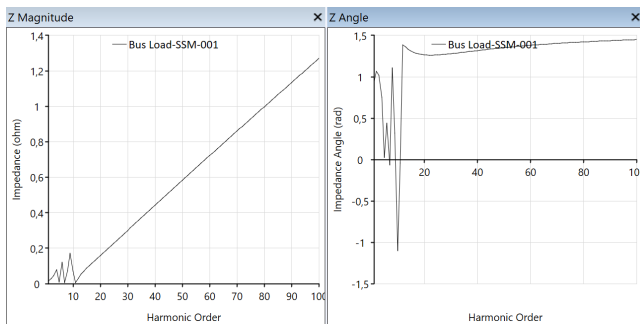
Tabel 8. Perbandingan nilai THDv (eksisting dan ETAP) dan efektifitas reduksi setelah dipasang filter pasif *single tuned*

Perbandingan Nilai THDv (Eksisting dan ETAP) dan Efektifitas Reduksi Setelah Dipasang Filter Pasif <i>Single Tuned</i>			
Hari	THDv (%) (Sebelum Filtering)	THDv (%) (Setelah Filtering)	Efektifitas (%)
Fasa R hari Selasa (2/7/2024)	11,36	2,71	76,16
Fasa S hari Rabu (3/7/2024)	11,14	2,69	75,85
Fasa T hari Kamis (4/7/2024)	10,03	2,53	74,77

Nilai THDi dan THDv mengalami penurunan setelah dilakukan pemasangan filter melalui simulasi di ETAP. THDi fasa R di hari Selasa yang sebelumnya bernilai 82,95% dapat direduksi menjadi 6,79%, fasa S di hari Rabu dapat direduksi dari 77,69% menjadi 6,51%, dan fasa T di hari Rabu dapat direduksi dari 62,83% menjadi 6,43%. Sedangkan untuk nilai THDv mengalami penurunan di fasa R hari Selasa yang sebelumnya bernilai 11,36% dapat direduksi menjadi 2,71%, fasa S di hari Rabu dapat direduksi dari 11,14% menjadi 2,69%, dan fasa T di hari Rabu dapat direduksi dari 10,03% menjadi 2,53%.



Gambar 11. Grafik impedansi (Z) pada Bus-Load-SSM-001 sebelum pemasangan filter pasif single tuned di orde ke-5, ke-7, dan ke-11



Gambar 12. Grafik impedansi (Z) pada Bus-Load-SSM-001 setelah pemasangan filter pasif *single tuned* di orde ke-5, ke-7, dan ke-11

Gambar 7 adalah grafik impedansi (Z) pada Bus-Load-SSM-001 sebelum pemasangan filter pasif *single tuned* di orde ke-5, ke-7, dan ke-11. Grafik impedansi (Z) pada gambar 7 belum menunjukkan adanya proses *tuning* frekuensi atau orde-orde penyumbang harmonisa (orde ke-5, ke-7, dan ke-11), di mana hal ini dibuktikan dengan bentuk grafik yang masih mulus (*smooth*) yang membentuk eksponensial.

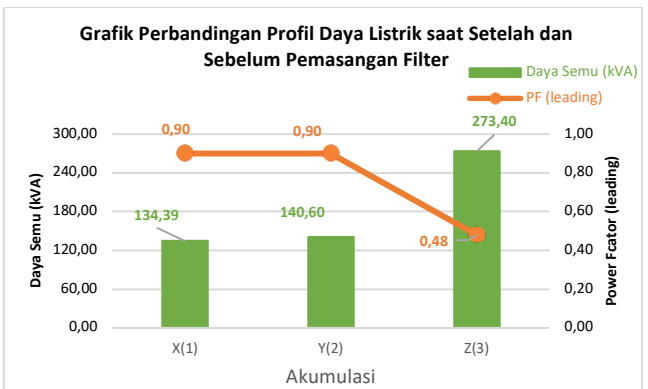
Gambar 8 adalah grafik impedansi (Z) pada Bus-Load-SSM-001 setelah pemasangan filter pasif *single tuned* di orde ke-5, ke-7, dan ke-11. Grafik impedansi (Z) pada gambar 8 terjadi proses reduksi harmonisa di orde ke-5, ke-7, dan ke-11. Grafik pada gambar tersebut menunjukkan adanya bentuk *tuning* yang signifikan dengan terjadinya penurunan impedansi (Z) di orde penyumbang harmonisa. Hal ini membuktikan filter mampu bekerja di orde yang dipilih untuk mereduksi harmonisa. Terjadinya *tuning* pada orde-orde penyumbang harmonisa ini menunjukkan bahwa arus harmonisa mampu dialirkan ke filter pasif *single tuned*, sehingga gangguan harmonisa mampu direduksi dengan optimal.

#### E. Analisis Load Flow Setelah Pemasangan Filter Pasif *Single Tuned*

Hasil load flow harmonic menunjukkan bahwa nilai harmonisa (THDi dan THDv) mampu direduksi dengan baik. Filter pasif *single tuned* juga mampu mereduksi harmonisa dan menyesuaikan dengan standar IEEE 519-2014. Berikut adalah hasil load flow harmonic setelah dipasang filter di sisi beban beserta bentuk gelombang distorsi arus dan spektrum harmonisa di PDS line 1 Stasiun ASEAN.

Tabel 9. Hasil perbandingan profil daya listrik maksimum di panel LVSWGR *line 1* Stasiun ASEAN pada pembebanan hari Selasa, 2/7/2024

Hasil Perbandingan Profil Daya Listrik Maksimum di Panel LVSWGR <i>line 1</i> Stasiun ASEAN pada Pembebanan Hari Selasa, 2/7/2024				
Parameter		X <sup>(1)</sup>	Y <sup>(2)</sup>	Z <sup>(3)</sup>
Daya Aktif (kW)	MAX	120,96	126,80	131,90
Daya Reaktif (kVAR)	MAX	-58,56	-60,70	-239,60
Daya Semu (kVA)	MAX	134,39	140,60	273,40
Tegangan (V)	MAX	371,00	380,00	383,00
Arus (I)	MAX	209,16	213,80	412,20
PF	AVG	-0,90	-0,90	-0,48



Gambar 13. Grafik perbandingan profil daya listrik saat setelah dan sebelum pemasangan filter

#### Keterangan:

- X<sup>(1)</sup> = Kondisi eksisting
- Y<sup>(2)</sup> = Kondisi *load flow* sebelum pemasangan filter (ETAP)
- Z<sup>(3)</sup> = Kondisi *load flow* setelah pemasangan filter (ETAP)

Dari gambar 9 menunjukkan perbedaan pembebanan ketika sebelum dan setelah pemasangan filter pasif di PDS *line 1* Stasiun ASEAN. Perubahan pembebanan signifikan terjadi apabila pemasangan filter pasif *single tuned* dengan ditandai penurunan nilai *power factor* (faktor daya) menjadi -0,48 atau 0,48 (*leading*). Dari hasil simulasi ini didapatkan bahwa pemasangan filter pasif *single tuned* mempengaruhi pembebanan yang sudah terpasang sebelumnya di PDS *line 1* Stasiun ASEAN yang di mana pembebanan di PDS *line 1* Stasiun ASEAN bersifat kapasitif dengan *power factor leading*.

Dari hasil analisis, penempatan filter pasif *single tuned* mampu mereduksi THDi yang menjadi permasalahan utama dengan persentase efektifitas 90,01% - 91,81%. Namun, dari hasil simulasi ini justru mempengaruhi pembebanan yang

sudah terpasang sebelumnya di PDS *line 1* Stasiun ASEAN yang di mana pembebanan di PDS *line 1* Stasiun ASEAN bersifat kapasitif dengan *power factor leading*. Berikut adalah gambar hasil *load flow* saat pemasangan filter pasif *single tuned*.

## V. PENUTUP

### A. Kesimpulan

Hasil penelitian ini didapatkan bahwa filter pasif *single tuned* mampu mereduksi THDi dengan persentase efektifitas 91,81% pada hari Selasa (2/7/2024), 91,62% pada hari Rabu (3/7/2024), dan 90,01% pada hari Kamis (4/7/2024). Sedangkan untuk THDv adalah 76,16% pada hari Selasa (2/7/2024), 75,85% pada hari Rabu (3/7/2024), dan 74,77% pada hari Kamis (4/7/2024). Namun, hal ini kurang efektif atau tidak disarankan pada jenis beban kapasitif seperti PDS *line 1* Stasiun ASEAN karena mengakibatkan penurunan *power factor* akibat pemasangan filter pasif. Sehingga diperlukan analisis lebih lanjut dengan mempertimbangkan pembebanan dengan penerapan induktor sebagai kompensasi *power factor* pada jenis pembebanan kapasitif (*leading*) ini

### B. Saran

Perlu dilakukan analisis lebih lanjut terkait reduksi harmonisa pada pembebanan dengan *power factor leading* di PDS *line 1* Stasiun ASEAN MRT Jakarta dengan dengan penggunaan induktor sebagai kompensasi sifat kapasitif (*leading*) sehingga dapat mengoptimalkan kemampuan reduksi harmonisa serta perbaikan faktor daya.

control strategy. *Electric Power Systems Research*, 241(December 2024), 111347.

<https://doi.org/10.1016/j.eprs.2024.111347>

- [9] Mohd Nor, K. A., & Abdullah, N. (2024). Power quality improvement of three-phase electrical systems using active-passive hybrid harmonic filter. *Results in Engineering*, 22(April), 102242. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102242>
- [10] Mujahid, A., Kalam, A., Alizadeh, S. M., & Fan, Y. (2021). Mathematical Analysis on Harmonics Mitigation Using a Phase-Shifted Transformer based Twelve-Pulse Variable Frequency Drive. *Proceedings of 2021 31st Australasian Universities Power Engineering Conference, AUPEC 2021*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/AUPEC52110.2021.9597716>
- [11] Nugroho, T., & Reza, I. (2022). Analisis Pengukuran Dan Perhitungan Total Harmonic Distortion (THD) Pada Beban Non Linier. *Jurnal Sains & Teknologi*, 12(1), 1–8. <https://unsada.ejournal.id/jst/index>
- [12] Pardede, V. B., & Pujiantara, M. (2021). Evaluasi Koordinasi Proteksi pada Sistem Kelistrikan PT. Pertamina RU II Dumai Akibat Integrasi dengan Jaringan PT. PLN. *Jurnal Teknik ITS*, 10(1). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v10i1.59784>
- [13] Pujiantara, M., Putra, N. . B., & Soedibyo. (2021). Evaluasi Koordinasi Proteksi pada Sistem Kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan dengan Mempertimbangkan Integrasi PLN. *SinarFe7*, 2(1), 509–515. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v10i1.59784>
- [14] Rahmadani, R., Atmam, & Zondra, E. (2020). Analisis Pemasangan Filter Pasif Untuk Mengurangi Harmonisa Pada Transformator Rectifier Di PT. Indah Kiat Pulp And Paper Perawang. *SainETIn*, 3(2), 59–68. <https://doi.org/10.31849/sainetin.v3i2.3083>
- [15] Rustemli, S., Satici, M. A., Şahin, G., & van Sark, W. (2023). Investigation of harmonics analysis power system due to non-linear loads on the electrical energy quality results. *Energy Reports*, 10(September), 4704–4732. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.11.034>

## REFERENSI

- [1] Akbar, A. M., & Nugraha, C. F. (2024). Analisis Harmonik dan Perbaikan Nilai THD Arus dengan Perancangan Filter Pasif Single-Tuned. *Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 12(4), 892–906.
- [2] Akbari, E., & Zare Ghaleh Seyyedi, A. (2024). Multi-functional voltage and current based enhancement of power quality in grid-connected microgrids considering harmonics. *Heliyon*, 10(4), e26008. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26008>
- [3] Alexander, C. K., & Matthew n. o. Sadiku. (2013). *Fundamentals of Electric Circuits* (Fifth Edit).
- [4] Alfarizi, M. N. (2021). Analisis Faktor Daya Dan Thd Sistem Existing Pt . Dimensi Sinergi Gemilangindo Menggunakan Simulasi Etap [Universitas Semarang]. <https://eskripsi.usm.ac.id/files/skripsi/C41A/2016/C.431.16.0043/C.431.16.0043-15-File-Komplit-20210303090903.pdf>
- [5] Fernando, Y., Darmawan, I. . A., & Putri, N. U. (2024). Analisis Penyempurnaan Nilai Harmonisa Pada Gardu Traksi Kereta Rel Listrik (KRL) Jalur Pesing – Duri Menggunakan Filter Pasif. *Electrician : Jurnal Rekayasa Dan Teknologi Elektro*, 18(2), 112–120. <https://doi.org/10.23960/elc.v18n2.2560>
- [6] Hsiao, Y. T., Lin, S. M., Chen, S. M., & Chou, C. J. (2024). Multi-Objective Optimization of Planning Single-Tuned Harmonic Filter Utilizing Interactive Forest Algorithm. *Information Sciences*, 661(December 2023), 120141. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2024.120141>
- [7] Kritsanasuwan, K., Leeton, U., & Kulworawanichpong, T. (2022). Harmonic mitigation of AC electric railway power feeding system by using single-tuned passive filters. *Energy Reports*, 8, 1116–1124. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.05.276>
- [8] Kumar, P., & Arya, S. R. (2025). Power quality improvement of distribution system using adjoint LMS and Takagi Sugeno based