

# SIMULATOR GENERATOR HARMONIK

Priyo Sasmoko

Program Diploma III Teknik Elektro  
Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

## ABSTRACT

*Priyo Sasmoko, in this paper explain that the need of electric power recently progressively complex, not only the requirement of availability of electricity, but the quality of energy have become prime facie demand. Studies of electricity quality have been conducted by many experts, one of them is about harmonic. Harmonic represent waving current or tension which is tension distortion at electric power system mains so that can result unideal waveform. The study of harmonic required appliance or obyek which need to be checked. In this research Simulator Generator Harmonik is made a harmonic generator module which can deputize the appliance or obyek yielding harmonic with harmonic component and the THD which can be varried. This module works by dividing one cycle of mains become some slots so it can be got harmonic component as desired. To change the THD, a variation of linear load is used so that the ratio of non-linear load current can be varried.*

*Keywords : Simulator, Harmonic component, THD*

## PENGANTAR

Dewasa ini kebutuhan akan tenaga listrik sudah menjadi kebutuhan yang sangat penting, baik bagi kalangan masyarakat maupun kalangan industri. Tidak hanya kebutuhan ketersediaan tenaga dan distribusi saja yang dibutuhkan, tetapi keandalan dan kualitas daya listrik yang tersedia juga menjadi kebutuhan yang sama pentingnya.

Harmonik dalam sistem tenaga listrik terutama bersumberkan dari beban non-linear. Beban non-linear adalah beban yang menarik gelombang tidak sinusoidal pada saat dicatu oleh sumber tegangan sinusoidal. Apabila terdapat tegangan yang terdistorsi akibat adanya beban non-linear maka jatuh tegangan di saluran juga terdistorsi sehingga terjadi perambatan harmonik dalam sistem tenaga listrik. Harmonik tegangan dan arus dapat mengganggu unjuk kerja sistem, dimana peralatan akan mengalami gangguan diluar kondisi normal.

Dengan semakin banyak potensi-potensi sumber harmonik memungkinkan pada masa tertentu masalah harmonik menjadi masalah yang serius. Untuk itu studi dan penelitian tentang harmonik perlu ditingkatkan. Dalam studi dan penelitian diperlukan obyek-obyek sumber harmonik yang bisa di teliti. Obyek-obyek penelitian tersebut biasanya ada di industri-industri, dimana bebannya banyak yang merupakan beban non-linear. Tetapi untuk studi dan penelitian tidak setiap saat kita bisa mendapatkan data-data di industri, untuk itu keberadaan Simulator Generator Harmonik sangatlah diperlukan. Dengan simulator ini proses studi dan penelitian harmonik di laboratorium sangatlah praktis. Simulator mampu mensimulasikan komponen-komponen harmonik yang ada di beban non-linear, sehingga proses studi tentang harmonik menjadi lebih mudah, dan hasil penelitian juga bisa di uji cobakan terlebih dahulu ke simulator sebelum di terapkan ke kondisi yang sesungguhnya.

## SIMULATOR GENERATOR HARMONIK

Distorsi harmonik terjadi karena ada gelombang gelombang lain dengan frekuensi berbeda pada jaringan listrik. Untuk mendapatkan gelombang yang frekuensinya berbeda dengan gelombang fundamental dapat dengan cara membagi satu perioda gelombang fundamental menjadi beberapa ruas bagian (slot), sehingga kita dapat menciptakan berbagai variasi gelombang dengan frekuensi kelipatan dari gelombang fundamental. Untuk merealisasikan hal tersebut dalam simulator maka dibuat Simulator Generator Harmonik.

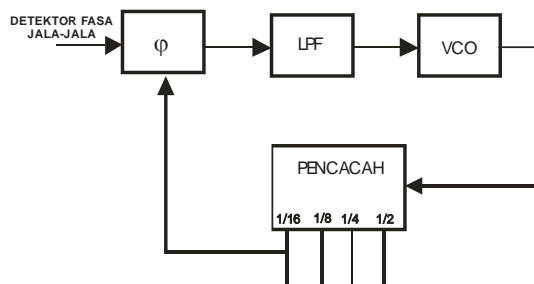
Prinsip kerja dari simulator generator harmonik ini adalah membagi satu perioda jala-jala menjadi beberapa ruas atau bagian. Untuk membagi satu perioda jala-jala menjadi beberapa ruas atau slot diperlukan rangkaian elektronik dengan beberapa komponen dasar antara lain PLL (*Phase Locked Loop*), Pencacah (*counter*), Pengawa sandi (*decoder*).

Pada dasarnya PLL terdiri atas pembanding fasa, LPF (*Low Pass Filter*), VCO (*Voltage Controlled Oscillator*) dan pencacah. Pembanding fasa mempunyai dua masukan dan satu keluaran. Bila masukan pertama mendapat pulsa sementara masukan kedua netral, keluaran akan aktif. Bila masukan kedua mendapat pulsa sementara masukan pertama netral, keluaran akan pulsa negatif. Bila kedua masukan mendapat pulsa simultan, keluaran akan tetap netral.

LPF atau tapis lolos bawah mengubah pulsa menjadi aras (*level*) tegangan. Bila masukan LPF mendapat pulsa positif, tegangan keluaran akan naik. Bila masukan LPF mendapat pulsa negatif, tegangan keluaran akan turun. Bila masukan LPF netral, tegangan keluaran akan tetap.

VCO menghasilkan detak yang frekuensinya tergantung pada tegangan masukannya. Frekuensi keluaran VCO sebanding dengan tegangan masukannya.

Pencacah membagi frekuensi detak (*clock*) masukannya dengan angka tertentu. Pencacah paling dasar adalah pencacah biner yang membagi frekuensi detak masukan dengan angka 2 pangkat n, yaitu : 2, 4, 8, 16,..... Bila empat blok tersebut dirangkai sesuai Gambar 1.



Gambar 1. Blok Diagram PLL

Maka keluaran pencacah akan menunjukkan nomor indeks slot yang aktif, penunjukan dalam format biner.

**Tabel.1. Penandaan Slot dengan kode biner**

1/16	1/8	1/4	1/2	Nomor Slot
0	0	0	0	1
0	0	0	1	2
0	0	1	0	3
0	0	1	1	4
0	1	0	0	5
0	1	0	1	6
0	1	1	0	7
0	1	1	1	8
1	0	0	0	9
1	0	0	1	10
1	0	1	0	11
1	0	1	1	12
1	1	0	0	13
1	1	0	1	14
1	1	1	0	15
1	1	1	1	16

Penunjukan nomor slot yang aktif dalam format biner harus dialih formatkan menjadi format pamanji (*flag*) yang mengekspresikan runtutan penggiliran secara langsung. Untuk itu keluaran penggiliran di umpankan ke pengawa sandi biner 4 bit ke 16 pamanji. Urutan pengaktifan keluaran pengawa sandi langsung mengekspresikan sudut fasa jala-jala sesuai tabel 2.

Sampai pada tahap ini emulasi harmonik dapat dilakukan. Misalkan untuk mengemulasi harmonik 2, beban non-linear harus dinyalakan pada sudut  $0^0 - 90^0$  dan  $270^0 - 360^0$ . Emulasi Harmonik 2 ini dipenuhi dengan logika OR sesuai persamaan :

$$B_{NL} = S1+S2+S3+S4+S13+S14+S15+S16$$

$B_{NL}$  = Beban non-linear

$S1, S2, S3, \dots$  = Slot

Disini terlihat modul harus dilengkapi dengan gerbang OR.

Produk OR akan memberi informasi sinyal logika ke rangkaian Switching, sehingga rangkaian switching akan bekerja.

Tabel.2. Kisaran sudut jala-jala pada masing-masing slot

Slot	Kisaran sudut jala-jala ( derajat)
1	0,00 – 22,50
2	22,50 – 45,00
3	45,00 – 67,50
4	67,50 – 90,00
5	90,00 – 112,5
6	112,5 – 135,0
7	135,0 – 157,5
8	157,5 – 180,0
9	180,0 – 202,5
10	202,5 – 225,0
11	225,0 – 247,5
12	247,5 – 270,0
13	270,0 – 292,5
14	292,5 – 315,0
15	315,0 – 337,5
16	337,5 – 0,000

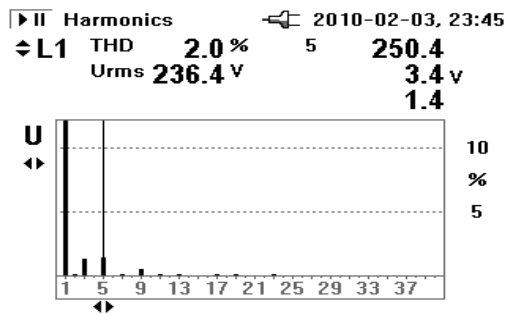
#### CARA PENELITIAN

Dalam melakukan penelitian ada beberapa tahapan yang dilakukan yaitu :

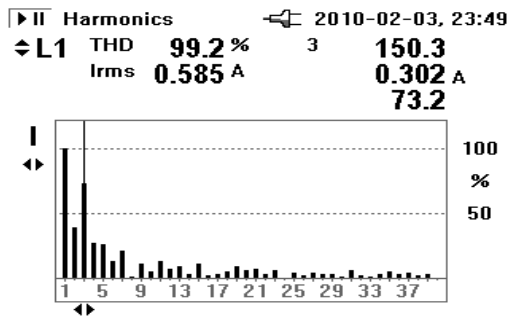
- Mengumpulkan alat dan bahan penelitian.
- Mengukur watak harmonik sumber, disini yang digunakan sumber adalah tegangan jala-jala PLN yang telah tersedia.
- Membuat rangkaian penelitian dengan menggunakan Simulator Generator Harmonik, yang meliputi :
  - o Setelan untuk mendapatkan harmonik yang dominan adalah harmonik ke-3, dalam beberapa kondisi yaitu : tanpa beban dan diberi beban tetap 60 Watt
  - o Setelan untuk mendapatkan harmonik yang dominan adalah harmonik ke-5, dalam beberapa kondisi yaitu : tanpa beban dan diberi beban tetap 60 Watt

#### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN Watak Harmonik (Harmonik ke-3 tanpa diberi beban linear).

Data pengukuran untuk watak harmonik pada Simulator Generator Harmonik untuk setelan dominan harmonik ke-3 tanpa beban linear ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Spektrum harmonik Tegangan Pada Simulator Generator Harmonik untuk setelan dominan Harmonik ke-3 tanpa di beri beban linear.



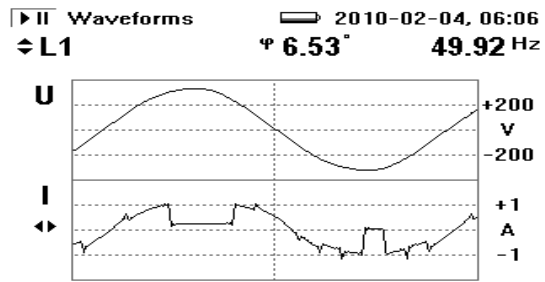
Gambar 3. Spektrum harmonik Arus Pada Simulator Generator Harmonik untuk setelan dominan Harmonik ke-3 tanpa di beri beban linear.

Tabel 3. Hasil pengukuran tegangan dan arus harmonik Pada Simulator Generator Harmonik untuk setelan dominan Harmonik ke-3 tanpa di beri beban linear.

Orde	V	% V	I (Amp)	% I	Orde	V	% V	I (Amp)	% I
1	236,9	100	0,412	100	21	0	0	0,030	7,3
2	0,1	0,1	0,160	38,9	22	0	0	0,013	3,1
3	3,1	1,3	0,302	73,2	23	0,1	0,1	0,024	5,9
4	0	0	0,111	27,0	24	0	0	0	0
5	3,4	1,4	0,105	25,5	25	0	0	0,016	5,9
6	0	0	0,053	12,8	26	0	0	0,008	1,9
7	0,3	0,1	0,088	21,4	27	0	0	0,018	4,4
8	0	0	0,003	0,8	28	0	0	0,010	2,5
9	1,2	0,5	0,045	10,9	29	0	0	0,012	3,0
10	0	0	0,022	5,3	30	0	0	0,002	0,6
11	0,2	0,1	0,053	12,9	31	0	0	0,027	6,4
12	0	0	0,031	7,4	32	0	0	0,007	1,8
13	0,3	0,1	0,036	8,7	33	0	0	0,004	0,9
14	0	0	0,014	3,4	34	0	0	0,013	3,3
15	0	0	0,043	10,5	35	0	0	0,021	5,1
16	0	0	0,007	1,8	36	0	0	0,013	3,3
17	0,2	0,1	0,013	3,2	37	0	0	0,018	4,4
18	0	0	0,021	5,1	38	0	0	0,007	1,7
19	0,1	0,1	0,036	8,8	39	0	0	0,015	3,6
20	0	0	0,023	6,6	40	0	0	0	0
Harmonik - 3 Tanpa Beban					THD v = 2,0 %		THD i = 99,2 %		

**Watak Harmonik (Harmonik ke-3 di beri beban linear 60 Watt).**

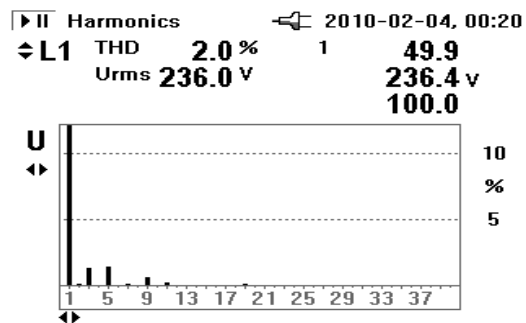
Data pengukuran untuk watak harmonik pada Simulator Generator Harmonik untuk setelan dominan harmonik ke-3 beban linear 60 Watt ditunjukkan pada tabel 4.



Gambar 4. Bentuk gelombang Tegangan dan Arus Pada Simulator Generator Harmonik untuk setelan dominan Harmonik ke-3 tanpa di beri beban linear.

Tabel 4. Hasil pengukuran tegangan dan arus harmonik Pada Simulator Generator Harmonik untuk setelan dominan Harmonik ke-3 di beri beban linear 60 Watt.

Orde	V	% V	I (Amp)	% I	Orde	V	% V	I (Amp)	% I
1	236,9	100	0,581	100	21	0	0	0,031	5,4
2	0,1	0,1	0,159	27,4	22	0	0	0,014	2,4
3	3,1	1,3	0,304	52,3	23	0,1	0,1	0,024	4,2
4	0	0	0,106	18,2	24	0	0	0	0
5	3,4	1,4	0,101	17,3	25	0	0	0,016	2,8
6	0	0	0,055	9,6	26	0	0	0,009	1,6
7	0,3	0,1	0,089	15,3	27	0	0	0,019	3,2
8	0	0	0,003	0,5	28	0	0	0,010	1,7
9	1,2	0,5	0,048	8,3	29	0	0	0,013	2,2
10	0	0	0,025	4,3	30	0	0	0,002	0,4
11	0,2	0,1	0,053	9,2	31	0	0	0,028	4,9
12	0	0	0,029	5,0	32	0	0	0,008	1,3
13	0,3	0,1	0,037	6,4	33	0	0	0,001	0,2
14	0	0	0,014	2,4	34	0	0	0,014	2,4
15	0	0	0,045	7,8	35	0	0	0,023	4,0
16	0	0	0,008	1,4	36	0	0	0,014	2,4
17	0,2	0,1	0,012	2,1	37	0	0	0,020	3,4
18	0	0	0,022	3,7	38	0	0	0,008	1,4
19	0,1	0,1	0,039	6,7	39	0	0	0,015	2,5
20	0	0	0,023	3,9	40	0	0	0	0
Harmonik - 3 Beban 60 Watt					THD v = 2,0 %		THD i = 70,5 %		

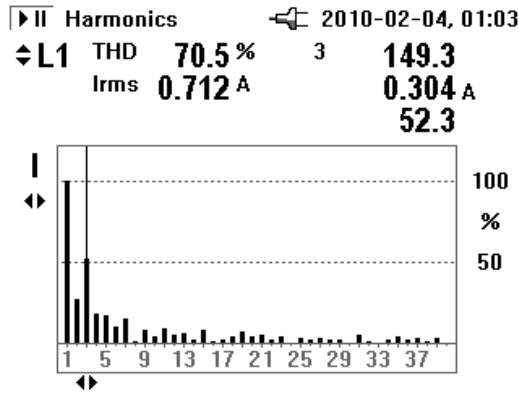


Gambar 5. Spektrum harmonik Tegangan Pada Simulator Generator Harmonik untuk setelan dominan Harmonik ke-3 di beri beban linear 60 Watt.

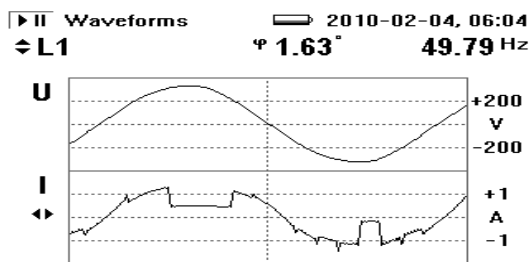
**Watak Harmonik (Harmonik ke-5 tanpa di beri beban linear).**

Data pengukuran untuk watak harmonik pada Simulator Generator Harmonik untuk setelan dominan harmonik ke-5 tanpa beban linear

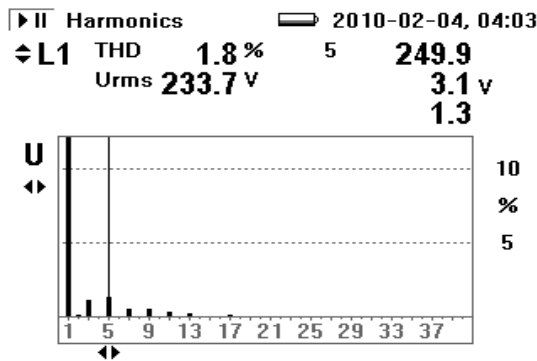
ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 6. Spektrum harmonik Arus Pada Simulator Generator Harmonik untuk setelan dominan Harmonik ke-3 di beri beban linear 60 Watt.



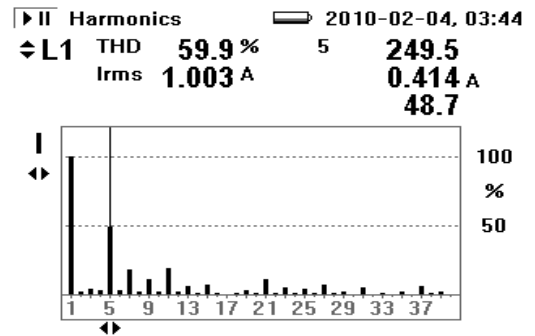
Gambar .7. Bentuk gelombang Tegangan dan Arus Pada Simulator Generator Harmonik untuk setelan dominan Harmonik ke-3 di beri beban linear 60 watt.



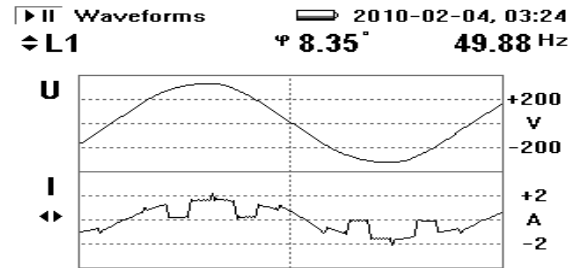
Gambar 8. Spektrum harmonik Tegangan Pada Simulator Generator Harmonik untuk setelan dominan Harmonik ke-5 tanpa di beri beban linear.

**Watak Harmonik (Harmonik ke-5 di beri beban linear 60 Watt).**

Data pengukuran untuk watak harmonik pada Simulator Generator Harmonik untuk setelan dominan harmonik ke-5 beban linear 60 Watt ditunjukkan pada Gambar 11.



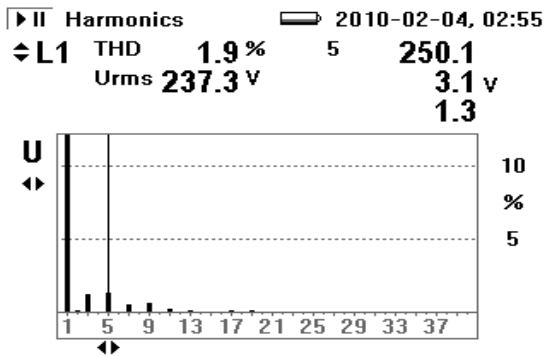
Gambar 9. Spektrum harmonik Arus Pada Simulator Generator Harmonik untuk setelan dominan Harmonik ke-5 tanpa di beri beban linear.



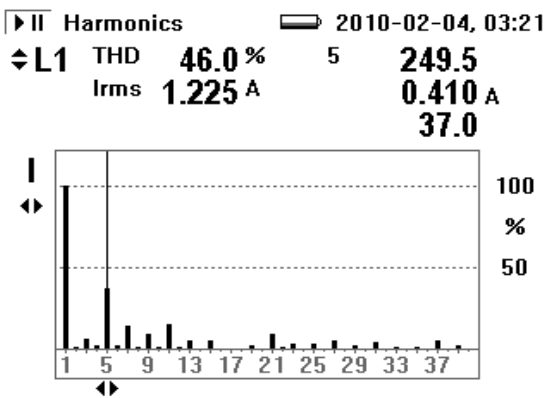
Gambar .10. Bentuk gelombang Tegangan dan Arus Pada Simulator Generator Harmonik untuk setelan dominan Harmonik ke-5 tanpa di beri beban linear.

Tabel 5. Hasil pengukuran tegangan dan arus harmonik Pada Simulator Generator Harmonik untuk setelan dominan Harmonik ke-5 tanpa di beri beban linear.

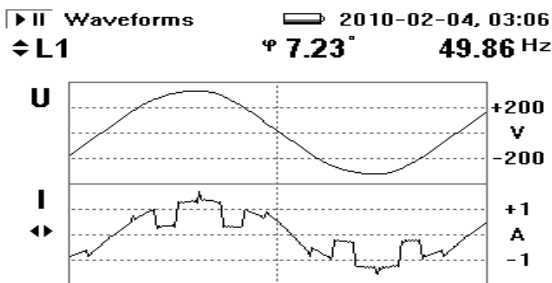
Orde	V	%V	I (Amp)	%I	Orde	V	%V	I (Amp)	%I
1	234.1	100	0.851	100	21	0	0	0.094	11.0
2	0.2	0.1	0.017	2.0	22	0	0	0.006	0.8
3	2.6	1.1	0.036	4.2	23	0	0	0.039	4.5
4	0	0	0.026	3.0	24	0	0	0.004	0.5
5	3.1	1.3	0.414	48.7	25	0	0	0.036	4.2
6	0	0	0.022	2.6	26	0	0	0.006	0.7
7	1.1	0.5	0.151	17.7	27	0	0	0.059	7.0
8	0	0	0.015	1.7	28	0	0	0.006	0.7
9	1.3	0.5	0.092	10.8	29	0	0	0.019	2.2
10	0	0	0.014	1.6	30	0	0	0.003	0.4
11	0.6	0.3	0.164	19.2	31	0	0	0.042	4.9
12	0	0	0.014	1.6	32	0	0	0.003	0.03
13	0.4	0.2	0.053	6.2	33	0	0	0.011	1.3
14	0	0	0.006	0.8	34	0	0	0.004	0.4
15	0.1	0	0.056	6.6	35	0	0	0.014	1.7
16	0	0	0.006	0.7	36	0	0	0.002	0.2
17	0.2	0.1	0.001	0.1	37	0	0	0.053	6.3
18	0	0	0.004	0.5	38	0	0	0.005	0.6
19	0.1	0	0.025	3.0	39	0	0	0.021	2.4
20	0	0	0.005	0.6	40	0	0	0.003	0.3
Harmonik - 5 Tanpa Beban					THD v = 1,8 %		THD i = 59,9 %		



Gambar 11. Spektrum harmonik Tegangan Pada Simulator Generator Harmonik untuk setelan dominan Harmonik ke-5 di beri beban linear 60 Watt.



Gambar .12. Spektrum harmonik Arus Pada Simulator Generator Harmonik untuk setelan dominan Harmonik ke-5 di beri beban linear 60 Watt.



Gambar 13. Bentuk gelombang Tegangan dan Arus Pada Simulator Generator Harmonik untuk setelan dominan Harmonik ke-5 di beri beban linear 60 watt.

Dari gambar spektrum komponen harmonik dapat dilihat bahwa Simulator Generator Harmonik dengan setelan dominan harmonik ke-3 tanpa beban linear menghasilkan komponen arus harmonik terbesar pada orde harmonik ke-3, yaitu 73,2 % dan THDi sebesar 99,2 %, untuk kondisi diberi beban linear 60 Watt komponen arus harmonik terbesar juga pada orde harmonik ke-3, yaitu 52,3% dan THDi sebesar 70,5 %, . Demikian juga untuk Simulator Generator Harmonik dengan setelan dominan harmonik ke-5 tanpa beban linear

menghasilkan komponen arus harmonik terbesar pada orde harmonik ke-5, yaitu 48,7 % dan THDi sebesar 59,9 %, untuk kondisi diberi beban linear 60 Watt komponen arus harmonik terbesar juga pada orde harmonik ke-5, yaitu 37,0% dan THDi sebesar 46,0 %, .Namun demikian komponen-komponen harmonik orde lain masih muncul, hal ini terjadi karena terbatasnya cacah slot pada Simulator. Dalam Simulator ini terdapat 16 slot, sehingga untuk mendapatkan harmonik ke-3 maupun ke-5 jumlah slot tersebut di bagi menjadi tiga bagian dan lima bagian sehingga hasilnya tidak bulat, hal inilah yang menyebabkan munculnya komponen-komponen harmonik orde yang lain.

Dari data pengukuran juga terlihat bahwa dengan semakin besarnya beban linear maka nilai THDi akan menurun, hal ini disebabkan karena semakin besar beban linear maka semakin kecil perbandingan kontribusi arus beban non-linear dengan beban linear.

Tabel 6. Hasil pengukuran tegangan dan arus harmonik Pada Simulator Generator Harmonik untuk setelan dominan Harmonik ke-5 di beri beban linear 60 Watt.

Orde	V	% V	I (Amp)	% I	Orde	V	% V	I (Amp)	% I
1	238	100	1.109	100	21	0	0	0.096	8,7
2	0,2	0,1	0.013	1,2	22	0	0	0.006	0,5
3	2,8	1,2	0.063	5,6	23	0	0	0.038	3,4
4	0	0	0.022	2,0	24	0	0	0.003	0,3
5	3,1	1,3	0.410	37,0	25	0	0	0.035	3,2
6	0	0	0.019	1,7	26	0	0	0.005	0,4
7	1,1	0,5	0.152	13,7	27	0	0	0.059	5,4
8	0	0	0.011	1,0	28	0	0	0.005	0,5
9	1,3	0,6	0.096	8,7	29	0	0	0.019	1,7
10	0	0	0.012	1,1	30	0	0	0.002	0,2
11	0,5	0,2	0.165	14,9	31	0	0	0.041	3,7
12	0	0	0.012	1,1	32	0	0	0.002	0,2
13	0,2	0,1	0.052	4,7	33	0	0	0.011	1,0
14	0	0	0.005	0,5	34	0	0	0.002	0,2
15	0,1	0	0.057	5,1	35	0	0	0.012	1,1
16	0	0	0.005	0,5	36	0	0	0.002	0,2
17	0,1	0,1	0.003	0,3	37	0	0	0.054	4,8
18	0	0	0.003	0,3	38	0	0	0.004	0,4
19	0,1	0,1	0.023	2,1	39	0	0	0.020	1,8
20	0	0	0.004	0,4	40	0	0	0.002	0,2
Harmonik - 5 Beban 60 Watt					THD v = 1,9 %		THD i = 46,0 %		

## KESIMPULAN

Berdasar pada data penelitian dan pembahasan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan :

- Simulator Generator Harmonik berhasil menghasilkan distorsi komponen arus harmonik yang bisa diubah-ubah, tergantung setelan pada slot.
- THDi pada Simulator Generator Harmonik dapat diubah dengan membuat variasi beban linear.
- Pada Simulator Generator Harmonik masih muncul komponen harmonik lain selain orde yang dikehendaki, hal ini terjadi karena terbatasnya slot.

- Simulator Generator Harmonik sudah bisa digunakan untuk peragaan dalam studi harmonik.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Arrilaga, J, Bradley, D.A., Bodger, P.S., 1985, **Power System Harmonics**, John Wiley & Sons Ltd, New York.
2. Arrilaga, J, Watson N.R., S Chen, 2000, **Power System Quality Assesment**, John Wiley & Sons Ltd, New York.
3. Day, Al. Mahmoud, AA, 1987, **Method of Evaluation of Harmonic Levels in Industrial plant distribution systems**, IEEE Transc. On Industrial Aplications Vol 1A.23 no.3, pp.498-503, New York.
4. Dugan, R.C, McGranaghan M.F, Beaty H.W., 1996, **Electrical Power System Quality**, McGraw-Hill Book Company, New York.
5. Emanuel AE, JA Orr. D Cyganski, 1993, **A survey of Harmonic Voltages and Currents at the Customers's bus**, IEEE. Trans.on Power Delivery. New York
6. McGranaghan M.F, 1998, **Overview of the Guide for Applying Harmonic Limits on Power Systems-IEEE P519A**, The 8<sup>th</sup> International Conference on Harmonic and Quality of Power ICHQP,
7. Sabar Nababan, 2001, **Tapis Parallel Pasif Untuk Mengurangi Distorsi Harmonik Beban Taklinear**, Thesis JTE FT. UGM, Yogyakarta.
8. Suprianto, 2005, **Evaluasi Harmonik pada Sistem Tenaga Listrik (studi kasus di PT Krakatau Steel)** ,Thesis JTE FT. UGM, Yogyakarta.
9. Yan Y. H., Chen C.S., Moo C.S., and Hsu C.T., 1994, **Harmonic Analysis for Industrial Customers**, IEEE Trans. On Industrial Application., vol.30, pp.462-468. No.2 March / April 1994, New York