

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

*Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009*

## M7-023 PERHITUNGAN HARMONISA DALAM PERANCANGAN BELITAN GENERATOR SINKRON 300 kVA

**Siti Saodah, Soenarjo**

Staf Dosen Teknik Elektro Itenas

Jl Phh. Mustopha 23 Bandung

Email ; [ss\\_herlina@yahoo.com](mailto:ss_herlina@yahoo.com) atau siti@itenas.ac.id

### ABSTRAK

Pencapaian oleh produsen listrik atau pembangkit adalah kualitas daya. Daya sendiri merupakan kombinasi dari nilai tegangan dan arus yang dibangkitkan oleh generator di pusat pembangkit (*Power Plant*). Idealnya, bentuk gelombang tegangan dan arus yang dibangkitkan berbentuk sinusoida yang mulus (*Smooth sine wave*). Dalam sistem tenaga listrik yang ideal, bentuk gelombang tegangan yang disalurkan ke peralatan konsumen dan bentuk gelombang arus yang dihasilkan adalah gelombang sinus murni.

Generator sinkron adalah perangkat yang dapat membangkitkan tenaga listrik yang sifatnya non linier, maka tegangan dan arusnya pun bersifat non linier. Hal tersebut disebabkan oleh adanya sinyal harmonisa yang ikut dibangkitkan bersama sinyal fundamentalnya. Untuk mendapatkan tenaga listrik yang baik, kita harus merancang generator sinkron yang baik dengan cara menetukan besarnya bentang belitan stator dengan tepat yang akan diaplikasikan pada generator

Dalam sebuah sistem tenaga listrik yang ideal, sinyal tegangan dan arus yang ditransferkan ke arah perangkat pelanggan adalah sinyal sinusoida murni. Akan tetapi, kenyataanya menunjukkan bahwa sinyal yang diterima tidak sebagus yang diharapkan. Penyimpangan sinyal dari bentuk sinyal sinusoida murni ini disebut *Total Harmonic Distortion (THD)*.

Dalam penelitian ini dicoba menghitung besar dan bagaimana cara meminimalisir harmonisa menggunakan MATLAB. Hasil simulasi menunjukkan bahwa jika nilai bentang belitan ditentukan sebesar 144 derajat listrik atau 8/10 slot perkutub maka akan menghasilkan THD sebesar 3,2766% dan bentuk sinyalnya mendekati bentuk sinyal sinusoida murni.

Kata kunci: *Total Harmonic Distortion (THD)*, bentang belitan, stator, rotor

### PENDAHULUAN

#### Dasar Generator Sinkron<sup>[3,10]</sup>

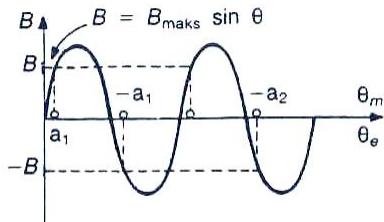
Generator sinkron mempunyai belitan jangkar pada stator dan belitan medan pada rotor. Belitan jangkarnya berbentuk sama dengan generator induksi, sedangkan belitan medan generator sinkron dapat berbentuk kutub sepatu (*salient*) atau kutub menonjol dan kutub dengan celah udara sama rata (rotor silindris). Arus searah (DC) untuk menghasilkan fluks pada belitan medan dialirkkan ke rotor melalui cincin. Rotor diputar

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

*Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009*

pada suatu kecepatan tetap oleh sebuah sumber daya mekanis yang dihubungkan pada sumbunya.

Kerapatan fluks  $B$  yang ditimbulkan akibat berputarnya belitan medan akan berbentuk sinusoid terhadap ruang. Perlu diperhatikan bahwa bentuk sinusoid disini adalah sebagai fungsi ruang, bukan fungsi waktu. Sehingga distribusi fluks  $B$  terhadap ruang digambarkan sebagai terlibat pada Gambar 1

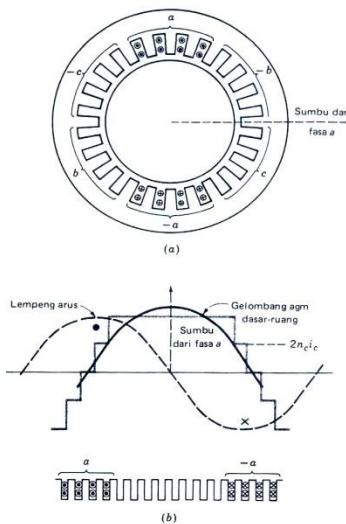


Gambar 1 Pembagian ruang dari kerapatan fluks pada sebuah generator sinkron 4 kutub

## Gaya Gerak Magnet Pada Belitan Terbagi<sup>[1,3]</sup>

Kebanyakan belitan stator mempunyai belitan terbagi, yaitu belitan yang tersebar pada sejumlah slot di sekitar keliling celah udara, masing-masing belitan saling dihubungkan sedemikian sehingga hasilnya berupa suatu medan magnetik yang mempunyai jumlah kutub yang sama seperti belitan medannya.

Gambar 2.a memperlihatkan fasa a dari belitan stator yang terdapat pada suatu mesin ac kutub-2 fasa-3 yang disederhanakan. Fasa b dan c menempati slot-slot yang kosong. Belitan dari ketiga fasa tersebut serupa dan ditempatkan dengan masing-masing sumbu magnetiknya terpisah sebesar 120 derajat listrik.



Gambar 2 Ggm sebuah fasa dari suatu belitan fasa-3 kutub-2 terbagi dengan belitan langkah penuh.

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

**Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009**

Kita hanya akan memusatkan perhatian pada ggm dari fasa a saja. Belitannya diatur dalam dua lapis, setiap belitan berisi  $n_c$  belitan yang mempunyai satu sisi di atas sebuah slot dan sisi belitan yang lain di dasar slot sejauh satu bentang kutub. Susunan dua-lapis menyederhanakan masalah geometris dalam hal mendapatkan ujung-ujung belitan dari masing-masing belitan melewati satu sama lain.

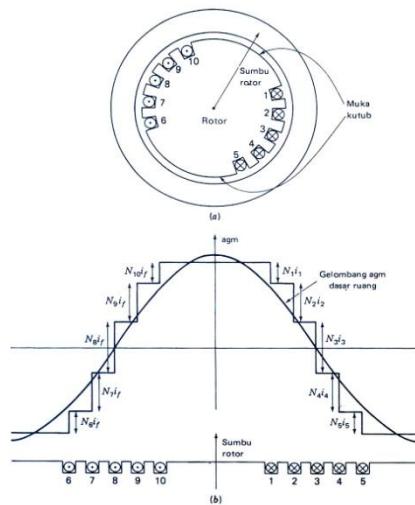
Gambar 2 b memperlihatkan sebuah kutub dari belitan tersebut yang diletakkan mendatar. Gelombang ggm-nya merupakan sederetan anak-tangga masing-masing setinggi  $2n_c i_c$  sama dengan amper konduktor di dalam slot, di mana  $i_c$  merupakan arus kumparan. Komponen dasar-ruangnya tampak berupa gelombang sinus. Terlihat bahwa lilitan terbagi menghasilkan gelombang ggm yang lebih mendekati bentuk sinus.

Gelombang ggm dasar resultan dari suatu belitan terbagi besarnya lebih kecil dari jumlah komponen dasar dari masing-masing belitan karena sumbu magnetik dari masing-masing belitan tidak segaris dengan resultannya. Bentuk untuk suatu belitan kutub- $p$  terbagi yang mempunyai belitan sebanyak  $N_{ph}$  deret tiap fasa adalah

$$\mathcal{F}_{a1} = \frac{4}{\pi} k_w \frac{N_{ph}}{p} i_a \cos\theta \dots \quad (1)$$

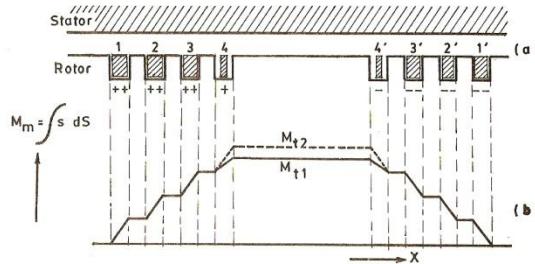
Dengan:  $\mathcal{F}_{a1}$  = ggm pada fasa a  
 $k_w$  = faktor belitan  
 $N_{ph}$  = jumlah belitan seri per fasa  
 $i_a$  = arus (ampere)  
 $p$  = jumlah kutub

di mana faktor  $4/\pi$  timbul dari analisa deret Fourier suatu gelombang ggm gigi-gergaji dari kumparan langkah penuh terpusat, dan faktor belitan  $k_w$  memperhitungkan pembagian dari belitannya. Faktor  $k_w N_{ph}$  merupakan belitan deret efektif per fasa untuk agm dasar. Dengan mempergunakan belitan bentang-penuh dan usaha-usaha lainnya, pengaruh dari harmonisa ruang pada mesin ac dapat dibuat kecil.



Gambar 3 Ggm dari suatu belitan terbagi pada rotor dari suatu generator rotor silinder  
Medan Magnet Rotor Silindris

Gambar 4 (a) memperlihatkan letak rotor silindris terhadap stator. Pada rotor terlihat belitan yang terdiri atas empat pasangan slot, yaitu pasangan alur 1-1', 2-2', 3-3' dan 4-4'. Dalam konduktor slot 1, 2 dan 3 mengalir arus sebesar ++, sedangkan melalui konduktor slot 1', 2' dan 3' mengalir arus "kembali" sebesar --. Dalam konduktor slot 4, mengalir arus + yang mengalir "kembali" melalui konduktor slot 4' sebesar -. Dalam hal ini dimaksudkan bahwa arus ++(--)) adalah lebih besar dari pada arus +(-).



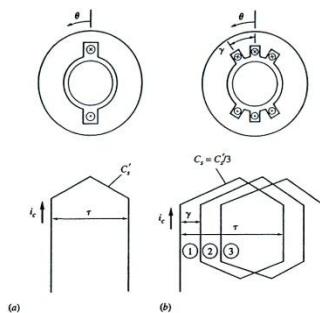
Gambar 4 (a) Letak rotor silindris terhadap stator dan  
(b) Fungsi medan magnet  $M = M_m(x)$

Gambar 4 (b) melukiskan fungsi  $M_m = M_m(x)$  sepanjang keliling permukaan rotor, yang merupakan suatu "lengkung-tangga". Perlu dicatat, bahwa disebabkan pada pasangan slot 4-4' hanya mengalir "separuh" arus, "anak tangga" terakhir lengkung ini tidak mencapai ggm-puncak  $M_{t2}$ , melainkan hanya mencapai  $M_{t1}$ . hal ini dilakukan, agar mendapatkan bentuk "lengkung-tangga" yang lebih mendekati bentuk harmonis tunggal.

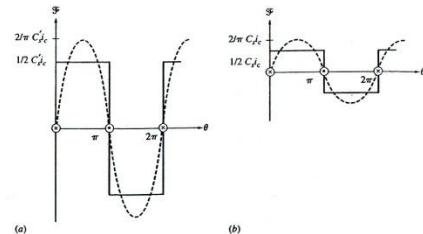
## Faktor Belitan<sup>[4]</sup>

### Faktor Distribusi ( $k_d$ )

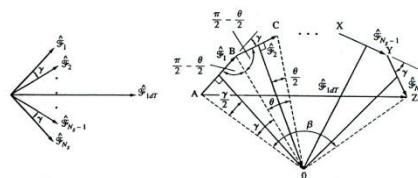
Jika semua konduktor per kutub ( $C_s'$ ) pada suatu mesin AC fasa tunggal di pusatkan pada satu slot, maka slot menjadi terlalu lebar dan coil menjadi terlalu besar sehingga berdampak negatif pada disain laminasi dan ukuran belitan akhir. Solusi praktis dari masalah diatas adalah dengan cara membagi belitan menjadi beberapa belitan dengan konduktor ( $C_s$ ) di setiap sisinya dan mendistribusikan sisi-sisi belitan pada beberapa slot. Jika suatu arus DC  $i_c$  yang mengalir melalui belitan terpusat dalam Gambar 5a. akan menghasilkan ggm total pada celah udara dan komponen dasar pada Gambar 6 melalui analisa deret fourier komponen dasar dari ggm belitan terpusat



Gambar 5 Belitan distribusi (a). Group fasa terpusat, dan (b). Group fasa terdistribusi.



Gambar 6 Ggm celah udara (a). belitan terpusat, (b). belitan tunggal terdistribusi



Gambar 7 fasor tegangan pada belitan dan jumlah fasornya

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

## Faktor Bentangan

Bila menempatkan belitan-belitan ke dalam slot-slot pada mesin AC, sering kali jarak sisi belitan kurang dari bentang kutub ( $\tau$ ) terpisah, sebagai suatu metoda yang efektif untuk mengurangi komponen-komponen harmonis di urutan awal pada gelombang ggm. Gambar 8 memperlihatkan komponen ggm total dan dasar untuk belitan tunggal dengan bentang pecahan  $\rho < \pi$ . Dengan deret fourier, komponen dasar mmf pada belitan adalah sebagai berikut:

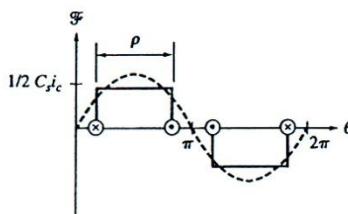
$$F_{1d} = \frac{2}{\pi} C_s i_c \cos\left(\frac{\pi - \rho}{2}\right) \sin \theta \dots \quad (2)$$

Dengan:  $F_{1d}$  = Ggm dasar pada celah udara dengan belitan terpusat

$C_s$  = kunduktor per sisi belitan

$i_c$  = arus pada belitan (A)

$\rho$  = sudut bentang belitan



Gambar 8 Bentuk gelombang ggm untuk bentang belitan kurang dari 1

Faktor bentangan ( $k_p$ ) belitan di peroleh dari perbandingan ggm belitan pada bentang penuh dan ggm belitan pada bentang pecahan. Secara matematik dapat di tulis sebagai berikut:

$$k_p = \cos\left(\frac{\pi - \rho}{2}\right) = \sin \rho/2 \dots \quad (3)$$

Dengan:  $k_p$  = faktor bentangan

$\rho$  = bentang belitan stator

## Faktor Belitan

Efek total dalam ggm dari kedua faktor itu, yaitu faktor distribusi ( $k_d$ ) dan faktor bentangan ( $k_p$ ) disebut faktor belitan ( $k_w$ ).

$$k_w = k_d k_p = \frac{\sin N_s \gamma/2}{N_s \sin \rho/2} \sin \rho/2 \dots \quad (4)$$

Sehingga, jika mesin AC punya  $N_\phi$  putaran per fasa, belitan sebenarnya akan digantikan oleh belitan terpusat dengan  $N_{eff}$  putaran, dimana:

$$N_{eff} = k_w N_\phi \dots \quad (5)$$

Dengan :  $N_{eff}$  = petaran effektif per fasa

$k_w$  = faktor belitan

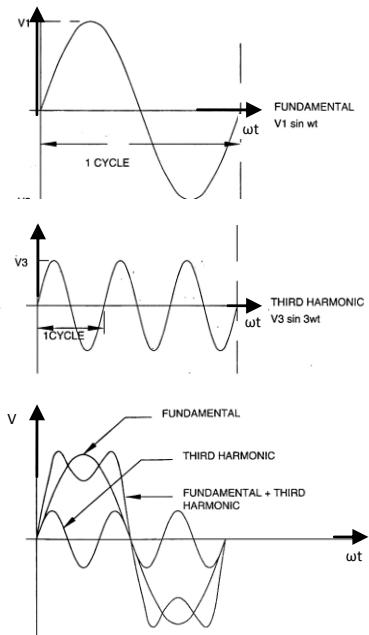
$N_\phi$  = putaran fluksi per fasa

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

*Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009*

## Harmonisa

Harmonisa adalah gejala pembentukkan gelombang-gelombang dengan frekuensi berbeda yang merupakan perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya. Hal ini disebut frekuensi harmonisa yang timbul pada bentuk gelombang aslinya sedangkan bilangan bulat pengali frekuensi dasar disebut angka urutan harmonisa. Penyimpangan dari bentuk gelombang yang ideal tersebut sering dinyatakan sebagai *Total Harmonic Distortion* (THD).



Gambar 9 Gelombang Fundamental, Harmonik Ketiga & Hasil Penjumlahhannya

Bentuk umum dari persamaan fourier series dapat ditunjukkan ke dalam rumus sebagai berikut :

Total Distorsi Harmonis (THD) merupakan rasio nilai rms dari komponen harmonis ke nilai rms dari komponen dasar yang biasanya dinyatakan dalam persen (%). Indeks tersebut digunakan untuk mengukur deviasi dari bentuk gelombang periodik yang mengandung harmonis dari gelombang sinus murni. Total Distorsi Harmonis (THD) tegangan dan arus yaitu:

dengan :

$V_n$  = Nilai tegangan harmonisa

$V_1$  = Nilai fundamental

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

*Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009*

n = Komponen harmonisa maksimum yang diamati

$$I_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \dots \dots \dots \quad (7)$$

dengan :

$I_n$  = Nilai arus harmonis

$I_1$  = Nilai fundamental

n = Komponen harmonisa maksimum yang diamati

## ANALISIS PERHITUNGAN HARMONISA DALAM PERANCANGAN BELITAN STATOR

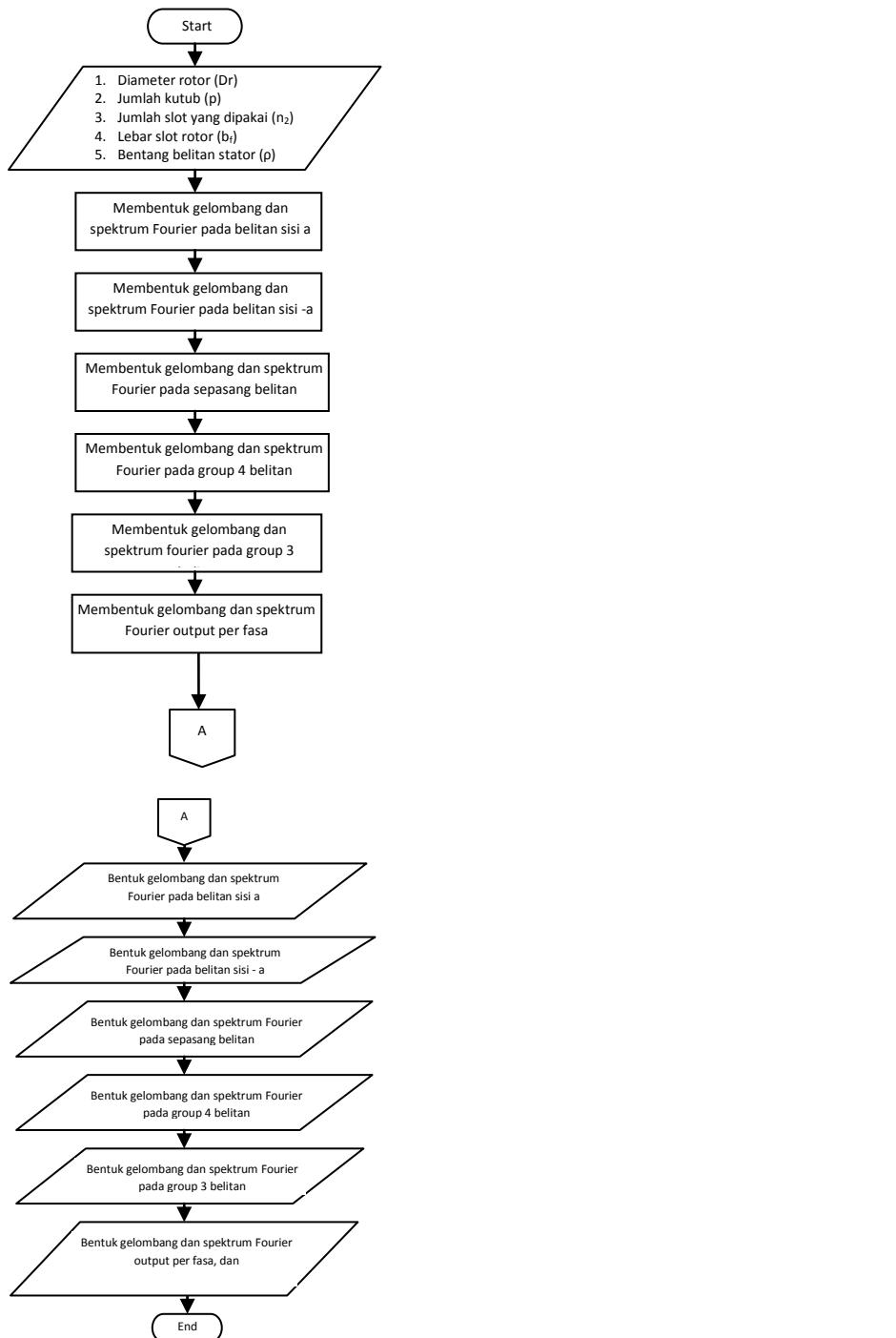
## Metodologi dan Flowchart Proses Simulasi

Dalam pembuatan sebuah program simulasi ini, perlu diperhatikan hal-hal yang berhubungan dengan tujuan dari pembuatan program simulasi ini. Tahapan dalam penulisan tugas akhir ini diawali dengan pengambilan data dari bentuk generator sinkron yang sudah ada untuk dijadikan masukan dalam pembuatan program simulasi dalam perhitungan harmonisa dalam perancangan belitan stator generator sinkron. Gelombang yang dihasilkan yaitu gelombang kerapatan fluks ( $B$ ) pada rotor yang menginduksi belitan stator melalui celah udara.

Berikut ini adalah *flowchart* dari pembentukan gelombang kerapatan fluks (B) per fasa dan nilai THDnya:

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

*Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009*



Gambar 10 Flowchart program simulasi gelombang output per fasa dan perhitungan THD

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

## Perhitungan Data Generator

### 1. Data Generator Sinkron

Daya pada generator (S)	: 300 kVA
Tegangan (V)	: 660 Volt
Arus (I)	: 262,43 A
Putaran nominal (n <sub>n</sub> )	: 1200 rpm
Frekuensi (Hz)	: 60 Hz
PF	: 0,95 lagging
Jumlah kutub (p)	: 6
Jumlah fasa (m)	: 3

### 2. Data pada Rotor

Diameter rotor (Dr) : 346 mm

Jumlah slot pada rotor(S<sub>2</sub>) : 54

Jumlah slot yang digunakan (s<sub>2</sub>) : 36

Jadi dari 54 slot yang ada hanya 36 slot yang dipakai atau 2/3 slot yang dipakai, hal itu bertujuan untuk mendapatkan bentuk gelombang yang mendekati sinus.

### 3. Perhitungan Slot Pada Rotor

$$\text{Bentang kutub rotor}(\tau_r), \quad \tau_r = \frac{\pi \cdot Dr}{p} = \frac{\pi \cdot 346}{6} = 181.165 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar kutub rotor (w}_f\text{),} \quad 0.2\tau_r \leq w_f \leq 0.3\tau_r$$

$$W_f = 0.25 * \tau_r = 45.29 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah slot/setengah kutub(n}_r\text{),} \quad n_r = \frac{s_2}{2p} = \frac{36}{2.6} = 3 \text{ slot}$$

$$\text{Bentang sudut rotor}(\gamma_2), \quad \gamma_2 = \frac{\pi \cdot Dr - p \cdot W_f}{2 \cdot Dr \cdot n_r} = \frac{\pi \cdot (346) - 6(45.29)}{2 \cdot (346)(3)}$$

$$\gamma_2 = 0.3927 \text{ radian listrik}$$

$$\gamma_2 = 29.869 \text{ derajat listrik}$$

### 4. Data stator

Diameter stator (D) : 349 mm

Jumlah slot pada stator (S<sub>1</sub>) : 60

### 5. Perhitungan Faktor Belitan (Kw) pada Stator

$$kw = kd \cdot kp$$

dengan: kw adalah faktor belitan

kd adalah faktor distribusi

kp adalah faktor bentangan

$$kd = \frac{\sin \frac{Ns \cdot \gamma / 2}{2}}{Ns \cdot \sin \frac{\gamma / 2}{2}}$$

dengan: Ns adalah jumlah slot per kutub per fasa

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

$\gamma$  adalah bentang sudut stator dalam derajat listrik

$$kp = \cos\left(\frac{180 - \rho}{2}\right) = \sin\left(\frac{\rho}{2}\right)$$

dengan:  $\rho$  adalah bentang kumparan

Jadi:  $kw = kd \cdot kp$

$$kw = \frac{\sin\left(\frac{Ns \cdot \gamma}{2}\right)}{Ns \cdot \sin\left(\frac{\rho}{2}\right)} \sin\left(\frac{\rho}{2}\right)$$

$$\text{jumlah slot per kutub} = \frac{S_1}{p} = \frac{60}{6} = 10 \text{ slot/kutub}$$

$$\text{bentang sudut stator} = \frac{\rho \cdot 180}{S_1} = \frac{6 \cdot 180}{60} = 18^\circ \text{ listrik per slot}$$

$$\text{jumlah slot/kutub/fasa} = \frac{S_1}{m \cdot p} = \frac{60}{3 \cdot 6} = 3.33 \text{ jadi}$$

pada penerapan sesunguhnya jumlahnya adalah 3 dan 4 slot/kutub/fasa.

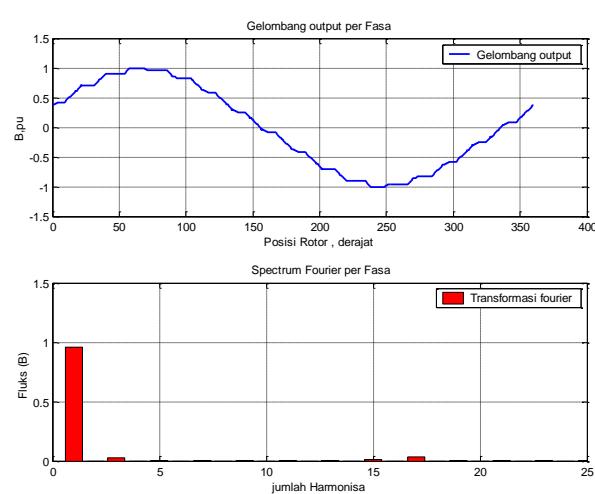
Kombinasi bentang coil yang mungkin di gunakan

$$\text{pada bentang koil penuh} \quad \rho_1 = \frac{10}{10} \times 80^\circ = 180^\circ$$

$$kw = \frac{\sin\left(0/3 \times 180/2\right)}{10/3 \times \sin\left(80/2\right)} = 0.9589$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan didapat nilai faktor distribusi ( $kd$ ), faktor bentangan ( $kp$ ) dan faktor belitan ( $kw$ ). Hasil dari simulasi program berupa gelombang keluaran kerapatan fluks (B) per fasa dan nilai THD. Dari gelombang keluaran itu dilakukan analisa menggunakan deret Fourier. Dari kedua hasil itu penulis bandingkan untuk kemudian dievaluasi berdasarkan standar harmonisa yang telah ditetapkan.

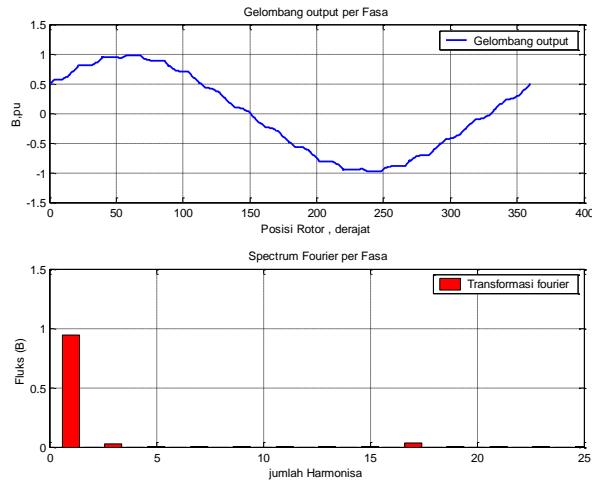


Gambar 4. 1 Gelombang output per fasa dan spektrum fouriernya pada bentang belitan  $180^\circ$  listrik

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

*Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009*

Gambar 4.2 menunjukkan gelombang output per fasa dan spektrum fouriernya pada bentang belitan  $180^\circ$  listrik yaitu pada bentang belitan 10 slot dari 10 slot yang tersedia per kutubnya atau 10/10 slot per kutub yang biasa disebut bentang belitan penuh, dengan nilai faktor distribusi ( $kd$ ) adalah 0.9589, faktor bentangan ( $kp$ ) adalah 1, faktor belitan ( $kw$ ) adalah 0.9589 dan nilai THD adalah 5.3830%.

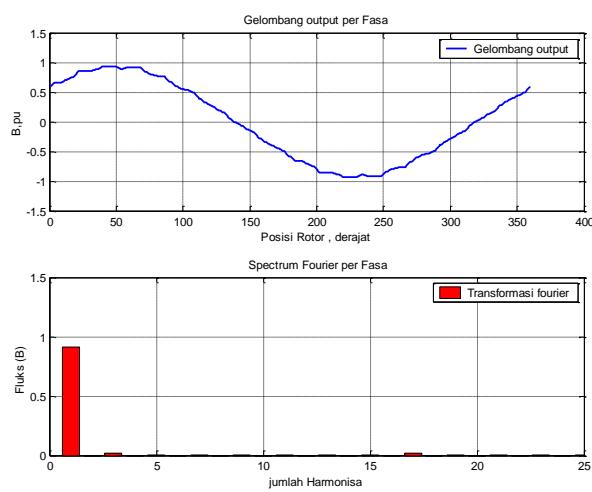


Gambar 4. 2 Gelombang output per fasa dan spektrum fouriernya pada bentang belitan  $162^\circ$  listrik

Gambar 4.3 menunjukkan gelombang output per fasa dan spektrum fouriernya pada bentang belitan  $180^\circ$  listrik yaitu pada bentang belitan 9/10 slot per kutub yang biasa disebut bentang belitan penuh, dengan nilai faktor distribusi ( $kd$ ) adalah 0.9589, faktor bentangan ( $kp$ ) adalah 0.9877, faktor belitan ( $kw$ ) adalah 0.9471 dan nilai THD adalah 4.7721%.

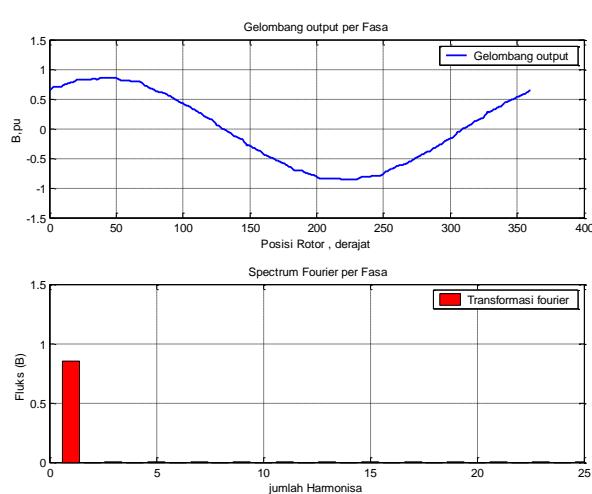
# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

*Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009*



Gambar 4. 3 Gelombang output per fasa dan spektrum fouriernya pada bentang belitan  $144^\circ$  listrik

Gambar 4.4 menunjukkan gelombang output per fasa dan spektrum fouriernya pada bentang belitan  $180^\circ$  listrik yaitu pada bentang belitan 8/10 slot per kutub yang biasa disebut bentang belitan penuh, dengan nilai faktor distribusi ( $kd$ ) adalah 0.9589, faktor bentangan ( $kp$ ) adalah 0.9511, faktor belitan ( $kw$ ) adalah 0.9119 dan nilai THD adalah 3.2766%.



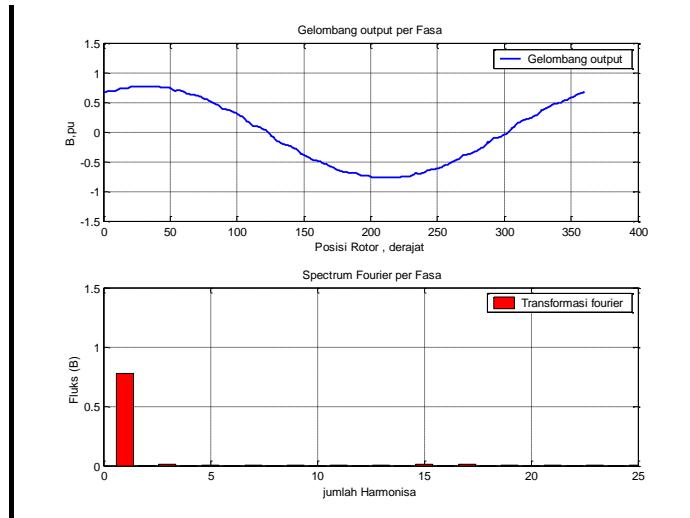
Gambar 4. 4 Gelombang output per fasa dan spektrum fouriernya pada bentang belitan  $126^\circ$  listrik

Gambar 4.5 menunjukkan gelombang output per fasa dan spektrum fouriernya pada bentang belitan  $180^\circ$  listrik yaitu pada bentang belitan 7/10 slot per kutub yang biasa

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

*Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009*

disebut bentang belitan penuh, dengan nilai faktor distribusi (*kd*) adalah 0.9589, faktor bentangan (*kp*) adalah 0.8910, faktor belitan (*kw*) adalah 0.8544 dan nilai THD adalah 1.8891%.



Gambar 4. 5 Gelombang output per fasa dan spektrum fouriernya pada bentang belitan  $108^\circ$  listrik

Gambar 4.6 menunjukkan gelombang output per fasa dan spektrum fouriernya pada bentang belitan  $180^\circ$  listrik yaitu pada bentang belitan 6/10 slot per kutub yang biasa disebut bentang belitan penuh, dengan nilai faktor distribusi (*kd*) adalah 0.9589, faktor bentangan (*kp*) adalah 0.8090, faktor belitan (*kw*) adalah 0.7757 dan nilai THD adalah 2.8261%.

Tabel 4.1. kombinasi bentang kumparan ( $\rho$ ) pada stator yang mungkin di gunakan, faktor belitan (*kw*) dan THD hasil dari simulasi.

Bentang kumparan $\rho$ (derajat listrik)	Faktor distribusi <i>kd</i>	Faktor bentangan <i>kp</i>	Faktor belitan <i>kw</i>	THD (%)
$\rho = (10/10) * 180 = 180$	0.9589	1.0000	0.9589	5.3830
$\rho = (9/10) * 180 = 162$	0.9589	0.9877	0.9471	4.7721
$\rho = (8/10) * 180 = 144$	0.9589	0.9511	0.9119	3.2766
$\rho = (7/10) * 180 = 126$	0.9589	0.8910	0.8544	1.8891
$\rho = (6/10) * 180 = 108$	0.9589	0.8090	0.7757	2.8261

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

*Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009*

## KESIMPULAN

1. Sesuai dengan standar IEEE 519-1992 THD pada tegangan dibawah 69 kV adalah 5%, maka Bentang belitan pada tabel masih di bawah standar kecuali pada bentang 180 derajat listrik yaitu pada bentang belitan penuh, yaitu jarak bentang belitannya 10 slot dari 10 slot per kutubnya dengan nilai THD = 5.3830%.
2. Nilai THD terkecil yaitu 1.8891 % pada bentang belitan 126 derajat listrik atau 7/10 slot perkutub.
3. tetapi yang dipilih pada bentang belitan  $144^\circ$  listrik atau 8/10 slot perkutub dengan dengan nilai THD 3.2766% dengan pertimbangkan faktor belitan ( $kw$ ) adalah 0.9119 yang menentukan banyaknya belitan yang dipasang pada stator.
4. Pada bentang belitan ( $\rho$ )  $162^\circ$  listrik atau 9/10 slot per kutub dengan nilai THD adalah 4.7221% lebih besar dari bentang belitan  $144^\circ$  listrik atau 8/10 slot per kutub dengan nilai THD adalah 3.2766% sehingga tidak dipilih dalam menentukan bentangan belitan stator.
5. Pada bentang belitan ( $\rho$ )  $126^\circ$  listrik dan  $108^\circ$  listrik atau 7/10 dan 6/10 slot per kutub, nilai THD adalah 1.8891% dan 2.8261% lebih kecil dari bentang belitan  $144^\circ$  listrik atau 8/10 slot per kutub dengan nilai THD adalah 3.2766% tetapi dari nilai faktor belitan  $kw$  pada bentang belitan ( $\rho$ )  $126^\circ$  listrik dan  $108^\circ$  listrik atau 7/10 dan 6/10 slot per kutub adalah 0.8544 dan 0.7757 lebih kecil dari bentang belitan  $144^\circ$  listrik atau 8/10 slot per kutub adalah 0.9119 sehingga dibutuhkan lebih banyak belitan dan banyaknya biaya untuk mendapatkan nilai THD tersebut. Sehingga pada bentang belitan 7/10 dan 6/10 tidak dipilih.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Abdul Kadir. "Mesin Serempak". Jambatan. Jakarta. 1983.
2. Daniel Rohi, Dion Dwipayana Utomo Ontoseno Penangsang. "Evaluasi Harmonisa di Sisi Pelanggan Sektor Domestik yang Menggunakan Daya  $250\text{ VA} \leq \text{daya} \leq 2200\text{ VA}$ ". Jurnal Teknik Elektro Universitas Kristen Petra. Surabaya. 2008.
3. Fitzgerald. A.E, Charles Kingsley, Jr, Stephen D. Umans. "Mesin-mesin Listrik". Erlangga. Jakarta. 1992.
4. Jimmie J. Cathey. "Electricmachines Analysis and Design Applying Matlab". International Edition. 2001.
5. Julius Sentosa Setiadji, Tabrani Machmudsyah, Yohanes Cipta Wijaya. "Pengaruh Harmonisa pada Gardu Trafo Tiang Daya 100 kVA di PLN APJ Surabaya Selatan". Jurnal Teknik Elektro. Universitas Kristen Petra. Surabaya.
6. Mack Grady. "Understanding Power System Harmonics". June 2006.
7. Nanan Tribuana, Wanhar. "Pengaruh Harmonik pada Transformator Distribusi". Jurnal ELEKTRO INDONESIA Nomor 25. Tahun V. April. 1999.
8. Richard P. Bingham. "HARMONICS - Understanding the Facts".
9. SQUARE D. "Power System Harmonics Causes and Effects of Variable Frequency Drives Relative to the IEEE 519-1992 Standard". Bulletin No. 8803PD9402. August. 1994.

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

---

*Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009*

Zuhal, “*Dasar Teknik Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya*”. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta. 2000.

