

ANALISIS HARMONIK DAN PERANCANGAN *SINGLE TUNED FILTER* PADA SISTEM DISTRIBUSI STANDAR IEEE 18 BUS DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE ETAP POWER STATION 4.0

Novix Jefri Alfama
Engineering Division, PT. Wijaya Karya Rekayasa Konstruksi
Menara MTH 17th Fl, Suite 1706-1707
Jl. MT Haryono Kav 23, Jakarta, 21250
novixalfama@gmail.com

ABSTRAKSI

Pemasangan beban nonlinier pada sistem distribusi dapat menimbulkan permasalahan yang dapat menurunkan kualitas daya listrik, masalah tersebut adalah harmonik. Keberadaan harmonik akan mempengaruhi kinerja komponen pada sistem distribusi tenaga listrik bahkan terjadinya kerusakan pada komponen tersebut. Salah satu dampak dari harmonik adalah adanya tambahan rugi-rugi pada penghantar berupa panas yang dapat menimbulkan gagalnya sebuah sistem isolasi pada level tertentu maupun panas berlebih pada kawat netral dan transformator. Untuk mengurangi distorsi harmonik maka diperlukan perancangan dan pemasangan filter harmonik. Salah satu jenis filter yang dapat digunakan adalah filter pasif jenis single tuned filter yang merupakan metode penyelesaian yang efektif dan ekonomis untuk mengalihkan arus harmonik yang tidak diinginkan dalam sistem distribusi tenaga listrik.

Dalam penelitian ini dilakukan analisis harmonik dan perancangan single tuned filter pada sistem distribusi standard IEEE 18 bus dengan cara melakukan simulasi menggunakan software ETAP Power Station. Penelitian dimulai dengan membuat model sistem distribusi dan memasukkan data-data parameter sistem ke dalam model tersebut. Setelah itu dilakukan simulasi aliran daya untuk mengamati nilai dan arah aliran daya, simulasi analisis harmonik tanpa beban nonlinier dan dengan menambahkan beban nonlinier, merancang single tuned filter, dan pemasangan single tuned filter pada sistem distribusi untuk mengurangi distorsi harmonik. Dari hasil simulasi harmonik akan diketahui pengaruh dari pemasangan beban nonlinier dan single tuned 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 antara 7.88 % sampai 8.21 % dan meningkatnya rugi-rugi daya nyata sebesar 17.6 kW. Setelah dilakukan perancangan dan pemasangan single tuned filter maka nilai Total Harmonic Distortion tegangan mengalami penurunan berkisar antara 3.29 % sampai 4.54 % sehingga sesuai dengan batas standar distorsi harmonik dan mengurangi rugi-rugi daya nyata sebesar 17.6 kW pada sistem distribusi.

Kata kunci : analisis harmonik, single tuned filter, sistem distribusi

1. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan suatu sumber energi yang menjadi kebutuhan pokok dalam kehidupan manusia di dunia saat ini. Energi listrik dibangkitkan di pusat pembangkit dan disalurkan ke beban melalui saluran transmisi dan distribusi.

Penyaluran tenaga listrik dari pusat pembangkit ke beban sering terjadi permasalahan yang akan menurunkan kualitas daya listrik sehingga menyebabkan peningkatan rugi-rugi pada sisi beban dan penurunan kapasitas daya pada sisi pembangkit. Salah satu permasalahan kualitas

daya listrik yang jarang diperhatikan 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. 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).

Keberadaan harmonik akan mempengaruhi kinerja komponen pada sistem distribusi tenaga listrik bahkan terjadinya kerusakan pada komponen tersebut. Salah satu dampak dari harmonik adalah adanya tambahan rugi-rugi pada penghantar berupa panas yang dapat menimbulkan gagalnya sebuah sistem isolasi pada level tertentu maupun panas berlebih pada kawat netral dan transformator akibat timbulnya harmonik ketiga yang dibangkitkan oleh peralatan listrik satu fasa. Pada keadaan normal, arus beban setiap fasa dari beban linier yang seimbang pada frekuensi dasarnya akan saling mengurangi sehingga arus netralnya menjadi nol.

Sistem tenaga listrik yang bersifat dinamis, bila terjadi gangguan harus segera diperbaiki supaya sistem kembali pada kondisi normal. Saat kondisi darurat terjadi seperti tegangan sistem mengalami susut tegangan maka harus segera dikembalikan ke kondisi normal dalam waktu yang singkat dengan resiko pemadaman sesaat di daerah yang mengalami kondisi darurat. Kondisi darurat merupakan kondisi suatu daerah yang mengalami susut tegangan sekitar 5 % dari tegangan normal suatu sistem.

Kondisi darurat perlu dihindari dengan memperkirakan kondisi pengoperasian yaitu dengan cara analisis beban pada sistem tenaga listrik saat kondisi normal. Selanjutnya

dilakukan analisis harmonik dengan memberi beban nonlinier sebagai sumber harmonik.

Beban listrik pada suatu sistem tenaga listrik dibedakan menjadi dua jenis beban yaitu beban linier dan beban nonlinier. Beban linier merupakan beban listrik yang komponen arusnya proporsional terhadap tegangannya dan memberikan bentuk gelombang keluaran yang linier artinya arus yang mengalir sebanding dengan impedansi dan perubahan tegangan, apabila tegangan sumber bentuk gelombangnya sinusoidal maka arus yang melewati beban juga harus sinusoidal. Beban nonlinier adalah beban listrik yang komponen arusnya tidak proporsional terhadap komponen tegangannya, sehingga bentuk gelombang arusnya tidak sama dengan bentuk gelombang tegangannya atau mengalami distorsi. Beban nonlinier akan menyerap arus nonsinusoidal dan arus harmonik, walaupun disuplai oleh tegangan sinusoidal, apabila tegangan sumber bentuk gelombangnya sinusoidal maka arus lewat beban tidak sinusoidal lagi. Beban nonlinier merupakan peralatan elektronik yang menggunakan bahan semi konduktor seperti *silicon controlled rectifier* (SCR), dioda, transistor, dan peralatan semi konduktor lainnya. Penggunaan bahan semi konduktor ini menyebabkan kecacatan bentuk gelombang *input* pada arus maupun tegangan yang akan menimbulkan harmonik atau terjadinya distorsi arus dan tegangan.

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 *single tuned filter* yang merupakan metode penyelesaian yang efektif dan ekonomis untuk mengalihkan arus harmonik yang tidak diinginkan dalam sistem distribusi tenaga listrik.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Pengumpulan Data

Data *single line diagram* sistem distribusi standar IEEE 18 bus yang berupa data beban, data saluran, data kapasitor, dan data beban

nonlinier yang digunakan sebagai penyebab harmonik diperoleh dari dosen pembimbing.

2.2 Tahap Pengolahan Data

Analisis dan perancangan filter akan disimulasikan menggunakan *software ETAP Power Station 4.0* terhadap data yang sudah ada. Langkah yang dilakukan sebagai berikut:

- Menentukan tegangan fundamental sistem distribusi.
- Melakukan simulasi aliran daya untuk mengamati nilai dan arah aliran daya pada sistem distribusi.
- Melakukan simulasi analisis harmonik dengan menambahkan beban nonlinier pada salah satu *bus* pada sistem distribusi.
- Merancang *single tuned filter*.
- Memasang *single tuned filter* pada sistem distribusi dan menganalisis hasil simulasinya.

2.3 Alat dan Bahan

Alat dan bahan untuk mendukung penelitian ini adalah :

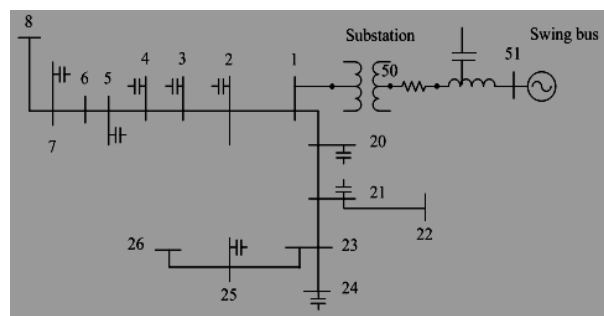
- a. *Hardware dan Software*

Perlengkapan pendukung adalah perangkat keras komputer yang digunakan untuk menjalankan *software ETAP Power Station 4.0*. *Software ETAP Power Station 4.0* ini digunakan untuk analisis harmonik.

- b. Gambaran Sistem Distribusi Standar IEEE
18 bus

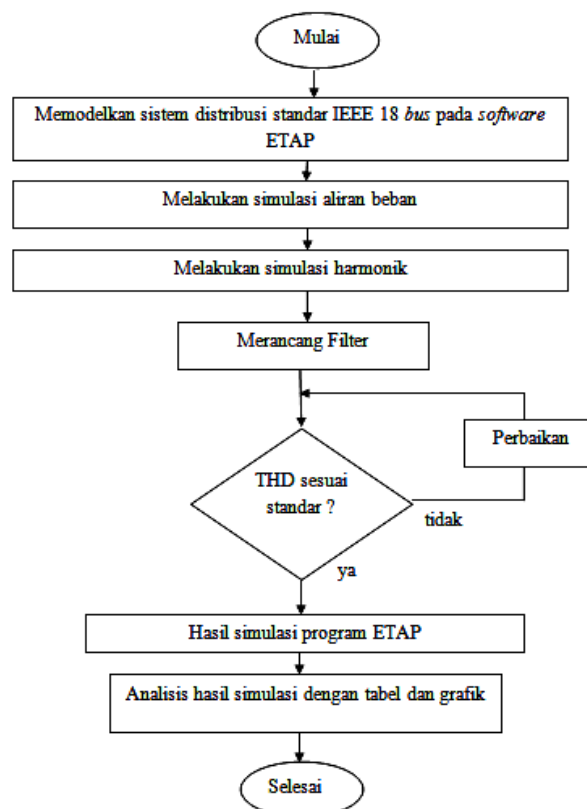
Penelitian ini dilakukan pada system distribusi standar IEEE 18 *bus* yang terpasang 10 kapasitor pada *bus* 7, *bus* 5, *bus* 4, *bus* 3, *bus* 2, *bus* 20, *bus* 21, *bus* 24, *bus* 25, *bus* 50 seperti ditunjukkan pada gambar 1.

Gambar 1 menunjukkan sistem distribusi standar IEEE 18 bus. 16 bus terletak pada sistem distribusi 12,5 kV dan 2 bus (50 dan 51) terletak pada sisi tegangan 138 kV dari trafo gardu induk yang disuplai dari sebuah *swing bus*. Sistem distribusi ini bertipe radial dengan 2 penyulang utama. Penyulang pertama terdiri dari 8 bus (*bus no.1 – 8*) dan penyulang kedua terdiri dari 7 bus (*bus no.20 – 26*).



Gambar 1. Diagram garis tunggal sistem distribusi standar IEEE 18 bus

2.4. *Flowchart* Penelitian



Gambar 2. *Flowchart* Penelitian

3 Hasil dan Pembahasan

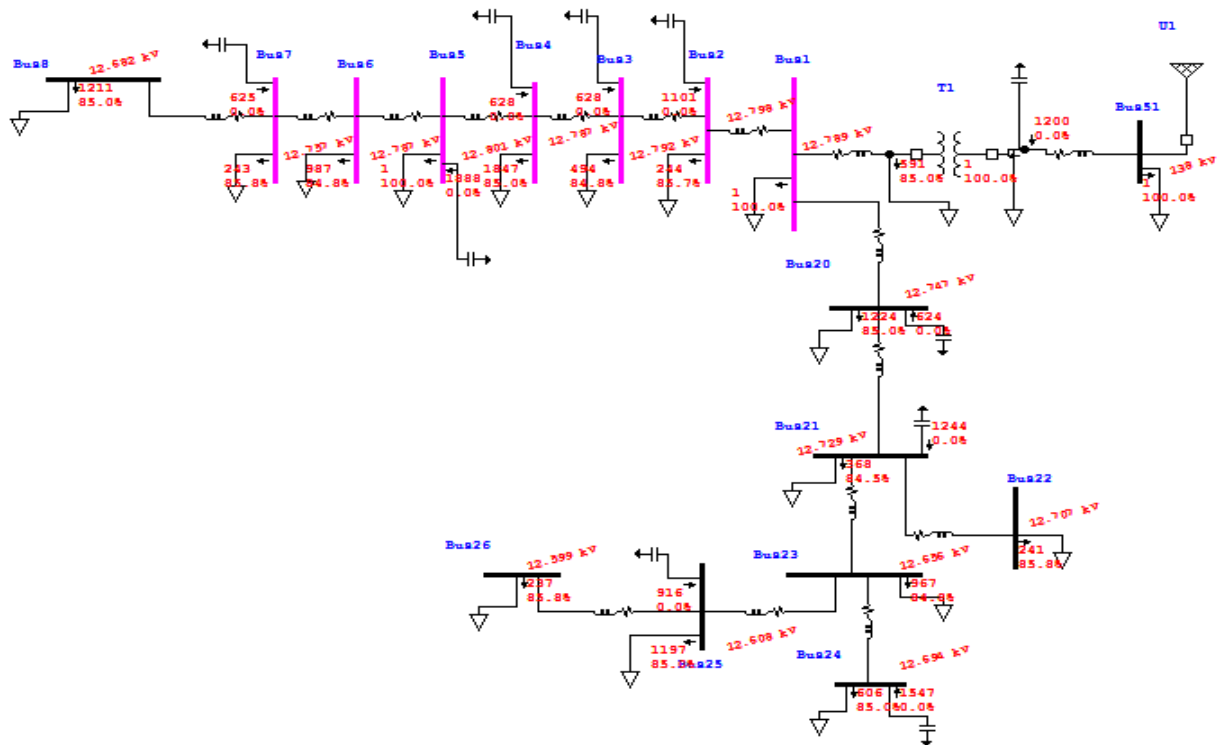
a. Simulasi Analisis Aliran Beban

Gambar 3 menunjukkan simulasi aliran beban yang dilakukan pada sistem distribusi 18 bus saat sistem dalam kondisi normal yang digunakan untuk mengetahui nilai tegangan, arus, dan arah aliran daya yang mengalir pada sistem distribusi 18 bus, sehingga dapat membandingkan perbedaan yang terjadi saat sistem distribusi tanpa beban nonlinier dengan terdapat beban nonlinier dan saat tanpa filter harmonik dengan terdapat filter harmonik.

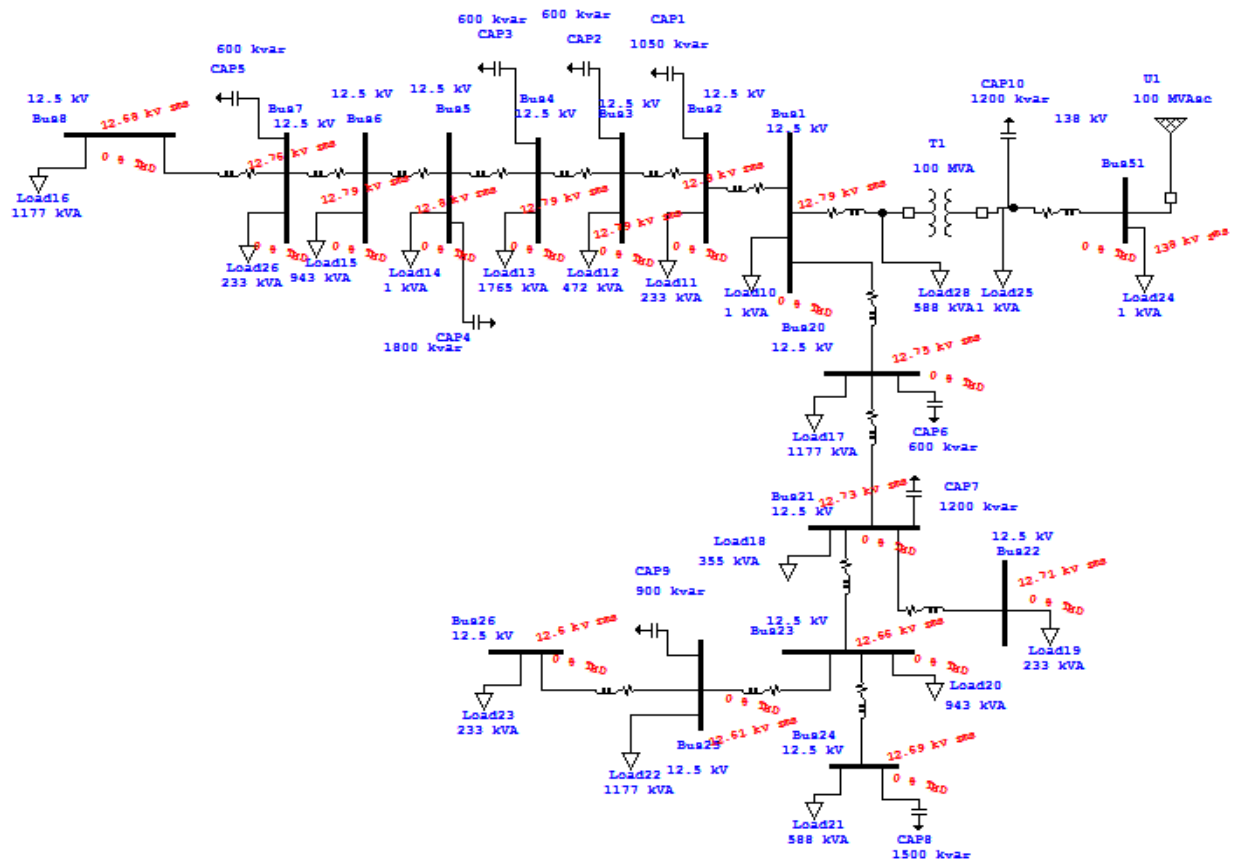
b. Simulasi Analisis Harmonik Tanpa Beban Nonlinier

Gambar 4 menunjukkan simulasi analisis harmonik pada sistem distribusi 18 bus tanpa

adanya beban nonlinier yang berfungsi untuk mengetahui bentuk gelombang sinusoidal saat sistem belum dibebani oleh beban nonlinier.



Gambar 3. Diagram satu garis load flow analysis



Gambar 4. Diagram satu garis *harmonic analysis* tanpa beban nonlinier

*Novix Jefri Alfama, Analisis Harmonik Dan Perancangan Single Tuned Filter Pada Sistem Distribusi Standar Ieee
18 Bus Dengan Menggunakan Software Etap Power Station 4.0*

Project:		SYS. HARMONICS INFO.				Page: 9	
Location:		PowerStation 4.0.0c				Date: 10-20-2013	
Contract:		Study Case: HA				SN: KLGCONSULT	
Engineer:						File: coba1	

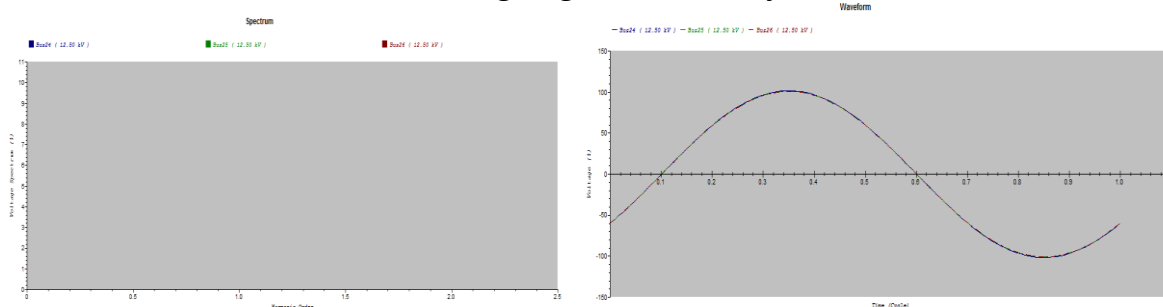
Bus Info. & Rated kv		Voltage Distortion					Current Distortion						
ID	kv	Fund(%)	RMS(%)	ASUM(%)	THD(%)	TIF	To Bus ID	Fund. (A)	RMS(A)	ASUM(A)	THD(%)	TIF	IT
Bus1	12.50	102.31	102.31	102.31	0.00	0.50	Bus2	217.19	217.19	217.19	0.00	0.50	0.11E+03
							Bus20	204.19	204.19	204.19	0.00	0.50	0.10E+03
							Bus9	421.09	421.09	421.09	0.00	0.50	0.21E+03
Bus2	12.50	102.38	102.38	102.38	0.00	0.50	Bus1	217.19	217.19	217.19	0.00	0.50	0.11E+03
							Bus3	192.27	192.27	192.27	0.00	0.50	0.96E+02
Bus3	12.50	102.34	102.34	102.34	0.00	0.50	Bus2	192.27	192.27	192.27	0.00	0.50	0.96E+02
							Bus4	169.73	169.73	169.73	0.00	0.50	0.85E+02
Bus4	12.50	102.30	102.30	102.30	0.00	0.50	Bus3	169.73	169.73	169.73	0.00	0.50	0.85E+02
							Bus5	108.87	108.87	108.87	0.00	0.50	0.54E+02
Bus5	12.50	102.41	102.41	102.41	0.00	0.50	Bus4	108.87	108.87	108.87	0.00	0.50	0.54E+02
							Bus6	98.76	98.76	98.76	0.00	0.50	0.49E+02
Bus6	12.50	102.29	102.29	102.29	0.00	0.50	Bus5	98.76	98.76	98.76	0.00	0.50	0.49E+02
							Bus7	56.64	56.64	56.64	0.00	0.50	0.28E+02
Bus7	12.50	102.06	102.06	102.06	0.00	0.50	Bus6	56.64	56.64	56.64	0.00	0.50	0.28E+02
							Bus8	55.15	55.15	55.15	0.00	0.50	0.28E+02
Bus8	12.50	101.45	101.45	101.45	0.00	0.50	Bus7	55.15	55.15	55.15	0.00	0.50	0.28E+02
Bus9	12.50	100.24	100.24	100.24	0.00	0.50	Bus1	421.09	421.09	421.09	0.00	0.50	0.21E+03
							Bus50	438.20	438.20	438.20	0.00	0.50	0.22E+03
Bus20	12.50	101.97	101.97	101.97	0.00	0.50	Bus1	204.19	204.19	204.19	0.00	0.50	0.10E+03
							Bus21	161.99	161.99	161.99	0.00	0.50	0.81E+02
Bus21	12.50	101.83	101.83	101.83	0.00	0.50	Bus20	161.99	161.99	161.99	0.00	0.50	0.81E+02
							Bus22	10.94	10.94	10.94	0.00	0.50	0.55E+01
							Bus23	123.55	123.55	123.55	0.00	0.50	0.62E+02
Bus22	12.50	101.65	101.65	101.65	0.00	0.50	Bus21	10.94	10.94	10.94	0.00	0.50	0.55E+01
Bus23	12.50	101.24	101.24	101.24	0.00	0.50	Bus21	123.55	123.55	123.55	0.00	0.50	0.62E+02
							Bus24	60.54	60.54	60.54	0.00	0.50	0.30E+02
							Bus25	56.40	56.40	56.40	0.00	0.50	0.28E+02
Bus24	12.50	101.55	101.55	101.55	0.00	0.50	Bus23	60.54	60.54	60.54	0.00	0.50	0.30E+02
Bus25	12.50	100.87	100.87	100.87	0.00	0.50	Bus23	56.40	56.40	56.40	0.00	0.50	0.28E+02
							Bus26	10.84	10.84	10.84	0.00	0.50	0.54E+01
Bus26	12.50	100.79	100.79	100.79	0.00	0.50	Bus25	10.84	10.84	10.84	0.00	0.50	0.54E+01
Bus50	138.00	100.00	100.00	100.00	0.00	0.50	Bus51	41.47	41.47	41.47	0.00	0.50	0.21E+02
							Bus9	39.69	39.69	39.69	0.00	0.50	0.20E+02
Bus51	138.00	100.00	100.00	100.00	0.00	0.50	Bus50	41.47	41.47	41.47	0.00	0.50	0.21E+02

Gambar 5. Tabel nilai distorsi harmonik tegangan dan arus pada sistem distribusi tanpa beban nonlinier

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	
1-2	4.271	-2.109	-4.261	2.135	9.4	26.3	101.8	101.9	0.07
20-1	7.969	-1.455	-7.861	1.595	108.0	139.9	101.8	100.8	1.00
50-1	-12.241	3.564	12.290	-2.505	49.0	1059.1	101.8	100.2	1.65
2-3	4.054	-1.170	-4.043	1.199	10.3	28.8	101.9	101.8	0.04
3-4	3.628	-0.836	-3.624	0.848	4.2	11.8	101.8	101.8	0.04
4-5	2.070	-1.190	-2.065	1.203	4.9	13.8	101.8	101.9	0.11
5-6	2.064	0.666	-2.062	-0.662	1.3	3.7	101.9	101.8	0.11
6-7	1.234	0.144	-1.231	-0.141	2.6	3.2	101.8	101.6	0.24
7-8	1.025	0.636	-1.019	-0.632	5.7	4.3	101.6	101.0	0.60
T1	-12.791	2.194	12.796	-2.043	4.4	151.0	100.2	100.0	0.16
20-21	6.845	-1.616	-6.762	1.723	83.0	107.5	100.8	100.0	0.79
21-22	0.199	0.120	-0.199	-0.120	0.3	0.3	100.0	99.8	0.17
21-23	6.262	-0.833	-6.103	1.039	159.0	205.9	100.0	98.0	2.00
23-24	1.381	-1.256	-1.371	1.270	10.6	13.7	98.0	98.1	0.08
23-25	3.953	-0.262	-3.893	0.337	60.9	75.1	98.0	96.7	1.36
25-26	1.499	0.049	-1.493	-0.043	5.3	6.5	96.7	96.3	0.36
50-51	-12.797	3.243	12.797	-3.243	0.1	0.5	100.0	100.0	0.00
					519.1	1851.4			

Gambar 6. Tabel nilai rugi-rugi sebelum adanya beban nonlinier



Gambar 7. Spektrum harmonik dan bentuk gelombang sinusoidal pada sistem distribusi 18 bus tanpa beban nonlinier

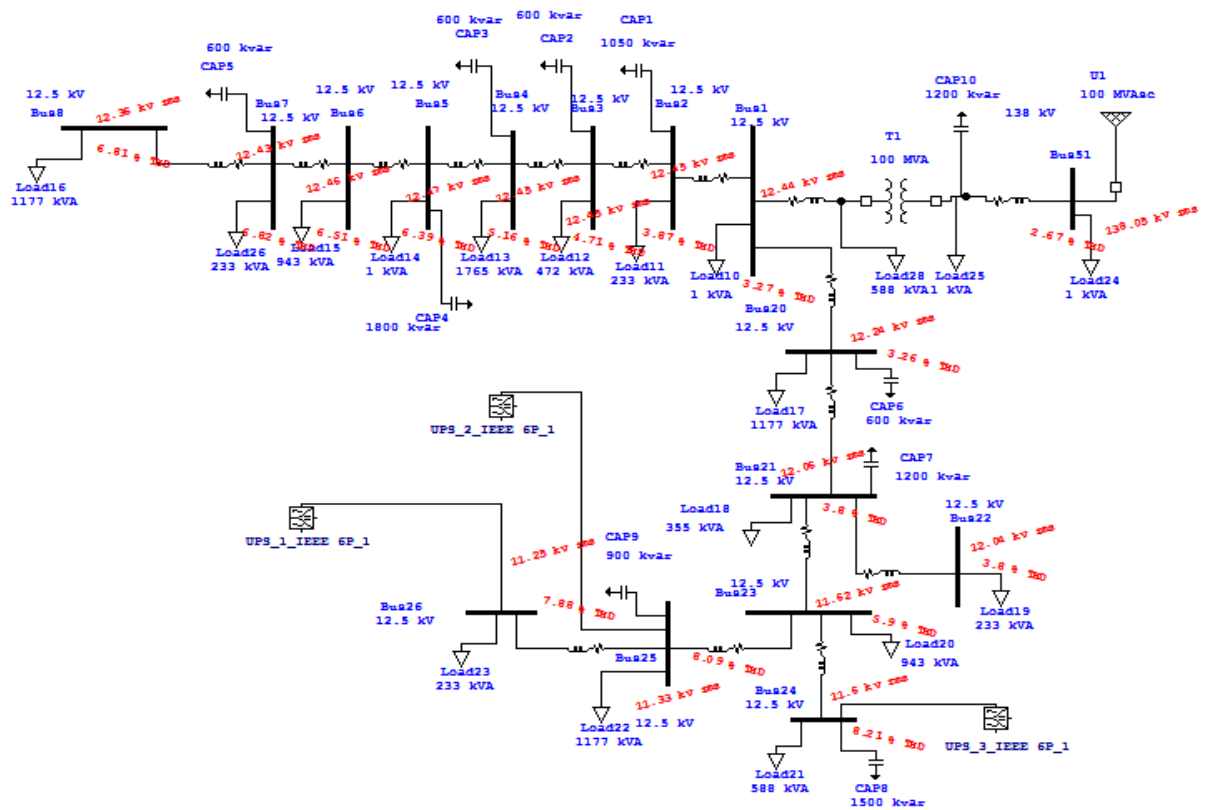
Dari hasil simulasi analisis harmonik tanpa beban nonlinier pada sistem distribusi 18 bus, gambar 7 menunjukkan bahwa tidak terkandung distorsi harmonik pada sistem distribusi tersebut dan bentuk gelombang sinusoidal tidak mengalami cacat gelombang atau masih berupa gelombang sinusoidal murni. Pada sistem distribusi 18 bus tersebut hanya terdapat beban linier saja, sehingga bentuk gelombang arusnya tetap sinusoidal dan pada gambar 5 menunjukkan nilai THD_V serta THD_I pada seluruh bus adalah nol. Gambar 6 menunjukkan total rugi-rugi daya nyata pada sistem distribusi tanpa adanya

beban nonlinier sebesar 519.1 kW. Gambar 7 menunjukkan bahwa tegangan harmonik pada seluruh orde adalah nol.

c. Simulasi Analisis Harmonik dengan Adanya Beban Nonlinier

Simulasi analisis harmonik dilanjutkan dengan pemasangan beban nonlinier pada sistem distribusi 18 bus sebagai sumber harmonik. Beban nonlinier ini dipasang pada salah satu bus pada sistem distribusi tersebut. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui distorsi harmonik yang terkandung dan pengaruh dari pemasangan beban nonlinier

terhadap bentuk gelombang dari tegangan dan arus pada sistem distribusi 18 bus.



Gambar 8. Diagram satu garis *harmonic analysis* dengan adanya beban nonlinier

BRANCH LOSSES Summary Report

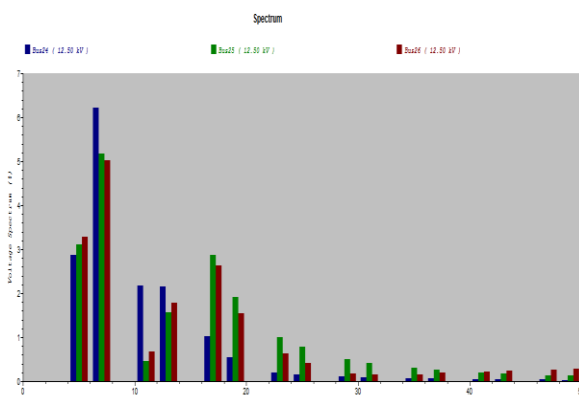
CKT / Branch ID	From-To Bus Flow		To-From Bus Flow		Losses		% Bus Voltage		Vd % Drop in Vmag
	MW	Mvar	MW	Mvar	kW	Kvar	From	To	
1-2	4.079	-2.014	-4.070	2.039	9.0	25.2	99.5	99.6	0.07
20-1	7.621	1.580	-7.516	-1.445	104.4	135.2	99.5	97.9	1.65
50-1	-11.701	0.434	11.744	0.502	43.3	935.2	99.5	99.9	0.39
2-3	3.872	-1.117	-3.862	1.145	9.8	27.5	99.6	99.5	0.04
3-4	3.466	-0.798	-3.462	0.810	4.0	11.3	99.5	99.5	0.04
4-5	1.977	-1.136	-1.972	1.149	4.7	13.1	99.5	99.6	0.11
5-6	1.971	0.636	-1.970	-0.633	1.3	3.6	99.6	99.5	0.11
6-7	1.178	0.138	-1.176	-0.135	2.4	3.0	99.5	99.3	0.23
7-8	0.979	0.608	-0.974	-0.604	5.5	4.1	99.3	98.7	0.59
T1	-12.243	-0.811	12.247	0.946	4.0	135.7	99.9	100.0	0.11
20-21	6.559	1.426	-6.478	-1.322	80.3	103.9	97.9	96.4	1.46
21-22	0.185	0.111	-0.185	-0.111	0.2	0.3	96.4	96.2	0.16
21-23	6.014	2.149	-5.839	-1.923	175.0	226.5	96.4	92.8	3.61
23-24	1.323	-0.344	-1.317	0.352	6.3	8.2	92.8	92.5	0.27
23-25	3.828	1.836	-3.750	-1.740	78.0	96.2	92.8	90.3	2.44
25-26	1.476	0.951	-1.467	-0.940	8.3	10.3	90.3	89.7	0.65
50-51	-12.248	0.254	12.248	-0.253	0.1	0.4	100.0	100.0	0.00
					536.7	1739.7			

Gambar 9. Tabel nilai rugi-rugi setelah adanya beban nonlinier

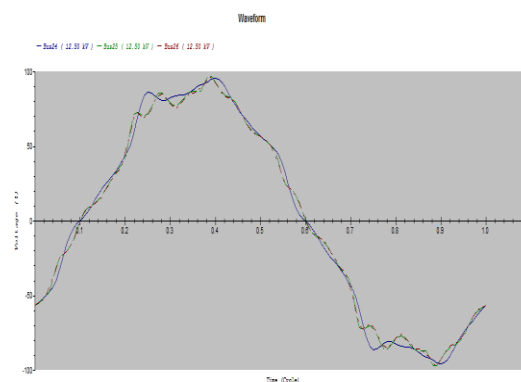
Project:	SYS. HARMONICS INFO.	Page: 11
Location:	PowerStation 4.0.0C	Date: 10-20-2013
Contract:		SN: KLGCONSULT
Engineer:	Study Case: HA	File: cobal

Bus Info. & Rated kv		Voltage Distortion						Current Distortion					
ID	kv	Fund(%)	RMS(%)	ASUM(%)	THD(%)	TIF	To Bus ID	Fund. (A)	RMS(A)	ASUM(A)	THD(%)	TIF	IT
Bus1	12.50	99.50	99.55	105.67	3.27	45.35	Bus2 Bus20 Bus9	211.21 361.32 543.65	221.28 365.64 543.95	325.96 461.24 574.99	31.26 15.52 3.32	216.93 130.29 59.12	0.48E+05 0.48E+05 0.32E+05
# Bus2	12.50	99.56	99.64	106.69	3.87	44.33	Bus1 Bus3	211.21 186.97	221.28 195.87	325.96 294.65	31.26 31.21	216.93 288.03	0.48E+05 0.56E+05
# Bus3	12.50	99.52	99.63	107.22	4.71	32.90	Bus2 Bus4	186.97 165.06	195.87 173.05	294.65 265.88	31.21 31.48	288.03 350.83	0.56E+05 0.61E+05
* # Bus4	12.50	99.48	99.61	107.62	5.16	28.48	Bus3 Bus5	165.06 105.87	173.05 114.75	265.88 197.42	31.48 41.80	350.83 543.72	0.61E+05 0.62E+05
* # Bus5	12.50	99.59	99.80	110.42	6.39	44.64	Bus4 Bus6	105.87 96.05	114.75 96.93	197.42 125.33	41.80 13.57	543.72 229.04	0.62E+05 0.22E+05
* # Bus6	12.50	99.48	99.69	110.67	6.51	48.34	Bus5 Bus7	96.05 55.08	96.93 56.43	125.33 83.02	13.57 22.27	229.04 387.16	0.22E+05 0.22E+05
* # Bus7	12.50	99.25	99.48	111.58	6.82	59.38	Bus6 Bus8	55.08 53.63	56.43 53.72	83.02 59.24	22.27 5.83	387.16 50.27	0.22E+05 0.27E+04
* # Bus8	12.50	98.66	98.89	110.91	6.81	59.30	Bus7	53.63	53.72	59.24	5.83	50.27	0.27E+04
Bus9	12.50	99.89	99.92	105.47	2.66	69.07	Bus1 Bus50	543.65 567.45	543.95 567.73	574.99 598.38	3.32 3.15	59.12 56.38	0.32E+05 0.32E+05
Bus20	12.50	97.85	97.90	105.04	3.26	64.71	Bus1 Bus21	361.32 316.83	365.64 321.84	461.24 411.43	15.52 17.85	130.29 116.59	0.48E+05 0.38E+05
Bus21	12.50	96.39	96.46	104.68	3.80	72.30	Bus20 Bus22 Bus23	316.83 10.35 306.05	321.84 10.36 310.87	411.43 11.06 408.68	17.85 3.26 17.82	116.59 59.77 187.58	0.38E+05 0.62E+03 0.58E+05
Bus22	12.50	96.23	96.30	104.50	3.80	72.28	Bus21	10.35	10.36	11.06	3.26	59.77	0.62E+03
* # Bus23	12.50	92.78	92.94	103.57	5.90	68.32	Bus21 Bus24 Bus25	306.05 68.04 211.35	310.87 78.78 215.65	408.68 162.36 320.93	17.82 58.38 20.26	187.58 1154.79 579.82	0.58E+05 0.91E+05 0.13E+06
* # Bus24	12.50	92.51	92.82	108.35	8.21	125.51	Bus23	68.04	78.78	162.36	58.38	1154.79	0.91E+05
* # Bus25	12.50	90.34	90.64	109.37	8.09	243.89	Bus23 Bus26	211.35 89.74	215.65 91.59	320.93 148.56	20.26 20.40	579.82 729.23	0.13E+06 0.67E+05
* # Bus26	12.50	89.70	89.97	107.41	7.88	212.75	Bus25	89.74	91.59	148.56	20.40	729.23	0.67E+05
* # Bus50	138.00	100.00	100.04	105.74	2.67	77.33	Bus51 Bus9	51.26 51.40	51.30 51.42	55.12 54.15	4.15 3.15	63.05 56.32	0.32E+04 0.29E+04
* # Bus51	138.00	100.00	100.04	105.74	2.67	77.30	Bus50	51.26	51.30	55.12	4.15	63.05	0.32E+04
* - THD (Total Harmonic Distortion exceeds the limit) # - IHD (Individual Harmonic Distortion exceeds the limit)													

Gambar 10. Tabel nilai distorsi harmonik tegangan dan arus pada sistem distribusi dengan adanya beban nonlinier



Spektrum harmonik



Bentuk gelombang sinusoidal

Gambar 11. Spektrum harmonik dan bentuk gelombang sinusoidal pada sistem distribusi 18 bus dengan adanya beban nonlinier

Pemasangan beban nonlinier UPS_1_IEEE 6P_1 pada bus 26, UPS_2_IEEE 6P_1 pada bus 25, dan UPS_3_IEEE 6P_1 pada bus 24 pada sistem distribusi menyebabkan nilai distorsi harmonik berada di atas standard

Setelah dilakukan pemasangan beban nonlinier pada sistem distribusi, gambar 10 menunjukkan bahwa seluruh bus mengalami kenaikan nilai THD_V dan THD_I , pada bus 24 nilai THD_V mengalami kenaikan dari 0 % menjadi 8.21 % dan THD_I juga mengalami kenaikan dari 0 % menjadi 58.38 %, bus 25 nilai THD_V mengalami kenaikan dari 0 % menjadi 8.09 % dan THD_I juga mengalami kenaikan dari 0 % menjadi 20.26 %, dan bus 26 nilai THD_V mengalami kenaikan dari 0 % menjadi 7.88 % dan THD_I juga mengalami kenaikan dari 0 % menjadi 20.40 %. Ketiga bus tersebut memiliki nilai harmonik yang cukup tinggi dibandingkan dengan bus yang lainnya, hal ini disebabkan ketiga bus tersebut dekat dengan sumber harmonik.

Gambar 11 menunjukkan bahwa saat sistem distribusi dipasang beban nonlinier maka bentuk gelombang sinusoidal mengalami cacat gelombang atau terdistorsi. Harmonik tegangan yang melebihi standar yaitu pada orde 5 dan orde 7, sehingga harmonik tegangan terbesar yang dihasilkan oleh orde 5 dan orde 7 dipilih sebagai frekuensi untuk *tuning* atau yang akan difilter dari sistem.

Gambar 9 menunjukkan bahwa setelah dilakukan pemasangan beban nonlinier pada

sistem distribusi juga mengakibatkan peningkatan rugi-rugi daya nyata sebesar 17.6 kW yaitu dari 519.1 kW menjadi 536.7 kW.

d. Perancangan Single Tuned Filter

Perancangan *single tuned filter* bertujuan untuk meredam harmonik, selain itu filter ini juga bisa digunakan untuk memperbaiki faktor daya karena adanya komponen kapasitor. Pada perancangan *single tuned 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 mengidentifikasi orde harmonik yang akan dieliminasi, langkah selanjutnya menentukan nilai daya reaktif yang dibutuhkan untuk memperbaiki faktor daya, menentukan nilai kapasitansi kapasitor, menentukan nilai reaktor filter, dan menentukan nilai resistor.

Salah satu contoh perhitungan nilai komponen *single tuned filter* pada bus 25 orde 5 adalah sebagai berikut :

a. Orde 5

Daya reaktif untuk memperbaiki faktor daya :

$$P = 1312 \text{ kW}$$

$$\theta_1 = \text{Arc cos } 0.82$$

$$= 34.91^\circ$$

$$\theta_2 = \text{Arc cos } 0.98$$

$$= 11.47^\circ$$

$$Q_c = P (\tan \theta_1 - \tan \theta_2)$$

$$= 1312 \text{ kW} (\tan 34.91^\circ - \tan 11.47^\circ)$$

$$= 643 \text{ kVAr}$$

Kapasitor :

Frekuensi dasar yang digunakan pada sistem distribusi 18 bus adalah 60 Hz.

$$Q_C = \frac{V^2}{X_C}$$

$$X_C = \frac{V^2}{Q_C}$$

$$= \frac{12.5 \text{ kV}^2}{643 \text{ kVAR}}$$

$$= 243.04 \Omega$$

$$X_C = \frac{1}{\omega_C}$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

$$C = \frac{1}{2\pi f X_C}$$

$$C = \frac{1}{(2)(3.14)(60 \text{ Hz})(243.04 \Omega)}$$

$$C = 1.09 \times 10^{-5} \text{ F}$$

Induktor :

Orde yang akan diredam adalah orde 5, sehingga dipilih frekuensi *tuning* sebesar 300 Hz tetapi diberi toleransi sampai 294 Hz yang

bertujuan untuk memperoleh performa filter yang maksimal.

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

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

$$L = \frac{1}{(1.09 \times 10^{-5})(2 \times 3.14 \times 60 \times 4.9)^2}$$

$$L = 0.026 \text{ H}$$

$$X_L = 2\pi f L$$

$$= (2)(3.14)(60)(0.026)$$

$$= 9.79 \Omega$$

Resistor :

Faktor kualitas filter (Q) jenis *single tuned filter* mempunyai nilai diantara 30 sampai 60 dan dipilih Q = 40.

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

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

$$= \frac{9.79}{40}$$

$$= 0.24 \Omega$$

FILTER Input Data

Filter Type: Single-Tuned

Filter	Connected Bus	Capacitor C1			Inductor L1			R
ID	ID	kV	Max kV	kvar	Xl	Q Fact.	Max I	Ohm
Bus 24 or_5	Bus24	13.000	0.000	432.0	15.07	40.00	0.0	0.3700
Bus 24 or_7	Bus24	13.000	0.000	432.0	7.53	40.00	0.0	0.1800
Bus 25 or_5	Bus25	13.000	0.000	643.0	9.79	40.00	0.0	0.2400
Bus 25 or_7	Bus25	13.000	0.000	643.0	4.89	40.00	0.0	0.1200
Bus 26 or_5	Bus26	13.000	0.000	517.0	12.43	40.00	0.0	0.3100
Bus 26 or_7	Bus26	13.000	0.000	517.0	6.02	40.00	0.0	0.1500

Gambar 12. Tabel nilai komponen penyusun *single tuned filter*

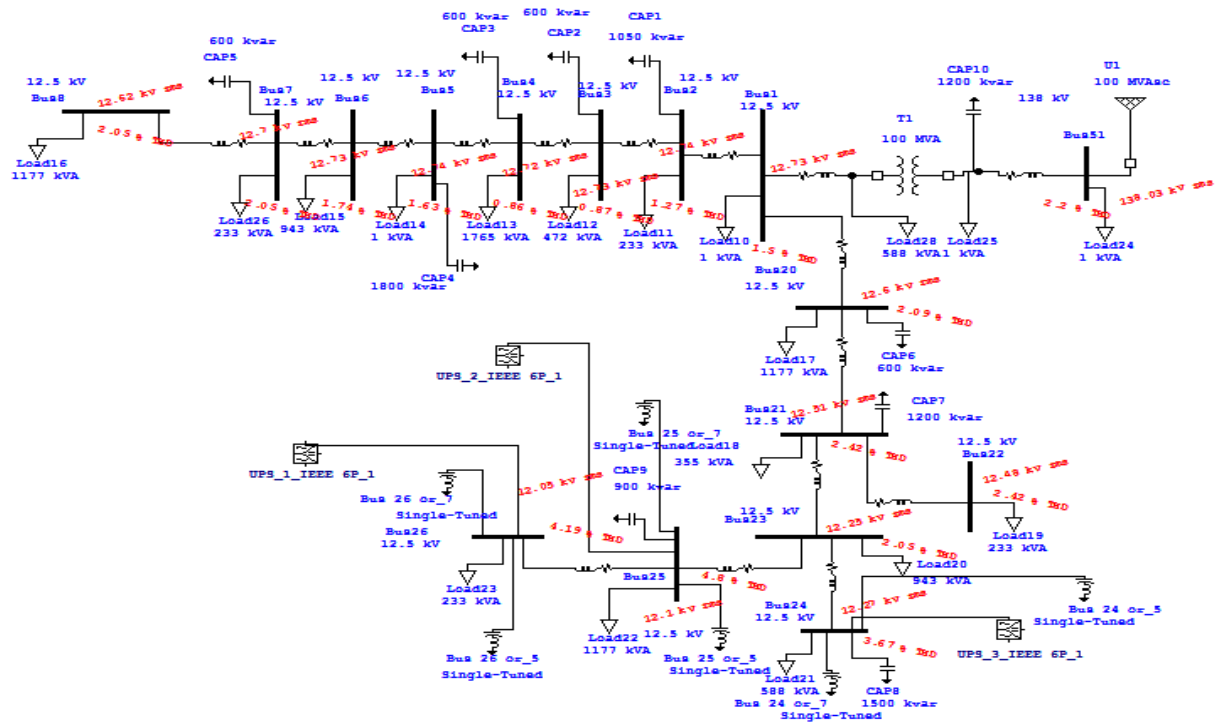
e. Simulasi Analisis Harmonik dengan Adanya Beban Nonlinier dan Pemasangan Single Tuned Filter

Pemasangan *single tuned filter* bertujuan untuk mengurangi distorsi harmonik pada sistem distribusi yang disebabkan adanya

beban nonlinier yang merupakan sumber harmonik.

Pemasangan *single tuned filter* dipasang pada bus yang dekat dengan sumber harmonik atau bus yang mempunyai nilai distorsi harmonik THD_V paling tinggi, hal ini diharapkan agar mampu meredam harmonik

yang timbul, sehingga nilai distorsi harmonik berada pada standardnya.



Gambar 13. Diagram satu garis *harmonic analysis* dengan adanya beban nonlinier dan pemasangan *single tuned filter*

BRANCH LOSSES Summary Report

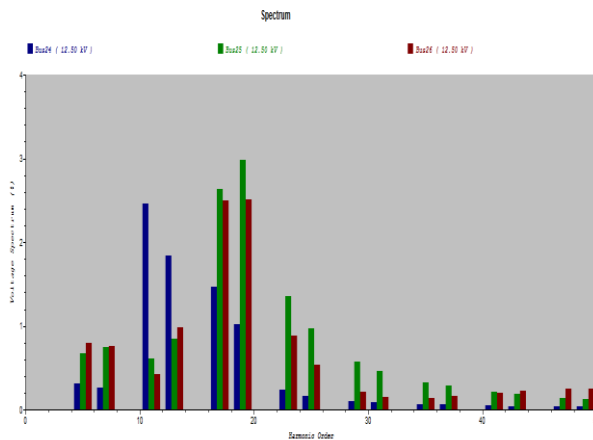
CKT / Branch ID	From-To Bus Flow		To-From Bus Flow		Losses		% Bus Voltage		Vd % Drop in Vmag
	MW	Mvar	MW	Mvar	kW	Kvar	From	To	
1-2	4.271	-2.109	-4.261	2.135	9.4	26.3	101.8	101.9	0.07
20-1	7.969	-1.455	-7.861	1.595	108.0	139.9	101.8	100.8	1.00
50-1	-12.241	3.564	12.290	-2.505	49.0	1059.1	101.8	100.2	1.65
2-3	4.054	-1.170	-4.043	1.199	10.3	28.8	101.9	101.8	0.04
3-4	3.628	-0.836	-3.624	0.848	4.2	11.8	101.8	101.8	0.04
4-5	2.070	-1.190	-2.065	1.203	4.9	13.8	101.8	101.9	0.11
5-6	2.064	0.666	-2.062	-0.662	1.3	3.7	101.9	101.8	0.11
6-7	1.234	0.144	-1.231	-0.141	2.6	3.2	101.8	101.6	0.24
7-8	1.025	0.636	-1.019	-0.632	5.7	4.3	101.6	101.0	0.60
T1	-12.791	2.194	12.796	-2.043	4.4	151.0	100.2	100.0	0.16
20-21	6.845	-1.616	-6.762	1.723	83.0	107.5	100.8	100.0	0.79
21-22	0.199	0.120	-0.199	-0.120	0.3	0.3	100.0	99.8	0.17
21-23	6.262	-0.833	-6.103	1.039	159.0	205.9	100.0	98.0	2.00
23-24	1.381	-1.256	-1.371	1.270	10.6	13.7	98.0	98.1	0.08
23-25	3.953	-0.262	-3.893	0.337	60.9	75.1	98.0	96.7	1.36
25-26	1.499	0.049	-1.493	-0.043	5.3	6.5	96.7	96.3	0.36
50-51	-12.797	3.243	12.797	-3.243	0.1	0.5	100.0	100.0	0.00
					519.1	1851.4			

Gambar 14. Tabel nilai rugi-rugi setelah adanya beban nonlinier dan pemasangan *single tuned filter*

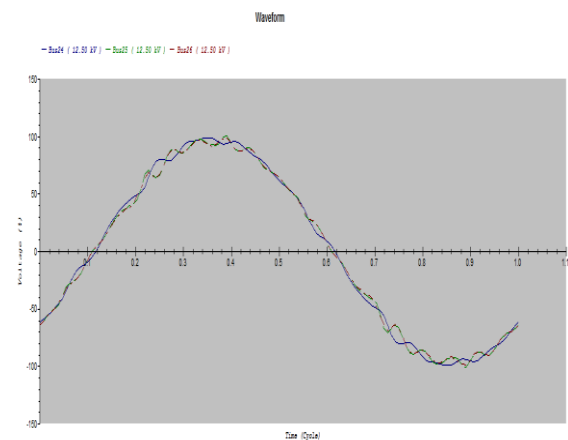
Project:	SYS. HARMONICS INFO.										Page:	12	
Location:	PowerStation 4.0.0C										Date:	10-20-2013	
Contract:											SN:	KLGCONSULT	
Engineer:	Study Case: HA										File:	cobal	

=====													
Bus Info. & Rated kv		voltage Distortion					Current Distortion						
ID	kv	Fund(%)	RMS(%)	ASUM(%)	THD(%)	TIF	To Bus ID	Fund. (A)	RMS(A)	ASUM(A)	THD(%)	TIF	IT
Bus1	12.50	101.81	101.82	105.01	1.50	47.24	Bus2 Bus20 Bus9	216.12 367.55 578.51	216.83 367.89 578.55	255.36 402.47 592.16	8.09 4.30 1.11	211.53 111.14 44.03	0.46E+05 0.41E+05 0.25E+05
Bus2	12.50	101.88	101.88	104.96	1.27	44.40	Bus1 Bus3	216.12 191.32	216.83 192.53	255.36 234.40	8.09 11.25	211.53 301.25	0.46E+05 0.58E+05
Bus3	12.50	101.83	101.84	104.06	0.87	29.41	Bus2 Bus4	191.32 168.90	192.53 170.34	234.40 213.77	11.25 13.09	301.25 373.72	0.58E+05 0.64E+05
Bus4	12.50	101.79	101.80	103.89	0.86	22.27	Bus3 Bus5	168.90 108.33	170.34 110.43	213.77 154.25	13.09 19.77	373.72 601.60	0.64E+05 0.66E+05
Bus5	12.50	101.90	101.92	105.39	1.63	40.60	Bus4 Bus6	108.33 98.28	110.43 98.52	154.25 114.79	19.77 7.03	601.60 245.12	0.66E+05 0.24E+05
Bus6	12.50	101.79	101.81	105.56	1.74	45.02	Bus5 Bus7	98.28 56.36	98.52 56.77	114.79 72.52	7.03 12.01	245.12 419.66	0.24E+05 0.24E+05
Bus7	12.50	101.55	101.57	106.25	2.05	58.04	Bus6 Bus8	56.36 54.88	56.77 54.88	72.52 56.95	12.01 1.74	419.66 48.95	0.24E+05 0.27E+04
Bus8	12.50	100.95	100.97	105.62	2.05	57.96	Bus7	54.88	54.88	56.95	1.74	48.95	0.27E+04
Bus9	12.50	100.16	100.18	103.86	2.08	68.79	Bus1 Bus50	578.51 598.59	578.55 598.63	592.16 611.94	1.11 1.06	44.03 42.22	0.25E+05 0.25E+05
Bus20	12.50	100.80	100.83	105.33	2.09	64.28	Bus1 Bus21	367.55 322.25	367.89 322.48	402.47 350.00	4.30 3.77	111.14 91.48	0.41E+05 0.29E+05
Bus21	12.50	100.02	100.05	104.96	2.42	70.80	Bus20 Bus22 Bus23	322.25 10.74 291.75	322.48 10.75 292.12	350.00 11.04 330.04	3.77 1.99 5.06	91.48 53.36 177.84	0.29E+05 0.57E+03 0.52E+05
Bus22	12.50	99.85	99.87	104.78	2.42	70.78	Bus21	10.74	10.75	11.04	1.99	53.36	0.57E+03
Bus23	12.50	98.01	98.04	103.16	2.05	67.37	Bus21 Bus24 Bus25	291.75 87.99 186.71	292.12 91.12 189.11	330.04 147.13 269.17	5.06 26.89 16.06	177.84 1130.64 707.50	0.52E+05 0.10E+06 0.13E+06
Bus24	12.50	98.09	98.16	106.34	3.67	130.35	Bus23	87.99	91.12	147.13	26.89	1130.64	0.10E+06
Bus25	12.50	96.65	96.77	109.76	4.80	262.82	Bus23 Bus26	186.71 71.65	189.11 72.82	269.17 117.63	16.06 18.18	707.50 960.34	0.13E+06 0.70E+05
Bus26	12.50	96.30	96.38	107.28	4.19	219.81	Bus25	71.65	72.82	117.63	18.18	960.34	0.70E+05
Bus50	138.00	100.00	100.02	104.00	2.21	74.92	Bus51 Bus9	55.24 54.22	55.25 54.22	57.16 55.38	1.90 1.06	59.53 42.14	0.33E+04 0.23E+04
Bus51	138.00	100.00	100.02	104.00	2.20	74.90	Bus50	55.24	55.25	57.16	1.90	59.53	0.33E+04
* - THD (Total Harmonic Distortion exceeds the limit) # - IHD (Individual Harmonic Distortion exceeds the limit)													

Gambar 15. Tabel nilai distorsi harmonik tegangan dan arus pada sistem distribusi dengan adanya beban nonlinier dan pemasangan *single tuned filter*



Spektrum harmonik



Bentuk gelombang sinusoidal

Gambar 16. Spektrum harmonik dan bentuk gelombang sinusoidal pada sistem distribusi 18 bus dengan adanya beban nonlinier dan pemasangan *single tuned filter*

Setelah dilakukan pemasangan *single tuned filter* pada sistem distribusi diketahui bahwa nilai distorsi harmonik mengalami penurunan dan sudah memenuhi standard. Gambar 15 menunjukkan bus 24 mengalami penurunan nilai THD_V sebesar 4.54 % yaitu dari 8.21 % turun menjadi 3.67 % dan THD_I juga mengalami penurunan sebesar 31.49 % yaitu dari 58.38 % turun menjadi 26.89 %, bus 25 mengalami penurunan nilai THD_V sebesar 3.29 % yaitu dari 8.09 turun menjadi 4.80 % dan THD_I juga mengalami penurunan sebesar 4.2 % yaitu dari 20.26 % turun menjadi 16.06 %, dan bus 26 mengalami penurunan nilai THD_V sebesar 3.69 % yaitu dari 7.88 % turun menjadi 4.19 % dan THD_I juga mengalami penurunan sebesar 2.22 % yaitu dari 20.40 % turun menjadi 18.18 %.

Gambar 16 menunjukkan Orde 5 dan orde 7 nilai harmonik tegangannya mengalami penurunan, hal tersebut disebabkan karena orde 5 dan orde 7 dipilih sebagai frekuensi yang difilter dan bentuk gelombang sinusoidalnya juga menjadi lebih halus dibandingkan sebelum difilter tadi.

Gambar 14 menunjukkan bahwa setelah dilakukan pemasangan *single tuned filter* dengan adanya beban nonlinier pada sistem distribusi maka rugi-rugi daya nyata

mengalami perbaikan sebesar 17.6 kW dari 536.7 kW turun menjadi 519.1 kW.

4 KESIMPULAN

Berdasarkan analisis harmonik dan perancangan *single tuned filter* pada sistem distribusi standar IEEE 18 bus dengan menggunakan *software ETAP Power Station 4.0* dapat ditarik kesimpulan bahwa :

1. Pemasangan beban nonlinier pada sistem distribusi mengakibatkan nilai *Total Harmonic Distortion* tegangan pada bus yang dekat dengan sumber harmonik mengalami kenaikan berkisar antara 7.88 % sampai 8.21 % dan meningkatnya rugi-rugi daya nyata sebesar 17.6 kW.
2. Filter pasif jenis *single tuned filter* hanya dapat menala salah satu orde harmonik, sehingga apabila digunakan untuk meredam harmonik orde 5 dan 7 maka diperlukan dua buah *single tuned filter*. Filter ini dipasang pada bus yang dekat dengan sumber harmonik atau bus yang mempunyai nilai distorsi harmonik paling tinggi yang digunakan untuk meredam harmonik orde 5 dan 7 yang merupakan orde harmonik yang dominan.

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 atau masih berupa gelombang sinusoidal murni, sedangkan saat sistem distribusi dipasang beban nonlinier maka bentuk gelombang sinusoidal mengalami cacat gelombang atau terdistorsi dan saat terpasang *single tuned filter* maka bentuk spektrum gelombang sinusoidalnya menjadi lebih halus dibandingkan sebelum difilter tadi.
4. Setelah dilakukan perancangan dan pemasangan *single tuned filter* maka nilai *Total Harmonic Distortion* tegangan mengalami penurunan berkisar antara 3.29 % sampai 4.54 % sehingga sesuai dengan batas standar distorsi harmonik dan mengurangi rugi-rugi daya nyata sebesar 17.6 kW pada sistem distribusi.

5 DAFTAR PUSTAKA

- Dugan, Roger.C and McGranaghan, Mark F. 2003. *Electrical Power Systems Quality*. New York : McGraw-Hill.
- Jaelani, Mukhsin Akhsin. 2008, *Analisis Distorsi Harmonik pada Sistem Distribusi dan Reduksinya Menggunakan Tapis Harmonik dengan Bantuan ETAP Power Station 4.0*, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Pujiantara, Margo. 2003. *Penyempurnaan Desain Filter Harmonisa menggunakan kapasitor Eksisting pada Pabrik Soda kaustik Serang –Baten*, JAVA Journal of Electrical and Electronics Engineering, Vol. 1, No. 2, Oct 2003, ISSN 1412-8306.
- Sopyandi, Endi. 2009. *Perancangan Single Tuned Filter Untuk Mereduksi Harmonik Arus Dengan Simulasi Program ETAP Power Station 5.0.3*, Fakultas Teknik Jurusan Elektro, Universitas Indonesia.
- William D. Stevenson. Jr, Kamal Idris. 1994. *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Edisi Keempat. Jakarta: Erlangga.
- Zuhal. 1995. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.