

Analisis Penyempurnaan Nilai Harmonisa Pada Gardu Traksi Kereta Rel Listrik (KRL) Jalur Pesing – Duri Menggunakan Filter Pasif

Yoggi Fernando¹, I Gede Arya Darmawan², Novia Utami Putri^{3*}

Program Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Teknokrat Indonesia
Jl. ZA. Pagar Alam No.9 – 11, Labuhan Ratu, Kec. Kedaton,
Kota Bandar Lampung, Lampung 351332
¹yoggiferandoaja@gmail.com
²aryadh53@gmail.com
^{3*}noviautami@teknokrat.ac.id

Intisari — Kereta Rel Listrik (KRL) dalam operasionalnya disuplai tegangan 1500 VDC yang diperoleh dari 20 kV PLN kemudian diturunkan dengan sistem penyearah pada Gardu Traksi KRL. Penyearah yang prinsip kerjanya switching merupakan kategori beban *non-linear* dapat memproduksi harmonisa yang dapat menyebabkan penurunan kehandalan pada peralatan gardu traksi, selain itu kebutuhan daya reaktif yang berlebih dapat menghasilkan harmonisa. Metode yang digunakan dalam penelitian ini dengan mengambil data daya termasuk data beban dan kapasitas transformator pada gardu traksi, kemudian dilakukan simulasi untuk mendapatkan nilai harmonisa awal tanpa filter pasif. Hasil pengujian pertama tanpa menggunakan filter pasif pada transformator 20 kV/1,5kV menunjukkan nilai harmonisa sebesar 20,37% hasil tersebut masih sesuai standar, sedangkan harmonisa yang dibutuhkan adalah <5% (sesuai standar IEEE 519-2014) sehingga perlu dilakukan mitigasi perbaikan. Perbaikan dilakukan dengan menambahkan filter pasif *high-pass* pada bus transformator dan bus beban, hasil pengujian menggunakan filter pasif menunjukkan penurunan nilai harmonisa menjadi 3,36%.

Kata kunci — filter Harmonisa, Distorsi Harmonisa, ETAP, Gardu Traksi.

Abstract — In its operation, Electric Rail Trains (KRL) are supplied with a voltage of 1500 VDC obtained from 20 kV PLN and then reduced by a rectifier system at the KRL Traction Substation. A rectifier whose working principle is switching is a non-linear load category which can produce harmonics which can cause a decrease in the reliability of the traction substation equipment, in addition to the need for excessive reactive power which can produce harmonics. The method used in this research is to take power data including load data and transformer capacity at the traction substation, then carry out a simulation to obtain initial harmonic values without a passive filter. The results of the first test without using a passive filter on a 20 kV/1.5kV transformer showed a harmonic value of 20,37%, this result still complies with the standard, while the harmonics required are <5% (according to the IEEE 519-2014 standard) so corrective mitigation needs to be carried out. Improvements were made by adding a high-pass passive filter to the transformer bus and load bus. The test results using the passive filter showed a decrease in the harmonic value to 3.36%.

Keywords — Harmonic filter, Harmonic Distortion, ETAP, Traction Substation.

I. PENDAHULUAN

Transportasi kereta api saat ini menjadi salah satu pilihan untuk perjalanan jarak menengah. Kebutuhan akan suatu alat transportasi terus meningkat, terutama yang dibutuhkan saat ini adalah angkutan massal yang murah, cepat, bebas hambatan, nyaman dan selalu tersedia seperti halnya kereta rel listrik (KRL).

Kereta rel listrik (KRL) adalah alat transportasi umum yang penggunaan listriknya besar. Kereta listrik pada dasarnya memiliki arus searah atau DC, arus DC

merupakan sistem operasi KRL. Kereta rel listrik sendiri membutuhkan 1500 VDC untuk mengoperasikannya, PLN menyuplai sebesar 20kV AC yang mana tidak sesuai dengan yang dibutuhkan kereta listrik, karena AC adalah arus bolak balik sedangkan DC adalah arus searah^[1]. Supaya sesuai dan dapat digunakan untuk mengoperasikan kereta listrik maka arus yang disuplai PLN dalam bentuk AC harus diturunkan menggunakan trafo hubung Y atau trafo dua cabang yaitu cabang primer dan sekunder supaya menjadi arus DC atau menggunakan sistem penyearah. Penurunan arus AC menjadi DC menggunakan trafo

hubung Y yang cabang primernya 1500 VAC dan cabang sekunder 1200 VAC. Penurunan atau pengubahan arus dua arah menjadi arus searah juga diperlukannya gardu traksi yang telah dilengkapi oleh komponen rectifier [2].

Proses pengubahan arus bolak balik menjadi searah mempunyai efek yang akan menjadi masalah yang cukup serius yaitu terjadinya distorsi harmonisa. Distorsi harmonisa merupakan distorsi periodik yang berasal dari gelombang sinus tegangan atau arus yang memiliki frekuensi kelipatan diluar bilangan satu terhadap frekuensi fundamental yaitu disebut dengan distorsi harmonisa [3]. Munculnya distorsi harmonisa dikarenakan adanya beban-beban non-linear yang terhubung ke sistem distribusi, beban non-linear adalah peralatan alat elektronik yang memiliki komponen semi konduktor dalam jumlah yang banyak dan menggunakan saklar sebagai perantara setiap siklus gelombang dari sumber tegangan. Beban non-linear merupakan salah satu komponen yang mengakibatkan arus sistem menjadi sangat terdistorsi apabila persentase kandungan harmonik arus THD sangat tinggi [4].

Berdasarkan permasalahan yang dapat disimpulkan bahwa efek distorsi harmonisa yang melewati batas standar yang berlaku yaitu <5% akan menimbulkan permasalahan berdampak pada komponen-komponen KRL. Solusi utama untuk meredam distorsi harmonisa yaitu dengan penambahan filter, oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh penambahan filter pada gardu traksi KRL, selain itu penelitian ini bermaksud untuk mengetahui dan menganalisa nilai harmonisa pada gardu traksi KRL serta merancang filter harmonisa untuk meredam efek distorsi harmonisa tersebut.

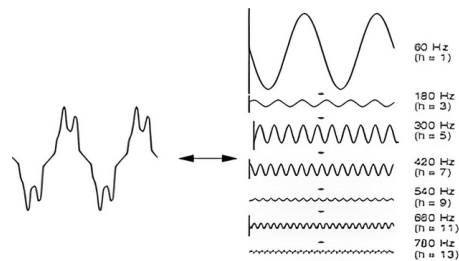
II. TINJAUAN PUSTAKA

Study literature yang dilakukan berdasarkan kajian beberapa jurnal pendukung dalam penelitian ini.

A. Harmonisa

Harmonisa adalah kelipatan bilangan bulat dari frekuensi fundamental yang turut mempengaruhi sistem tenaga listrik. Harmonisa merupakan cara matematis untuk

menyatakan suatu gangguan pada bentuk gelombang tegangan atau arus [5]. Adanya komponen harmonisa pada suatu sistem tenaga listrik dapat menyebabkan distorsi pada bentuk tegangan atau arus yang dapat mempengaruhi kualitas sistem tenaga listrik.

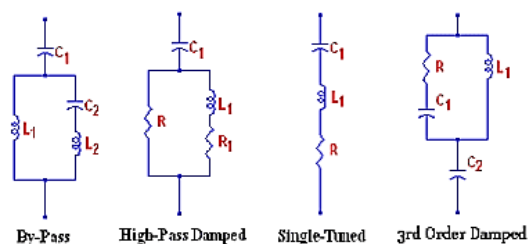


Gbr.1 Harmonisa [5]

Harmonisa seperti pada Gambar 1 merupakan jumlah distorsi dari semua komponen harmonisa dari tegangan atau arus. Adapun THD (Total Harmonic Distortion) biasanya merupakan perbandingan terhadap nilai dari nilai rms pada komponen fundamental arus atau tegangan. Semakin besar nilai THD, maka distorsi yang terjadi semakin besar dan dapat mengakibatkan perubahan bentuk gelombang yang semakin besar. THD dirumuskan secara matematis sebagai berikut [5].

B. Filter Pasif

Filter pasif merupakan sekumpulan komponen pasif yang dirangkai dan digunakan untuk membuang tegangan output pada frekuensi tertentu. Sebagian besar didesain untuk memberikan bagian khusus untuk mengalihkan arus harmonisa yang tidak diinginkan dalam sistem tenaga. Filter pasif banyak digunakan untuk mengkompensasi kerugian daya reaktif akibat adanya harmonisa pada sistem instalasi. Rangkaian filter pasif terdiri dari komponen R, L, dan C. Adapun jenis-jenis filter pasif seperti pada gambar berikut:



Gbr. 2 Jenis Filter Pasif

Komponen utama yang terdapat pada filter pasif adalah kapasitor dan induktor. Kapasitor dihubungkan seri atau paralel untuk memperoleh sebuah total rating tegangan dan kVAR yang diinginkan. Sedangkan induktor digunakan dalam rangkaian filter dirancang mampu menahan selubung frekuensi tinggi yaitu efek kulit (skin effect).

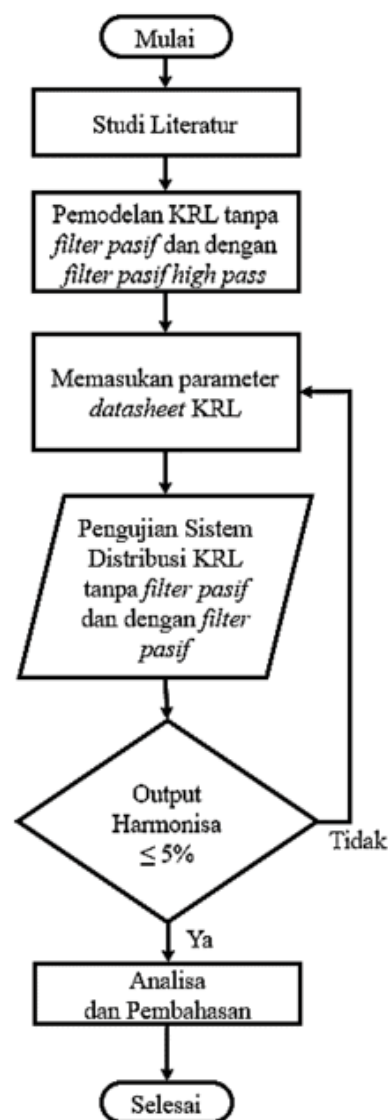
III. METODE PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pemaparan metode berdasarkan dari beberapa review jurnal penelitian dan metode ilmiah yang digunakan pada penelitian. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Desain program simulasi menggunakan software ETAP versi 12.6.0 dalam bentuk single line diagram dipasang paralel terhadap beban.
2. Analisa distorsi harmonisa pada sisi outgoing transformator 20 kV/1,5 kV gardu traksi
3. Desain filter harmonisa (High-Pass filter) menggunakan perhitungan rumus-rumus berdasarkan data hasil load flow analysis.
4. Analisa distorsi harmonisa setelah pemasangan filter dibandingkan dengan sebelum pemasangan filter.

A. Blok Diagram Alir Penelitian

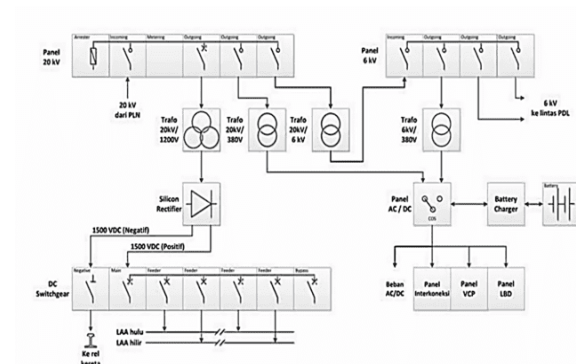
Adapun blok diagram penelitian yang digunakan penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3. Pada Gambar 3. diagram alir alat yang akan digunakan pada penelitian ini dengan mengujikan pemodelan sistem distribusi KRL tanpa filter pasif dan dengan filter pasif, terdiri dari dua pengujian pemodelan yaitu Pengujian model sistem distribusi KRL tanpa filter pasif dan Pengujian model sistem distribusi KRL dengan filter pasif high pass. Hasil pengujian berupa nilai harmonisa dengan keluaran masing-masing sesuai pengujian yang dilakukan.



Gbr. 3 Diagram Alir Penelitian

B. Single Line Diagram Gardu Traksi

Susunan gardu traksi beserta dengan komponen-komponen gardu traksi dapat dilihat pada Gambar 4. sebagai berikut:



Gbr. 4 Susunan Gardu Traksi

Gardu traksi KRL rata-rata mempunyai daya terpasang sebesar 4.420 kVA dari supply PLN[2].

Tabel 1. Kapasitas Gardu Traksi

		PT. KERETA API INDONESIA (PERSERO)		
PESING-DURI		DATA KAPASITAS GARDU LISTRIK		
LOKASI GARDU	DAYA PLN(W)	KAP. SR (W)	KAP. TRAFO(V)	PLN (kV)
PESING-DURI	5.540	4.000	4.420	20

Adapun parameter kapasitas komponen sebagai berikut :

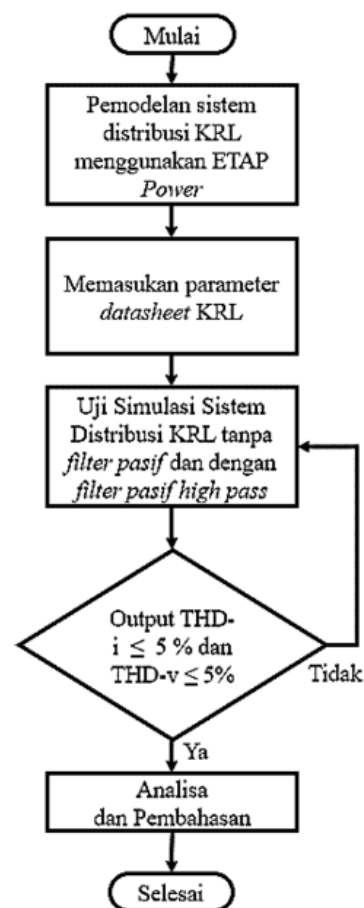
Tabel 2. Spesifikasi Transformator

Spesifikasi Transformator KRL	
<i>Merk</i>	Meidensha
<i>Made</i>	Japan
<i>Type</i>	NORSG-AY Outdoor
<i>Standard</i>	JEC-188-1977
<i>Serial</i>	No. 8p8274T1
<i>Date</i>	MAY, 1990
<i>Cooling ONAN</i>	Nitrogen Gas-Sealed Tank System Outdoor
<i>Rating</i>	S Class
<i>Rated Capacity</i>	4420 Kva
<i>Rated Frequency</i>	50 Hz
<i>Rated Voltage</i>	AC 20 kV/AC 1,2 kV
<i>Basic Impus Level</i>	AC 125 kV/ AC 30 kV
<i>Implementasi Voltage (75 C)</i>	10,32%
<i>Weight Total</i>	16700 Kg
<i>Oil</i>	3800 Liter

Konversi tegangan AC outgoing transformator 1,5 kV AC didistribusikan menuju converter DC 1500 V DC untuk mensuplai kebutuhan daya pada KRL, kemudian terjadi distorsi harmonisa pada sisi outgoing transformator 1,5 kV.

Tabel 3. Spesifikasi SR (Silicon Rectifier)

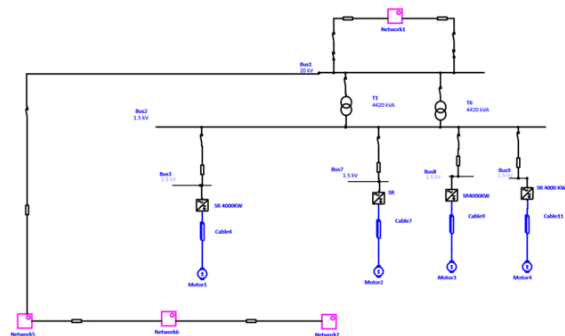
Spesifikasi SR KRL	
<i>Merk</i>	Meidensh
<i>Made</i>	Japan
<i>Type</i>	YOTR-152/272
<i>Serial</i>	No. 8C8400 TH
<i>Date</i>	1990
<i>Standard</i>	JEC-178
<i>Rating Class</i>	S 1.0/0-1.5/2 H-2.0/5 M-3.0/1 M
<i>Rated Output</i>	4000 kW
<i>Rated DC Current</i>	2667 A
<i>Connvection</i>	3 Phase Bridge
<i>Rated dc Voltage</i>	1500 VDC
<i>Rated Frequency</i>	50 HZ
<i>Oil</i>	4200 Liter
<i>Mass</i>	8700



Gbr. 5 Diagram Alir Alat

C. Metode Pengukuran Harmonisa

Pengukuran nilai harmonisa bertujuan untuk mengetahui nilai distorsi yang dihasilkan dari suatu gardu traksi, dengan mensimulasikan menggunakan software ETAP Power maka dapat ditentukan jumlah harmonisa yang dihasilkan.



Gbr. 6 Gardu Traksi Tanpa Filter Pasif

Pada gardu traksi terdapat beberapa panel dan komponen diantaranya: trafo 20 kV/380 V, bus bar, Switchgear, panel AC/DC, panel interkoneksi. Spesifikasi dari setiap komponen berbeda-beda tergantung dari daya yang disuplai gardu traksi. Gardu traksi umumnya memiliki daya bervariasi antara 1500 kW, 3000 kW, atau 4000 kW.

D. Perancangan Filter Pasif High-Pass

Dalam mendesain suatu filter pasif, maka perlu diketahui besarnya parameter-parameter yang dibutuhkan. Parameter-parameter tersebut yaitu kompensasi daya reaktif (QVAR), reaktansi kapasitif (X_c), kapasitansi (C), reaktansi induktif (X_L), dan induktansi (L). Untuk mencari parameter tersebut dapat menggunakan persamaan berikut:

$$Q_{VAR} = \sqrt{\left[\frac{P}{PF_{awal}}\right]^2 - P^2} - \sqrt{\left[\frac{P}{PF_{akhir}}\right]^2 - P^2} \quad (1)$$

$$X_c = \frac{V^2}{Q_{VAR}} \quad (2)$$

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

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

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

Dengan:

Q_{VAR} : Kompensasi daya reaktif (kVAR)

P : Daya aktif (kW)

PF : Faktor daya

V : Tegangan

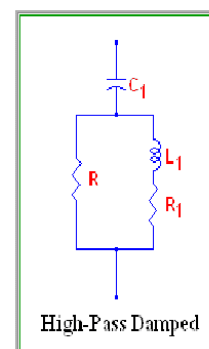
f : Frekuensi fundamental (Hz)

X_c : Reaktansi kapasitif (ohm)

X_L : Reaktansi induktif (ohm)

C : Kapasitif (μF)

L : Induktansi (mH).



Gbr. 7 Jenis Filter Pasif High-Pass

Perancangan filter diawali dengan memperbaiki faktor daya hasil simulasi load flow pada unit transformator sebagai berikut:

$$I_L = 269.4 \text{ A}$$

$$S = 20 \text{ kVA}$$

Daya reaktif yang dibutuhkan untuk memperbaiki faktor daya dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$Q_1 = 314 \text{ kVAR}$$

Apabila faktor daya (power factor) dinaikkan menjadi 0.9 maka besar daya reaktif dengan menggunakan persamaan:

$$PF = 0.9$$

$$Q_2 = 544 \times \sin[\cos^{-1}(0.9)] = 237 \text{ kVAR}$$

Dengan demikian, total $C = 314 + 237 = 511 \text{ kVAR}$ dan total daya reaktif yang dibutuhkan filter pasif harmonisa untuk nilai redaman yang dibutuhkan adalah:

$$Q_C = Q_1 - Q_2 \quad (6)$$

$$Q_C = 314 - 237 = 77 \text{ kVAR}$$

Kemudian untuk menentukan reaktansi filter (X_{filter}) menggunakan persamaan berikut:

$$X_{filter} = \frac{(V_{LL})^2}{Q_C} \quad (7)$$

$$X_{filter} = \frac{(1.5)^2 \times 1000}{77 \text{ kVAR}} = 29 \text{ kVAR}$$

Sedangkan masing-masing nilai reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif, pada frekuensi penalaan 250 Hz Dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$X_c = \left[\frac{h^2}{h^2 - 1} \right] \times X_{filter} \quad (8)$$

$$X_c = \left[\frac{4.5^2}{4.5^2 - 1} \right] \times 29 = 30 \text{ ohm}$$

Dimana nilai h ditentukan sebagai berikut:

$$h = n - (n \times 10\%) \quad (9)$$

$$h = 5 - (0.5) = 4.5$$

Kemudian menentukan nilai kapasitor dengan persamaan berikut:

$$C = \frac{1}{2\pi f X_c} \quad (10)$$

$$C = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 50 \times 26}$$

$$C = 11,5 \times 10^{-4} \mu F$$

Selanjutnya menentukan nilai resistansi induktor menggunakan persamaan:

$$X_L = \frac{X_c}{h^2} \quad (11)$$

$$X_L = \frac{30}{4,5^2} = 1,5 \text{ ohm}$$

Kemudian nilai inductor menggunakan persamaan (5):

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} \quad (12)$$

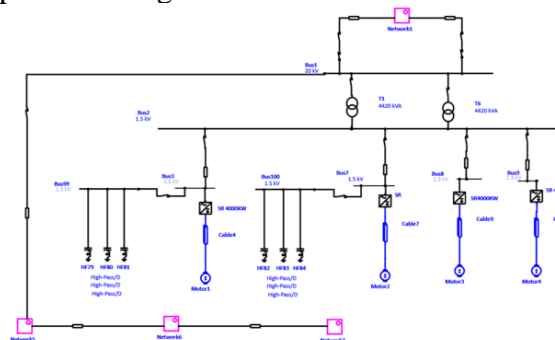
$$L = \frac{1,5}{2 \times 3,14 \times 50} = 0,00477 \text{ H}$$

Rangkaian filter pasif harmonisa terdiri dari R, L, dan C memiliki nilai yang didapat dari perhitungan di atas, maka penentuan nilai R diperlukan Qf yang bernilai diantara 20 – 100, dipilih Qf = 50 disesuaikan data pada simulasi ETAP, didapatkan:

$$Q = \frac{n \times X_L}{R} \quad (13)$$

$$R = \frac{5 \times 1,5}{50} = 1,5 \text{ ohm}$$

Filter pasif *high-pass* yang telah dirancang dan diukur sesuai kebutuhan akan dikoneksikan pada bus trafo 20kV/1,5V dan pada bus beban hal tersebut dikarenakan pengaruh konversi AC/DC menghasilkan harmonisa yang sangat tinggi, penggunaan daya pada motor DC pada variasi daya 1.105 kW juga menyebabkan distorsi harmonisa pada sistem gardu traksi.

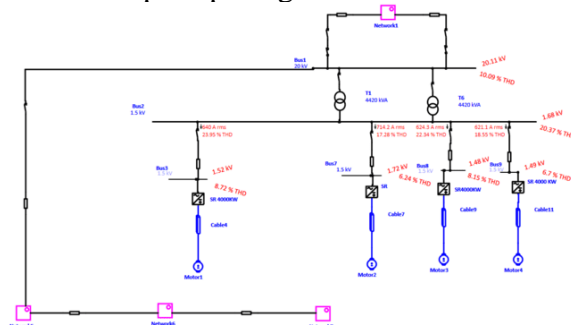


Gbr. 8 Gardu Traksi dengan Pasif Filter *High-Pass*

Penambahan filter pasif *high-pass* pada bus transformator dan bus beban, seperti pada gambar 8.

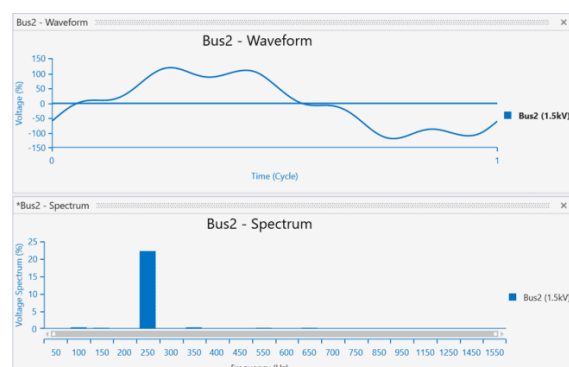
E. Pengujian Simulasi Tanpa Menggunakan Filter Pasif *High-pass*

Simulasi gardu traksi dengan transformator outgoing 20 kV/1,5kV, memiliki hasil keluaran seperti pada gambar 9 berikut.



Gbr. 9 Pengujian Tanpa Menggunakan Filter Pasif

Nilai THD yang dihasilkan pada bus 2 keluaran transformator 1,5 kV menghasilkan 20,37% harmonisa, gelombang spectrum yang dihasilkan pun mengalami gangguan yang dapat dilihat seperti pada gambar 8 berikut:



Gbr. 10 Spectrum Gelombang Tanpa Filter Pasif Pada Bus Transformator 20kV/1.5kV

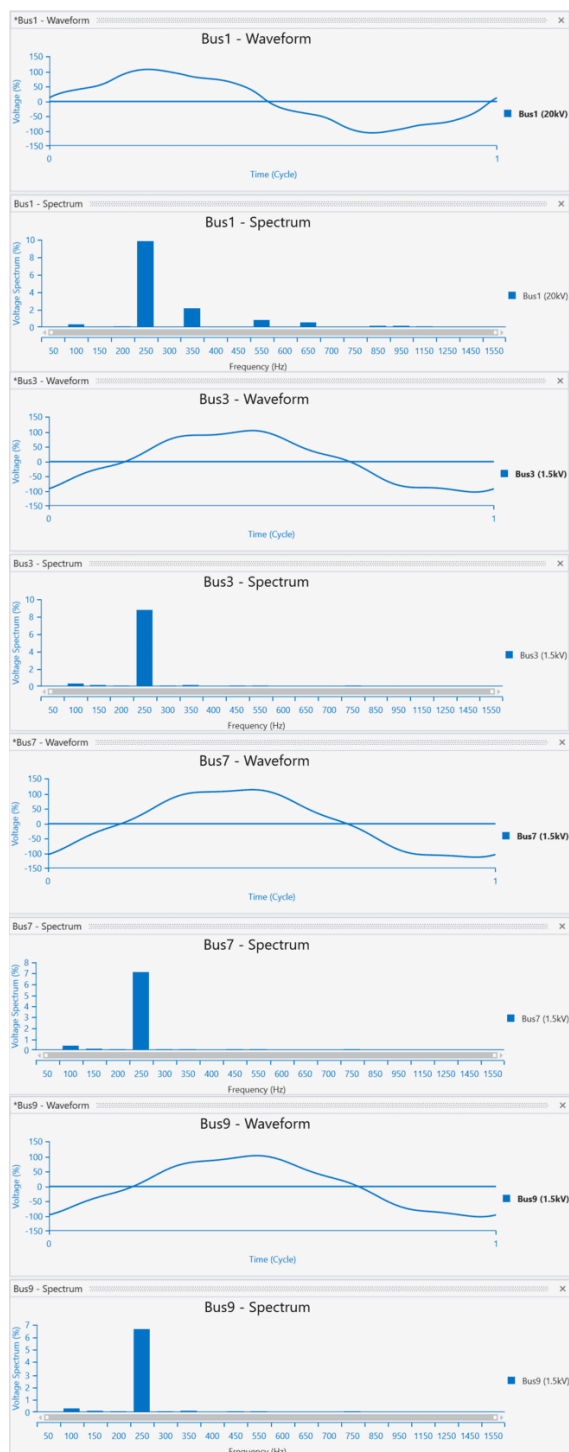
Nilai harmonisa diatas standar yang diizinkan dapat merusak sistem dalam menyupai daya ke beban, hal tersebut dapat dilihat pada gelombang yang dihasilkan pada gambar 8, adapun nilai THD yang didapatkan pada baban motor DC yaitu bus3 = 8,72%, bus7 = 6,24%, bus8 = 8,15%, dan bus9 = 6,7%. dengan beban penuh keseluruhan 1.105 kW menghasilkan nilai harmonisa seperti pada tabel 4 berikut.

Nilai harmonisa yang dihasilkan pada tabel 4 tanpa menggunakan filter pasif jauh dari standar yang dianjurkan IEEE 519-2014 yaitu < 5%. Nilai harmonisa memainkan peran penting dalam kesetabilan sistem KRL pada penyuplaian daya, hal tersebut dapat dilihat

dari distorsi yang dihasilkan seperti pada gambar 11.

Tabel 4. Nilai Harmonisa Tanpa Filter Pasif

No	BUS		THD
	ID	kV	
1	Bus1	20	10,09%
2	Bus2	20/1,5	20,37%
3	Bus3	1,5	8,72%
4	Bus7	1,5	6,24%
5	Bus8	1,5	8,15%
6	Bus9	1,5	6,7%



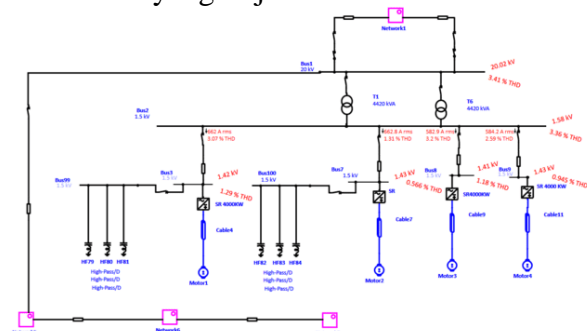
Gbr. 11 Spectrum Gelombang Tanpa Filter Pasif Pada Bus Beban

Spectrum yang dihasilkan dapat dilihat seperti pada gambar 9, ketidakstabilan sistem yang terjadi dikarenakan daya reaktif yang dibutuhkan melebihi kemampuan dari gardu traksi dan menghasilkan nilai harmonisa diatas standar yang dianjurkan, sehingga penyuplaian daya pada sistem tidak stabil.

F. Pengujian Simulasi Dengan

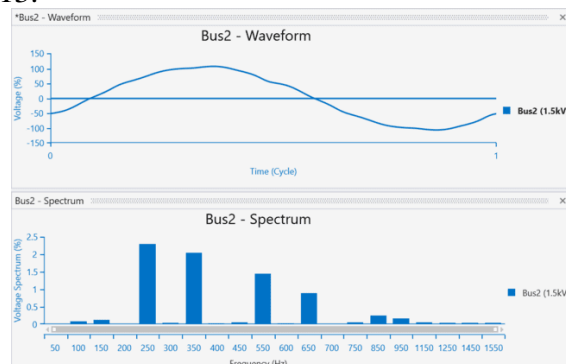
Menggunakan Filter Pasif High-pass

Setelah dilakukan pengujian tanpa menggunakan filter pasif, dilanjutkan dengan pengujian sistem gardu traksi 20 kV/1,5kV, penambahan filter high-pass pada bus2 dan bus beban seperti pada gambar 10, hal tersebut bertujuan untuk membantu penyuplaian daya reaktif sehingga dapat mengurangi distorsi harmonisa yang terjadi.



Gbr 12 Pengujian Menggunakan Filter Pasif High-Pass

Penambahan filter pada gambar 12 dapat membantu mengurangi distorsi harmonisa pada sistem hingga mencapai nilai standar yang dianjurkan, penambahan filter high-pass mengurangi harmonisa mencapai 3,36%, pada bus2, nilai tersebut merupakan nilai yang diperbolehkan pada sistem dalam menyuplai daya menurut IEEE 519-2014. Berikut spectrum yang dihasilkan seperti pada gambar 13.



Gbr 13. Spectrum Gelombang dengan Filter Pasif High-Pass Pada Bus Transformator 20kV/1.5k

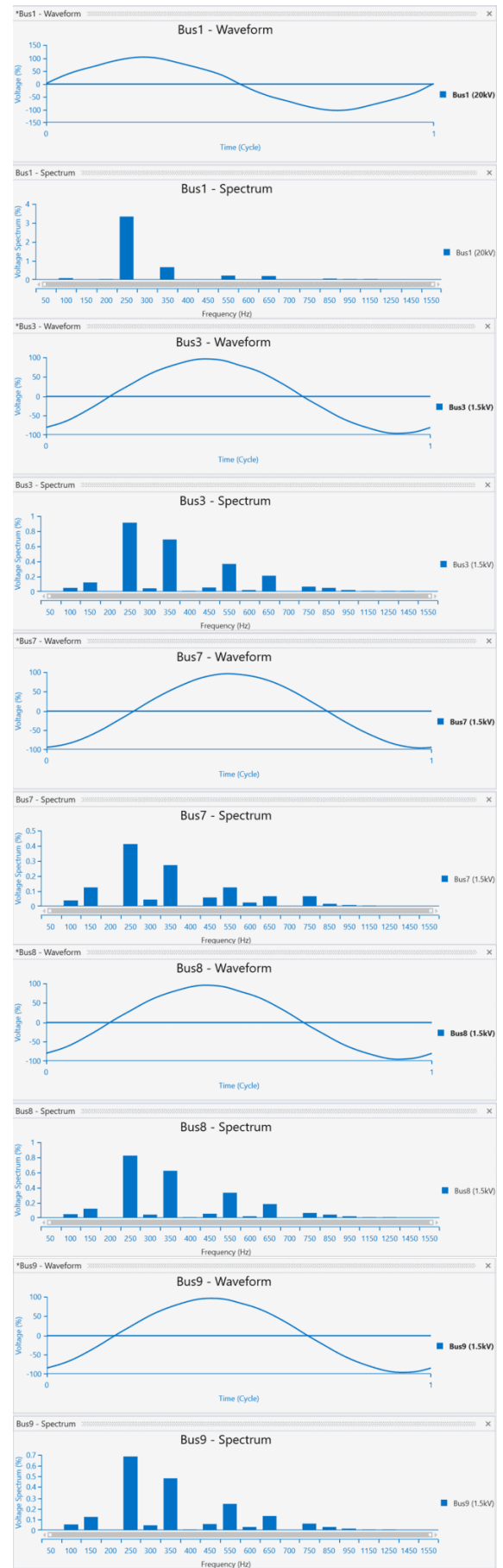
Perubahan spectrum yang dihasilkan sebelum ditambahkannya filter pasif high-pass dan sesudah ditambahkan filter pasif high-pass dapat memperbaiki distorsi yang dihasilkan seperti pada gambar 11. Adapun nilai-nilai harmonisa pada setiap bus beban seperti pada tabel 5 berikut.

Tabel 5. Nilai Harmonisa Tanpa Filter Pasif

No	BUS		THD
	ID	kV	
1	Bus1	20	3,41%
2	Bus2	20/1.5	3,36%
3	Bus3	1.5	1,29%
4	Bus7	1.5	0,56%
5	Bus8	1.5	1,18%
6	Bus9	1.5	0,94%

Perolehan nilai harmonisa seperti pada tabel 5 menurun dan sesuai dengan standar yang dianjurkan. Distorsi yang dihasilkan nilai harmonisa yang didapatkan pada baban motor DC yaitu bus3 = 1,29%, bus7 = 0,56%, bus8 = 1,18%, dan bus9 = 0,94%. Berikut hasil spectrum seperti pada gambar 14.

Perbaikan gelombang spectrum yang disebabkan oleh nilai harmonisa yang tinggi dapat diminimalisir menggunakan filter pasif high-pass, dengan pemenuhan daya reaktif dapat memperbaiki sistem dan mengurangi fluktuasi harmonisa yang terjadi.



Gbr. 14 Spectrum Gelombang dengan Filter Pasif High-Pass Pada Bus Beban

IV. PENUTUP

A. Kesimpulan

1. Sistem gardu traksi KRL tanpa menggunakan filter pasif menghasilkan harmonisa yang sangat tinggi yaitu mencapai 20,37%, sehingga sistem mengalami ketidakseimbangan dalam penyuplaian daya, hal tersebut dikarenakan ketidak mampuan sistem dalam menyuplai daya reaktif berlebihan. Dapat dilihat seperti pada gambar 9.
2. Sistem gardu traksi KRL dengan menambahkan filter pasif high-pass pada bus transformator 20kV/1,5kV dan pada beban dapat mengembalikan kesetabilan sistem dengan menyuplai daya reaktif, sehingga nilai harmonisa yang diperoleh sesuai standar IEEE 519-2014 yang dianjurkan yaitu 3,36%.

REFERENSI

- [1] A. Sofwan, "Penurunan Harmonisa Outgoing Transformator," *TEKINFO: Jurnal Penelitian Teknik dan Informatika*, vol. 2, pp. 209–221, 2020.
- [2] A. Wibowo, K. Anam, and K. Kunci, "Prosiding The 11 th Industrial Research Workshop and National Seminar Bandung," 2020.
- [3] T. Nugroho and I. Reza, "Analisis Pengukuran Dan Perhitungan Total Harmonic Distortion (THD) Pada Beban Non Linier," 2022.
- [4] I. Y. Made Ardita, A. Zamzami, F. Hanif Jufri, and dan Faiz Husnayain, "Studi Harmonisa Akibat Komponen Penyearah pada Gardu Traksi Kereta Rel Listrik (KRL)," 2020.
- [5] I. Izhhar, "Perancangan Filter Optimum Untuk Mengatasi Efek Distorsi Harmonisa Pada Gardu Traksi Kereta Rel Listrik (KRL) Stasiun Pasar Minggu Designing Optimum Filter to Reduce The Effects Of Harmonic Distortion at Pasar Minggu Traction Substation of Electric Train," 2014.
- [6] A. Haidlir Abdul Rachman, P. Studi Teknik Elektro, and S. Teknologi Tinggi Mandala Bandung, "Analisis Total Harmonik Distorsi Pada Panel Acpdb Akibat Beban Non Linear," *Isu Teknologi Stt Mandala*, vol. 13, 2018.
- [7] I. Y. Made Ardita, A. Zamzami, F. Hanif Jufri, and dan Faiz Husnayain, "Studi Harmonisa Akibat Komponen Penyearah pada Gardu Traksi Kereta Rel Listrik (KRL)," 2020.
- [8] S. A. Assefa, A. B. Kebede, and D. Legese, "Harmonic analysis of traction power supply system: case study of Addis Ababa light rail transit," *IET Electrical Systems in Transportation*, vol. 11, no. 4, pp. 391–404, Dec. 2020, doi: 10.1049/els2.12019.
- [9] Rido Rahmadani, "Analisis Pemasangan Filter Pasif Untuk Mengurangi Harmonisa Pada Transformator Rectifier Di Pt. Indah Kiat Pulp And Paper Perawang," *SainETIn (Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri)*, vol. 3, pp. 59–68, Jun. 2019.
- [10] A. Bueno, J. Restrepo, J. Aller, I. Giménez, J. Restrepo, and J. M. Aller, "Active harmonic filters and balance compensation on electric railway systems using the open delta transformer connection Deep bar induction motors parameters estimation View project Prometeo research on wind energy View project Active Harmonic Filters and Balance Compensation on Electric Railway Systems using the Open Delta Transformer Connection Acknowledgements," 2009.
- [11] Y. Djeghader, L. Zellouma, H. Labar, R. Toufouti, and Z. Chelli, "Study and filtering of harmonics in a DC electrified railway system," in *Proceedings of 2015 7th International Conference on Modelling, Identification and Control, ICMIC 2015*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Feb. 2016. doi: 10.1109/ICMIC.2015.7409469.
- [12] F. Aqmarina Quinta and H. Eko Prakoso, "Kajian Pemanfaatan Moda Transportasi Kereta Rel Listrik (Krl) Commuter Line Dalam Pergerakan Komuter Bekasi-Jakarta," 2015.