

ANALISA PEMASANGAN FILTER UNTUK MEREDUKSI HARMONISA PADA JARINGAN TEGANGAN RENDAH (JTR)

ANALYSIS OF FILTER INSTALLATION TO REDUCE HARMONICS ON LOW VOLTAGE WAVE

Prily Nindita¹, Suprayogi², Basuki Rahmat³

^{1,2,3} Universitas Telkom, Bandung

prilynindita@student.telkomuniversity.ac.id¹, suprayogi@telkomuniversity.ac.id², basukir@telkomuniversity.ac.id³

Abstrak

Jaringan distribusi yang biasa digunakan oleh masyarakat adalah berupa sinyal tegangan sinusoidal murni 220-240 V dengan frekuensi 50-60 Hz. Biasanya jaringan distribusi digunakan untuk mengaktifkan peralatan elektronik yang menunjang kegiatan sehari-hari. Namun penggunaan perangkat pada sinyal distribusi menyebabkan adanya pembebanan yang mengakibatkan sinyal fundamental dari jaringan distribusi terdistorsi. Distorsi atau penyimpangan sinyal jaringan distribusi merupakan peristiwa berubahnya bentuk gelombang sinyal fundamental yang disebabkan oleh arus harmonik yang dihasilkan beban sehingga terjadi kenaikan penurunan arus sistem, kualitas daya dan memperbesar rugi-rugi daya. Sinyal harmonik disebabkan oleh adanya komponen beban non-linear pada perangkat. Filter pasif shunt jenis single-tuned biasanya menjadi solusi untuk mengurangi harmonisa di peralatan industri sehingga dirancang model filter band-pass untuk mengurangi besar harmonisa dari beban sebesar 320 W dengan faktor daya 0.7 menggunakan rangkaian filter dengan spesifikasi kapasitor sebesar 15uF dan induktor 70mH yang dipasang paralel dengan sistem. Penambahan filter terbukti mampu bekerja pada rentang orde harmonik yang dipilih dan merubah kembali bentuk sinyal jaringan distribusi menjadi sinusoidal dan mengurangi besar harmonisa arus individu maksimal sebesar 96% di orde ke-4. Penggunaan filter pasif single-tuned dinilai efektif mengurangi harmonisa dengan sangat baik dengan pengurangan arus harmonisa total sebesar 74.01% dan pengembalian bentuk sinyal jaringan distribusi yang kembali sinusoidal.

Kata Kunci: Sistem, Harmonisa, Filter.

Abstract

Distribution network commonly used by the public is in the form of pure sinusoidal voltage signal 220-240 V with a frequency of 50-60 Hz. Normally the distribution network is used to activate electronic equipment that supports daily activities. However, the use of the device on the distribution signal causes charges resulting in the fundamental signal of the distribution network being distorted. Distortion or deviation of distribution network signal is an event of change in the shape of fundamental signal waves caused by harmonic currents that are instigated by loads so that there is an increase in system current decrease, power quality and enlarge power losses. Harmonic signals are caused by the presence of non-linear load components on the device. Single-tuned shunt passive filters are usually a solution to reduce harmonics in industrial equipment so that band-pass filter models are designed to reduce harmonic size from loads of 320 W with a power factor of 0.7 using a series of filters with capacitor specifications of 15uF and 70mH inductors mounted parallel to the system. The addition of filters proved able to work on the selected harmonic order range and change the signal form of the distribution network to sinusoidal and reduce the amount of harmonic flow of the individual by a maximum of 96% in the 4th order. The use of single-tuned passive filters is considered effective in reducing harmonics very well with a reduction in total harmonic current by 74.01% and the return of the signal form of the sinusoidal return distribution network.

Keywords: System, Harmonics, Filter.

1. Pendahuluan

Penggunaan perangkat elektronik yang umumnya diaktifkan dengan sinyal fundamental hasil distribusi Jaringan Tegangan Rendah (JTR) oleh masyarakat merupakan suatu hal yang umum dilakukan. Penggunaan perangkat elektronik biasanya difungsikan untuk mempermudah pekerjaan atau sekedar media hiburan. Namun, adanya beban jenis non-linear pada perangkat menyebabkan sinyal distribusi yang digunakan terganggu. Hal ini karena beban non-linear menghasilkan sinyal harmonik yang mampu merubah bentuk dan nilai dari sinyal fundamental yang mula-mula sinusoidal murni[1]. Perubahan ini kemudian akan mempengaruhi kualitas sinyal yang digunakan oleh perangkat tersebut atau bahkan perangkat lain yang menggunakan saluran yang sama. Adanya perubahan kualitas sinyal mempengaruhi kualitas daya yang digunakan dan meningkatkan rugi-rugi daya.

Salah satu solusi yang telah terbukti mampu mengurangi sinyal harmonik yang telah diteliti sebelumnya adalah dengan memasang rangkaian filter pada sistem. Pemasangan filter pada sistem berbeban ditujukan untuk

menahan sinyal harmonik atau mengalihkannya ke saluran yang berbeda[2]. Maka dari itu dilakukan penelitian ini dengan tujuan mengetahui pengaruh pemasangan filter pada sistem dengan simulasi menggunakan perangkat lunak. Hasil simulasi kemudian dianalisa untuk mengetahui perubahan yang diberikan setelah sistem dengan beban yang digunakan.

Mengacu pada analisa hasil simulasi yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan beban pada sistem terbukti memunculkan sinyal harmonik dan merubah bentuk dan nilai sinyal distribusi fundamental. Setelah dipasangkan filter, terjadi perubahan yang signifikan pada bentuk sinyal distribusi, kenaikan besar arus distribusi, dan penurunan besar arus harmonik individual maupun arus harmonik total yang dihasilkan beban pada sistem. Perubahan yang terjadi menunjukkan bahwa pemasangan filter terbukti mampu menjadi solusi yang baik untuk menekan pengaruh sinyal harmonik pada sinyal distribusi dan memperbaiki kualitas daya beban.

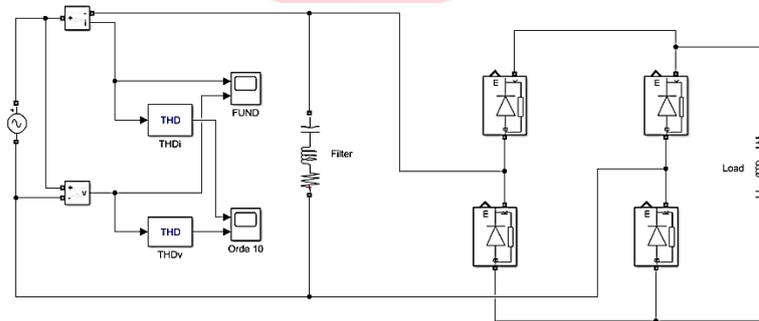
2. Perancangan Penelitian

2.1 Pengukuran Daya Beban

Mula-mula diukur daya beban menggunakan wattmeter yang dihubungkan secara paralel diantara sinyal distribusi pada stopkontak sebagai energi masukan dan beban. Hasil pengukuran berupa daya aktif dan faktor daya maksimum dan minimum. Beban dipilih berdasarkan penghasil daya reaktif paling besar.

2.2 Simulasi Sistem

Simulasi beban dilakukan dengan merancang sistem pada perangkat Simulink yang dapat dilihat pada Gambar 1. Simulasi dilakukan untuk memperoleh hasil gelombang sinyal resultan dan harmonik menggunakan blok *scope*. Blok THD merupakan blok yang mampu menghasilkan sinyal harmonik tiap frekuensi persatuan periode dengan pengambilan waktu sampel yang dapat ditentukan. Selain itu dilakukan analisa sistem menggunakan *FFT Analyzer* untuk mendapatkan spektrum harmonik terhadap frekuensinya.



Gambar 1. Rangkaian Simulasi Sistem

2.3 Perhitungan Spesifikasi Beban dan Filter

Pada Gambar 1, blok beban dimasukan parameter berupa frekuensi fundamental, tegangan terukur (V_{RMS}) dan daya aktif hasil pengukuran daya dan daya reaktif hasil perhitungan. Perhitungan beban diawali dengan menggunakan persamaan faktor daya [3]:

$$PF = \frac{P}{S} \quad (1)$$

dengan S merupakan daya kompleks. Kemudian nilai daya reaktif ditentukan dengan persamaan segitiga daya [3]:

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (2)$$

Sementara pada blok Filter dimasukan parameter berupa nilai kapasitor dan induktor yang didapat melalui perhitungan spesifikasi filter. Perhitungan spesifikasi filter dilakukan dengan menentukan parameter pemulihan faktor daya (PF) pada persamaan daya reaktif variabel [3]:

$$Q_{VAR} = \sqrt{\left(\frac{P_1}{PF_0}\right)^2 - P_1^2} - \sqrt{\left(\frac{P_1}{PF}\right)^2 - P_1^2} \quad (3)$$

Nilai daya reaktif variabel kemudian digunakan untuk menentukan besar reaktansi kapasitansi menggunakan persamaan [3]:

$$X_C = \frac{V_{rated}^2}{Q_{VAR}} \quad (4)$$

Nilai reaktansi digunakan untuk menghasilkan nilai kapasitor dan reaktansi induktansi menggunakan persamaan berikut [3]:

$$C = \frac{1}{2\pi f X_C} \quad (5)$$

Selain itu nilai reaktansi kapasitansi juga mampu menghasilkan nilai reaktansi induktansi melalui persamaan berikut [3]:

$$X_L = \frac{X_C}{n^2} \quad (6)$$

Dengan n adalah orde kerja filter yang dipilih dari orde ganjil penghasil arus harmonik terbesar. Dari perhitungan reaktansi induktansi dihasilkan besar induktor menggunakan persamaan [3]:

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} \quad (7)$$

2.4 Analisa Perubahan Sinyal Distribusi dan Harmonik

Hasil simulasi dari *scope* didapatkan pencitraan gelombang sinyal distribusi sebelum dan sesudah dipasangkan filter. Selain itu dihasilkan pencitraan gelombang harmonik individual sesuai frekuensi yang ingin dilihat. Sementara FFT Analyzer menghasilkan spektrum harmonisa per frekuensinya dan nilai total harmonisa sebelum dan sesudah pemasangan filter. Keseluruhan hasil simulasi kemudian di bandingkan untuk dilihat perubahannya.

3. Hasil dan Pembahasan

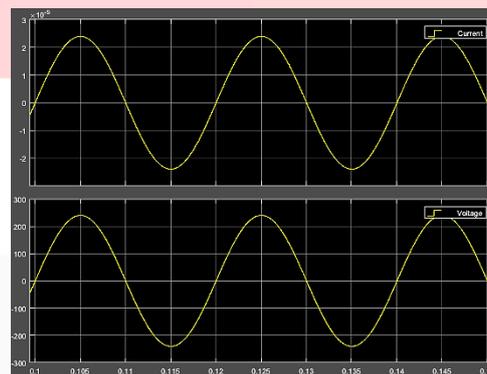
3.1 Perhitungan Spesifikasi Beban

Hasil pengukuran beban menggunakan wattmeter menghasilkan besar daya aktif dan faktor daya maksimum maupun minimum beban. Dengan menggunakan persamaan 1 dan 2 dihasilkan spesifikasi beban pada tabel 1. Kondisi maksimum kemudian dipilih untuk mengantisipasi besar daya reaktif yang tidak terduga.

Tabel 1. Pengukuran Daya Beban

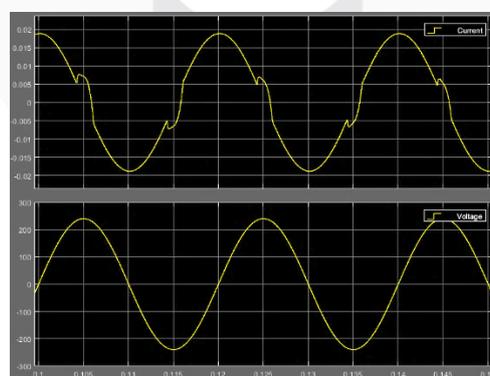
Daya	Minimum	Maksimum
PF	0.69	0.70
P (W)	284	320
S (VA)	411.594	457.143
Q (VAR)	297.916	326.465

3.2 Simulasi Sistem Berbeban



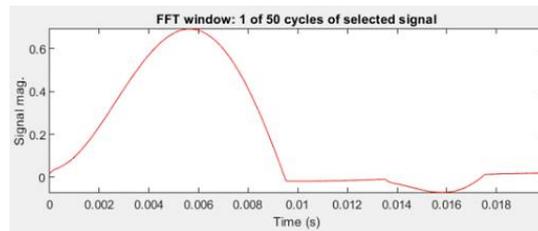
Gambar 2. Sinyal Distribusi Fundamental

Mula-mula dilakukan simulasi pengukuran sinyal distribusi fundamental tanpa beban. Gambar 2 menunjukkan gelombang sinyal distribusi arus (atas) dan tegangan (bawah). Hasil simulasi ditampilkan pada Gambar 2 merupakan pencitraan sinyal distribusi dalam sebuah perioda waktu. Terlihat bahwa bentuk gelombang sinyal fundamental mula-mula sinusoidal murni dengan beda fasa sebesar 0 derajat. Hal ini menandakan bahwa sistem cenderung memiliki beban bersifat resistif.



Gambar 3. Sinyal Sistem Berbeban

Kemudian dilakukan simulasi pengukuran sinyal distribusi yang telah ditambahkan beban. Gambar 3 menunjukkan gelombang arus (atas) dan tegangan (bawah) sinyal resultan setelah penambahan beban. Terlihat tidak munculnya perubahan baik dalam segi bentuk maupun nilai dari sinyal tegangan distribusi. Sementara perubahan bentuk dan nilai terjadi pada sinyal arus distribusi. Bentuk sinyal arus pada sistem berubah menjadi tidak beraturan dengan adanya beda fasa antara sinyal arus dan tegangan dimana arus mendahului tegangan. Hal ini menandakan bahwa sistem cenderung memiliki beban bersifat kapasitif. Hal ini secara lebih jelas dapat dilihat menggunakan fitur FFT Analyzer pada gambar 6.



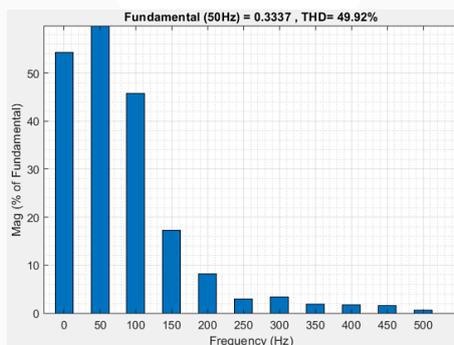
Gambar 4. Resultan Sinyal Arus Sistem

Perubahan nilai arus pada beban diakibatkan penambahan impedansi beban pada sistem. Terjadinya perubahan yang cukup signifikan menjadi alasan perlu dilakukan pengukuran besar harmonik menggunakan scope dan FFT Analyzer. Hasil pengukuran dirampung pada Tabel 2, gambar 4 dan gambar 5.

Tabel 2. Pengukuran Harmonisa Beban

Orde	f_n (Hz)	%IHDv	%IHDi
1	50	0.000	1.928
2	100	0.680	5.325
3	150	0.726	15.559
4	200	0.762	24.585
5	250	0.780	12.513
6	300	0.791	8.304
7	350	0.799	7.726
8	400	0.806	8.175
9	450	0.812	10.505
10	500	0.813	11.063

Dari hasil pengukuran menggunakan scope didapatkan bahwa orde 2 hingga orde 10 memiliki besar arus harmonik individual yang melebihi standar (<4%). Tabel tersebut juga menunjukkan orde ganjil yang menghasilkan harmonisa terbesar berada pada orde ke-3. Orde ini kemudian menjadi acuan untuk orde kerja untuk perhitungan model filter. Sementara pengukuran arus harmonik total yang dihasilkan beban pada sistem per-frekuensinya di plot menjadi spektrum harmonisa pada gambar 5.



Gambar 5. Spektrum Total Harmonisa Arus Sistem

Dari grafik dapat dilihat bahwa pada semakin tinggi frekuensi yang diberikan, semakin kecil total harmonisa yang dihasilkan. Sementara dalam segi besar total harmonisa yang dihasilkan mencapai angka 49.92% dengan arus yang mengalir pada sistem sebesar 0.33 A.

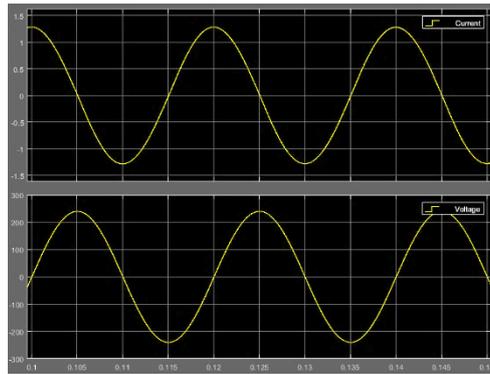
3.3 Perhitungan Spesifikasi Filter

Tabel 3. Spesifikasi Filter

	Design Filter	Model Filter
X_C	220.28	212.12
C	14.44uF	15uF
X_L	24.47	22.0
L	0.078H	70mH
Z	194.09 Ohm	190.12 Ohm

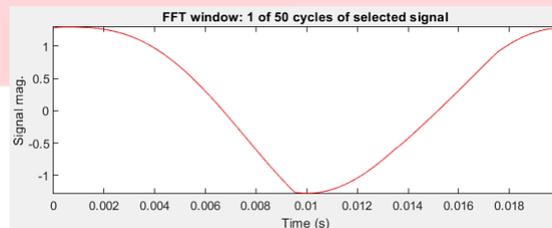
Menggunakan persamaan 2 hingga 7, didapatkan masing-masing nilai dan spesifikasi filter yang dirampung pada tabel 3. Model filter yang digunakan memiliki nilai yang berbeda dengan hasil perhitungan. Hal ini dilakukan untuk menyesuaikan dengan nilai komponen yang dijual dipasaran.

3.4 Simulasi Sistem Setelah Filterasi



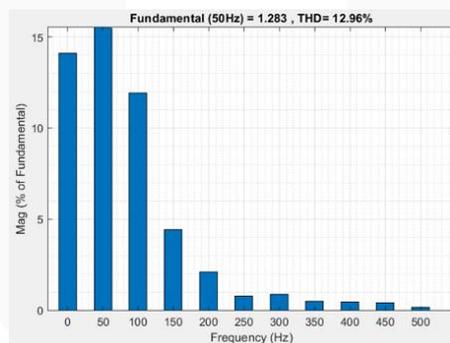
Gambar 5. Sinyal Distribusi Sistem Setelah Filterasi

Dari gambar 4 terlihat bahwa hampir tidak terjadi perubahan bentuk pada sinyal tegangan distribusi maupun nilainya. Sementara perubahan paling signifikan terjadi pada bentuk sinyal arus distribusi. Terlihat bahwa bentuk sinyal menjadi jauh lebih sinusoidal dibandingkan sebelum pemasangan filter. Selain itu terjadi pula perubahan nilai sinyal arus distribusi setelah dilakukan filterasi. Terjadi kenaikan yang cukup besar pada besar arus yang mengalir pada sistem. Hal ini secara lebih jelas dapat dilihat menggunakan fitur FFT Analyzer pada gambar 6.



Gambar 6. Sinyal Distribusi Sistem Setelah Filterasi

Nilai arus yang mengalir pada sistem mengalami kenaikan yang cukup besar dimana arus yang mengalir menjadi berkisar 1.3 A dengan bentuk yang lebih stabil dan mendekati sinusoidal. Perubahan ini terjadi akibat adanya pengurangan besar impedansi filter yang dipasang secara paralel.



Gambar 7. Sinyal Distribusi Sistem Setelah Filterasi

Sementara dilihat dari spektrum sinyal arus harmonik total dihasilkan pengurangan sebesar 74.01% dari harmonisa total awal. Pengurangan ini menghasilkan besar arus harmonik total menjadi 12.96%. Hal ini menandakan bahwa terjadi pula penurunan arus harmonik individu tiap ordenya yang mana dirangkum pada tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan Besar Harmonisa Individu Sebelum dan Setelah Filterasi

Orde	%IHDv ₀	%IHDv ₁	%IHDi ₀	%IHDi ₁	%Tegangan	%Arus
1	0.000	0.000	1.928	0.202	0.00	89.50
2	0.680	0.623	5.325	0.671	8.32	87.40
3	0.726	0.726	15.559	0.764	0.00	95.09
4	0.762	0.762	24.585	0.795	0.00	96.77
5	0.780	0.780	12.513	0.802	0.00	93.59
6	0.791	0.791	8.304	0.808	0.01	90.27
7	0.799	0.799	7.726	0.821	0.00	89.38
8	0.806	0.793	8.175	0.834	1.59	89.80
9	0.812	0.795	10.505	0.844	2.03	91.96
10	0.813	0.798	11.063	0.852	1.87	92.30

Terlihat bahwa terjadi penurunan pada besar harmonisa individu setelah dilakukan filterasi. Pada tegangan, terjadi penurunan maksimal pada orde ke-2 yaitu sebesar 8% dengan rata-rata pengurangan sebesar 2%. Sementara penurunan signifikan terlihat pada arus harmonisa individu. Secara keseluruhan, filter ini mampu mengurangi harmonisa dengan rata-rata 91% dengan penurunan maksimal terjadi pada orde ke-4 yaitu sebesar 96.77%.

Adanya pengurangan harmonisa individu dan total tiap ordenya menandakan bahwa proses filterasi pada rentang orde dan frekuensi yang dituju berhasil. Selain itu filter ini juga terbukti mampu memperbaiki bentuk dari sinyal resultan menjadi lebih sinusoidal dan memperbesar arus yang mengalir pada sistem. Kenaikan arus menandakan bahwa distorsi akibat arus harmonik mengecil sehingga arus yang melalui sistem mempengaruhi besar daya aktif yang digunakan. Semakin besar arus yang mengalir, semakin besar daya yang digunakan. Semakin besar daya aktif yang digunakan, semakin kecil daya reaktif yang dihasilkan dan semakin besar faktor daya yang dihasilkan. Meningkatnya faktor daya menandakan bahwa terjadi pemulihan kualitas daya yang dihasilkan oleh sinyal distribusi yang digunakan oleh beban.

4. Kesimpulan

Bedasarkan hasil simulasi penelitian yang dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan beban khususnya komputer berdaya 320 W dengan faktor daya 0.7 terbukti menghasilkan sinyal harmonik ditandai dengan terjadinya perubahan bentuk dan nilai pada sinyal arus yang mengalir pada sistem. Sinyal distribusi yang mula-mula sinusoidal dan cenderung berbeban resistif berubah menjadi non-sinusoidal dengan kecenderungan sifat beban menjadi kapasitif. Hal ini menandakan bahwa beban menghasilkan daya reaktif berlebih pada sistem yang perlu dikendalikan untuk meningkatkan kualitas daya yang digunakan.
2. Setelah dilakukan filterasi, terjadi pengurangan baik nilai harmonisa individu maupun arus harmonik total sistem. Penurunan tegangan harmonik individu paling besar terjadi pada orde ke-2 sebesar 8% dengan rata-rata pengurangan 2%. Sementara pengurangan arus harmonik individu paling besar terjadi pada orde ke-4 sebesar 96.77% dengan rata-rata pengurangan sebesar 91%.
3. Setelah dilakukan analisa perbandingan dapat disimpulkan bahwa filter pasif *shunt single tuned* berjenis *band-pass* dengan spesifikasi nilai kapasitor sebesar 15 μ F dan induktor 70mH terbukti mampu mengurangi harmonisa pada sistem, memperbaiki bentuk sinyal distribusi dan memperbaiki kualitas daya yang digunakan oleh beban.

REFERENSI

- [1] Lizelwati, Novia. 2011. *Resonansi Pada Rangkaian RLC*. STAIN. Batusangkar
- [2] Grady, Mack. 2012. *Understanding Power System Harmonics*, Universitas Texas, Austin
- [3] Pramnamto, Aris. 2008. *Analisis penggunaan single tuned filter sebagai salah satu solusi masalah harmonik pada beban rumah tangga*. Universitas Indonesia. Jakarta