

PENGUKURAN DAN ANALISA KUALITAS DAYA PADA KONDISI SEBELUM DAN SETELAH SINKORNISASI GENERATOR DENGAN VARIASI BEBAN

Muh. Ikhlas Setiawan¹⁾, Iqbal Chan Saputra²⁾
email: ikhlastryguez@gmail.com

¹⁾ Jurusan Magister Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung

²⁾ Jurusan Magister Teknik Elektro, Universitas Gadjah Mada

Ringkasan

Semakin berkembang pesatnya pembangunan semakin tinggi pula kebutuhan beban listrik sehingga kebutuhan energi listrik juga semakin meningkat, untuk mengimbangi perkembangan beban listrik. Untuk memproduksi daya listrik yang besar maka diperlukan operasi parallel generator yang disebut dengan sinkronisasi generator. Sinkronisasi generator sangat diperlukan untuk menggabungkan beberapa generator sehingga bisa melayani banyak konsumen.

Pada sisi konsumen mempunyai berbagai macam jenis beban yaitu beban linier dan beban non linier, Dimana beban linier tersebut sesuai dengan hukum ohm yaitu arus berbanding lurus dengan tegangan sehingga tidak ada gelombang yang terdistorsi. Beda halnya dengan beban non linier dimana beban tersebut menimbulkan harmonisa yang menyebabkan gelombang terdistorsi. Beban non linier menyebabkan rugi-rugi seperti menimbulkan panas dan bahkan membuat suatu peralatan cepat rusak.

Pengamatan dan pengukuran di lakukan pada beban linier, beban non linier dan beban gabungan pada kondisi sebelum dan setelah sinkronisasi generator dengan sistem. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa gambar gelombang dari beban linier, nonlinier dan gabungan sebelum sinkronisasi membentuk gelombang sinusoidal cacat namun setelah sinkronisasi bentuk gelombangnya menjadi sinusoidal murni. Untuk kualitas daya dari masing-masing beban dari kondisi sebelum dan setelah sinkronisasi mengalami perbaikan.

Kata Kunci : *Sinkronisasi, beban linier, beban nonlinier, Harmonisa*

1. PENDAHULUAN

Saat ini kebutuhan terhadap suatu sistem kelistrikan yang andal dan efisien meningkat pesat seiring perkembangan teknologi dan industri. Adapun aspek penting dalam sistem kelistrikan salah satunya adalah kualitas daya (power quality), mencerminkan seberapa baik suatu karakteristik tegangan dan arus didalam sistem mendekati bentuk idealnya. Gangguan yang ada pada kualitas daya dapat menyebabkan penurunan kinerja suatu peralatan, kerusakan pada peralatan elektronik, dan juga kerugian ekonomi, pada sistem kelistrikan yang begitu sensitif terhadap fluktuasi daya.

Pada sistem pembangkitan listrik, pemanfaatan generator sebagai sumber daya utama ataupun cadangan memerlukan proses sinkronisasi sebelum dioperasikan secara paralel terhubung dengan sistem lainnya. Pada proses sinkronisasi terdapat syarat yang harus dipenuhi yaitu tegangan, frekuensi, dan sudut fasa generator dan sistem kelistrikan utama harus berada pada kondisi yang sesuai, untuk menghindari gangguan transien ataupun ketidakseimbangan pada sistem.

Selain faktor sinkronisasi, juga jenis beban yang digunakan dapat berpengaruh secara signifikan terhadap kualitas daya. Jenis beban linier seperti pemanas resistif dan juga motor induksi umumnya menghasilkan suatu bentuk gelombang arus mengikuti tegangan, adapun beban nonlinier seperti perangkat pada elektronik berbasis semikonduktor dapat menghasilkan distorsi harmonik yang bisa merusak bentuk gelombang dari arus dan tegangan. Pada kombinasi dari beban linier dan nonlinier kerap dijumpai dalam aplikasi didunia nyata dan dapat mempengaruhi analisis kualitas daya.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan pengukuran dan analisa kualitas daya pada sistem generator, baik sebelum maupun setelah proses sinkronisasi, dengan berbagai variasi beban, yaitu

beban linier berupa lampu pijar, beban non-linier berupa unit CPU, dan kombinasi keduanya. Selain itu juga untuk melihat bentuk gelombang dari kondisi sebelum dan setelah sinkronisasi.

Pada penelitian ini menggunakan generator yang dalam keadaan berbeban pada kondisi sebelum, saat dan selepas sinkronisasi agar memungkinkan kemunculan nilai harmonisa. Untuk melihat tinggi rendah gelombang harmonik yang dihasilkan maka dibutuhkan suatu alat untuk mengukurnya yaitu menggunakan *3 phase power analyzer*.

2. KAJIAN PUSTAKA

Pensuplaian tenaga listrik merupakan sumber energi listrik yang sangat dibutuhkan untuk menggerakkan peralatan-peralatan listrik ataupun kebutuhan lainnya yang terdapat di rumah maupun di tempat lainnya (Londong, 2022). Kebutuhan listrik yang semakin lama semakin besar maka perusahaan listrik harus bisa mengimbangi perkembangan tersebut agar permintaan listrik terpenuhi (Aidillah et al., 2024). Peningkatan beban dari sisi konsumen inilah yang memicu sistem tenaga listrik untuk terus berkembang agar tidak terjadi overload. Pada sistem tenaga listrik dibagi menjadi sistem pembangkitan, sistem transmisi dan distribusi (Suwarno, 2023).

Salah satu bagian sistem tenaga listrik yang penting adalah pada sistem pembangkitan tenaga listrik, itu dikarenakan apabila terjadi pemadaman pada sistem ini maka secara otomatis suplai listrik ke konsumen menjadi tidak ada sehingga terjadi pemadaman Listrik. Pada sistem pembangkit tenaga listrik terdapat generator, generator adalah alat yang berfungsi memproduksi energi listrik dari energi mekanik (Sahputra, 2021). Untuk menghasilkan daya yang besar maka diperlukan operasi parallel generator yang disebut sinkronisasi generator.

Sinkronisasi generator ke jala-jala adalah salah satu proses masuknya pembangkit/tambahan daya ke sistem. Sinkronisasi generator ke jala-jala pada sistem tenaga listrik untuk kerja paralel generator dan grid membutuhkan syarat sinkronisasi (Narta, 2020). Adapun syarat dari sinkronisasi yaitu tegangan harus sama, frekuensi harus sama dan phasenya juga harus sama (Ario, 2020). Dalam proses sinkronisasi dimana generator yang akan disinkronisasikan dengan PLN mempunyai dua kondisi yaitu bisa dalam kondisi tanpa beban dan bisa pula pada kondisi berbeban.

Adapun beban listrik dibagi menjadi beban linier dan beban non-linier. Beban linier adalah beban yang memberikan bentuk gelombang keluarannya linier yang berarti bentuk dari gelombang keluaran arus mengikuti gelombang tegangannya, sedangkan beban non-linier adalah bentuk dari gelombang arus maupun gelombang tegangan keluarannya mengalami distorsi sehingga bentuk gelombang keluarannya tidak sama dengan gelombang masukannya (Ongko, 2023).

Penggunaan beban nonlinier menyebabkan perubahan pada bentuk gelombang (Joslen & et, 2020). Arus dan tegangan yang terdistorsi dinamakan Harmonisa (Sultan & Chairul, 2021). Harmonisa merupakan gangguan pada sistem tenaga listrik disebabkan oleh distorsi arus dan tegangan menyebabkan gelombang dari arus dan tegangan tidak sinusoidal murni bisa dikatakan cacat (Zulfatri & Aqil, 2021). Harmonisa yang tinggi apabila dibiarkan pada suatu beban atau distribusi tenaga listrik akan menimbulkan suatu masalah baik itu kerugian secara teknis maupun kerugian secara finansial bagi Lembaga (Zulkarnaini, 2024).

3. METODE PENELITIAN

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan pendekatan kuantitatif. Pengukuran dilakukan pada sistem generator dengan variasi beban linier, nonlinier, dan kombinasi keduanya, sebelum dan setelah sinkronisasi. Penelitian ini berbeda dengan penelitian sebelumnya yang dilaksanakan oleh Ongko yang berjudul "Analisa Beban Non linier Terhadap Nilai THDi dan THDv di Gedung Equity Tower" yang hanya menggunakan beban non-linier akan tetapi penelitian ini menggunakan beban linier, nonlinier dan gabungan dari keduanya.

Rincian alat dan bahan yang digunakan

Sebelum pengukuran dilakukan, tentunya menggunakan alat, Dimana alat tersebut dikelompokkan dalam dua jenis yaitu sebagai alat ukur dan sebagai alat pendukung yang akan dirangkai sedemikian rupa untuk memudahkan proses pengukuran, Adapun alat ukur yang digunakan yaitu :

Tabel 1. Alat Ukur yang Digunakan

No	Alat Ukur
1	Voltmeter
2	Double Frekuensi Meter
3	Synchronizing Indicator
4	Multimeter
5	3 Phase Power Analyzer

Untuk proses pengambilan data tegangan dan frekuensi menggunakan motor DC yang dikopel dengan generator sinkron. Peralatan-peralatan yang digunakan untuk mendukung proses pengukuran dalam pengambilan data dibuat pada tabelkan berikut.

Tabel 2. Peralatan-peralatan yang digunakan pada proses pengambilan data

No	Nama Alat
1	DC power Supply
2	Motor DC shunt 0.3 kW
3	Generator Sinkron 0.3 kW
4	Power Supply 3 phase
5	Beban linier dan non-linier

Pada Tabel 2 nomor 5, peralatan yang digunakan sebagai beban linier yaitu lampu pijar, sedangkan untuk beban non-linier menggunakan unit CPU pada computer. Adapun untuk mendapatkan beban gabungan yaitu beban linier berupa lampu pijar dan beban non-linier berupa unit CPU digabungkan untuk melanjutkan proses pengukuran selanjutnya.

Rangkaian pengukuran dengan 3 phase power analyzer

Pada gambar 1 merupakan rangkaian dari sistem pengukuran dimana rangkaian tersebut menghubungkan antara peralatan yang satu dengan yang lainnya sehingga bisa dilakukan proses pengukuran. Pada sisi beban (Load) di variasikan pada masing-masing pengukuran, saat pengukuran menggunakan beban linier maka pada sisi beban (Load) disambungkan dengan lampu pijar, saat pengukuran beban non-linier maka sisi beban (Load) diganti menggunakan unit CPU. Adapun pada saat pengukuran menggunakan beban gabungan maka pada sisi beban (Load) disambungkan dengan gabungan dari lampu pijar sebagai beban linier dan juga unit CPU sebagai beban non-linier.

Diagram alur pengukuran

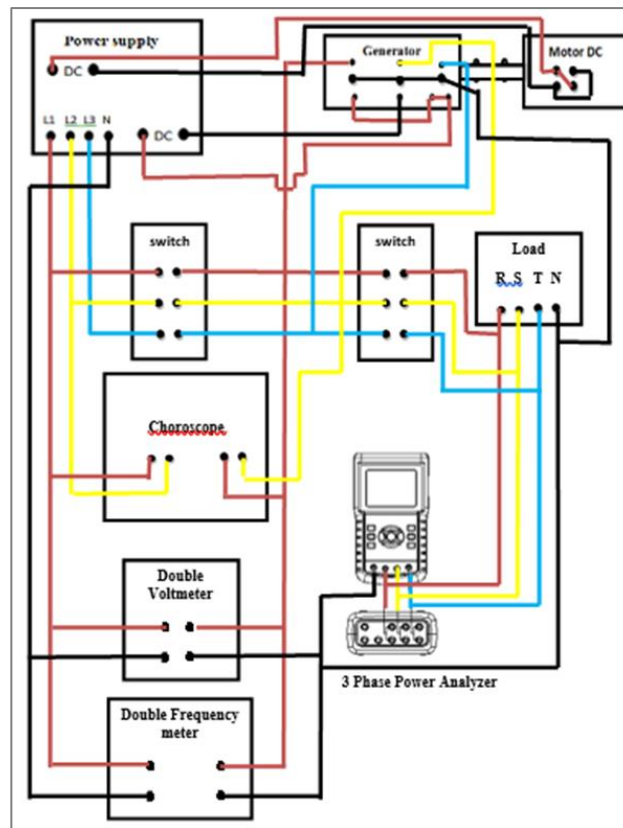
Untuk melakukan pengukuran tentunya semua peralatan dihubungkan antara peralatan yang satu dengan yang lainnya sehingga menjadi suatu rangkaian yang terhubung dan siap digunakan untuk melakukan pengukuran. Terlihat alat 3 phase power analyzer terhubung dengan beban untuk mengukur kualitas daya dan harmonisa pada masing-masing beban, baik pada saat pengukuran menggunakan beban linier yaitu lampu pijar, beban non-linier yaitu unit CPU serta beban gabungan dari beban linier dengan non-linier yaitu lampu pijar dan unit CPU.

Proses Pengambilan Data

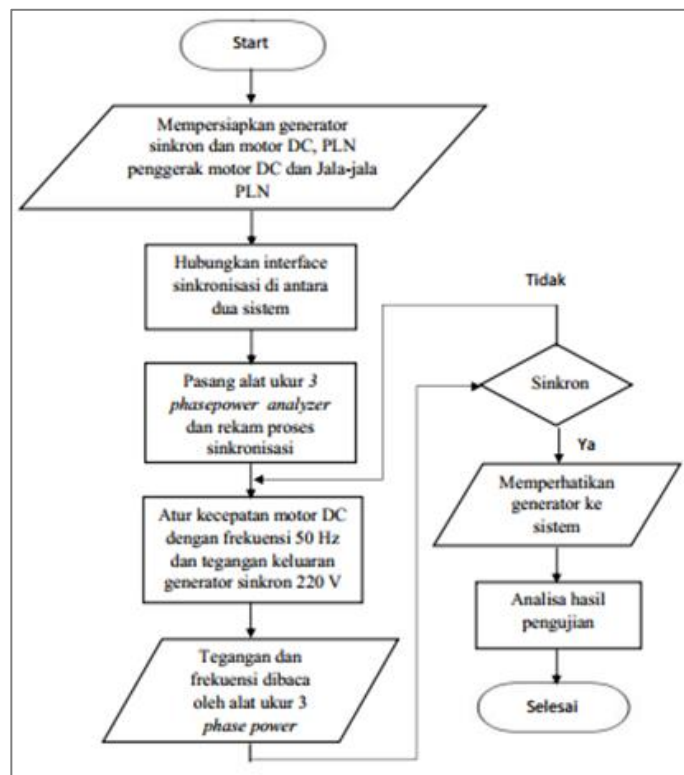
Untuk mengetahui nilai parameter yang diukur, dilakukan berbagai macam pengukuran untuk pengambilan data dan dilakukan dokumentasi untuk melihat bentuk gelombang dari beban linier non-linier dan beban gabungan pada setiap kondisi tersebut. Adapun proses pengambilan data yang dilakukan meliputi:

1. Pengukuran nilai kualitas daya pada beban linier, non-linier dan beban gabungan sebelum sinkronisasi.
2. Pengambilan gambar bentuk gelombang pada beban linier, non-linier dan beban gabungan setelah sinkronisasi.
3. Pengukuran nilai kualitas daya pada beban linier, non-linier dan beban gabungan setelah sinkronisasi.

4. Pengambilan gambar bentuk gelombang pada beban linier, non-linier dan beban gabungan setelah sinkronisasi.



Gambar 1. rangkaian sistem pengukuran



Gambar 2. Flowchart Pengukuran

Perhitungan Kualitas daya

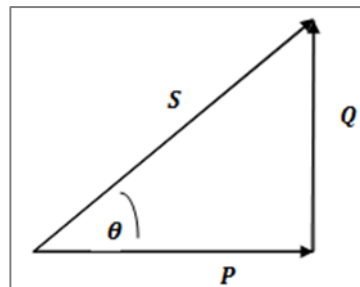
Setelah melakukan pengukuran, selanjutnya melakukan perhitungan kualitas daya. Kualitas daya merupakan hal yang penting dalam menggunakan energi listrik, dampak dari rendahnya kualitas daya listrik yaitu menimbulkan panas, penuaan dan penurunan kapasitas dari peralatan (Ahmad & et, 2023). Power factor (PF) sangat sering muncul pada rangkaian listrik. Dalam rangkaian listrik pada umumnya mengandung unsur resistansi dan reaktansi atau impedansi kompleks dan daya yang diserap adalah tergantung pada sifat bebannya. Hal tersebut dikarenakan yang menerap daya adalah beban yang bersifat resistif, sedangkan beban yang bersifat reaktif tidak menyerap daya. Dengan demikian perkalian antara tegangan efektif dengan arus efektif adalah merupakan daya semu atau daya kompleks (S) dengan satuan VA, daya aktif (P) dengan satuan Watt dan daya reaktif (Q) dengan satuan VAR (Luqman, 2009)

$$S = V I \text{ (VA)}$$

$$P = S \cos \theta \text{ (Watt)}$$

$$Q = S \sin \theta \text{ (VAR)}$$

Hubungan antara ketiga daya baik itu daya nyata, daya semu dan daya reaktif dapat digambarkan dengan segitiga daya.



Gambar 3. segitiga daya

Untuk perbandingan antara daya nyata dengan daya semu disebut dengan faktor daya atau power factor (PF) dan disebut juga dengan $\cos \theta$ sehingga faktor daya bisa dituliskan dengan persamaan

$$\cos \theta = \frac{P}{S}$$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran dan Perhitungan Kualitas Daya

Setelah melakukan pengukuran maka didapatkan suatu data hasil yang berkaitan dengan kualitas daya dan selanjutnya dibandingkan dengan perhitungan manual. Untuk mendapatkan nilai dari daya semu (S) dan daya reaktif (Q) maka diperlukan data dari daya nyata (P) dan faktor daya (PF) atau disebut juga dengan $\cos \theta$ dan dengan memasukkan ke persamaan yaitu

$$P = S \cos \theta \text{ (Watt)}$$

$$Q = S \sin \theta \text{ (VAR)}$$

Dari hasil pengukuran $P = 154 \text{ Watt}$

$$\cos \theta = 0,92$$

Dari persamaan P didapat persamaan untuk mencari nilai S yaitu $P = S \cos \theta \text{ (Watt)}$

$$S = \frac{P}{\cos \theta} \text{ (VA)}$$

$$S = \frac{154}{0,92}$$

$$S = 167,39 \text{ VA}$$

Untuk mencari nilai Q dibutuhkan nilai θ kemudian dimasukkan ke persamaan $\cos \theta = 0,92$

$$\theta = \arccos 0,92$$

$$\theta = 23,07$$

$$Q = S \sin \theta \text{ (VAR)}$$

$$Q = 167,39 \sin 23,07$$

$$Q = 65,59 \text{ VAR}$$

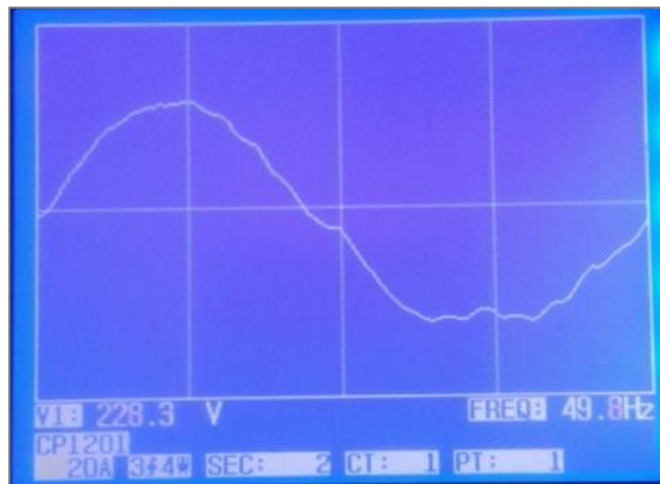
Tabel 3. Kualitas daya masing-masing beban sebelum dan setelah sinkronisasi

Jenis Beban	Kondisi Sinkron	PF	θ (°)	P total (Watt)	S total (VA)		Q total (VAR)	
					Pengukuran	Hitung	Pengukuran	Hitung
Linier	Sebelum	0.92	23.07	154	168	167.39	65	65.59
	Setelah	0.93	23.07	161	171	173.12	59	63.62
Non-linier	Sebelum	0.69	46.37	78	112	113.04	80	81.82
	Setelah	0.71	44.76	80	113	112.68	79	79.34
Gabungan	Sebelum	0.90	25.84	196	217	217.78	91	94.92
	Setelah	0.91	24.49	198	217	217.58	88	90.19

Dari tabel 3 dapat dilihat bahwa pada beban linier, nonlinier maupun beban gabungan terdapat peningkatan kualitas daya dari kondisi sebelum sinkronisasi dengan setelah sinkronisasi, peningkatan kualitas daya tersebut mulai dari peningkatan nilai power factor dan daya aktif (Watt) serta penurunan nilai daya reaktif (VAR). Peningkatan kualitas daya terjadi karena generator terhubung dengan sistem jala-jala yang memiliki kualitas daya lebih baik sehingga kualitas daya dari kondisi setelah sinkronisasi menjadi lebih baik dibandingkan dengan sebelum sinkronisasi.

Bentuk gelombang beban linier

Bentuk gelombang yang didapatkan dari proses pengukuran beban linier sebelum sinkronisasi dan setelah sinkronisasi bisa dilihat pada gambar berikut ini.



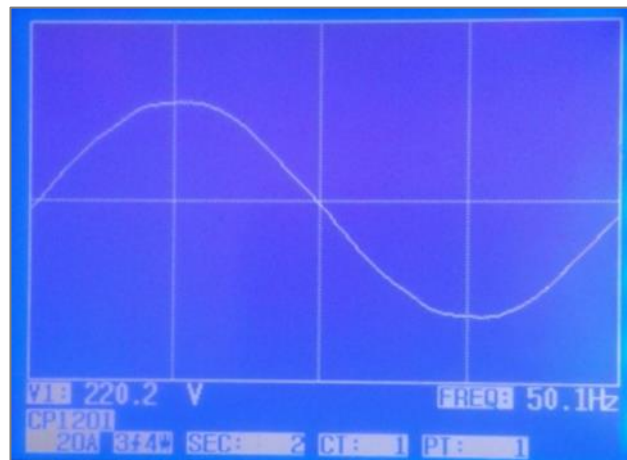
Gambar 4. Bentuk Gelombang Beban Linier Sebelum sinkronisasi

Pada Gambar 4 dapat dilihat bentuk gelombang yang dihasilkan dari beban linier sebelum dilakukan sinkronisasi memiliki bentuk gelombang sinusoidal tidak murni atau cacat gelombang karena beban linier hanya terhubung dengan generator yang memiliki daya lebih rendah jika dibandingkan dengan sistem jala-jala.

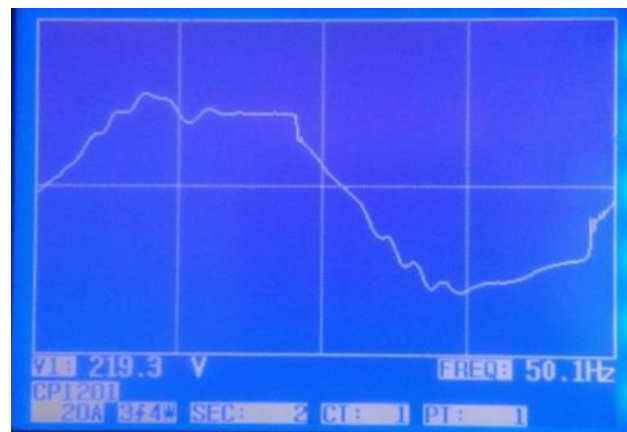
Pada Gambar 5, bentuk gelombang dari beban linier setelah dilakukan sinkronisasi antara generator dengan sistem maka bentuk gelombang yang dihasilkan menjadi lebih halus berbentuk sinusoidal murni tanpa ada cacat, hal ini disebabkan karena beban terhubung dengan sistem tenaga listrik yang sangat besar dibandingkan dengan generator yang dihubungkan dengan beban linier tersebut.

Bentuk gelombang beban non-linier

Pada pengukuran selanjutnya yaitu menggunakan beban nonlinier dengan kondisi sebelum dan setelah sinkronisasi menghasilkan bentuk gelombang sebagai berikut

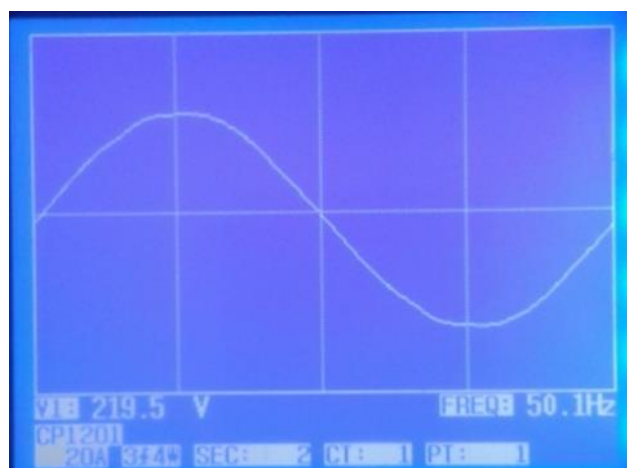


Gambar 5. Bentuk Gelombang Beban Linier Setelah Sinkronisasi



Gambar 6. Bentuk Gelombang Beban Non-Linier Sebelum sinkronisasi

Pada Gambar 6 dapat dilihat bentuk gelombang yang dihasilkan dari beban non-linier sebelum dilakukan sinkronisasi memiliki bentuk gelombang sinusoidal tidak murni atau cacat gelombang yang lebih buruk jika dibandingkan dengan beban linier, hal ini disebabkan karena beban non-linier menimbulkan harmonisa yang menyebabkan cacat gelombang sesuai dengan yang disampaikan oleh Joslen, Sultan dan Zulfatri.

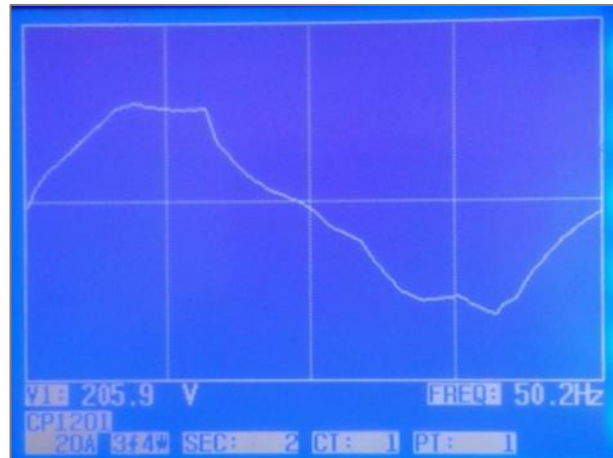


Gambar 7. Bentuk Gelombang Beban Non-Linier Setelah Sinkronisasi

Dari gambar 7, bentuk gelombang yang dihasilkan oleh beban non-linier setelah dilakukan sinkronisasi mempunyai bentuk gelombang menjadi lebih halus membentuk sinusoidal murni, hal ini dikarenakan beban non-linier tersebut sudah masuk ke sistem jala-jala yang memiliki kualitas daya yang lebih baik sehingga tidak terlalu berdampak pada generator.

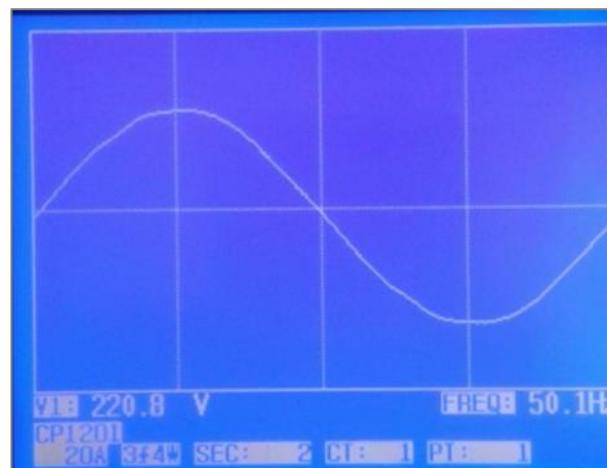
Bentuk gelombang beban gabungan

Untuk selanjutnya dilakukan pengukuran pada beban gabungan dari beban linier dan beban non-linier sehingga menghasilkan bentuk gelombang sebagai berikut



Gambar 8. Bentuk Gelombang Beban Gabungan Sebelum sinkronisasi

Pada Gambar 8 dapat dilihat bentuk gelombang yang dihasilkan dari beban gabungan sebelum dilakukan sinkronisasi memiliki bentuk gelombang sinusoidal tidak murni atau cacat gelombang hal ini disebabkan karena beban gabungan tersebut merupakan gabungan dari beban linier dan beban non-linier yang dapat menimbulkan harmonisa yang menyebabkan cacat gelombang.



Gambar 9. Bentuk Gelombang Beban Gabungan Setelah Sinkronisasi

Pada Gambar 9, beban yang diukur merupakan beban gabungan dari beban linier dan beban non-linier sehingga bentuk gelombang yang sebelumnya cacat berubah menjadi sinusoidal murni setelah sinkronisasi hal ini disebabkan karena beban terhubung pada sistem tenaga listrik yang memiliki kualitas daya lebih besar sehingga tidak berpengaruh pada generator.

5. KESIMPULAN DAN SARAN-SARAN

Kesimpulan

Dari hasil pengukuran kualitas daya pada beban linier, nonlinier maupun beban gabungan terdapat peningkatan kualitas daya dari kondisi sebelum sinkronisasi dengan setelah sinkronisasi, peningkatan kualitas daya tersebut mulai dari peningkatan nilai power factor dan daya aktif (Watt) serta

penurunan nilai daya reaktif (VAR). Bentuk gelombang yang dihasilkan dari beban linier, nonlinier dan gabungan sebelum dilakukan sinkronisasi memiliki bentuk gelombang sinusoidal tidak murni atau cacat gelombang hal ini disebabkan karena beban non-linier yang dapat menimbulkan harmonisa yang menyebabkan cacat gelombang, setelah sinkronisasi bentuk gelombang yang sebelumnya cacat berubah menjadi sinusoidal murni disebabkan karena beban terhubung pada sistem tenaga listrik yang memiliki kualitas daya lebih besar sehingga tidak berpengaruh pada generator.

Saran

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya yaitu :

1. Melakukan penelitian lebih lanjut menggunakan peralatan rumah tangga
2. Melihat lebih spesifik pengaruh harmonisa diberbagai peralatan listrik baik itu sistem tenaga maupun rumah tangga.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Londong, B., dkk, 2022. Analisis Sistem Sinkronisasi Generator 2X2 MW pada Bandar Udara Haluolea Kendari. *Jurnal Fokus Elektroda : Energi Listrik, Telekomunikasi, Komputer, Elektronika dan Kendali* 7. 273-282
2. Aidillah., Muhammad, M.I., Rizal, A.D., Hafsa, N, 2024. Sinkronisasi Pembebanan untuk Mencegah agar Generator tidak Berubah Fungsi sebagai Motor. *AJST : Arus Jurnal Sains dan Teknologi* 2. 615-623
3. Suwarno, D.U, 2023. Simulasi Paralel Generator Menggunakan Geogebra. *SNTE Universitas Sanata Dharma*
4. Sahputra, N.F, 2021. Sinkronisasi Generator 635KVA dengan Generator 635 KVA Menggunakan Module Deep Sea. *Jurnal Simetri Rekayasa* 3. 187-195
5. Narta, I.M.A., dkk, 2020. Sinkronisasi Generator dengan Pengendali Berbasis Arduino Mega 2560. *Dielektrika* 7. 30-37
6. Witjaksono, A.T, 2020. Unjuk Kerja Sistem Kontrol Genset. *EEICT : Electric, Electronic, Instrumentation, Control, Telecommunication* 3. 11-16
7. Ongko, T.P., & Fauzan, 2023. Analisa Beban Non Linier Terhadap Nilai THDi dan THDv di Gedung Equity Tower. *Jurnal Elektro* 11
8. Sinaga, J., Ruth, M.S., Jamot, S, 2020. Analisa Pengaruh Harmonisa pada Pengoperasian Beban Listrik. *Jurnal Teknologi Energi Uda* 9. 88-97
9. Reza, M.S., & Chairul, H, 2021. Analisis Pengaruh Harmonisa pada Transformator Distribusi di Hari Kerja dan Hari Libur pada Gedung Perkantoran. *Jurnal Tambora* 5. 72-79
10. Aini, Z., & Aqil, M, 2021. Desain Single Passive Tuned Filter Terhadap Harmonisa Pada Transformator Distribusi. *Al-Mujtahadah Press*
11. Zulkarnaini, A., dkk, 2024. Analisis Pengukuran Harmonisa Tegangan dan Arus Listrik di Gedung Administrasi Universitas Jayabaya. *Transmisi : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro* 26. 132-139
12. Hemawan, A., Jamik, A., & Chandra, W, 2023. Analisa Kualitas Daya dan Rekomendasi Perbaikan Sistem Kelistrikan di Gedung Perhotelan. *Jurnal Sistem Kelistrikan* 10. 101-106
13. Assaffat, L, 2009. Pengukuran dan Analisa Kualtias Daya Listrik di Paviliun Garuda Rumah Sakit Dr. Karyadi Semarang. *Jurnal Media ElektriKa* 2. 18-23