

REDUKSI HARMONISA PADA SISTEM DISTRIBUSI STANDARD IEEE 9 BUS DENGAN FILTER HIGH-PASSED DAMPED

Aris Budiman¹, Indriana Zella Margareta², Agus Supardi³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro

Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A. Yani Pabelan Kartasura, Surakarta 57162

Email: siekhai@gmail.com

Abstrak

Keberadaan beban-beban nonlinier menyebabkan perubahan bentuk gelombang kelistrikan, yaitu tegangan dan arus. Perubahan periodik ini biasanya disebut dengan distorsi harmonik. Distorsi harmonik ini bila berlanjut bisa menyebabkan antara lain rusaknya peralatan listrik terbakarnya kabel/ penghantar, menurunnya daya dan bertambahnya rugi trafo, kesalahan ukur kWh meter elektromekanis, dan kegagalan fungsi relai. Karena itu, bila harmonisa berada di atas ambang batas yang ditentukan, maka diperlukan cara untuk mereduksinya. Salah satunya dengan pemasangan filter high-passed damped. Penelitian ini menggunakan obyek sistem distribusi standar IEEE 9 bus dengan perangkat lunak bantu ETAP Power Station dalam simulasinya. Pada tahap awal dilakukan pemodelan sistem ke dalam perangkat lunak ETAP beserta data-data parameter yang ada ke dalam model tersebut. Tahap selanjutnya dijalankan simulasi aliran daya agar diperoleh data tegangan jaringan dan arah aliran daya, simulasi kondisi harmonik tanpa beban nonlinier dan dengan disertakan beban nonlinier, perancangan filter high-pass damped, dan pemasangan filter tersebut pada sistem distribusi dalam rangka pengurangan distorsi harmonik. Dari analisis kondisi harmonik akan diketahui hubungan pemberian beban nonlinier dan filter high-pass damped dengan kondisi distorsi harmonik pada sistem ini. Parameter yang digunakan antara lain adalah Total Harmonic Distortion (THD) Dari hasil analisis kondisi sistem distribusi tersebut, diketahui bahwa keberadaan beban nonlinier pada sistem distribusi akan menyebabkan peningkatan nilai Total Harmonic Distortion tegangan pada bus yang lebih dekat dengan sumber harmonik sebesar 7.11% dan juga peningkatan rugi-rugi daya dibandingkan bila beban nonlinier tersebut tak ada. Sesudah rancangan filter disiapkan, lalu dimasukkan ke dalam sistem, maka diperoleh hasil bahwa nilai distorsi harmonisa tegangan terjadi penurunan menjadi 4.89%. Nilai ini sudah sesuai dengan batasan standar distorsi harmonik pada sistem distribusi, yaitu 5%

Kata kunci : harmonisa, filter high-pass damped, sistem distribusi, THD, beban nonlinier

1. PENDAHULUAN.

Setiap komponen sistem distribusi dapat dipengaruhi oleh harmonisa listrik walaupun dengan akibat yang berbeda. Namun demikian komponen tersebut akan mengalami penurunan kinerja dan bahkan akan mengalami kerusakan. Salah satu permasalahan kualitas daya listrik yang jarang diperlihatkan yaitu permasalahan harmonik.

Harmonik adalah bentuk tegangan atau arus sinusoidal yang memiliki frekuensi ganda, frekuensi tersebut merupakan kelipatan bilangan bulat dari frekuensi dasar. Frekuensi dasar suatu sistem biasanya dirancang untuk beroperasi pada 50 atau 60 Hz, di indonesia frekuensi dasar yang digunakan adalah 50 Hz. Distorsi harmonik berasal dari peralatan yang mempunyai karakteristik nonlinier perangkat dan beban pada sistem tenaga listrik (Roger C. Dugan,1996).

Harmonisa sangat mempengaruhi sistem tenaga listrik, karena harmonisa cenderung akan menuju ke tempat yang mempunyai impedansi yang rendah. Dalam sistem penyaluran energi listrik harmonisa dapat bergerak menuju generator pembangkit tenaga listrik karena mempunyai impedansi yang sangat rendah. Harmonisa juga dapat bergerak menuju ke transformator, sehingga transformator akan mengalami panas berlebih yang disebabkan oleh naiknya *losses*. Untuk mengatasi hal tersebut di antaranya bisa dilakukan dengan memasang tumpuk kapasitor. Sifat kapasitor adalah memiliki impedansi yang rendah sehingga arus harmonisa dapat menuju tumpuk kapasitor. Untuk mengatasi berbagai persoalan yang ditimbulkan arus harmonisa pada sistem

distribusi tenaga listrik, dengan cara menghilangkan atau mengurangi kandungan arus harmonisa sampai memenuhi batasan harmonisa yang diijinkan.

Perancangan dan pemasangan filter harmonik diperlukan untuk mengurangi distorsi harmonik dan juga dapat untuk memperbaiki faktor daya. Salah satu jenis filter yang dapat digunakan adalah filter pasif jenis High pass damped filter yang merupakan metode penyelesaian yang efektif dan ekonomis untuk mengalihkan arus harmonik yang tidak diinginkan dalam sistem distribusi tenaga listrik.

2. METODOLOGI

2.1 Alat dan Bahan

Alat dan bahan untuk mendukung penelitian ini adalah:

2.1.1 Hardware dan Software

Perlengkapan pendukung yang dipakai dalam penelitian ini adalah perangkat keras komputer yang digunakan untuk menjalankan *software ETAP Power Station 7.0* yang digunakan untuk analisis harmonik maupun analisis aliran beban pada sistem distribusi.

2.1.2 Sistem Distribusi Standar IEEE 9 bus

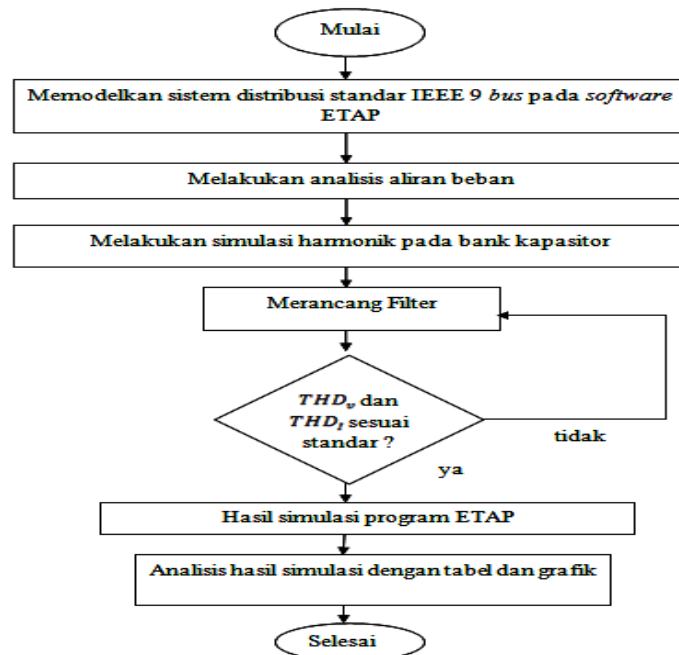
Penelitian ini dilakukan pada sistem distribusi standar IEEE 9 bus yang terpasang 2 kapasitor pada bus 2 dan bus 7. Pada sistem ini, enam bus terletak pada sistem distribusi 230 kV dan dan yang disuplai dari *swing bus* itu terletak pada sistem distribusi 18 kV pada bus 2 dan 13.8 kV pada bus 3.

2.2 Tahapan Penelitian

Setelah tahap studi literature dan persiapan data, dilakukan tahap analisis dan perancangan filter, yang akan disimulasikan menggunakan *software ETAP Power Station 7.0*. terhadap data yang sudah ada. Langkah-langkah yang akan dilakukan sebagai berikut:

- a. Menentukan tegangan fundamental sistem distribusi.
- b. Melakukan simulasi aliran daya untuk mengamati nilai dan arah aliran daya pada sistem distribusi.
- c. Melakukan simulasi analisis harmonik dengan menambahkan beban nonlinier pada salah satu bus pada sistem distribusi.
- d. Merancang *High pass damped filter*.
- e. Memasang High pass damped filter pada sistem distribusi dan menganalisis hasil simulasinya.
- f. Membuat kesimpulan.

2.3 Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Flowchart Penelitian

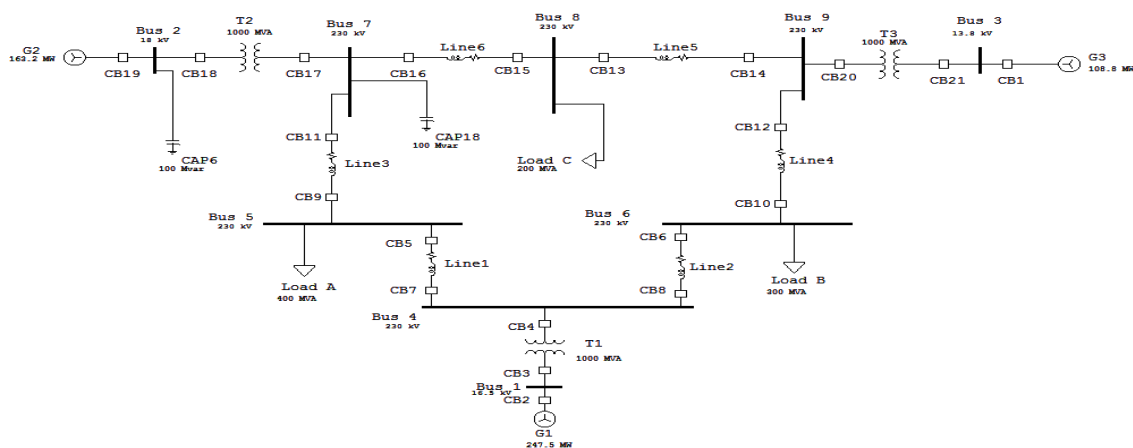
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Simulasi Analisis Aliran Beban

Analisa aliran beban pada sistem distribusi standar IEEE 9 bus dilakukan saat sistem dalam kondisi normal, sehingga dapat diketahui nilai tegangan, arus, dan arah aliran daya yang mengalir pada sistem distribusi standar IEEE 9 bus.

3.2. Simulasi Analisis Harmonik Tanpa Beban Nonlinier

Simulasi analisis harmonik ini diawali pada saat sistem distribusi standar IEEE 9 bus tanpa beban nonlinier. Hal ini bertujuan untuk mengetahui bentuk gelombang sinusoidal saat sistem belum terdistorsi harmonik, sehingga dilakukan untuk membandingkan perbedaan yang terjadi saat sistem distribusi tanpa beban nonlinier dengan dibebani beban nonlinier, atau saat tanpa filter harmonik dengan terpasang high pass damped filter.



Gambar 2. Diagram satu garis load flow analysis

SYSTEM HARMONICS INFORMATION

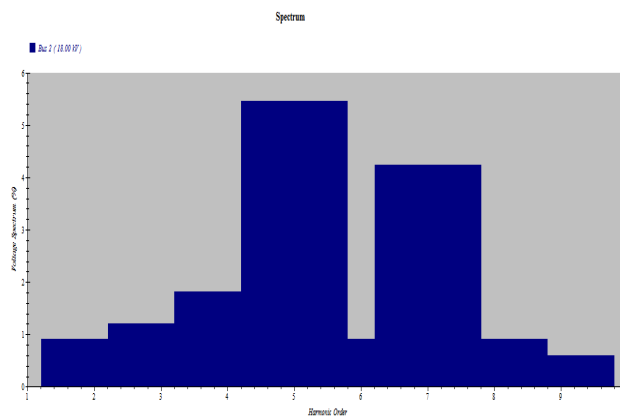
Bus		Voltage Distortion					Current Distortion						
ID	kV	Fund. %	RMS %	ASUM %	THD %	TIF	To Bus ID	Fund. Amp	RMS Amp	ASUM Amp	THD %	TIF	IT
* Bus 1	16.500	104.00	104.13	113.40	5.04	20.56	Bus 4	30151.42	30155.44	31068.08	1.63	5.20	159589.30
* Bus 2	18.000	104.51	104.75	120.54	7.11	31.15	Bus 7	3331.30	3740.34	4413.64	40.40	18.23	69854.50
* Bus 3	13.000	101.95	102.14	113.03	5.97	26.68	Bus 9	0.13	344.07	456.9245924.90	355.95	123470.30	
* Bus 4	230.000	102.02	102.20	113.72	5.84	23.83	Bus 5	1256.59	1257.05	1317.70	2.70	8.20	10423.28
							Bus 6	907.04	907.18	934.97	1.75	6.33	5739.77
							Bus 1	2163.04	2163.33	2228.80	1.63	5.20	11448.80
* Bus 5	230.000	100.49	100.68	111.64	6.16	25.59	Bus 4	1257.32	1257.76	1316.97	2.67	7.90	9835.62
							Bus 7	402.63	410.36	548.39	19.94	74.47	30572.30
* Bus 6	230.000	100.35	100.54	111.24	6.02	24.99	Bus 4	908.10	908.23	934.98	1.71	5.92	5375.92
							Bus 9	215.94	218.04	271.31	14.00	62.50	13447.94
* Bus 7	230.000	103.47	103.73	114.99	7.18	34.28	Bus 5	395.34	403.23	538.46	20.08	73.56	29660.99
							Bus 8	406.44	411.99	532.38	16.59	70.03	23949.58
							Bus 2	262.35	292.72	501.94	49.49	186.23	54513.74
* Bus 8	230.000	102.32	102.56	114.05	6.83	31.77	Bus 9	205.94	209.97	281.93	19.18	79.51	16694.72
							Bus 7	409.89	415.49	536.95	16.59	70.64	29351.61
* Bus 9	230.000	101.95	102.16	113.81	6.40	28.54	Bus 6	209.61	211.67	264.03	14.06	61.30	12995.22
							Bus 8	209.61	213.77	289.64	20.02	82.46	17628.03
							Bus 3	0.01	20.44	39.4368924.90	355.95	7348.22	

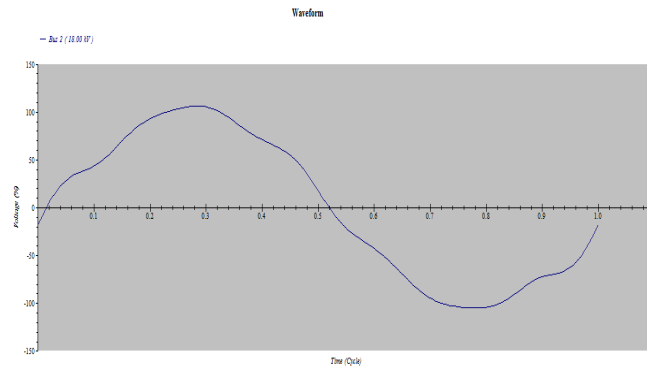
* Indicates THD (Total Harmonic Distortion) Exceeds the Limit.
 * Indicates IHD (Individual Harmonic Distortion) Exceeds the Limit.

Tabel 2. Nilai rugi-rugi setelah adanya beban nonlinier

Branch Losses Summary Report

CKT / Branch	From-To Bus Flow		To-From Bus Flow		Losses		% Bus Voltage		Vd % Drop in Vmag
	MW	Mvar	MW	Mvar	kW	kvar	From	To	
T1	621.783	184.530	-620.643	-145.853	1140.1	38876.2	104.0	102.2	1.78
T2	163.000	57.991	-162.919	-35.220	81.2	2770.5	103.0	103.3	0.39
T3	83.000	20.000	-84.979	-19.341	21.3	725.7	102.5	102.3	0.22
Line 1	359.376	81.145	-358.916	-79.587	2499.2	19557.6	102.2	100.8	1.41
Line 2	261.248	64.509	-259.954	-55.349	1313.3	9130.3	102.2	100.7	1.49
Line 3	-20.514	-10.358	20.635	77.715	12.12	-2642.7	100.8	103.3	2.52
Line 4	-21.840	-40.913	22.883	36.902	43.1	-4012.8	100.7	102.3	1.55
Line 6	142.284	84.269	-141.706	-84.208	487.4	60.4	103.3	102.4	0.96
Line 5	-58.034	14.996	58.006	-17.562	61.5	-2568.2	102.4	102.3	0.09
					5728.3	52928.6			





Gambar 5. Spektrum harmonik dan bentuk gelombang sinusoidal pada sistem distribusi standar IEEE 9 bus dengan adanya beban *nonlinier*

Pemasangan beban nonlinier dengan tipe Voltage Source setelah menyebabkan nilai distorsi harmonik melebihi standar. Ditunjukkan pada tabel 1 sebelum pemasangan beban nonlinier, nilai THD_v dan nilai THD_i adalah 0%. Sesudah pemasangan beban nonlinier nilai THD_v pada bus 2 mengalami kenaikan dari 0% menjadi 7.11% dan THD_i naik dari 0% menjadi 49.49% seperti yang ditunjukkan pada tabel 2. THD_v dan THD_i tersebut melebihi dari standarnya 5% dan 20%.

3.4. Perancangan *high pass damped filter*

Perancangan *high pass damped filter* bertujuan untuk meredam harmonisa yang timbul akibat adanya beban nonlinier, selain itu filter ini juga bisa digunakan untuk memperbaiki faktor daya karena adanya komponen kapasitor. Pada perancangan high pass damped filter diperlukan proses identifikasi terhadap orde harmonik yang akan dieliminasi. Nilai harmonik tegangan terbesar digunakan untuk menentukan harmonik dari orde berapa yang akan difilter.

Setelah menentukan orde harmonik yang akan dieliminasi, langkah selanjutnya menentukan nilai daya reaktif yang dibutuhkan untuk memperbaiki faktor daya, menentukan nilai kapasitor, menentukan nilai raktor filter, dan menentukan nilai resistor.

Perhitungan nilai komponen *high pass damped filter* pada orde 5 adalah sebagai berikut:
Perhitungan pada bus 2.

Orde 5

Daya reaktif untuk memperbaiki faktor daya:

$$P = 17000 \text{ kW}$$

$$\theta_1 = \text{Arc cos } 0.85 \\ = 31.78^\circ$$

$$\theta_2 = \text{Arc cos } 0.95 \\ = 18.19^\circ$$

$$Q_c = P (\tan \theta_1 - \tan \theta_2) \\ = 17000 \text{ kW} (\tan 31.78^\circ - \tan 18.19^\circ) \\ = 4946.20 \text{ kVAr}$$

Kapasitor:

$$Q_c = \frac{V^2}{X_c} \\ X_c = \frac{V^2}{Q_c} \\ = \frac{180kV^2}{4946.20kVAR} \\ = 65.5 \Omega$$

$$X_c = \frac{1}{\omega C} \\ = \frac{1}{2 \pi f C} \\ = \frac{1}{2 \pi f X_c}$$

$$C = \frac{1}{2 (3.14)(60\text{Hz})(65.5\Omega)}$$

$$C = 40.5 \times 10^{-5} \text{ F}$$

Induktor:

Orde yang akan diredam adalah orde 5, sehingga dipilih frekuensi *tuning* sebesar 300 Hz tetapi diberi toleransi sebesar 1% sehingga menjadi 297 Hz yang bertujuan untuk memperoleh performa filter yang maksimal.

$$L = \frac{1}{(c)(\omega\pi)^2}$$

$$L = \frac{1}{(c)(2\pi f\pi)^2}$$

$$L = \frac{1}{40.5 \times 10^{-5} (2 \times 3.14 \times 60 \times 4.9)^2}$$

$$L = 0.0072 \text{ H}$$

$$X_L = 2\pi fL$$

$$= (2)(3.14)(60)(0.0072)$$

$$= 2.71 \Omega$$

Resistor:

Faktor kualitas filter (Q) jenis *high pass damped filter* mempunyai nilai yang rendah, maka dipilih Q=20.

$$Q = \frac{R}{X_L}$$

$$R = Q \cdot X_L$$

$$= (20) (2.71)$$

$$= 54.2 \Omega$$

3.5. Simulasi Analisis Harmonik dengan Adanya Beban Nonlinier dan Pemasangan *high pass damped Filter*

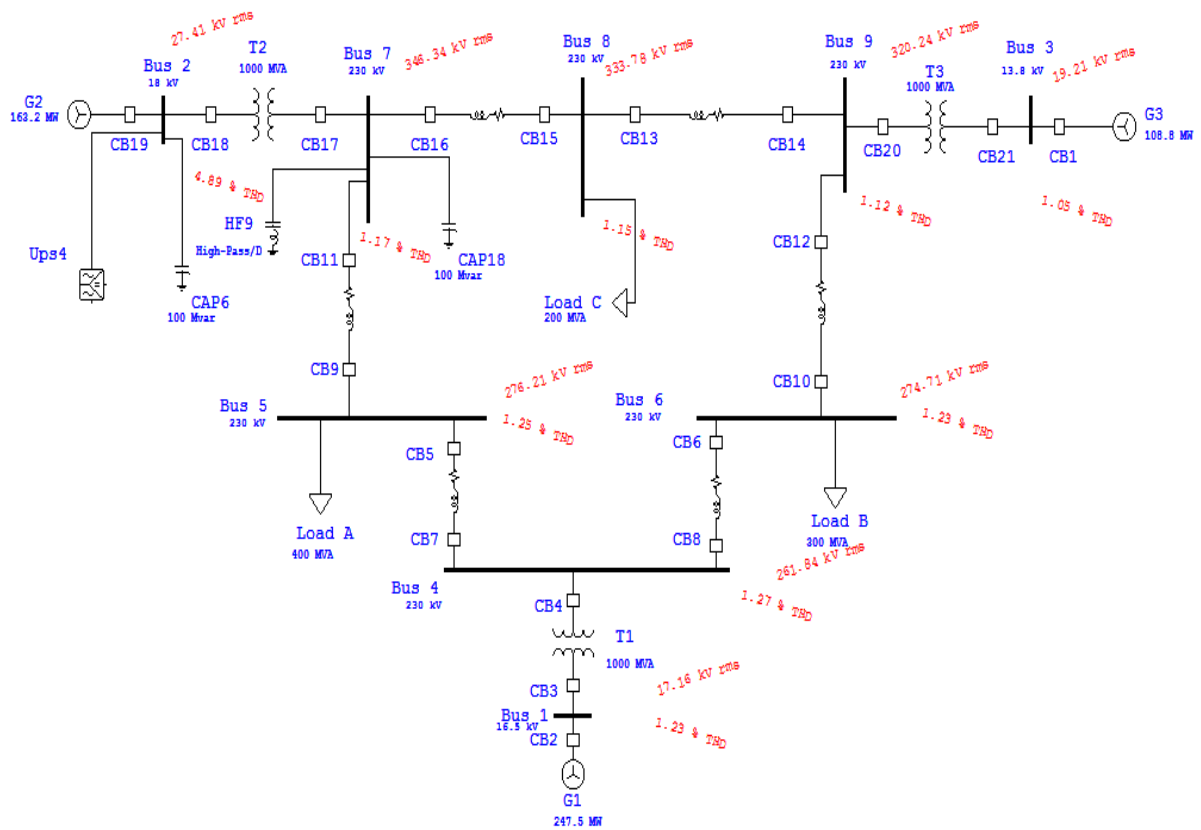
High pass damped filter dipasang pada bus yang dekat dengan sumber harmonik atau bus yang mempunyai nilai distorsi harmonik THDv paling tinggi, hal ini diharapkan agar mampu meredam harmonik yang timbul, sehingga nilai distorsi harmonik berada pada standarnya seperti terlihat pada gambar 6 yang menunjukkan bahwa nilai distorsi harmonik telah dibawah nilai standarnya.

Tabel 3. Nilai komponen penyusun *high pass damped filter*

Filter Input Data

Filter Type: High-Pass (Damped)

Filter	Connected Bus	Capacitor C1			Inductor L1			R	
		uF	Min(uF)	Max	uH	Q Fact.	Max I	Ohm	
HFP	Bus 7	10.000	1.000	4940.0	2.71	20.00	0.0	54.2000	



Gambar 6. Diagram satu garis *harmonic analysis* dengan adanya beban nonlinier dan pemasangan *High pass damped Filter*

Tabel 4. Nilai rugi-rugi setelah adanya beban *nonlinier* dengan *High pass damped Filter*

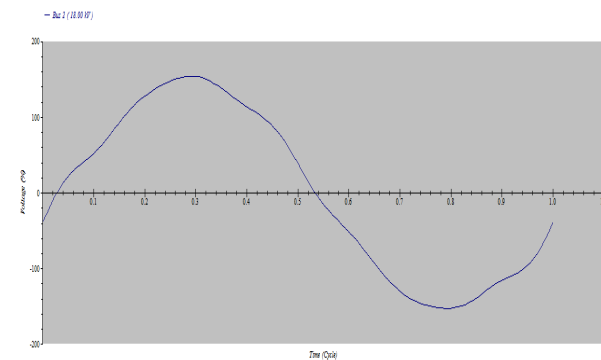
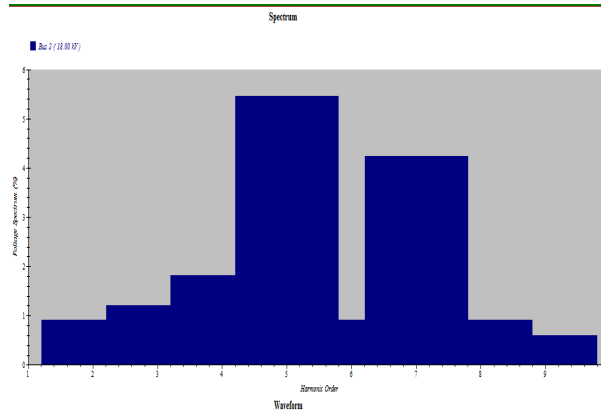
Branch Losses Summary Report

CKT / Branch ID	From-To Bus Flow		To-From Bus Flow		Losses		% Bus Voltage		Vd % Drop in Vmag
	MW	Mvar	MW	Mvar	kW	kvar	From	To	
T1	1149.422	-990.853	-1143.180	1203.683	6241.4	212830.0	104.0	113.8	9.76
T2	163.000	176.230	-162.923	-173.684	74.7	2546.1	150.4	149.2	1.20
T3	85.000	-50.000	-84.985	50.515	15.1	514.6	137.4	137.8	0.35
Line 1	679.139	-808.003	-662.903	890.641	16236.2	82638.8	113.8	119.9	6.18
Line 2	464.042	-395.680	-458.629	440.864	5412.7	45183.7	113.8	119.1	5.36
Line 3	128.551	-1104.343	-112.404	1369.424	16147.1	265080.9	119.9	149.2	29.26
Line 4	54.764	-575.486	-56.364	658.374	4460.2	82888.6	119.1	137.8	18.67
Line 6	267.291	901.732	-259.746	-872.130	7545.0	29602.4	149.2	143.7	5.49
Line 5	-130.201	735.704	135.349	-708.889	5147.8	26814.8	143.7	137.8	5.93
					61220.1	748099.8			

Tabel 5. Nilai distorsi harmonik tegangan dan arus pada sistem distribusi dengan adanya beban *nonlinier* dan pemasangan *High pass damped Filter*

Branch Losses Summary Report

CKT / Branch ID	From-To Bus Flow		To-From Bus Flow		Losses		% Bus Voltage		Vd % Drop in Vmag
	MW	Mvar	MW	Mvar	kW	kvar	From	To	
T1	1149.422	-990.853	-1143.180	1203.683	6241.4	212830.0	104.0	113.8	9.76
T2	163.000	176.230	-162.923	-173.684	74.7	2546.1	150.4	149.2	1.20
T3	85.000	-50.000	-84.985	50.515	15.1	514.6	137.4	137.8	0.35
Line 1	679.139	-808.003	-662.903	890.641	16236.2	82638.8	113.8	119.9	6.18
Line 2	464.042	-395.680	-458.629	440.864	5412.7	45183.7	113.8	119.1	5.36
Line 3	128.551	-1104.343	-112.404	1369.424	16147.1	265080.9	119.9	149.2	29.26
Line 4	54.764	-575.486	-56.364	658.374	4460.2	82888.6	119.1	137.8	18.67
Line 6	267.291	901.732	-259.746	-872.130	7545.0	29602.4	149.2	143.7	5.49
Line 5	-130.201	735.704	135.349	-708.889	5147.8	26814.8	143.7	137.8	5.93
					61220.1	748099.8			



Gambar 7. Spektrum harmonik dan bentuk gelombang sinusoidal pada sistem distribusi 9 bus dengan adanya beban *nonlinier* dan pemasangan *high pass damped Filter*.

Sebelum dilakukan pemasangan High pass damped filter pada sistem distribusi, tabel 1 menunjukkan pada bus 2 nilai THD_v sebesar 7.11% dan THD_i sebesar 49.49%. setelah pemasangan *high pass damped filter* pada sistem distribusi diketahui bahwa nilai distorsi harmonik mengalami penurunan dan sudah memenuhi standar. Seperti pada tabel 5 menunjukkan bus 2 nilai THD_v mengalami penurunan dari 7.4% menjadi 4.89%, sedangkan nilai THD_i naik dari 49.49% menjadi 89.63%. Penambahan filter mengakibatkan kenaikan arus pada bus, karena pengaruh komponene difilternya.

High pass damped filter jenis ini memiliki beberapa kelebihan diantaranya memberi unjuk kerja yang efektif dan baik dalam mem-filter tetapi memiliki rugi-rugi yang lebih besar pada frekuensi fundamental. Sehingga setelah dilakukan pemasangan High pass damped filter dengan adanya beban nonlinier pada sistem distribusi maka rugi-rugi daya nyata mengalami kenaikan dari 5728.3 kW.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan yang ada maka pada pengujian ini dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Pemasangan beban nonlinier pada sistem distribusi standar IEEE 9 bus menyebabkan nilai distorsi harmonik mengalami kenaikan. Bus yang terbebani dengan nonlinier yaitu bus 2 yang mengalami kenaikan THD_v dari 0% menjadi 7.11%. sedangkan untuk nilai THD_i naik 0% menjadi 49.49%.
2. Filter pasif jenis *high pass damped filter* yang dirancang dan dipasang pada bus 2 untuk meredam harmonik 5 yang merupakan orde paling besar. Sehingga terjadi penurunan nilai distorsi harmonik yang memenuhi batas standarnya yaitu sebesar 5%, seperti pada bus 2 THD_v turun dari 7.11% menjadi 4.89% sedangkan nilai THD_i naik dari 49.49% menjadi 89.63%.
3. Bentuk spektrum dan gelombang harmonik akan mengalami perubahan setelah ditambahkan komponen harmonik dan setelah difilter. Saat sistem distribusi tidak terpasang beban nonlinier maka bentuk gelombang sinusoidal tidak mengalami cacat gelombang dan saat sistem distribusi dipasang beban *nonlinier* maka bentuk gelombang sinusoidal terdistorsi dan saat terpasang *high pass damped filter* maka bentuk gelombang sinusoidalnya menjadi lebih halus dibandingkan sebelum difilter.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfama, Novix. 2013, *Analisis Harmonik dan Perancangan Single Tuned Filter pada Sistem Distribusi Standar IEEE 18 Bus dengan menggunakan Software ETAP Power Station 4.0*, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Dugan, Roger.C and McGranaghan, Mark F. 2003. *Electrical Power Systems Quality*. New York : McGraw-Hill.
- Eko, Hendik H S, dkk. 2010. *Teknik Pengurangan Arus Inrush dan Pengurangan Harmonisa Pada Kapasitor Bank untuk Beban Nonlinier*, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.
- William D. Stevenson Jr, Kamal Idris. 1994. *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Edisi Keempat. Jakarta: Erlangga.
- Widodo, Agus. 2013, *Analisis Harmonik dan Perancangan High Pass Damped Filter pada Sistem Distribusi Standar IEEE 13 Bus dengan Menggunakan Software ETAP Power Station 7.0*, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Surakarta.