



Perancangan Filter Pasif Pada Gardu Traksi di Stasiun Citayam Guna Mengurangi Efek Distorsi Harmonisa



Rahmatika Dwi Putri Jori*, Nurwanda Sari, Lulu Syahira Desliana, Siti Maulidina, Nur Anisa Mardhotillah, Muhammad Rizki Arif, Nur Syahidah Aini

Program Studi Teknik Perkeretaapian Institut Teknologi Sumatera

*Email: rahmatika.jori@ka.itera.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.33369/pendipa.9.3.742-751>

ABSTRACT

Electric Rail Trains (KRL) have become the most frequently used transportation mode for daily activities in the community. One of the existing problems within the operation system of Electric Rail Trains (KRL) lies in the current rectification process. During this rectification process, an effect occurs that can cause disturbances in the KRL's electrical system. This resulting effect is the harmonic effect. This study aims to address the problem of power quality degradation in the Electric Rail Train (KRL) at the Citayam Station Traction Substation, which is caused by this harmonic effect. The harmonic effect arises from the process of rectifying alternating current (AC) into direct current (DC) using a silicon rectifier, which can lead to voltage drop, speed reduction, or even the operational stoppage of the KRL. The research method used is quantitative descriptive. The study did not conduct direct measurements but instead used averaged assumption data from three related journals as primary data. The data analyzed were the values of Total Harmonic Distortion (THD) for both current and voltage, particularly focusing on the 5th, 7th, and 11th harmonic orders, which were identified as the highest contributors to the harmonic distortion. To mitigate the harmonics, this study designed a single-tuned passive filter using the ETAP (Electric Transient Analysis Program) software. The design aims to suppress the harmonic distortion, thereby improving the electrical power quality, maintaining the reliability of the traction substation, and optimizing KRL operations. The single-tuned passive filter designed in this research was capable of suppressing harmonics by up to 0.009%.

Keywords: Traction Substation; Single-Tuned Passive Filter; Harmonics.

ABSTRAK

Kereta rel listrik (KRL) menjadi transportasi yang paling sering digunakan setiap harinya oleh masyarakat untuk beraktivitas. Salah satu permasalahan yang ada dalam sistem perjalanan Kereta rel listrik (KRL) terdapat pada penyearahan arus listrik. Pada saat proses penyearahan terdapat efek yang dapat menyebabkan terjadinya gangguan pada sistem kelistrikan kereta rel listrik. Efek yang dihasilkan adalah efek harmonisa. Untuk mengatasi permasalahan penurunan kualitas daya pada Kereta Rel Listrik (KRL) di Gardu Traksi Stasiun Citayam yang disebabkan oleh efek harmonisa. Efek harmonisa timbul dari proses penyearahan arus bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC) menggunakan silicon rectifier, yang dapat mengakibatkan penurunan tegangan, perlambatan, atau bahkan penghentian operasional KRL. Metode penelitian yang digunakan adalah kuantitatif deskriptif. Penelitian ini tidak melakukan pengukuran langsung, melainkan menggunakan data asumsi yang dirata-ratakan dari tiga jurnal terkait sebagai data primer. Data yang dianalisis adalah nilai Total Harmonic Distortion (THD) arus dan tegangan, khususnya pada orde harmonisa ke-5, ke-7, dan ke-11 yang diidentifikasi sebagai penyumbang harmonisa tertinggi. Untuk meredam harmonisa, penelitian ini merancang filter pasif single tuned menggunakan perangkat lunak ETAP (Electric Transient Analysis Program). Rancangan ini bertujuan untuk meredam distorsi harmonisa, sehingga kualitas listrik kembali membaik dan menjaga keandalan gardu traksi serta

mengoptimalkan perjalanan KRL. Filter pasif single tuned pada penelitian ini mampu meredam harmonisa hingga 0,009%.

Kata kunci: gardu traksi; filter pasif single tuned; harmonisa.

PENDAHULUAN

Kereta rel listrik (KRL) merupakan moda transportasi yang efisien dari segi kecepatan maupun biaya. Selain itu kereta rel listrik (KRL) juga moda transportasi yang mendukung kemajuan transportasi Indonesia. Kereta rel listrik (KRL) menjadi transportasi yang paling sering digunakan setiap harinya oleh masyarakat untuk beraktivitas. Dengan banyaknya masyarakat yang menggunakan kereta rel listrik (KRL), maka kereta rel listrik (KRL) dapat menghasilkan ratusan sampai ribuan penumpang dalam per hari. Dengan keuntungan yang diperoleh tidak menutup kemungkinan bahwa kereta rel listrik (KRL) tidak memiliki masalah dalam sistem perjalanannya. Salah satu permasalahan yang ada dalam sistem perjalanan Kereta rel listrik (KRL) terdapat pada penyearahan arus listrik. Kereta rel listrik (KRL) mendapatkan 20 kVAC arus bolak balik (AC) yang disuplai oleh PLN yang kemudian diturunkan menjadi 1200 VAC menggunakan transformator ke gardu traksi, kemudian diubah atau disearahkan menggunakan silicon rectifier menjadi arus searah (DC) senilai 1500 VDC.

Pada saat proses penyearahan terdapat efek yang dapat menyebabkan terjadinya gangguan pada sistem kelistrikan kereta rel listrik. Efek tersebut disebabkan oleh proses penyearahan arus bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC), efek yang dihasilkan adalah efek harmonisa. Harmonisa harus diredam karena dapat menyebabkan motor traksi yang mana merupakan penggerak utama kereta rel listrik tidak berfungsi dengan baik. Salah satu gangguan yang disebabkan oleh efek harmonisa adalah penurunan kualitas daya sehingga terjadinyadrop tegangan yang menyebabkan kualitas listrik menurun. Jika terjadi drop tegangan pada kereta rel listrik maka kereta rel listrik akan mengalami perlambatan atau penurunan kecepatan bahkan dapat menghentikan perjalanan kereta rel listrik dikarenakan berhenti karena kurangnya daya listrik untuk menggerakkan motor traksi. Sehingga untuk menangani masalah yang

disebabkan oleh harmonisa, tugas akhir ini bertujuan untuk membuat perancangan filter pasif yang dengan tujuan menambah sistem proteksi pada sistem kelistrikan dan pengoperasian kereta rel listrik.

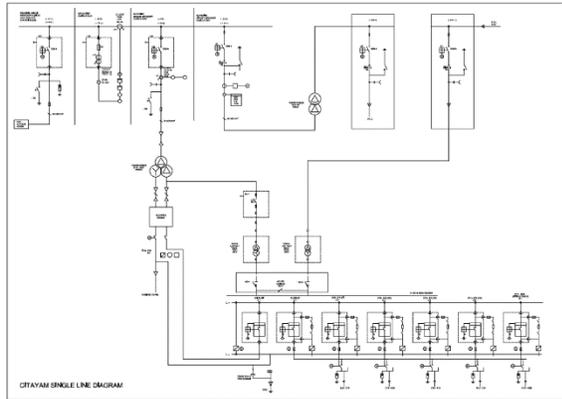
Salah satu stasiun KRL yang sering menjadi asal dan tujuan masyarakat adalah Stasiun Citayam, dimana pada stasiun ini merupakan salah satu stasiun lintas jalur Bogor yang sangat banyak mengangkut penumpang. Stasiun Citayam juga memiliki gardu traksinya sendiri, yang mana pada penyuplaian arus listrik pada gardu traksinya juga dapat menyebabkan efek harmonisa. Tujuan penelitian ini adalah melakukan perancangan filter pasif pada Stasiun Citayam dengan menggunakan ETAP (Electric Transient Analysis Program) Software untuk mengurangi efek harmonisa pada gardu traksinya.

Penulisan ini bertujuan untuk melihat pengaruh efek distorsi harmonisa pada gardu traksi Stasiun Citayam; bagaimana profil harmonisa arus (THD-I) dan tegangan (THD-V) pada gardu traksi Stasiun Citayam sebelum dan sesudah pemasangan filter pasif; Bagaimana rancangan filter pasif yang dilakukan guna mengurangi efek harmonisa di stasiun Citayam.

METODE PENELITIAN

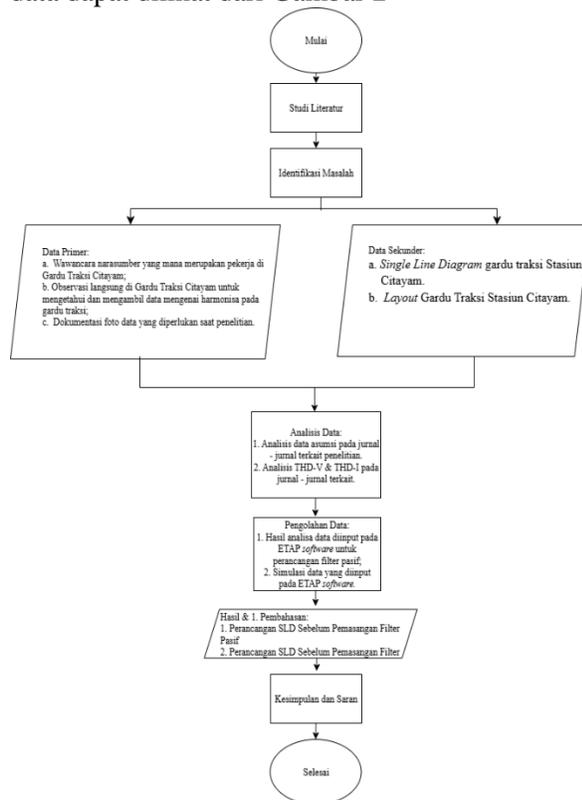
Penelitian ini menggunakan jenis kuantitatif deskriptif karena perlu adanya analisis dan perhitungan besarnya nilai harmonisa dan menghitung hasil simulasi dari perancangan ETAP (Electric Transient Analysis Program) software.

Penelitian dilakukan di Gardu traksi Citayam yang terletak pada KM 37+800 di lintas Citayam – Bogor, yang beralamat di Jl. Raya Citayam Bojong Pondok Terong, Kecamatan Cipayung, Kabupaten Depok, Jawa Barat 16444.



Gambar 1. Single Line Diagram Gardu Traksi Stasiun Citayam
Sumber: PT. KAI PERSERO

Selanjutnya untuk tahapan pengumpulan data dapat dilihat dari Gambar 2



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

Pengumpulan data pada penelitian ini dimulai dengan tahapan mengumpulkan studi literatur untuk mendapatkan referensi dengan melihat penelitian sebelumnya agar menjadi acuan dalam penulisan penelitian. Lalu mengidentifikasi masalah untuk menentukan masalah yang akan diteliti agar mendapatkan

tujuan penelitian. Kemudian pengumpulan data yang mana berupa data sekunder dan data primer

Data sekunder adalah informasi yang sudah ada dan digunakan kembali oleh peneliti untuk kebutuhan penelitian. Data sekunder juga adalah data yang didapatkan oleh penulis secara tidak langsung, karena data sekunder didapatkan melalui pihak lain berupa dokumen, data yang telah dipublikasi, dan penelitian terdahulu. Penelitian ini menggunakan data sekunder berupa:

- Single Line Diagram Gardu Traksi Stasiun Citayam;
- Layout Gardu Traksi Stasiun Citayam;
- Kapasitas Gardu Traksi Stasiun Citayam.

Data primer adalah informasi yang didapatkan secara langsung oleh penulis di lapangan atau lokasi penelitian. Pengumpulan data dapat dilakukan dengan cara observasi, wawancara, maupun penyebaran kuisioner. Data primer juga didapatkan dengan melibatkan komunikasi antara peneliti dengan narasumber. Penelitian ini menggunakan data primer berupa:

- Wawancara narasumber yang merupakan pekerja di gardu traksi Stasiun Citayam
- Observasi lapangan di Gardu Traksi Citayam untuk mengetahui dan melakukan pengukuran harmonisa tegangan dan harmonisa arus
- Dokumentasi foto data yang diperlukan saat penelitian

Data yang sudah didapatkan dianalisis menggunakan metode kuantitatif deskriptif dengan Analisis yang dilakukan pada penelitian ini adalah menganalisis beban non linier yang menyebabkan harmonisa dan analisis total distorsi harmonisa (THD) arus dan tegangan dengan cara mengumpulkan data arus dan tegangan dan melakukan perhitungan, lalu melakukan simulasi filter pasif dengan tahapan sebagai berikut:

- Analisis beban non linier yang menyebabkan harmonisa
- Analisis Total Distorsi Harmonisa (THD) Arus dan Tegangan
- Analisis Data Yang Diinput ETAP (Electric Transient Analysis Program) Software

HASIL DAN PEMBAHASAN

Keberadaan harmonisa dipicu oleh beban non-linier, terutama karena komponen

semikonduktor yang terlibat dalam proses kerjanya. Beban non-linier menciptakan efek harmonisa yang mengganggu kemurnian bentuk gelombang arus dan tegangan, sehingga gelombang tidak lagi sinusoidal sempurna. Dapat disimpulkan bahwa beban non-linier menciptakan gelombang arus yang tidak sinkron dengan gelombang tegangan, yang kemudian mengakibatkan distorsi. Harmonisa juga timbul dari proses konversi arus bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC). Dalam penelitian ini, silicon rectifier berperan sebagai beban non-linier yang menyebabkan distorsi harmonisa, karena fungsinya menyearahkan arus AC. Distorsi harmonisa pada Gardu Traksi Citayam dapat menyebabkan panas yang berlebih pada Gardu Traksi dan menyebabkan motor traksi tidak bekerja dengan baik yang disebabkan penurunan tegangan akibat harmonisa. Oleh sebab itu harmonisa tegangan harus diredam agar menjaga keandalan gardu traksi serta mengoptimalkan perjalanan KRL Stasiun Citayam agar tetap aman dan efisien.

Analisis Data

Penelitian ini menggunakan analisis data asumsi yang telah diperoleh berdasarkan jurnal-jurnal terkait perancangan filter pasif guna meredam harmonisa pada gardu traksi. jurnal terkait perancangan filter pasif guna meredam harmonisa pada gardu traksi, yang mana data pengukuran yang didapatkan dijumlahkan dan dirata-ratakan. Berikut merupakan jurnal-jurnal yang digunakan penulis sebagai data asumsi:

Tabel 1 Jurnal-jurnal asumsi data

N	Judul	THD-V	THD-I
1.	Studi Harmonisa Akibat Komponen Penyearah	a. Orde 5 : 70,04 % b. Orde 7: 43,38% c. Orde 11 : 21,5%	a. Orde 5 : 3,28% b. Orde 7: 0,61% c. Orde 11: 0,5%
2.	Analisis Harmonik Dan Perbaikan Nilai THD Dengan Perancangan Filter Pasif	a. Orde 5 : 14,09% b. Orde 7 : 13,02% c. Orde 11 : 4,52%	a. Orde 5 : 1,57% b. Orde 7 : 0,75% c. Orde 11 : 0,69%

<i>Single Tuned</i>		
3. Perancangan Filter Pasif	a. Orde 5 : 70,04%	a. Orde 5: 3,28%
<i>Single Tuned</i>		
Untuk Mitigasi Hamonisa Pada Gardu Traksi KRL Stasiun Bogor	b. Orde 7: 43,38%	b. Orde 7: 0,50%
	c. Orde 11 : 21,50%	c. Orde 11: 0,61%

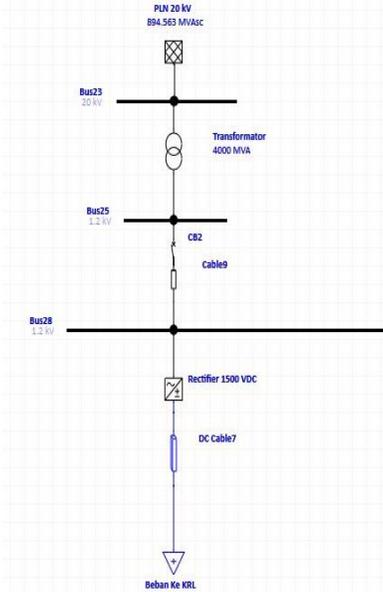
Berdasarkan data dari ketiga jurnal pada tabel 4.1 dapat diketahui nilai THD-V dan THD-I. Dari jumlah THD-V dan THD-I yang didapat maka penulis menghitung rata-rata dari banyaknya orde yang menjadi orde penyumbang pada jurnal tersebut, oleh sebab itu penelitian ini menggunakan orde 5, 7 dan 11 sebagai data orde harmonisa pada penelitian ini. Pada penelitian ini data pada THD-V dan THD-I diperoleh dengan menghitung rata-rata dari data asumsi jurnal yang sudah dikualifikasikan.

Hasil perhitungan rata-rata asumsi data pada THD-I menunjukkan bahwa orde 5 menyumbang harmonisa sebesar 51,39%, orde 7 menyumbang harmonisa sebesar 33,26%, dan orde 11 menyumbang harmonisa sebesar 15,84%. Berdasarkan standar IEEE 519 - 2022 tegangan di atas 1 kV dan di bawah 69 kV yaitu 5%, Sehingga perlu adanya tindak lanjut terhadap harmonisa tegangan pada gardu traksi Citayam jika terjadi harmonisa tegangan seperti asumsi data yang dihasilkan.

Simulasi Sebelum Pemasangan Filter Pasif

Simulasi sebelum pemasangan filter pasif single-tuned disimulasikan dengan membuat single line diagram gardu traksi kemudian memasukkan nilai harmonisa yang sudah diketahui. Dalam pembuatan single line diagram sebelum pemasangan filter pasif dimulai membuat desain yang dibuat menggunakan ETAP software.

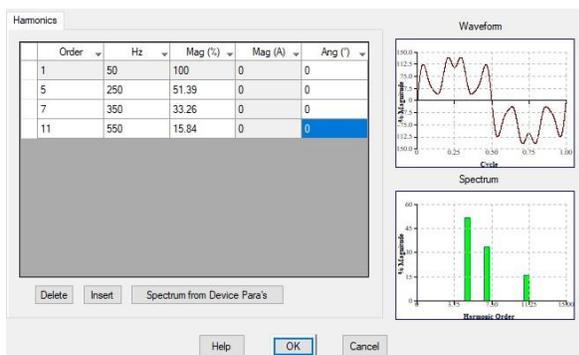
Dalam perancangan single line diagram sebelum pemasangan filter pasif single tuned pada Gardu Traksi di Stasiun Citayam mengalami beberapa kali percobaan, sehingga didapatkan bentuk single line diagram yang dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 3 Single Line Diagram Sebelum Pemasangan Filter Pasif Single Tuned

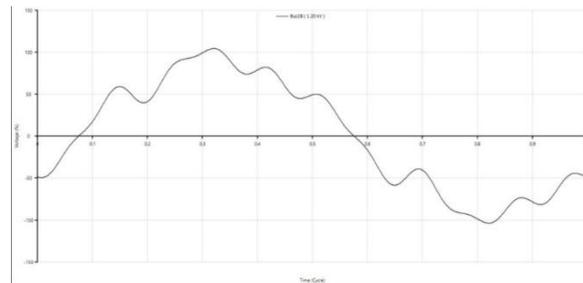
Gambar 3 menunjukkan bentuk single line diagram gardu traksi kubikel 20 kV/1,2 kV citayam sebelum pemasangan filter pasif single tuned. Pada perancangan SLD diatas menunjukkan komponen – komponen yang menjadi sumber kelistrikan KRL pada Stasiun Citayam. Dapat dilihat pada SLD sumber daya berasal dari tegangan PLN 20 kV dengan kapasitas hubung singkat 894,563 MVA_{sc}.

Setelah perancangan single line diagram penulis memasukkan nilai harmonisa yang dimasukkan ke ETAP software pada BUS28 agar dapat disimulasikan. Nilai harmonisa yang dimasukkan adalah data asumsi yang telah dihitung menggunakan data dari jurnal - jurnal acuan.



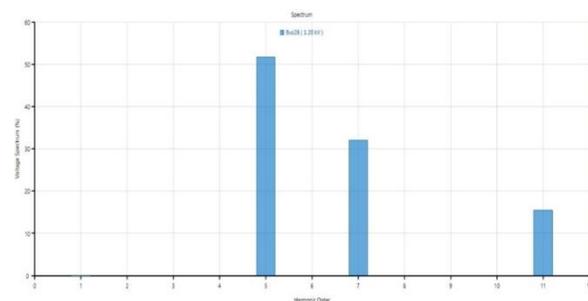
Gambar 4 Daftar Orde Harmonisa

Gambar 4 menunjukkan nilai data asumsi harmonisa pada perancangan single line diagram menggunakan ETAP software didapatkan nilai THD-V orde 5 sebesar 51,39%, orde 7 sebesar 33,26%, dan orde 11 sebesar 15,84%. Simulasi sebelum perancangan filter pasif hanya menginput THD-V, dikarenakan THD-I masih tergolong sesuai standar IEEE 519 – 2022 yang mana nilainya masih < 20%. Sedangkan nilai THD-V tidak sesuai standar IEEE 519 – 2022 yaitu > 5%. Bentuk gelombang dan spektrum pada simulasi sebelum pemasangan filter pasif dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 5 Gelombang Sebelum Pemasangan Filter

Pada gambar 5 dapat dilihat bentuk gelombang merupakan gelombang tidak sinusoidal yang disebabkan efek distorsi harmonisa. Gelombang tersebut terjadi karena nilai harmonisa tegangan melebihi standar IEEE 519 – 2022 yang dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Spektrum Sebelum Pemasangan Filter

Pada orde 5 nilai yang dimasukkan adalah sebesar 51,39 %. Nilai orde 7 yang dimasukkan adalah 33,26%. Dan pada orde 11 nilai yang dimasukkan adalah 15,84% Dapat dilihat bahwa nilai harmonisa masih melebihi 5% dan tidak sesuai dengan batas standar IEEE 519 – 2022.

Simulasi Sesudah Pemasangan Filter Pasif Single – Tuned Perancangan Filter Pasif

Filter pasif yang digunakan pada penelitian ini adalah filter pasif single tuned. Filter pasif single tuned adalah solusi yang sangat efektif untuk mengurangi harmonisa, karena hanya bekerja optimal pada orde harmonisa spesifik yang dirancang. Pada penelitian ini filter harmonisa dirancang hanya meredam satu orde saja, yaitu pada orde kerjanya. Oleh karena itu nilai hal pertama yang dibutuhkan pada perancangan filter ini adalah nilai harmonisa yang akan diredam. Data acuan ini dibutuhkan agar filter hanya bekerja pada ordenya saja.

Saat melakukan perancangan filter pasif single tuned hal selanjutnya yang dilakukan adalah menentukan parameter – parameter filter pasif. Berikut parameter yang harus dihitung agar dapat melakukan perancangan filter pasif:

Tabel 2 Nilai Q_{VAR}

Kompensasi Daya Reaktif (kVAR) Q _{VAR}	
Orde 5	577 Kvar
Orde 7	542 Kvar
Orde 11	577 kVAR

Berdasarkan jurnal-jurnal yang menjadi acuan asumsi data didapatkan bahwa nilai daya aktif adalah 3607 Watt, nilai faktor daya awal 0,94 dan faktor daya maksimal atau yang diinginkan adalah 0,98. Maka nilai-nilai tersebut dihitung menggunakan rumus kompensasi daya reaktif dan didapatkan nilai Qvar pada orde 5 adalah 577 kVAR, sehingga menyediakan kapasitas kompensasi daya reaktif yang cukup besar untuk meredam harmonisa pada gardu traksi. Pada orde 7 adalah 542 kVAR, nilai QVAR pada orde 7 berbeda dengan nilai QVAR pada orde 5 dikarenakan nilai QVAR pada orde 7 adalah 3389 sehingga menghasilkan nilai sebesar 542 kVAR dan memberikan kapasitas kompensasi daya reaktif lebih kecil dibanding orde 5. Sedangkan pada orde 11 adalah 577 kVAR, kapasitas kompensasi daya reaktif yang diberikan pada orde 11 sama seperti orde 5.

Pada perhitungan mencari reaktansi kapasitif ini dapat dicari dengan membagi nilai rating tegangan pada gardu traksi adalah 1,2 kV

dan nilai daya reaktif dari masing - masing orde. Pada pembagian QVAR nilai diproyeksikan dari kVAR menjadi MVAR, nilai asli pada QVAR dibagi 1000. Maka didapatkan nilai impedansi kapasitor pada orde 5 dengan nilai yang kecil 2,49Ω. Pada orde 7 nilai QVAR adalah 542 kemudian diproyeksikan dari kVAR menjadi MVAR, lalu didapatkan nilai 0,542 dan nilai pada reaktansi kapasitif didapatkan sebesar 2,66Ω, dan orde 11 sebesar 2,49Ω.

Tabel 3 Nilai Reaktansi Kapasitif

Reaktansi Kapasitif (Ω) XC	
Orde 5	577 Kvar
Orde 7	542 Kvar
Orde 11	577 kVAR

Nilai-nilai dari hasil perhitungan diatas merupakan nilai yang relatif kecil untuk reaktansi kapasitif yang berarti kapasitor memiliki kapasitansi cukup besar, sehingga dapat menyediakan kompensasi daya reaktif yang besar untuk meredam harmonisa. Dengan nilai reaktansi yang kecil maka filter pasif mampu mengalihkan arus harmonisa dari beban non-linier dan menurunkan THD secara nyata.

Tabel 4 Nilai Kapasitas

Kapasitansi μF C	
Orde 5	577 Kvar
Orde 7	542 Kvar
Orde 11	577 kVAR

Nilai pada kapasitansi yang semula dalam satuan farad kemudian diproyeksikan menjadi mikrofarad karena satuan yang digunakan pada kapasitor adalah mikrofarad. Berdasarkan perhitungan kapasitansi diatas maka didapat nilai kapasitansi pada orde 5 sebesar 1279 μF, orde 7 sebesar 1197 μF, dan orde 11 sebesar 1279 μF. Nilai-nilai kapasitansi diatas merupakan nilai kapasitas yang besar untuk meredam harmonisa. Nilai kapasitansi didapatkan dengan memperhitungkan nilai hubungan antara frekuensi fundamental dengan frekuensi sudut yaitu 2 π dikali dengan nilai fundamental senilai 50 Hz dan dikali dengan nilai reaktansi kapasitif.

Nilai kapasitansi berdasarkan perhitungan dapat menyediakan kompensasi daya reaktif yang tinggi, sehingga efektif dalam mengalihkan arus harmonisa dari beban non-linier seperti rectifier pada gardu traksi.

Tabel 5 Nilai Reaktansi Induktif

Reaktansi Induktif ΩX_L	
Orde 5	0,104 Ω
Orde 7	0,056 Ω
Orde 11	0,021 Ω

Pada perhitungan reaktansi induktif setiap orde pada perhitungan ini akan diturunkan sedikit sebagai toleransi komponen filter untuk mencegah resonansi yang akan terjadi didala sistem pada frekuensi yang mengganggu. Pada orde 5 diturunkan menjadi 4,9. Pada orde 7 menjadi 6,9 dan orde 11 menjadi 10,9 kemudian dipangkat 2. Maka didapatkan nilai XL pada orde 5 sebesar 0,104 Ω , orde 7 sebesar 0,056 Ω , dan orde 11 sebesar 0,021 Ω . Orde 5 dengan nilai reaktansi induktif 0,104 Ω dan orde 7 dengan nilai reaktansi induktif 0,056 Ω adalah nilai yang termasuk kecil sehingga filter cukup efektif untuk meredam harmonisa, karena dapat memberikan hambatan induktif lebih tinggi. Sedangkan pada orde 11 nilai reaktansi induktif adalah 0,021 Ω yang berarti memberikan hambatan induktif yang lebih kecil daripada orde 5 dan orde 7, namun nilai reaktansi induktif pada orde 11 mampu meredam harmonisa pada filter pasif orde 11.

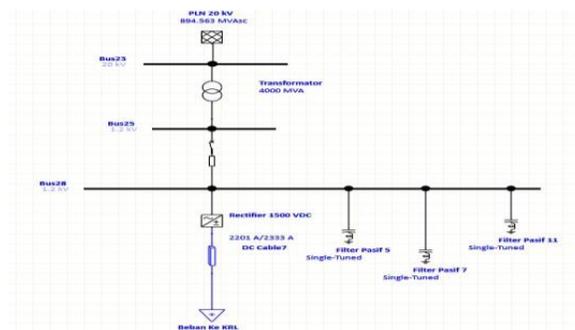
Tabel 6 Nilai Induktansi

Induktansi mH L	
Orde 5	0,33 mH
Orde 7	0,17 mH
Orde 11	0,66 mH

Berdasarkan perhitungan nilai induktansi diatas didapatkan nilai pada orde 5 adalah 0,33 mH, orde 7 adalah 0,14 mH, dan orde 11 adalah 0,63 mH. Nilai induktansi didapatkan dengan memperhitungkan nilai hubungan antara frekuensi fundamental dengan frekuensi sudut

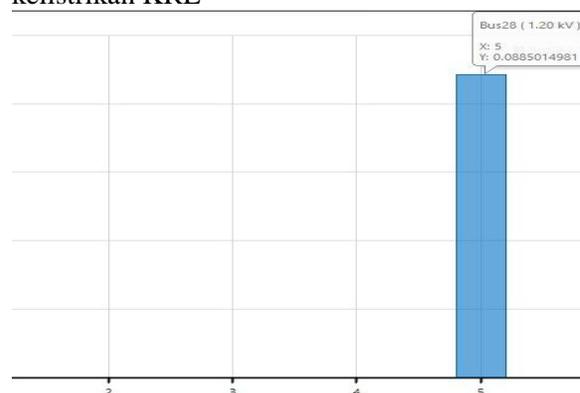
yaitu 2π dikali dengan nilai fundamental senilai 50 Hz. Nilai-nilai induktansi diatas merupakan nilai kapasitansi untuk meredam harmonisa. Nilai-nilai diatas menentukan sejauh mana komponen harmonisa dapat diredam.

perancangan single line diagram sesudah pemasangan filter pasif single tuned mengalami hal yang sama seperti perancangan sebelum dipasang filter dimana mengalami beberapa kali percobaan. dalam proses perancangannya penulis sering mengalami kesalahan nilai parameter dan ketidaksesuaian pada nilai komponen gardu traksi. Namun dengan percobaan yang terus diperbaiki didapatkan bentuk perancangan filter pasif single tuned yang dapat dilihat pada gambar berikut:



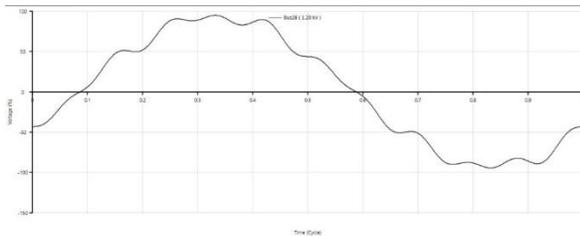
Gambar 7 Single Line Diagram Setelah Pemasangan Filter Pasif Single Line Diagram

Simulasi sesudah pemasangan filter pasif single tuned menggunakan ETAP software dilakukan menggunakan tiga filter pasif single tuned untuk masing masing orde. Pemasangan filter pasif bertujuan unntuk mengurangi distorsi harmonisa agar tidak mengganggu sistem kelistrikan KRL



Gambar 8 Spektrum Orde 5 Setelah Pemasangan Filter

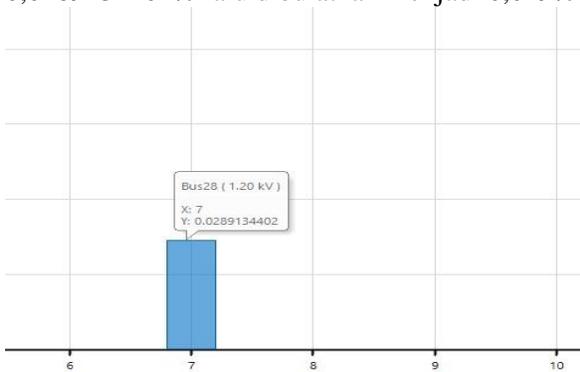
Setelah pemasangan filter pasif single tuned harmonisa mengalami penurunan yang drastis. Pada orde 5 harmonisa tegangan sebelum pemasangan filter pasif adalah 51,39% dan setelah pemasangan filter pasif single tuned harmonisa menjadi 0,0885014981% lalu dibulatkan menjadi 0,089%. Hal ini menunjukkan bahwa filter pasif single tuned mampu meredam harmonisa pada orde 5.



Gambar 9 Gelombang Setelah Pemasangan Satu Filter

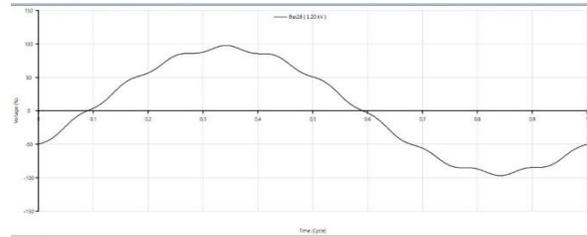
Dapat dilihat pada gambar 9 gelombang setelah pemasangan satu filter pasif single tuned pada orde 5 masih belum menghasilkan gelombang sinusoidal yang lebih baik dikarenakan filter masih terpasang satu.

Pada orde 7 harmonisa juga mengalami hal yang sama seperti pada orde 5, yaitu mengalami penurunan yang drastis. Harmonisa tegangan sebelum pemasangan filter pasif pada orde 7 adalah 33,26% dan setelah pemasangan filter pasif single tuned harmonisa turun menjadi 0,0289134402% lalu dibulatkan menjadi 0,029%.



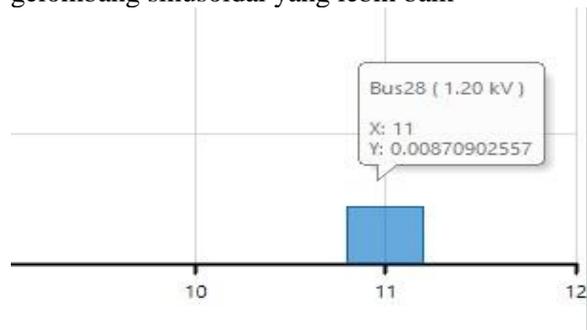
Gambar 10 Spektrum Orde 7 Setelah Pemasangan Filter

Hal ini juga menunjukkan bahwa filter pasif single tuned mampu meredam harmonisa pada orde 7 seperti pada Gambar 10



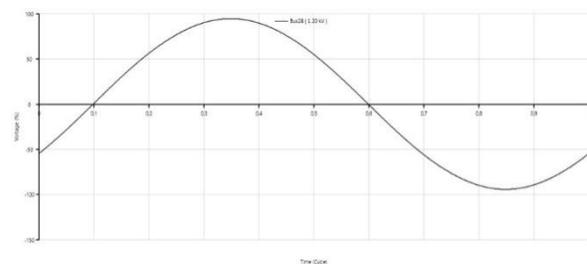
Gambar 11 Gelombang Setelah Pemasangan Dua Filter

Dapat dilihat pada gambar 11 gelombang setelah pemasangan tiga filter pasif single tuned pada orde 5 dan orde 7 sudah hampir berbentuk gelombang sinusoidal yang lebih baik



Gambar 12 Spektrum Orde 11 Setelah Pemasangan Filter

Dapat dilihat pada gambar 12 harmonisa tegangan pada orde 11 juga mengalami penurunan yang sangat drastis. Harmonisa tegangan sebelum pemasangan filter pasif pada orde 11 adalah 15,84% dan setelah pemasangan filter pasif single tuned harmonisa turun menjadi 0,00870902557% lalu dibulatkan menjadi 0,009%. Hal ini juga menunjukkan bahwa filter pasif single tuned mampu meredam harmonisa pada orde 11.



Gambar 13 Gelombang Setelah Pemasangan Tiga Filter

Dapat dilihat pada gambar 13 gelombang setelah pemasangan tiga filter pasif single tuned pada orde 5, orde 7, dan orde 11 sudah menunjukkan gelombang sinusoidal yang terlihat

seperti sudah sempurna. Spesifikasi Filter Pasif Single Tune.

Filter pasif single tuned memiliki spesifikasi yang ditentukan berdasarkan frekuensi harmonisa tertentu yang ingin diredam, serta parameter – parameter seperti reaktansi kapasitif, kapasitansi, reaktansi induktif, dan induktansi yang disesuaikan agar bekerja dengan baik saat penurunan distorsi harmonisa.

Perancangan filter pasif single tuned didapatkan melalui perhitungan terhadap parameter – parameter filter pasif yang sesuai dengan kondisi Gardu Traksi Stasiun Citayam. Tabel 7 menunjukkan spesifikasi filter pasif single tuned Gardu Traksi Stasiun Citayam:

Tabel 7 Spesifikasi Filter Pasif Single Tuned

Spesifikasi	Orde 5	Orde 7	Orde 11
Q_{VAR}	577	542	577
	kVAR	kVAR	Kvar
XC	2,49 Ω	2,66 Ω	2,49 Ω
C	1279 μF	1197 μF	1279 Mf
XL	0,104 Ω	0,056 Ω	0,021 Ω
L	0,33 mH	0,17 mH	0,66 Mh
Rating Tegangan	1,2 kV	1,2 kV	1,2 Kv
Faktor Q	60	60	60

Spesifikasi filter yang dirancang pada penelitian ini terdiri dari filter untuk mengatasi harmonisa pada orde ke-5, ke-7, dan ke-11. Masing-masing filter memiliki parameter, yaitu kompensasi daya reaktif (Q_{var}) dengan nilai sekitar 577 kVAR untuk orde ke-5 dan ke-11, serta 542 kVAR untuk orde ke-7. Nilai ini penting untuk menentukan kapasitas filter dalam mengatasi harmonisa pada level daya tertentu. Lalu pada Reaktansi kapasitif (XC) nilai pada orde 5 nilai XC adalah 2,49 Ω pada orde 7 adalah 2,66 Ω dan pada orde 11 adalah 2,49 Ω . Sedangkan nilai kapasitansi (C) pada orde 5 dan 11 adalah 1279 μF dan pada orde 7 adalah 1197 μF , disesuaikan dengan frekuensi harmonisa target. Kapasitor ini berfungsi untuk menyediakan jalur reaktif kapasitif yang diperlukan dalam pencapaian frekuensi yang diinginkan.

Kemudian pada Reaktansi induktif (XL) nilai yang didapatkan adalah 0,104 Ω , 0,046 Ω , dan 0,020 Ω . Sedangkan pada induktansi (L)

nilai yang didapatkan adalah 0,33 mH, 0,17 mH dan 0,66 mH, keduanya berfungsi sebagai elemen resonansi seri dengan kapasitor agar filter tepat pada frekuensi harmonisa yang ditargetkan. Tegangan filter dirancang untuk tegangan operasi 1,2 kV menyesuaikan dengan tingkat tegangan di gardu traksi sehingga aman dan efektif saat terpasang. Dan untuk faktor kualitas (Q) nilai ditentukan sebesar 60 untuk semua filter, menunjukkan kualitas resonansi yang cukup tinggi sehingga filter ini dapat memberikan penurunan harmonisa yang baik tanpa menimbulkan kerugian besar akibat resistansi. Nilai faktor kualitas (Q) dipilih sebesar 60 dikarenakan dapat memberikan selektivitas yang baik, dalam artian dengan nilai faktor kualitas yang dipilih dapat meredam harmonisa pada frekuensi yang dipilih. Pada penelitian ini frekuensi yang dipilih adalah frekuensi fundamental sebesar 50 Hz.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan pada penelitian Perancangan Filter Pasif Pada Gardu Traksi Di Stasiun Citayam Guna Mengurangi Efek Harmonisa, dapat disimpulkan bahwa Distorsi harmonisa tegangan pada Gardu Traksi Citayam dapat menyebabkan panas yang berlebih pada Gardu Traksi dan menyebabkan motor traksi tidak bekerja dengan baik yang disebabkan penurunan tegangan akibat harmonisa. Oleh sebab itu harmonisa tegangan harus diredam agar menjaga keandalan gardu traksi serta mengoptimalkan perjalanan KRL Stasiun Citayam agar tetap aman dan efisien.

Orde penyumbang harmonisa tegangan dan harmonisa arus terbanyak adalah orde 5, orde 7, dan orde 11. Pada harmonisa tegangan orde 5 menyumbang nilai sebesar 51,39%. orde 7 menyumbang sebesar 33,26%, dan orde 11 menyumbang sebesar 15,84%. Sedangkan pada harmonisa arus orde 5 menyumbang sebesar 2,71%, orde 7 menyumbang sebesar 0,62%, dan orde 11 menyumbang sebesar 0,60%. Sehingga dapat dilihat bahwa harmonisa tegangan melewati batas standar IEEE 519 – 2022 dan memerlukan adanya tindak lanjut agar harmonisa dapat diredam. Hasil pemasangan filter pasif pada THD-V orde 5 mampu meredam harmonisa turun drastis menjadi 0,89%, pada orde 7 filter

mampu meredam harmonisa tegangan menjadi 0,029%, dan pada orde 11 filter mampu meredam harmonisa tegangan menjadi 0,009%. Dari ketiga orde tersebut nilai yang diredam sudah aman berdasarkan standar IEEE 519 – 2022, dan menghasilkan bentuk gelombang sinusoidal yang hampir sempurna.

Perancangan single line diagram ini hanya dalam lingkup kubikel 20 kV/1,2 kV. Kubikel 20 kV/1,2 kV merupakan kubikel outgoing yang menyalurkan aliran arus DC menuju KRL. Pada kubikel 20 kV/1,2 kV terjadi penyearahan arus listrik bolak-balik AC yang harus disearahkan menjadi arus searah DC lalu disalurkan menuju KRL. Pada proses penyearahan ini menimbulkan efek distorsi harmonisa yang harus diredam. Oleh sebab itu perancangan single line diagram pada penelitian ini hanya membuat desain pada kubikel 20 kV/1,2 kV. Perancangan dan pemasangan filter pasif hanya dipasang pada harmonisa tegangan, yaitu orde 5, orde 7, dan orde 11. Perancangan filter pasif dilakukan berdasarkan profil harmonisa asumsi, perhitungan kapasitansi, reaktansi, dan induktansi pada ketiga orde tersebut. Seluruh hasil perhitungan yang telah dilakukan dimasukkan ke dalam ETAP software dan disimulasikan.

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis pada penelitian Perancangan Filter Pasif Pada Gardu Traksi Di Stasiun Citayam Guna Mengurangi Efek Harmonisa, penulis memberikan beberapa saran sebagai berikut:

- a. Penelitian selanjutnya disarankan agar dapat menghasilkan perancangan filter pasif berbentuk alat agar untuk meredam harmonisa secara aktual pada Gardu Traksi Stasiun Citayam.
- b. Penelitian selanjutnya dapat berfokus melakukan implementasi pada filter pasif secara aktual pada sistem gardu traksi untuk meredam harmonisa, sehingga kualitas daya listrik menuju beban KRL dapat semakin baik digunakan, jika nilai harmonisa melebihi batas standar IEEE 519 – 2022 pada Gardu Traksi Stasiun Citayam.
- c. Penelitian berikutnya diharapkan dapat melakukan pengukuran terdahulu pada Gardu Traksi Stasiun Citayam agar mendapatkan nilai yang aktual. Kemudian dapat melakukan simulasi berdasarkan nilai pengukuran.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, A.M. (2024) Analisis Harmonik dan Perbaikan Nilai THD Arus. *Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*
- Alfama, N.J. (2015) Analisis Harmonik Dan Perancangan Single Tuned Filter. *Jurnal Emitter*, 32-33.
- Ardita, I.M. (2020) Studi Harmonisa Akibat Komponen Penyearah pada. *CYCLOTRON*, Astriyansyah. (2016) Perancangan Filter Pasif Single-Tuned Untuk Mitigasi Arus Harmonisa Pada Gardu Traksi Kereta Rel Listrik (KRL) Stasiun Bogor. *Universitas Indonesia*, 38.
- Fernando, Y. (2024) Analisis Penyempurnaan Nilai Harmonisa Pada Gardu Traksi Kereta Rel Listrik. *Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, 113.
- KAI, P. (2022) Substasion. *Pusat Pendidikan Dan Pelatihan Ir H. Djuanda*, 5.
- Perhubungan, D. (2023) *Commuter Line*. Diambil dari <https://www.jakarta.go.id/commuter-line>
- Setiawan, Y. (2024) Studi Kebutuhan Gardu Traksi Guna Mendukung Elektrifikasi Jalur Kereta Api Yogyakarta-Kutoarjo. *Universitas Islam Sultan Agung*, 30.
- Sugianto. (2023) Studi Tentang Kelistrikan Pada Sistem Kereta Rel Listrik. *Program Studi Teknik Elektro-ISTN*, 64-69.
- Wibowo, R.S. (2022) Analisis Kapasitas Daya Pada Gardu Traksi Lintas Bojonggede – Bogor Menggunakan Kereta Rel Listrik Seri EA 203. *Jurnal Perkeretaapian Indonesia*, 1-11.