

# STUDI PROFIL TEGANGAN KELUARAN GENERATOR SINKRON 1 FASA PADA DISSECTIBLE MACHINE MODEL 62-005 BUATAN FEEDCAK

Oleh : Rizky Adhi Nugroho (L2F 002 608)

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

## ABSTRAK

Energi listrik dalam jumlah yang cukup dan dengan mutu yang baik merupakan kunci keberhasilan dan perkembangan yang pesat pada kegiatan- kegiatan industri di masa lalu di negara- negara maju. Hal tersebut telah menyumbang kemajuan ekonomi dan tingkat kesejahteraan masyarakat di negara- negara itu. Konversi energi mekanik menjadi energi listrik secara besar- besaran praktis dilakukan hanya dengan generator sinkron. Generator sinkron dapat dioperasikan sebagai mesin tunggal, akan tetapi biasanya generator akan terhubung dalam suatu sistem interkoneksi sehingga bekerja sejajar sinkron dengan alternator- alternator lain. Generator adalah sebuah mesin yang digunakan untuk mengubah energi mekanik yang dihasilkan oleh turbin menjadi energi listrik. Dalam desain generator sinkron, kadang terjadi fenomena dimana gelombang yang dihasilkan tidak sinus murni tetapi terjadi distorsi pada gelombang keluaran yang disebut *tooth harmonics*.

Tugas akhir ini membahas sebab terjadinya *tooth harmonics* yang terjadi pada generator sinkron 1 fasa dan unjuk kerja dari generator sinkron dari masing- masing konstruksi, dimana generator sinkron satu fasa ini dioperasikan dari suatu *dissectible machine*. Sedangkan motor induksi 3 fasa digunakan sebagai penggerak mula (*prime mover*). Untuk mengatur kecepatan motor induksi 3 fasa, digunakan inverter Altivar 28 dengan cara mengatur frekuensinya. Untuk eksitasinya, digunakan regulator yang disearahkan dengan menggunakan dioda bridge.

Dari hasil pengujian dapat diketahui bahwa pada generator sinkron *concentrated winding* menghasilkan tegangan keluaran yang paling besar dan *distributed winding* akan menghasilkan gelombang yang paling baik diantara konstruksi lainnya. Hal ini dikarenakan pada konstruksi *concentrated winding* memiliki THD yang paling besar dan untuk *distributed winding* memiliki THD yang paling kecil. Adanya beban resistif tidak berpengaruh terhadap pembentukan gelombang keluaran generator sinkron sedangkan adanya beban kapasitif akan memperbaiki bentuk gelombang dan untuk beban induktif, bentuk gelombangnya akan menjadi lebih terdistorsi.

Kata kunci: generator sinkron 1 fasa, *dissectible machine*, motor induksi, inverter, *tooth harmonics*

dan daya yang hilang pada keluaran generator akibat harmonisa pada beban nol dan berbeban.

## I. Pendahuluan

### 1.1 Latar Belakang

Pada kenyataannya, gelombang keluaran generator sinkron tidak berupa gelombang sinus murni, tetapi terjadi *distorsi* gelombang yang menyebabkan terjadinya cacat pada gelombang keluaran yang disebabkan oleh *tooth harmonics*. *Tooth harmonics* ini disebabkan oleh adanya alur pada stator.

Tugas akhir ini akan menampilkan jenis- jenis konstruksi generator sinkron 1 fasa yaitu *concentrated winding*, *distributed winding*, dan *rotating armature*. Masing- masing dari konstruksi akan menampilkan unjuk kerja pada kondisi hubung buka, hubung singkat, dan berbeban serta regulasi tegangan, kemudian dibandingkan. Selain itu juga menghitung sudut kemiringan alur untuk mendapatkan bentuk gelombang yang berbentuk sinus murni.

### 1.2 Tujuan

Tujuan pembuatan Tugas Akhir adalah mengetahui sebab terjadinya *tooth harmonics* pada generator sinkron 1 fasa *dissectible machine* dengan tinjauan pendekatan teoritis dengan membandingkan kondisi ideal dan kondisi riil akibat harmonisa.

### 1.3 Pembatasan Masalah

Untuk menyederhanakan permasalahan dalam Tugas Akhir ini diperlukan adanya batasan-batasan, yaitu:

1. Tidak membahas rugi- rugi besi dan rugi – rugi tembaga yang ditimbulkan oleh generator sinkron.
2. Inverter yang digunakan hanya untuk mengatur frekuensi motor induksi serta tidak membahas inverter secara detail.
3. Motor induksi yang digunakan sebagai penggerak mula hanya menggunakan hubung bintang dan tidak membahas motor induksi secara detail.
4. Hanya melihat profil tegangan keluaran generator sinkron 1 fasa serta menghitung besarnya tegangan, arus

## II. Dasar Teori

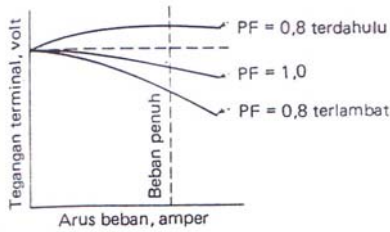
### 2.1 Deskripsi Umum Generator Sinkron

Generator adalah suatu mesin yang berfungsi untuk mengubah tenaga mekanik menjadi tenaga listrik. Prinsip kerja dari generator sinkron atau alternator adalah rotor diberi masukan eksitasi arus DC dan diputar oleh *prime mover* (turbin) sehingga menghasilkan medan magnet rotor. Fluks magnet yang dibangkitkan akan memotong konduktor pada stator. Sesuai dengan hukum Faraday dan Lenz, Gaya gerak listrik (GGL) bolak- balik akan diinduksikan pada konduktor jangkar statornya.

### 2.2 Eksitasi Generator AC

Setelah generator AC mencapai kecepatan yang sebenarnya oleh penggerak mulanya, medannya dieksitasi dari catu DC. Ketika kutub lewat di bawah konduktor jangkar yang berada pada stator, fluksi medan yang memotong konduktor menginduksikan GGL kepadanya. GGL yang dibangkitkan adalah GGL bolak- balik karena kutub dengan polaritas yang berubah terus- menerus melewati konduktor tersebut. Karena tidak menggunakan komutator, GGL yang dibangkitkan keluar pada terminal lilitan stator. Besarnya GGL yang dibangkitkan tergantung pada laju pemotongan garis gaya atau pada kuat medan dan kecepatan rotor. Karena generator kebanyakan bekerja pada kecepatan konstan, maka besarnya GGL yang dibangkitkan menjadi bergantung pada eksitasi medan.

Jika beban ditambahkan pada generator AC yang sedang bekerja pada kecepatan konstan dan dengan eksitasi medan konstan, tegangan terminal akan berubah. Besarnya perubahan akan bergantung pada rancangan mesin dan pada faktor daya beban. Pengaruh dari faktor daya yang berbeda dan perubahan tegangan terminal dengan perubahan beban pada generator AC ditunjukkan pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Kurva pengaturan generator AC pada faktor daya yang berbeda

### 2.3 Dissectible machine

*Dissectible machine* adalah suatu alat pelatihan lengkap yang mencakup tentang motor dan generator AC, DC, satu fasa maupun tiga fasa. Alat ini dibuat oleh *Feedback* dan didesain untuk mengetahui prinsip dasar tentang motor dan generator listrik.

Alat ini mencakup *power supply*, pengemudian dan peralatan kontrol, serta modul instrumentasi yang dijadikan dalam bentuk panel – panel. Panel – panel ini dapat diletakkan di dalam maupun diluar *frame* yang disediakan dan dibuat dengan bahan plastik keras untuk keamanannya.

Alat ini memberikan cara yang mudah untuk memahami prinsip mesin listrik dan konstruksinya secara luas bagi semua orang. *Dissectible machine* ini didesain sedemikian rupa sehingga karakteristik dari mesin yang digunakan mendekati karakteristik dari mesin yang ada di industri.

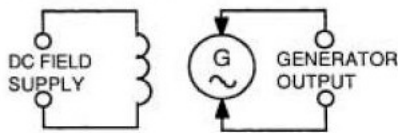


Gambar 2.2 *Dissectible machine*

Dalam pengoperasian generator sinkron pada *dissectible machine* ini ada dua jenis konstruksi yaitu *rotating armature* dan *rotating field*. Untuk konstruksi *rotating field* ada dua jenis yaitu *concentrated winding* dan *distributed winding*.

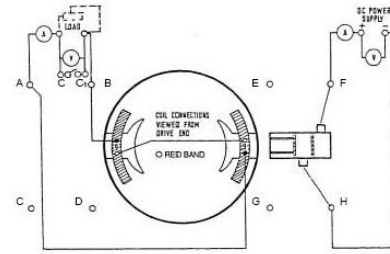
#### 2.3.1 AC Single Phase Generator Rotating Field

Pada rangkaian ini, belitan jangkar dalam keadaan stasioner dan dihubungkan secara langsung dengan beban. Sedangkan belitan medannya berputar dan disuplai melalui *slipring* dari sumber DC bertegangan rendah.

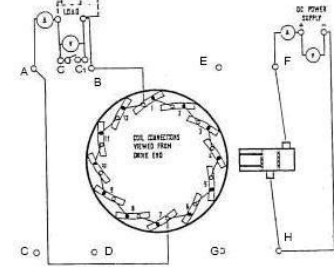


Gambar 2.3 Diagram rangkaian generator AC 1 fasa *rotating field*

Ada dua jenis bentuk rangkaian generator sinkron 1 fasa yaitu *rotating field concentrated stator winding* (lilitan yang terpusatkan) yang berarti semua konduktor pada tiap-tiap fasa dimasukkan dalam satu alur di bawah tiap-tiap kutub. Sedangkan yang kedua adalah *rotating field distributed stator winding* (lilitan yang terdistribusi) dimana konduktor pada tiap-tiap grup fasa menempati dua atau lebih alur di bawah tiap-tiap kutub.



Gambar 2.4 *Rotating field concentrated stator winding*

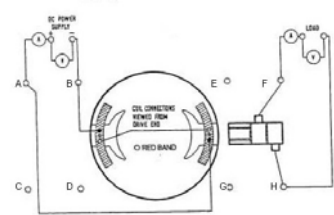


Gambar 2.5 *Rotating field distributed stator winding*

#### 2.3.2 AC Single Phase Generator Rotating Armature

Rangkaian kerja generator ini merupakan kebalikan dari generator AC pada umumnya, dimana belitan medan dalam keadaan tetap sedangkan belitan jangkarnya berputar dan dihubungkan secara langsung ke beban melalui *slipring* dan sikat.

Sedangkan gambar rangkaian di dalam *dissectible machine* nya adalah



Gambar 2.6 Rangkaian generator AC 1 fasa *rotating armature*

### 2.4 Penggerak Mula Generator Sinkron 1 Fasa

Agar generator mampu bekerja, maka diperlukan suatu penggerak mekanik yang berfungsi untuk memutar generator yang disebut dengan penggerak mula (*prime mover*). Dalam generator dengan skala besar, penggerak mulanya biasanya menggunakan turbin. Sedangkan dalam tugas akhir ini, penggerak mulanya menggunakan motor induksi tiga fasa.

Motor induksi merupakan motor AC yang paling banyak digunakan karena kesederhanaannya, konstruksinya yang kuat, dan karakteristik kerjanya yang baik. Penamaannya berasal dari kenyataannya bahwa arus rotor motor induksi bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar (*rotating magnetic field*) yang dihasilkan oleh arus stator.



Gambar 2.7 Motor induksi 3 fasa yang dikopel dengan generator sinkron

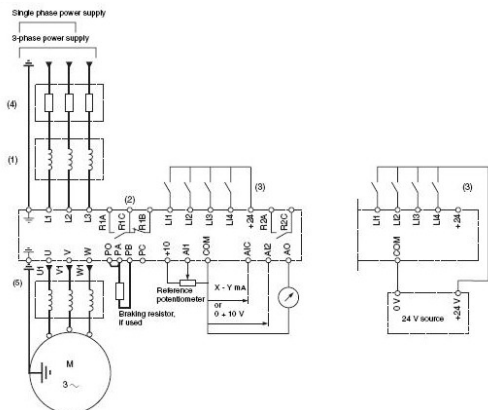
### 2.5 Inverter Altivar 28

Altivar 28 merupakan inverter yang digunakan untuk mengontrol kecepatan motor induksi 3 fasa. Caranya adalah dengan mengatur frekuensi motor induksi dimana frekuensi yang digunakan adalah 45 Hz, 50 Hz, 55 Hz.



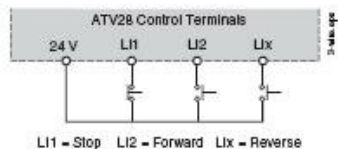
Gambar 2.8 Altivar 28

Diagram wiring untuk setting pabrik adalah sebagai berikut



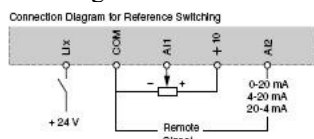
Gambar 2.9 Wiring diagram altivar

Untuk wiring diagram yang digunakan dalam tugas akhir ini ada sedikit perbedaan dengan wiring dari pabrik. Suplai untuk inverter adalah satu fasa yang didapat dari sumber jala- jala PLN. Karena tombol run tidak terdapat di dalam inverter, maka tombol run ini dibuat dari push button yang berfungsi sebagai tombol forward, reverse, dan stop. Hal yang dilakukan adalah mengkonfigurasi terminal altivar pada posisi seperti gambar 2.10 berikut ini



Gambar 2.10 Konfigurasi terminal altivar

Sedangkan untuk mengatur frekuensi digunakan potensio meter yang mempunyai nilai 10 kΩ. Konfigurasi terminalnya adalah sebagai berikut.



Gambar 2.11 Rangkaian pengaturan frekuensi altivar

## 2.6 Harmonisa

Harmonisa adalah arus atau tegangan sinusoidal yang mempunyai frekuensi kelipatan dari frekuensi dasar atau fundamental (biasanya 50 atau 60 Hz). Gelombang distorsi memiliki bentuk gelombang yang terbentuk oleh penjumlahan frekuensi dasar dan frekuensi harmonisa. Jika frekuensi dasar pada suatu sistem tenaga listrik adalah 50 Hz, maka harmonisa keduanya adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 100 Hz, harmonisa ketiga adalah gelombang dengan tegangan frekuensi sebesar 150 Hz dan seterusnya. Gelombang-gelombang ini kemudian menumpang pada gelombang murni/aslinya sehingga terbentuk gelombang cacat.

Dengan menggunakan alat ukur akan didapatkan nilai untuk rasio atau besaran rms harmonisa arus atau tegangan ini dapat juga dinyatakan dengan *Total Harmonic Distortion* (THD). Dimana dalam perumusannya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} (U_h)^2}}{U_1} \times 100\% \quad \text{atau} \quad THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} (I_h)^2}}{I_1} \times 100\%$$

dimana :

$U_h$  = kuantitas / nilai rms dari komponen tegangan pada harmonik h

$I_h$  = kuantitas / nilai rms dari komponen arus pada harmonik h

## III. Rangkaian Alat

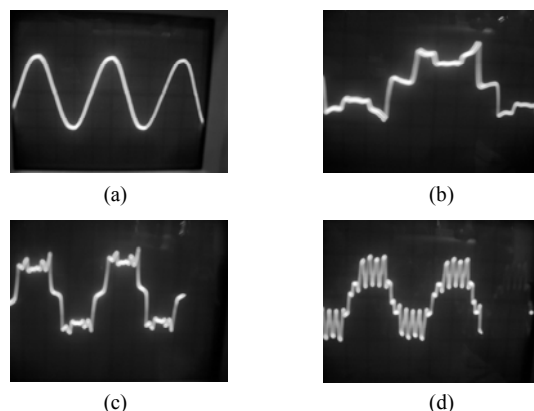
Dalam pembuatan Tugas Akhir ini, desain didasarkan pada rangkaian yang telah disediakan oleh *manual book dissectible machine* buatan *feedback*. Selanjutnya beberapa peralatan yang dipasang disesuaikan dengan peralatan yang tersedia di dalam *manual book*. Adapun rangkaian modul ini mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

1. *Dissectible machine* yang dioperasikan sebagai generator sinkron satu fasa
2. Motor induksi tiga fasa yang berfungsi sebagai penggerak mula (*prime mover*).
3. Inverter Altivar 28 buatan *Schneider Electric* yang digunakan untuk mengatur frekuensi motor induksi tiga fasa.
4. Beban yang digunakan dapat berupa beban resistif, beban induktif, dan beban kapasitif. Pada Tugas Akhir ini digunakan beban lampu pijar sebagai beban resistif, lampu pijar dan trafo sebagai beban induktif, serta lampu pijar dan kapasitor sebagai beban kapasitif.

## IV. Pengujian dan Analisa

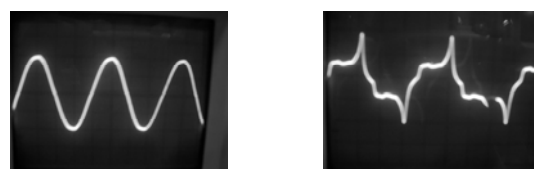
### 4.1 Pengambilan Data Bentuk Gelombang

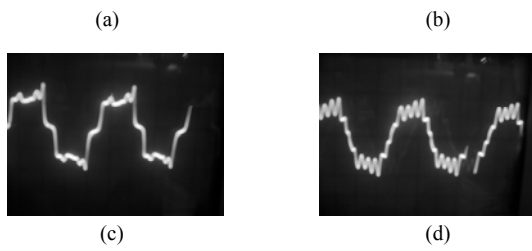
4.1.1 Pengambilan Bentuk Gelombang Hubung Buka  
Data yang diambil adalah bentuk gelombang dengan tegangan keluaran puncak ke puncak ( $V_{pp}$ ) sebesar 200 V. Gelombang diambil dengan skala 1:10, volt/div sebesar 5V, time/div nya sebesar 10ms dengan frekuensi sebesar 50 Hz.



Gambar 4.1 Gelombang hubung buka pada ( $V_{pp}$ ) sebesar 200 V  
(a) ideal (b) *concentrated winding*  
(c) *rotating armature* (d) *distributed winding*

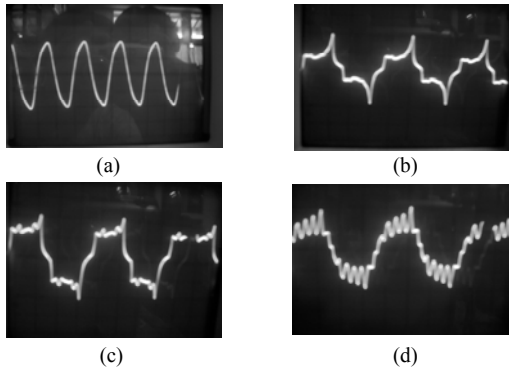
### 4.1.2 Pengambilan Bentuk Gelombang Beban R





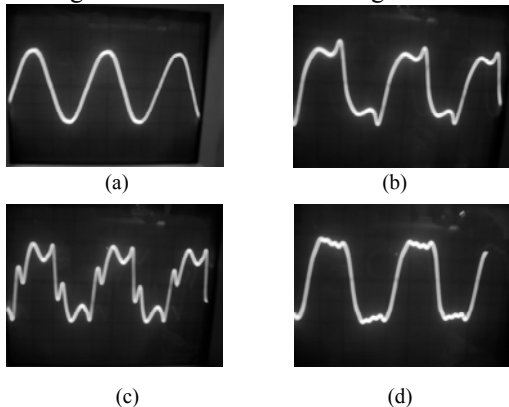
Gambar 4.2 Bentuk gelombang tegangan pada beban R  
 (a) ideal (b) *concentrated winding*  
 (c) *rotating armature* (d) *distributed winding*

#### 4.1.3 Pengambilan Bentuk Gelombang Beban R+L



Gambar 4.3 Gelombang tegangan beban R + L  
 (a) ideal (b) *concentrated winding*  
 (c) *rotating armature* (d) *distributed winding*

#### 4.1.4 Pengambilan Bentuk Gelombang Beban R+C



Gambar 4.4 Gelombang tegangan beban R + C  
 (a) ideal (b) *concentrated winding*  
 (c) *rotating armature* (d) *distributed winding*

## 4.2 Pengambilan Data Harmonisa

### 4.2.1 Beban nol

Dari percobaan beban nol didapatkan data harmonisa sebagai berikut

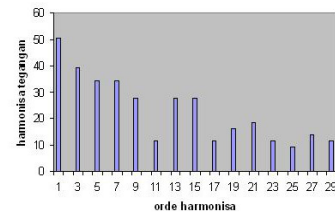
Tabel 4.1 Data pengukuran harmonisa tegangan pada beban nol

harmonisa ke	distributed winding	concentrated winding	rotating armature
1	50,4	50,4	50,4
2	0	0	0
3	27,5	38,94	34,36
4	0	0	0
5	22,9	34,36	29,78
6	0	0	0
7	18,33	34,36	29,78
8	0	0	0

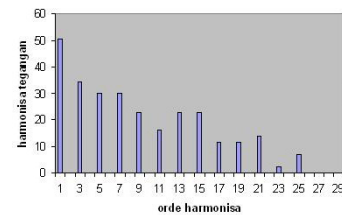
9	18,33	27,49	22,91
10	0	0	0
11	29,78	11,45	16,04
12	0	0	0
13	29,78	27,49	22,91
14	0	0	0
15	11,45	27,49	22,91
16	0	0	0
17	0	11,45	11,45
18	0	0	0
19	0	16,04	11,45
20	0	0	0
21	0	18,33	13,75
22	0	0	0
23	0	11,45	2,29
24	0	0	0
25	11,45	9,16	6,87
26	0	0	0
27	0	13,75	0
28	0	0	0
29	0	11,45	0
THD	125%	172,25%	144,31%

Pengukuran harmonisa dilakukan pada sisi keluaran generator. Dari data pengukuran harmonisa pada beban nol dapat diketahui bahwa THD terbesar terdapat pada *concentrated winding* yaitu sebesar 172,25 % sedangkan THD paling rendah terdapat pada *distributed winding* yaitu sebesar 125 %.

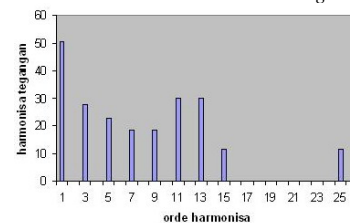
Data pengukuran harmonisa pada beban nol dapat dibuat *bar chart* harmonisa tegangan seperti pada gambar di bawah ini



Gambar 4.5 Harmonisa beban nol *concentrated winding*



Gambar 4.6 Harmonisa beban nol *rotating armature*



Gambar 4.7 Harmonisa beban nol *distributed winding*

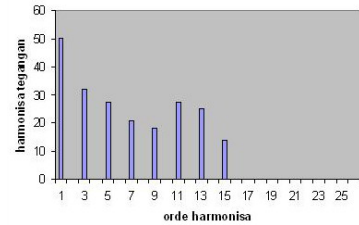
### 4.2.2 Beban R

Dari percobaan beban R didapatkan data harmonisa sebagai berikut

Tabel 4.2 Data pengukuran harmonisa tegangan pada beban R

harmonisa	distributed	concentrated	rotating
-----------	-------------	--------------	----------

ke	winding	winding	armature
1	50,2	50,2	50,2
2	0	0	0
3	31,94	38,79	34,23
4	0	0	0
5	27,38	31,95	29,66
6	0	0	0
7	20,53	31,95	29,66
8	0	0	0
9	18,25	27,38	25,1
10	0	0	0
11	27,38	20,54	11,41
12	0	0	0
13	25,1	20,54	20,54
14	0	0	0
15	13,69	20,54	20,54
16	0	0	0
17	0	11,41	11,41
18	0	0	0
19	0	11,41	11,41
20	0	0	0
21	0	11,41	11,41
22	0	0	0
23	0	9,13	0
24	0	0	0
25	0	9,13	0
26	0	0	0
27	0	0	0
28	0	0	0
29	0	0	0
THD	127,40%	155,81%	139,80%



Gambar 4.10 Harmonisa beban R *distributed winding*

#### 4.2.3 Beban R+L

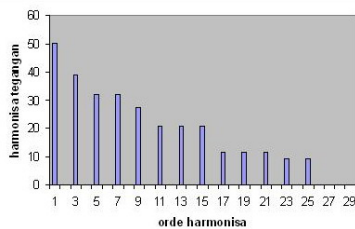
Dari percobaan beban R+L didapatkan data harmonisa sebagai berikut

Tabel 4.3 Data pengukuran harmonisa tegangan pada beban R+L

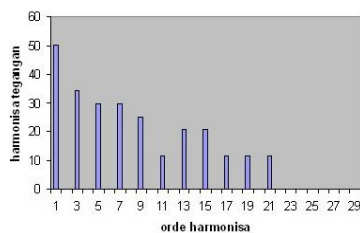
harmonisa ke	distributed winding	concentrated winding	rotating armature
1	50,4	50,4	50,4
2	0	0	0
3	32,07	38,94	34,36
4	0	0	0
5	22,91	32,07	27,49
6	0	0	0
7	20,62	32,07	27,49
8	0	0	0
9	16,04	27,49	22,91
10	0	0	0
11	32,07	20,62	16,04
12	0	0	0
13	32,07	22,91	22,91
14	0	0	0
15	0	22,91	22,91
16	0	0	0
17	0	16,04	11,45
18	0	0	0
19	0	16,04	11,45
20	0	0	0
21	0	16,04	11,45
22	0	0	0
23	0	0	0
24	0	0	0
25	0	0	9,16
26	0	0	0
27	0	0	6,87
28	0	0	0
29	0	0	0
THD	136,21%	160,89%	140,98%

Dari data pengukuran harmonisa pada beban R dapat diketahui bahwa THD terbesar terdapat pada *concentrated winding* yaitu sebesar 155,81% sedangkan THD paling rendah terdapat pada *distributed winding* yaitu sebesar 127,40 %.

Data pengukuran harmonisa pada beban R dapat dibuat *bar chart* harmonisa tegangan seperti pada gambar di bawah ini



Gambar 4.8 Harmonisa beban R *concentrated winding*

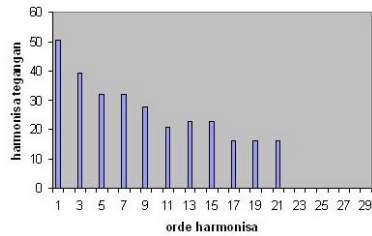


Gambar 4.9 Harmonisa beban R *rotating armature*

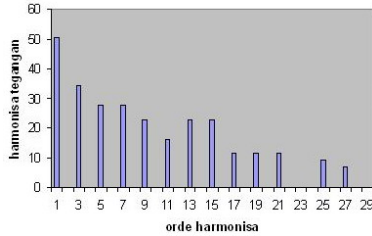
Dari data pengukuran harmonisa pada beban R+L dapat diketahui bahwa THD terbesar terdapat pada *concentrated winding* yaitu sebesar 160,89% sedangkan THD paling rendah terdapat pada *distributed winding* yaitu sebesar 136,21 %.

Data pengukuran harmonisa pada beban R+L dapat dibuat *bar chart* harmonisa tegangan seperti pada gambar di bawah ini

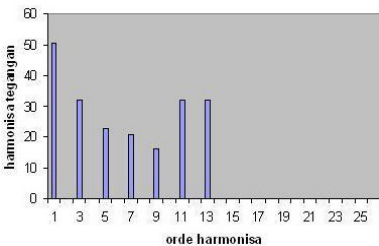




Gambar 4.11 Harmonisa beban R+L *concentrated winding*



Gambar 4.12 Harmonisa beban R+L *rotating armature*



Gambar 4.13 Harmonisa beban R+L *distributed winding*

#### 4.2.4 Beban R+C

Dari percobaan beban R+C didapatkan data harmonisa sebagai berikut

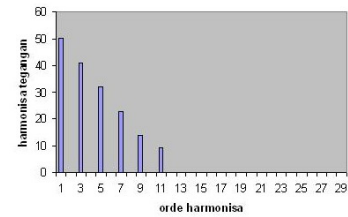
Tabel 4.4 Data pengukuran harmonisa tegangan pada beban R+C

harmonisa ke	distributed winding	concentrated winding	rotating armature
1	50,2	50,2	50,2
2	0	0	0
3	36,51	41,07	34,23
4	0	0	0
5	27,38	31,95	38,79
6	0	0	0
7	13,69	22,82	34,23
8	0	0	0
9	11,41	13,69	25,1
10	0	0	0
11	0	9,13	13,69
12	0	0	0
13	0	0	9,13
14	0	0	0
15	0	0	9,13
16	0	0	0
17	0	0	0
18	0	0	0
19	0	0	0
20	0	0	0
21	0	0	0
22	0	0	0
23	0	0	0
24	0	0	0
25	0	0	0

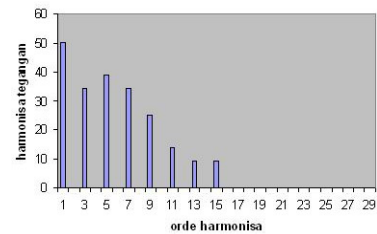
26	0	0	0
27	0	0	0
28	0	0	0
29	0	0	0
THD	97,60%	117,83%	138,47%

Dari data pengukuran harmonisa pada beban R+C dapat diketahui bahwa THD terbesar terdapat pada *rotating armature* yaitu sebesar 138,47 % sedangkan THD paling rendah terdapat pada *distributed winding* yaitu sebesar 97,60%.

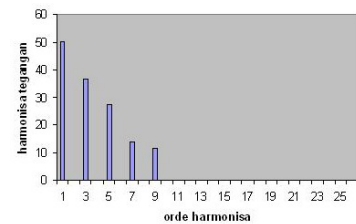
Data pengukuran harmonisa pada beban R+C dapat dibuat *bar chart* harmonisa tegangan seperti pada gambar di bawah ini



Gambar 4.14 Harmonisa beban R+C *concentrated winding*



Gambar 4.15 Harmonisa beban R+C *rotating armature*



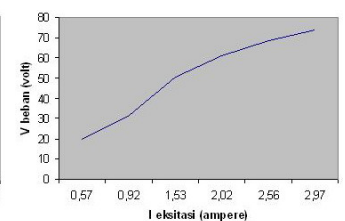
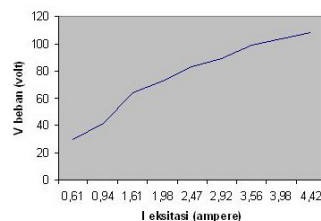
Gambar 4.16 Harmonisa beban R+C *distributed winding*

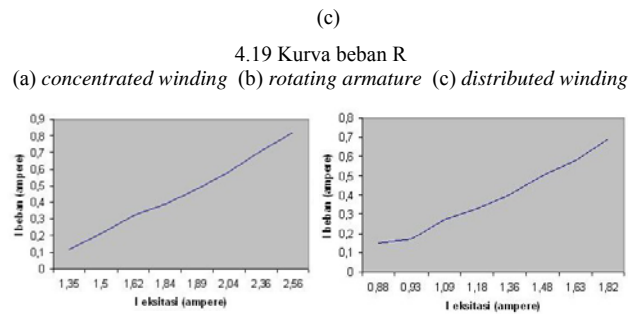
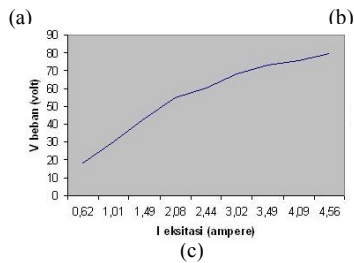
### 4.3 Unjuk Kerja Generator Sinkron

Unjuk kerja generator sinkron 1 fasa meliputi pengambilan data karakteristik hubung buka, hubung singkat, dan berbeban.

#### 4.3.1 Hubung Buka

Data yang diambil pada subbab ini berupa arus eksitasi ( $I_{dc}$ ), tegangan eksitasi ( $V_{dc}$ ), tegangan keluaran ( $V_{ac}$ ), kecepatan putar motor (Rpm), dan bentuk gelombang keluaran pada rangkaian yang diuji. Sedangkan data arus keluaran ( $I_{ac}$ ) tidak diambil karena pada percobaan hubung buka tidak ada arus yang mengalir dikarenakan rangkaiannya bukan rangkaian tertutup (*close loop*). Data yang diambil adalah bentuk gelombang keluaran generator sinkron 1 fasa dengan variasi eksitasi medan. Gelombang diambil dengan skala 1:10, time/div 10ms dan volt/div sebesar 5V dengan tiga variasi frekuensi.





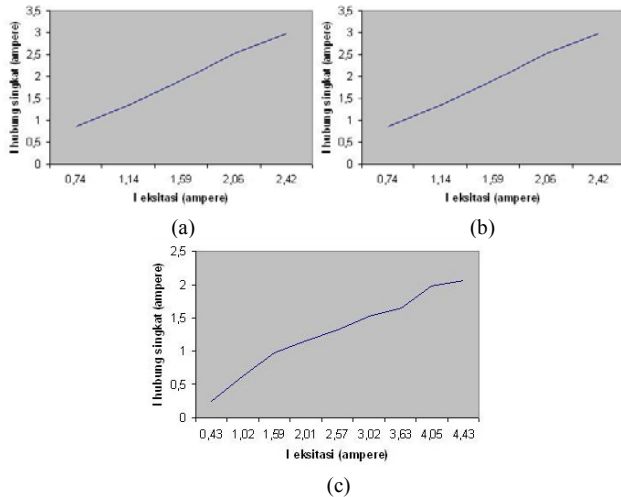
Gambar 4.17 Kurva hubung buka pada  $f=50$  Hz

(a) *concentrated winding* (b) *rotating armature* (c) *distributed winding*

Dari ketiga gambar diatas, dapat dilihat bahwa hubungan antara tegangan terminal dengan arus eksitasi berbanding lurus. Semakin besar arus eksitasi yang diberikan, maka tegangan terminal akan semakin besar pula. Akan tetapi jika eksitasi terus diberikan, maka akan terjadi saturasi tegangan dimana tegangan tidak bertambah meskipun arus eksitasi terus dinaikkan sehingga kurvanya tidak linier lagi.

### 4.3.2 Hubung Singkat

Kurva hubung singkat didapatkan dengan cara membandingkan antara arus eksitasi dengan arus hubung singkat. Pada pengujian hubung singkat, tegangan terminal tidak dicantumkan karena pada saat hubung singkat, tegangan terminal sama dengan nol.

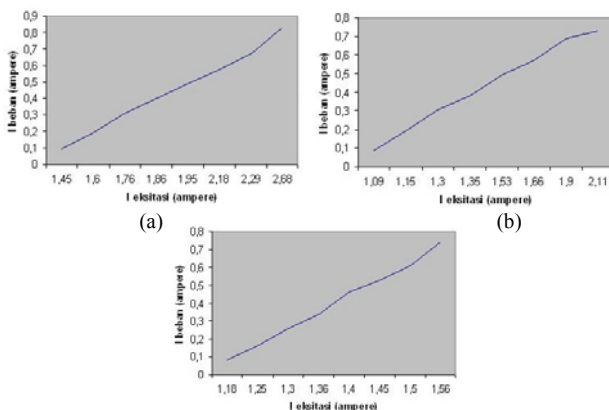


Gambar 4.18 Kurva hubung singkat pada  $f=50$  Hz

(a) *concentrated winding* (b) *rotating armature* (c) *distributed winding*

### 4.3.3 Berbeban

Ada tiga jenis beban yang digunakan dalam pengujian berbeban yaitu beban resistif, beban induktif dan beban kapasitif. Beban resistif yang digunakan adalah lampu pijar. Untuk beban kapasitif, beban yang digunakan adalah lampu pijar yang dirangkai seri dengan kapasitor. Sedangkan untuk beban induktif, beban yang digunakan adalah lampu pijar yang diseri dengan lilitan pada trafo.



### 4.19 Kurva beban R

(a) *concentrated winding* (b) *rotating armature* (c) *distributed winding*

### 4.20 Kurva beban R + C

(a) *concentrated winding* (b) *rotating armature* (c) *distributed winding*

### 4.21 Kurva beban R + L

(a) *concentrated winding* (b) *rotating armature* (c) *distributed winding*

## 4.4 Penentuan Sudut Kemiringan Alur Generator

Untuk mengurangi harmonisa, usaha yang dilakukan adalah memiringkan alur pada stator. Besarnya sudut kemiringan alur pada stator dapat dihitung sesuai dengan rumus di bawah ini

$$k_{skv} = \frac{\sin \frac{vc \pi}{\tau 2}}{\frac{vc \pi}{\tau 2}}$$

Dimana  $v$  adalah nilai orde harmonisa dan  $c$  adalah panjang kemiringan alur.

## V. Penutup

### 5.1. Kesimpulan

Dari hasil analisa tentang sudi profil tegangan keluaran generator sinkron satu fasa dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. *Tooth ripple harmonics* timbul akibat kemiringan alur yang tidak tepat pada stator sehingga terjadi tambahan pulsa gelombang yang menyebabkan terjadinya *distorsi* gelombang pada keluaran generator sinkron 1 fasa sehingga bentuk gelombang keluaran generator tidak sinus murni.
2. Generator sinkron konstruksi *concentrated winding* menghasilkan tegangan keluaran yang lebih besar pada eksitasi yang sama dibandingkan dengan *distributed winding* dan *rotating armature* karena

besar tegangan keluaran generator adalah tegangan rms yang terakumulasi menjadi orde harmonisa sehingga THD pada *concentrated winding* bernilai paling tinggi.

3. Generator sinkron konstruksi *distributed winding* menghasilkan gelombang tegangan dan gelombang arus yang lebih baik dibandingkan dengan *rotating armature* dan *concentrated winding* karena mempunyai nilai THD yang paling kecil.
4. Generator sinkron konstruksi *concentrated winding* menghasilkan rugi-rugi tegangan dan rugi-rugi arus yang besar dibandingkan dengan *distributed winding* dan *rotating armature* karena memiliki nilai *total harmonic distortion* yang paling besar.
5. Adanya beban resistif tidak berpengaruh terhadap pembentukan gelombang keluaran generator sinkron sedangkan adanya beban kapasitif akan memperbaiki bentuk gelombang dan untuk beban induktif, bentuk gelombangnya akan menjadi lebih terdistorsi.
6. Besar kemiringan alur pada generator secara perhitungan adalah sebesar 8,66 mm atau membentuk sudut sebesar  $10^0$ .

## 5.2 Saran

1. Perhitungan unjuk kerja dan bentuk gelombang dapat dilakukan dengan cara memiringkan sepatu kutub sehingga dapat membandingkan hasilnya dengan konstruksi belitan yang alurnya lurus.
2. Pada konstruksi *rotating armature* dan *concentrated winding* dapat ditambah *interpole* untuk mengurangi timbulnya harmonisa.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kadir, Abdul, *Mesin Sinkron*, Djambatan, Jakarta, 1999
- [2] Purwanto, *Analisis Motor Induksi 3 Fasa Dengan Catu Daya Rectifier – Inverter Menggunakan Metode Kerangka Referensi*, Tugas akhir Jurusan Teknik Elektro Fakultas teknik Universitas Diponegoro, 2003.
- [3] Nugroho, Rizky Adhi, *Sistem Purgin dan Pengisian Gas Hidrogen Sebagai Media Pendingin Generator di GTG PLTGU*, Laporan Kerja Praktek Jurusan Teknik Elektro Fakultas teknik Universitas Diponegoro, 2005.
- [4] Zuhail, *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1988
- [5] Assafat, Luqman, *Simulasi kinerja Generator Sinkron Berbasis Metode Kerangka Referensi*, Tugas akhir Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, 2003.
- [6] Rashid, Muhammad, *Power Electronics Handbook*, Academic Press, 2001.
- [7] Nagrath, I.J., D.P. Kothari, *Electric Machine*, Mc Graw Hill, New Delhi, 1985.
- [8] Febriyanto, Andri. *Konstruksi Generator Pada Unit Pembangkit*. Semarang.
- [9] Stevenson, Jr William D *Analisa Sistem Tenaga Listrik*, Terjemahan Ir.Kamal Idris, Erlangga, Jakarta Cetakan keempat, 1994.
- [10] Lister, C. Eugene, *Mesin dan Rangkaian Listrik*, Edisi keenam, Erlangga, Jakarta, 1988
- [11] Theraja, B.L. *A Text Book of Electrical Technology, Volume II AC and DC Machines*, S. Chand & Company Ltd, Ram Nagar, New Delhi, 1997
- [12] ..., www.fbk.com

- [13] ..., *Dissectible Machines System Manual*, England.
- [14] Gonen, Turan, *Electric Power Distribution system Engineering*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1986
- [15] Arrilagga, *Power System Harmonics*, John Wiley & Sons, 1985
- [16] Dariati, Rheni, *Analisis Harmonisa Konverter AC-AC Tiga Fasa*, Tugas akhir Jurusan Teknik Elektro Fakultas teknik Universitas Diponegoro, 2006.
- [17] ..., *Altivar 28 Telemecanique User's Manual*, Schneider Electric.



Rizky Adhi Nugroho  
Lahir di Pati, Jawa Tengah. Sekarang sedang menyelesaikan studi di jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro konsentrasi ketenagalistrikan.

Semarang, Agustus 2007  
Menyetujui

Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. Agung Warsito, DHET  
NIP 132 668 485

Mochammad Facta, ST.MT  
NIP 132 231 134