

NASKAH PUBLIKASI

**PERANCANGAN *HIGH PASS DAMPED FILTER* PADA SISTEM
DISTRIBUSI STANDAR IEEE 9 BUS DENGAN
MENGUNAKAN *SOFTWARE ETAP POWER STATION 7.0***



Diajukan Oleh :

INDRIANA ZELLA MARGARETA

D 400 130 001

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2014**

LEMBAR PENGESAHAN

Karya ilmiah ini dengan judul “ **PERANCANGAN HIGH PASS DAMPED FILTER PADA SISTEM DISTRIBUSI STANDAR IEE 9 BUS DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE ETAP POWER STATION 7.0** ” diajukan oleh :

Nama : Indriana Zella Margareta

Nim : D400 1300 01

guna memenuhi kelengkapan sebagai syarat tugas akhir untuk menyelesaikan Program Sarjana (S1) pada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta. Tugas akhir ini telah disetujui pada :

Hari : Senin

Tanggal : 21 Juli 2014

Dosen Pembimbing I



(Agus Supardi, ST., MT)

Dosen Pembimbing II



(Aris Budiman, ST., MT)

PERANCANGAN *HIGH PASS DAMPED FILTER* PADA SISTEM DISTRIBUSI STANDAR IEEE 9 BUS DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE ETAP POWER STATION 7.0

Indriana Zella Margareta
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl.A. Yani tromol pos 1 pabelan kartasura surakarta
indrianazellamargareta@gmail.com

ABSTRAKSI

Penelitian ini bertujuan untuk mengurangi harmonik pada sistem jaringan distribusi. Sistem distribusi umumnya pada ujung-ujung saluran mengalami drop tegangan karena jarak sumber yang jauh ke beban ini mengakibatkan terjadinya rugi-rugi daya. Sehingga pada umumnya dipasang bank kapasitor untuk memperbaiki drop tegangan pada ujung-ujung saluran tersebut agar tegangan rata-rata saluran distribusi. Penggunaan bank kapasitor yang besar dan pemasangan beban nonlinier dapat menimbulkan permasalahan yang menurunkan kualitas daya listrik, yaitu harmonik.

Dalam penelitian ini akan dilakukan analisis harmonik dan perancangan High Pass Damped Filter pada sistem distribusi standar IEEE 9 bus dengan cara melakukan simulasi dengan menggunakan Software ETAP Power Station 7.0. Penelitian dimulai dengan membuat model sistem distribusi dan memasukkan data-data parameter sistem ke dalam model tersebut. Kemudian dilakukan simulasi aliran daya untuk mengamati nilai dan arah aliran daya, simulasi analisis harmonik tanpa beban nonlinier dan dengan penambahan beban nonlinier, merancang high pass damped filter, dan pemasangan high pass damped filter pada sistem distribusi untuk mengurangi distorsi harmonik. Dari hasil simulasi harmonik akan diketahui pengaruh dari pemasangan beban nonlinier dan high pass damped filter pada sistem distribusi.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan adanya pemasangan beban nonlinier pada sistem distribusi mengakibatkan nilai Total Harmonic Distortion tegangan pada bus yang dekat dengan sumber harmonik mengalami kenaikan berkisar 7.11% dan meningkatkan rugi-rugi daya nyata. Setelah dilakukan perancangan dan pemasangan high pass damped filter tegangan mengalami penurunan yaitu 4.89% sehingga sesuai dengan batas standar distorsi harmonik pada sistem distribusi.

Kata kunci: *analisis harmonik, high pass damped filter, sistem distribusi*

1. Pendahuluan.

Energi listrik adalah bentuk energi yang paling efektif, paling mudah dan paling efisien dalam cara penggunaannya. Energi listrik dapat diproduksi dengan berbagai cara dari sumber awal yang berbeda-beda, yaitu air, minyak, gas, batubara, angin, cahaya matahari, panas bumi, dan lain-lain (Tumiran, 2002).

Setiap komponen sistem distribusi dapat dipengaruhi oleh harmonik 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 sibusoidal 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. Bentuk gelombang yang terdistorsi dapat didekomposisi menjadi jumlah dari frekuensi dasar dan frekuensi harmonik. 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.

II. Metode Penelitian

2.1 Jadwal Penelitian

Penelitian dengan judul Perancangan *High pass damped filter* pada sistem distribusi standar IEEE 9 bus dengan menggunakan *Software ETAP Power Station 7.0* dapat diselesaikan

dalam waktu 4 bulan yaitu mulai dari literatur, pembuatan proposal sampai analisa data dan pembuatan.

2.2. Tahap Studi Literatur

Studi literatur adalah sebuah kajian penulis tentang referensi-referensi yang berkaitan dengan penelitian ini berupa buku, skripsi, jurnal publikasi, tesis, dan karya-karya ilmiah lainnya. Dalam tahap ini penulis mengkaji karya-karya ilmiah yang berhubungan dengan analisis harmonik dan perancangan *High pass damped filter*.

2.3. Pengumpulan Data

Data *single line diagram* sistem distribusi standar IEEE 9 bus yang berupa data beban, data saluran, data kapasitor, dan data beban nonlinier yang digunakan sebagai penyebab harmonik diperoleh dari dosen pembimbing.

2.4. Tahap Pengolahan Data

Analisis dan perancangan filter 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.

2.5. Alat dan Bahan

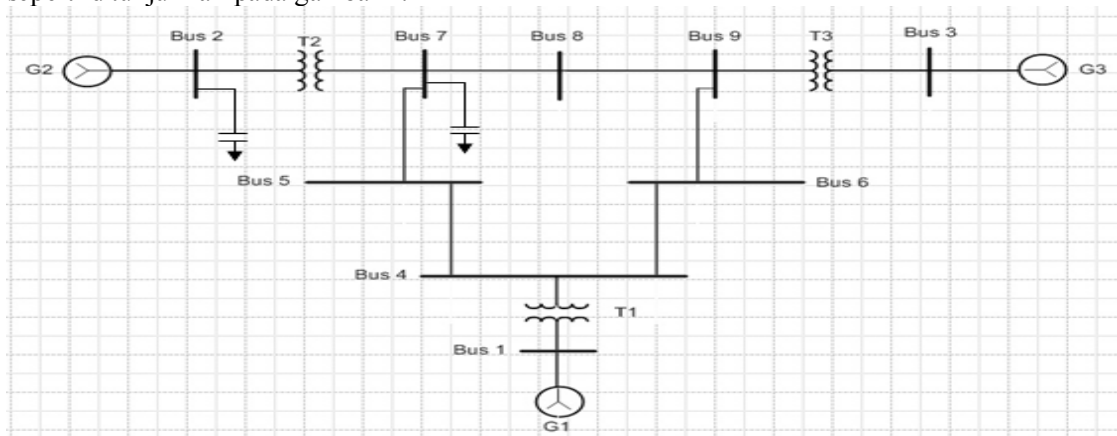
Alat dan bahan untuk mendukung penelitian ini adalah:

- a. *Hardware dan Software*

Perlengkapan pendukung yang dipakai dalam penelitian ini adalah perangkat keras komputer yang digunakan untuk menjalankan *software ETAP Power Station 7.0* dengan *memory RAM 2.00 GB*, *processor Intel (R) Atom (TM) CPU N570 @1.66 GHz*. *Software ETAP Power Station 7.0* ini digunakan untuk analisis harmonik

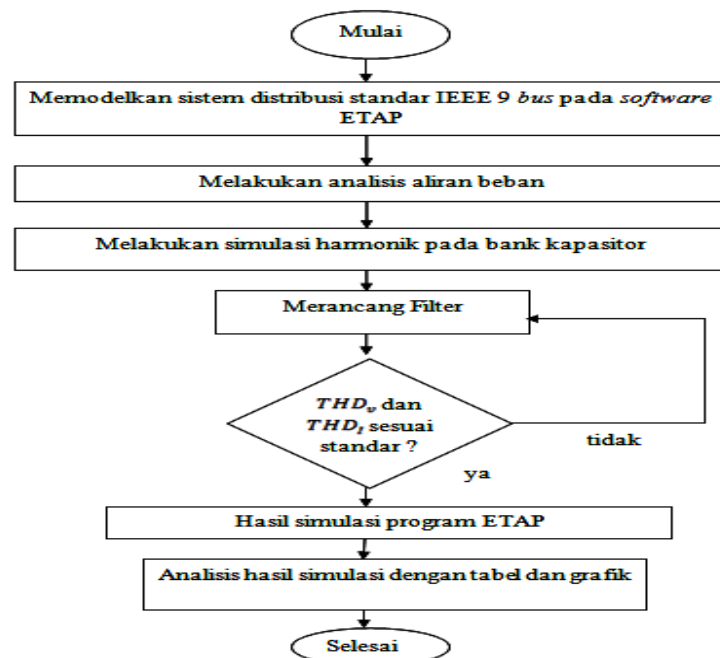
b. Gambar Sistem Distribusi Standar IEEE 9 bus.

Gambar 1 menunjukkan sistem distribusi standar IEEE 9 bus. 6 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.



Gambar 1. Diagram garis tunggal sistem distribusi standar IEEE 9 bus.

2.6. Flowchart Penelitian



Gambar 2. *Flowchart* Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

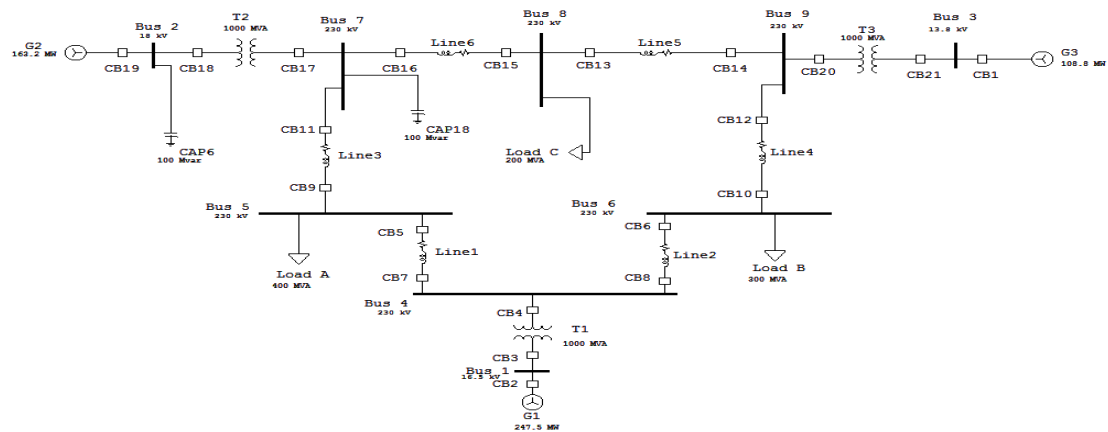
3.1. Simulasi Analisis Aliran Beban

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

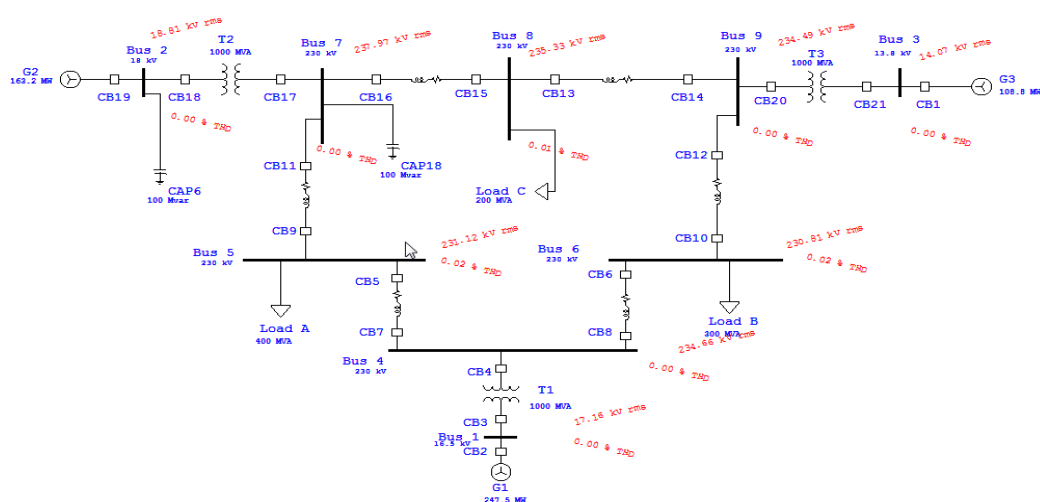
3.2. Simulasi Analisis Harmonik Tanpa Beban Nonlinier

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 seperti terlihat pada gambar 3.0 dapat diketahui perbandingan bentuk gelombangnya saat tanpa beban nonlinier dengan saat tanpa beban nonlinier seperti terlihat pada gambar 4.0.



Gambar 4. Diagram satu garis load flow analysis



Gambar 5. Diagram satu garis harmonic analysis tanpa beban nonlinier

Tabel 1. Nilai distorsi harmonik tegangan dan arus pada sistem distribusi tanpa beban nonlinier

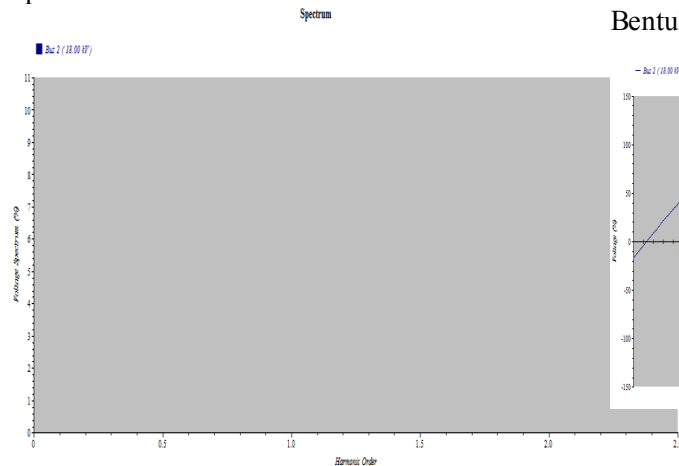
SYSTEM HARMONICS INFORMATION													
Bus		Voltage Distortion					Current Distortion						
ID	kV	Fund. %	RMS %	ASUM %	THD %	TIF	To Bus ID	Fund. Amp	RMS Amp	ASUM Amp	THD %	TIF	IT
Bus 1	16.500	104.00	104.00	104.00	0	0.50	Bus 4	30151.42	30151.42	30151.42	0	0.50	15075.71
Bus 2	18.000	104.51	104.51	104.51	0	0.50	Bus 7	3352.30	3352.30	3352.30	0	0.50	1676.15
Bus 3	13.800	101.95	101.95	101.95	0	0.50	Bus 9	0.13	0.13	0.13	0	0.50	0.06
Bus 4	230.000	102.02	102.02	102.02	0	0.50	Bus 5	1256.59	1256.59	1256.59	0	0.50	628.30
							Bus 6	907.04	907.04	907.04	0	0.50	453.52
							Bus 1	2163.04	2163.04	2163.04	0	0.50	1081.52
Bus 5	230.000	100.49	100.49	100.49	0	0.50	Bus 4	1257.32	1257.32	1257.32	0	0.50	628.66
							Bus 7	402.63	402.63	402.63	0	0.50	201.31
Bus 6	230.000	100.35	100.35	100.35	0	0.50	Bus 4	908.10	908.10	908.10	0	0.50	454.05
							Bus 9	215.96	215.96	215.96	0	0.50	107.98
Bus 7	230.000	103.47	103.47	103.47	0	0.50	Bus 5	395.34	395.34	395.34	0	0.50	197.67
							Bus 8	406.44	406.44	406.44	0	0.50	203.22
							Bus 2	262.35	262.35	262.35	0	0.50	131.18
Bus 8	230.000	102.32	102.32	102.32	0	0.50	Bus 9	205.94	205.94	205.94	0	0.50	102.97
							Bus 7	409.89	409.89	409.89	0	0.50	204.94
Bus 9	230.000	101.95	101.95	101.95	0	0.50	Bus 6	209.61	209.61	209.61	0	0.50	104.81
							Bus 8	209.61	209.61	209.61	0	0.50	104.81
							Bus 3	0.01	0.01	0.01	0	0.50	0.00

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

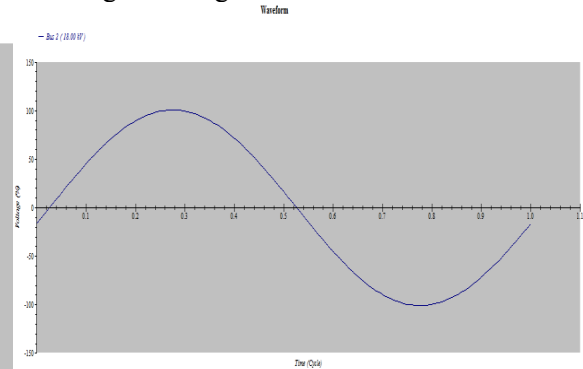
Tabel 2. Nilai rugi-rugi sebelum adanya beban nonlinier

Branch Losses Summary Report									
CKT / Branch	From-To Bus Flow		To-From Bus Flow		Losses		% Bus Voltage		Vd % Drop in Vmag
ID	MW	Mvar	MW	Mvar	kW	kvar	From	To	
T1	621.783	184.530	-620.643	-145.653	1140.1	38876.2	104.0	102.2	1.78
T2	163.000	57.991	-162.919	-55.220	81.2	2770.5	103.9	103.3	0.59
T3	85.000	20.066	-84.979	-19.341	21.3	725.7	102.5	102.3	0.22
Line 1	359.376	81.145	-356.916	-70.587	2459.2	10557.6	102.2	100.8	1.41
Line 2	261.268	64.509	-259.954	-55.349	1313.3	9159.3	102.2	100.7	1.49
Line 3	-20.514	-80.358	20.635	77.715	121.2	-2642.7	100.8	103.3	2.52
Line 4	-28.840	-40.915	28.883	36.902	43.1	-4012.8	100.7	102.3	1.55
Line 6	142.284	84.269	-141.796	-84.208	487.4	60.4	103.3	102.4	0.96
Line 5	-56.034	14.996	56.096	-17.562	61.5	-2566.2	102.4	102.3	0.09
					5728.3	52928.0			

Spektrum harmonik:



Bentuk gelombang sinusoidal:



Gambar 6. Spektrum harmonik dan bentuk gelombang sinusoidal pada sistem distribusi standar IEEE 9 bus tanpa beban *nonlinier*

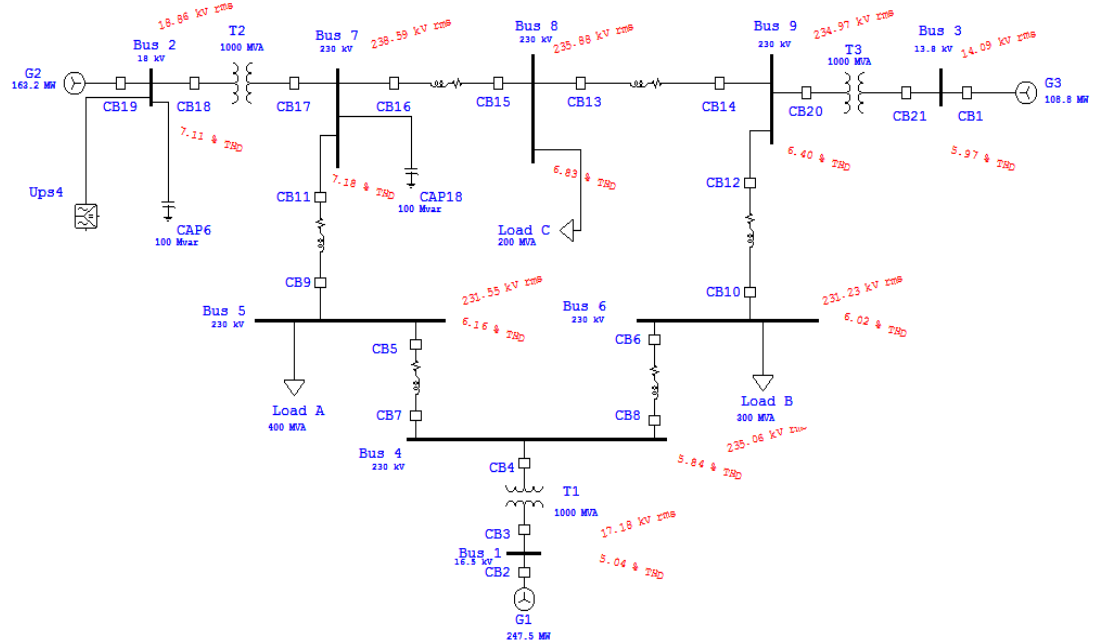
Dari hasil simulasi analisis harmonik tanpa beban nonlinier pada sistem distribusi standar IEEE 9 bus dapat diketahui bahwa hampir tidak terkandung distorsi harmonik seperti terlihat pada Tabel 1, walaupun ada nilai THD yang keluar itu disebabkan karena kejenuhan inti besi pada peralatan distribusi yang menggunakan mesin-mesin listrik seperti transformator, generator dan motor listrik. Pada sistem distribusi tersebut bentuk gelombang sinusoidalnya tidak mengalami cacat gelombang atau masih berupa gelombang sinusoidal murni seperti terlihat pada gambar 6.

Sistem distribusi standar IEEE 9 bus tersebut hanya terdapat beban linier saja, sehingga bentuk gelombang arusnya tetap sinusoidal dan hanya terjadi pergeseran

sudut fasa pada beban yang bersifat induktif.

3.3. Simulasi Analisis Harmonik dengan Adanya Beban Nonlinier

Simulasinya analisis harmonik dilanjutkan dengan menambahkan beban nonlinier pada sistem distribusi standar IEEE 9 bus sebagai penyebab timbulnya sumber arus harmonik. Beban nonlinier ini dipasang pada salah satu bus pada sistem distribusi tersebut. Simulasi analisis harmonik dengan penambahan beban nonlinier ini bertujuan untuk mengetahui distorsi harmonik yang terkandung dan pengaruh dari pemasangan beban nonlinier terhadap kestabilan dan bentuk gelombang dari tegangan dan arus pada sistem distribusi standar IEEE 9 bus tersebut.



Gambar 7. Diagram satu garis *harmonic analysis* dengan adanya beban *nonlinier*

Tabel 3. Nilai distorsi harmonik tegangan dan arus pada sistem distribusi dengan adanya beban *nonlinier*

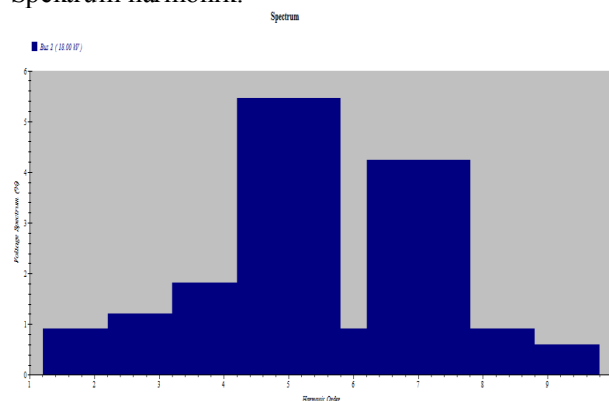
SYSTEM HARMONICS INFORMATION													
Bus		Voltage Distortion						Current Distortion					
ID	kV	Fund. %	RMS %	ASUM %	THD %	TIF	To Bus ID	Fund. Amp	RMS Amp	ASUM Amp	THD %	TIF	IT
* Bus 1	16.500	104.00	104.13	113.40	5.04	20.56	Bus 4	30151.42	30155.44	31068.08	1.63	5.20	159519.30
* Bus 2	18.000	104.51	104.78	120.56	7.11	31.15	Bus 7	3352.30	3740.34	4413.64	40.49	106.23	696564.50
* Bus 3	13.800	101.95	102.14	113.03	5.97	26.68	Bus 9	0.13	344.07	656026924.90	355.95	122470.30	
* Bus 4	230.000	102.02	102.20	112.72	5.84	23.83	Bus 5	1256.59	1257.05	1317.70	2.70	8.29	10423.28
							Bus 6	907.04	907.18	934.97	1.75	6.33	5739.77
							Bus 1	2169.04	2169.33	2239.80	1.69	5.29	11448.80
* Bus 5	230.000	100.49	100.68	111.64	6.16	23.59	Bus 4	1257.32	1257.76	1316.97	2.67	7.90	9939.62
							Bus 7	402.63	410.56	548.59	19.94	74.47	30572.30
* Bus 6	230.000	100.35	100.54	111.24	6.02	24.89	Bus 4	908.10	908.23	934.98	1.71	5.92	5375.92
							Bus 9	215.96	218.04	271.81	14.00	62.59	13647.94
* Bus 7	230.000	103.47	103.73	116.99	7.18	34.28	Bus 5	395.34	403.23	538.86	20.08	73.56	29660.99
							Bus 1	406.44	411.99	532.38	16.59	70.09	28849.58
							Bus 2	262.35	292.72	501.24	40.49	106.23	54513.74
* Bus 8	230.000	102.32	102.56	115.05	6.83	31.77	Bus 9	205.94	209.97	283.93	19.88	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	28.56	Bus 6	209.61	211.67	264.69	14.06	61.39	12995.22
							Bus 1	209.61	213.77	309.64	20.02	82.46	17428.03
							Bus 3	0.01	20.64	394265924.90	355.95	7348.22	

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

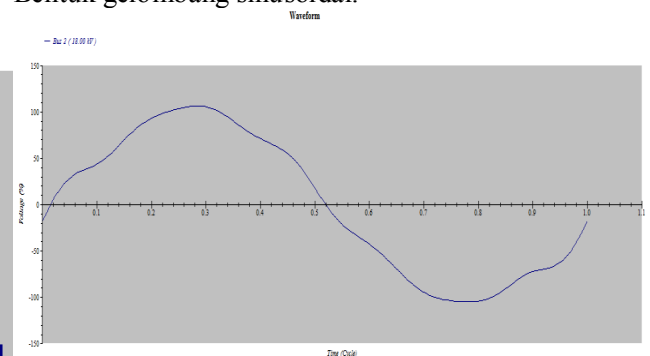
Tabel 4. Nilai rugi-rugi setelah adanya beban nonlinier

Branch Losses Summary Report										
CKT / Branch		From-To Bus Flow		To-From Bus Flow		Losses		% Bus Voltage		V _a % Drop in Vmax
ID		MW	Mvar	MW	Mvar	kW	kvar	From	To	
T1		451.783	184.436	451.783	184.436	1140.1	18876.3	104.0	103.3	1.78
T2		143.000	57.001	143.010	-55.330	81.3	3770.5	103.0	103.3	0.50
T3		88.000	20.000	84.079	-19.341	21.3	736.7	102.8	103.3	0.33
Line 1		339.370	81.142	330.910	-70.387	2429.2	1027.0	102.2	100.8	1.41
Line 2		201.208	84.309	209.934	-30.349	1313.3	9139.3	102.2	100.7	1.49
Line 3		-20.314	-80.338	20.035	77.715	121.2	-2042.7	100.8	103.3	2.32
Line 4		-28.840	-40.915	28.883	36.902	49.1	-4012.8	100.7	102.3	1.55
Line 5		143.784	84.340	141.704	-84.308	487.4	40.4	101.3	103.4	0.04
Line 6		14.034	14.000	14.000	17.883	81.8	-3846.3	102.4	102.3	0.00
						4758.4	43058.0			

Spektrum harmonik:



Bentuk gelombang sinusoidal:



Gambar 8. 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 3. 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:

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

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

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

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

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.

$$L = \frac{1}{(C)(\omega n)^2}$$

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

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

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

$$X_L = 2\pi f L$$

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

$$= 2.71 \Omega$$

Resistor:

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

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

$$R = Q \cdot X_L \\ = (20)(2.71) \\ = 54.2 \Omega$$

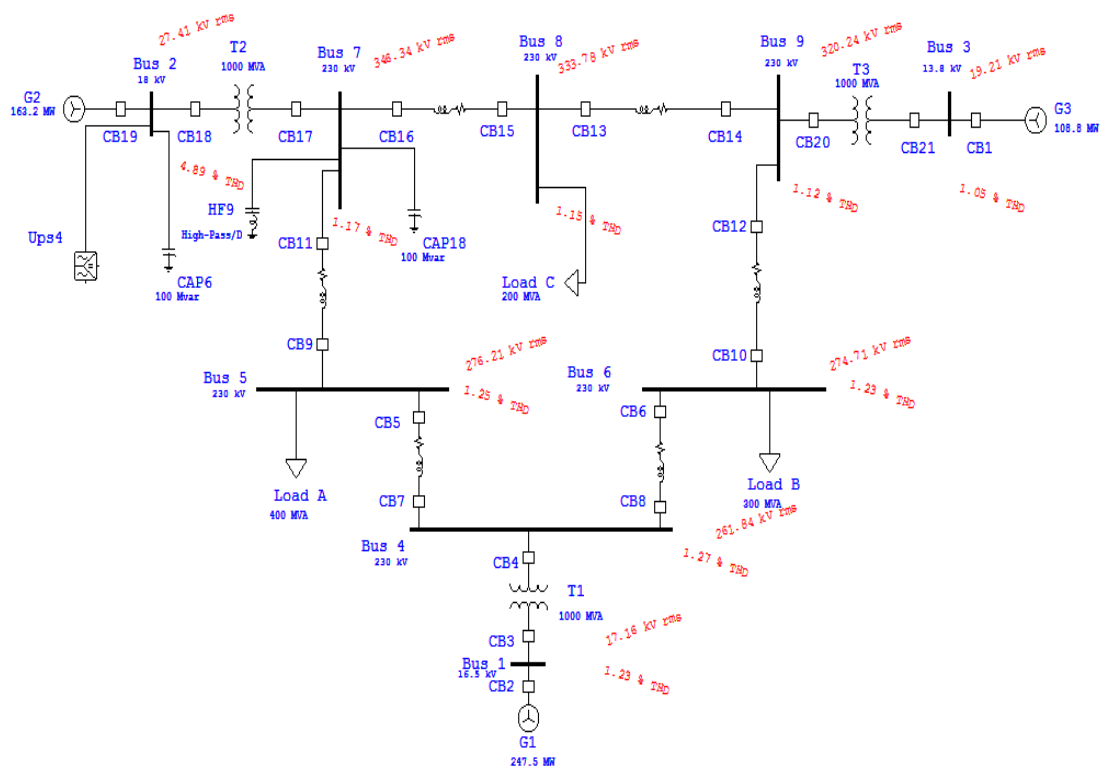
3.5. Simulasi Analisis Harmonik dengan Adanya Beban Nonlinier dan Pemasangan *high pass damped Filter*

Pemasangan *high pass damped filter* bertujuan untuk mengurangi distorsi harmonik pada sistem distribusi yang disebabkan adanya beban nonlinier yang merupakan sumber harmonik.

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 9 yang menunjukkan bahwa nilai distorsi harmonik telah dibawah nilai standarnya.

Tabel 5. Nilai komponen penyusun *high pass damped filter*

Filter Input Data									
Filter Type: High-Pass (Damped)									
Filter	Connected Bus	Capacitor (C)			Inductor (L)			R	
ID	ID	kV	Max kV	kmr	ID	Q Fac	Max I	Ohm	
HFP	Bus 7	11.000	0.000	4946.2	2.71	20.00	9.0	54.2000	



Gambar 9. Diagram satu garis *harmonic analysis* dengan adanya beban nonlinier dan pemasangan *High pass damped Filter*

Tabel 6. Nilai distorsi harmonik tegangan dan arus pada sistem distribusi dengan adanya beban *nonlinier* dan pemasangan *high pass damped filter*

Bus		Voltage Distortion					Current Distortion				
ID	kV	Fund. %	RMS %	ASUM %	THD %	TIF	To Bus ID	Fund. Amp	RMS Amp	ASUM Amp	THD %
Bus 1	16.500	104.00	104.01	106.58	1.23	3.72	Bus 4	57954.73	57955.23	58318.08	0.41
Bus 2	18.000	152.09	152.28	168.14	4.89	21.44	Bus 7	4878.40	8551.15	12773.34	89.63
Bus 3	13.800	139.22	139.23	142.23	1.05	3.56	Bus 9	0.14	161.09	240.6113584.30	133.99
Bus 4	230.000	113.84	113.85	116.77	1.27	3.86	Bus 5	2409.70	2409.74	2493.89	0.40
							Bus 6	1559.51	1559.52	1587.06	0.27
Bus 5	230.000	120.08	120.09	123.14	1.25	3.88	Bus 1	4157.02	4157.66	4194.41	0.41
							Bus 4	2404.60	2404.65	2428.16	0.40
Bus 6	230.000	119.43	119.44	122.41	1.23	3.81	Bus 7	2482.05	2482.78	2528.50	1.01
							Bus 4	1554.85	1554.86	1562.75	0.27
Bus 7	230.000	150.57	150.58	154.21	1.17	4.30	Bus 9	1331.19	1331.22	1347.17	0.60
							Bus 5	2467.68	2467.81	2513.01	1.01
Bus 8	230.000	145.11	145.12	148.54	1.15	4.09	Bus 8	1574.07	1574.21	1613.23	1.31
							Bus 2	381.79	512.70	999.65	89.63
Bus 9	230.000	139.22	139.23	142.44	1.12	3.81	Bus 9	1306.31	1306.40	1333.32	1.16
							Bus 7	1581.27	1581.40	1620.68	1.31
							Bus 6	1316.16	1316.19	1311.80	0.59
							Bus 8	1316.16	1316.25	1343.64	1.16
							Bus 3	0.01	0.67	15.4812584.30	133.99

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

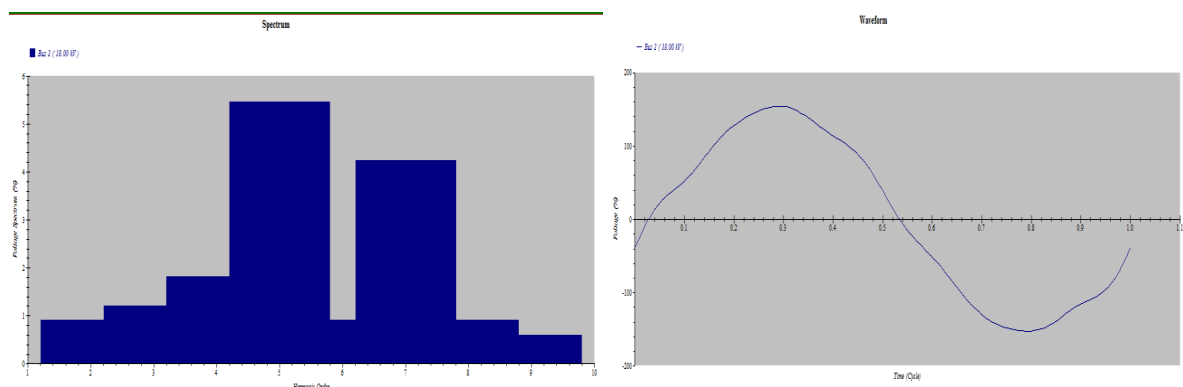
Tabel 7. Nilai rugi – rugi setelah adanya beban *nonlinier* dan pemasangan *High pass damped Filter*

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	1149.422	-990.853	-1143.180	1203.683	6241.4	212330.0	104.0	113.8	9.76
T2	163.000	176.230	-162.925	-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	-50.364	658.374	4400.2	82388.6	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	-150.201	735.704	135.349	-708.889	5147.8	26314.8	143.7	137.8	5.93
					61220.1	748099.8			

Spektrum Harmonik:

Bentuk gelombang sinusoidal:



Gambar 10. 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 4 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 7 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 THDI 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

Zuhal. 1995, *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.

William D. Stevenson Jr, Kamal Idris. 1994. *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Edisi Keempat. Jakarta: Erlangga.

Dugan, Roger.C and McGranaghan, Mark F. 2003. *Electrical Power Systems Quality*. New York : McGraw-Hill.

Jaelani, Mukhsin Akhsin. 2008, *Analisis Distorsi Harmonik pada system Distribusi dan Reduksinya Menggunakan Tapis Harmonik dengan Bantuan ETAP Power Station 4.0*, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Surakarta.

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.

Setiawan, Awan. 2007, *Kajian Pengaruh Harmonisa Terhadap Sistem Tenaga Listrik*, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang.

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.

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.