

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 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 menentukan 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, kenyataannya 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 per kutub 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^[3,10]

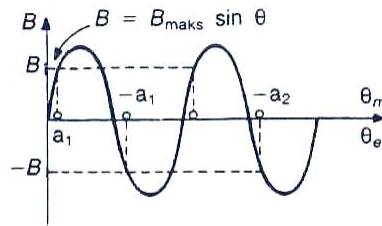
Generator sinkron mempunyai belitan jangkar pada stator dan belitan medan pada rotor. Belitan jangkarnya berbentuk sama dengan generator induksi, sedangkan belitan medan generator sinkron dapat berbentuk kutub sepatu (*salient*) atau kutub menonjol dan kutub dengan celah udara sama rata (rotor silindris).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

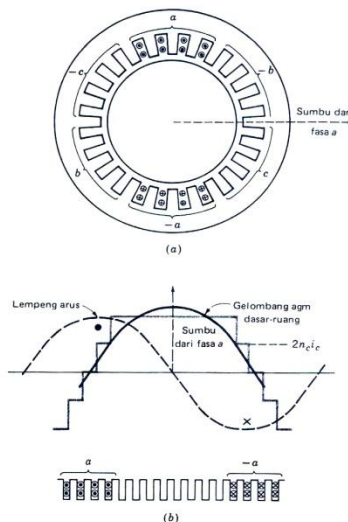


Gambar 1 Pembagian ruang dari kerapatan fluks pada sebuah generator sinkron 4 kutub

Gaya Gerak Magnet Pada Belitan Terbagi^[1,3]

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.

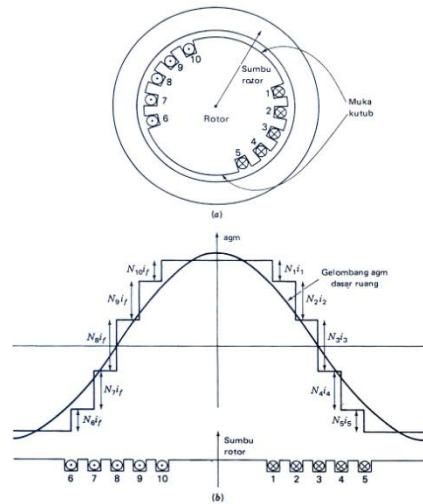
Gambar 2 b memperlihatkan sebuah kutub dari belitan tersebut yang diletakkan mendatar. Gelombang ggm-nya merupakan sederetan anak-tangga masing-masing setinggi $2n_c i_c$ sama dengan amper konduktor di dalam slot, di mana i_c merupakan arus kumparan. Komponen dasar-ruangnya tampak berupa gelombang sinus.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

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

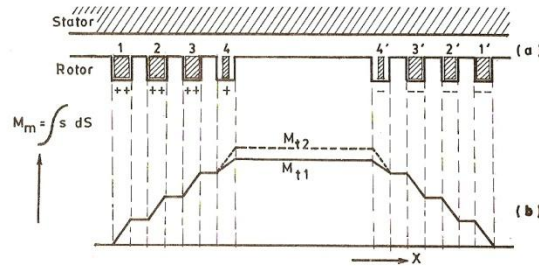
- Dengan:
- Fa1 = ggm pada fasa a
 - k_w = faktor belitan
 - N_{ph} = jumlah belitan seri per fasa
 - i = arus (ampere)
 - p = jumlah kutub

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 +(-).



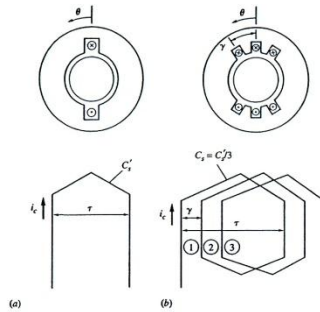
Gambar 4 (a) Letak rotor silindris terhadap stator dan (b) Fungsi medan magnet $M = M_m(x)$

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.

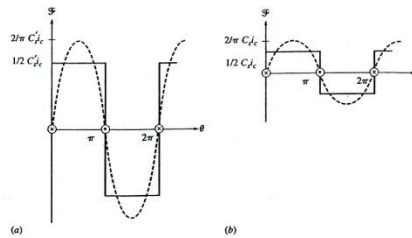
Faktor Belitan^[4]

Faktor Distribusi (k_d)

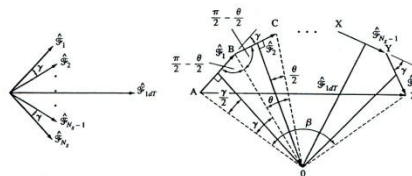
Jika semua konduktor per kutub (C_s') pada suatu mesin AC fasa tunggal di pusatkan pada satu slot, maka slot menjadi terlalu lebar dan coil menjadi terlalu besar sehingga berdampak negatif pada disain laminasi dan ukuran belitan akhir. Solusi praktis dari masalah diatas adalah dengan cara membagi belitan 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



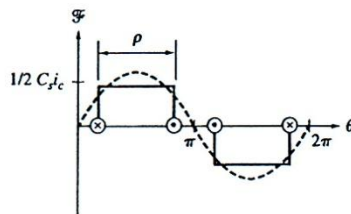
Gambar 7 fasor tegangan pada belitan dan jumlah fasornya

Faktor Bentangan

Bila menempatkan belitan-belitan ke dalam slot-slot pada mesin AC, sering kali jarak sisi belitan kurang dari bentang kutub (τ) terpisah, sebagai suatu metoda yang efektif untuk mengurangi komponen-komponen harmonisa 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:

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

- Dengan: F_{1d} = Ggm dasar pada celah udara dengan belitan terpusat
 C_s = konduktor per sisi belitan
 i_c = arus pada belitan (A)
 ρ = 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:

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

- Dengan: k_p = faktor bentangan
 ρ = 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).

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

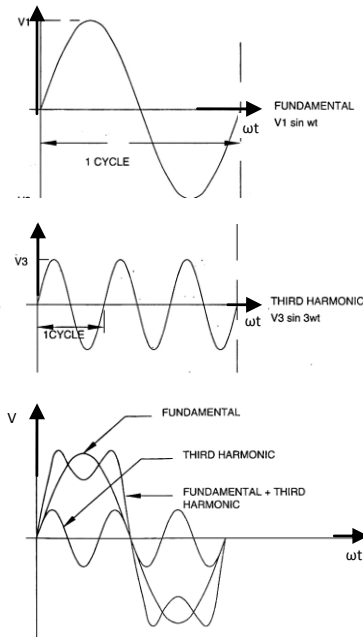
Sehingga, jika mesin AC punya N_ϕ putaran per fasa, belitan sebenarnya akan digantikan oleh belitan terpusat dengan N_{eff} putaran, dimana:

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

- Dengan : N_{eff} = petaran efektif per fasa
 k_w = faktor belitan
 N_ϕ = putaran fluksi per fasa

Harmonisa

Harmonisa adalah gejala pembentukan 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 Penjumlahannya

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

$$f(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ A_n \cos\left(\frac{2\pi n t}{T}\right) + B_n \sin\left(\frac{2\pi n t}{T}\right) \right\} \dots\dots\dots(5)$$

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

$$V_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \dots\dots\dots(6)$$

dengan :

V_n = Nilai tegangan harmonisa

V_1 = Nilai fundamental

n = Komponen harmonisa maksimum yang diamati

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

dengan :

I_n = Nilai arus harmonisa

I_1 = Nilai fundamental

n = Komponen harmonisa maksimum yang diamati

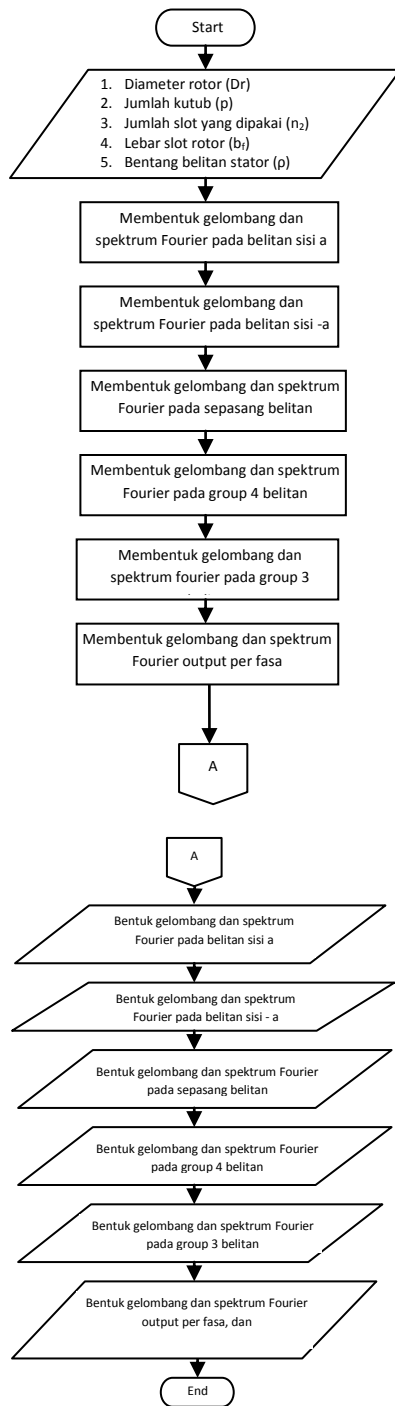
ANALISIS PERHITUNGAN HARMONISA DALAM PERANCANGAN BELITAN STATOR

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:





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

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_n)	: 1200 rpm
Frekuensi (Hz)	: 60 Hz
PF	: 0,95 lagging
Jumlah kutub (p)	: 6
Jumlah fasa (m)	: 3

2. Data pada Rotor

Diameter rotor (D_r)	: 346 mm
Jumlah slot pada rotor (S_2)	: 54
Jumlah slot yang digunakan (s_2)	: 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

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

$$\text{Lebar kutub rotor } (w_f), \quad 0.2\tau_r \leq w_f \leq 0.3\tau_r$$
$$W_f = 0.25 \cdot \tau_r = 45.29 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah slot/setengah kutub } (n_r), \quad n_r = \frac{s_2}{2p} = \frac{36}{2 \cdot 6} = 3 \text{ slot}$$

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

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

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

4. Data stator

Diameter stator (D)	: 349 mm
Jumlah slot pada stator (S_1)	: 60

5. Perhitungan Faktor Belitan (K_w) pada Stator

$$k_w = k_d \cdot k_p$$

dengan: k_w adalah faktor belitan

k_d adalah faktor distribusi

k_p adalah faktor bentangan

$$k_d = \frac{\sin \left(N_s \cdot \frac{\gamma}{2} \right)}{N_s \cdot \sin \left(\frac{\gamma}{2} \right)}$$

dengan: N_s adalah jumlah slot per kutub per fasa

γ adalah bentang sudut stator dalam derajat listrik

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

dengan: ρ adalah bentang kumparan

Jadi: $k_w = kd.kp$

$$k_w = \frac{\sin(N_s \cdot \gamma/2)}{N_s \cdot \sin(\rho/2)} \cdot \sin(\rho/2)$$

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

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

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

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

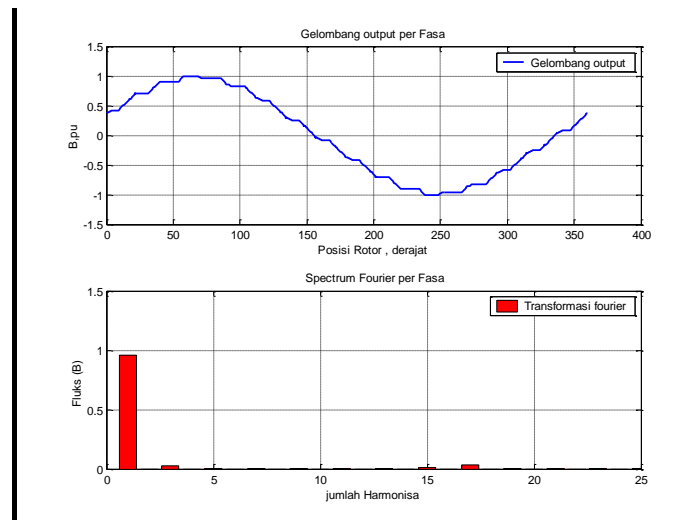
Kombinasi bentang coil yang mungkin di gunakan

pada bentang coil penuh $\rho_1 = \frac{10}{10} \cdot 180^\circ = 180^\circ$

$$k_w = \frac{\sin(3 \cdot 18/2)}{10/3 \cdot \sin(18/2)} \cdot \sin(18/2) = 0,9589$$

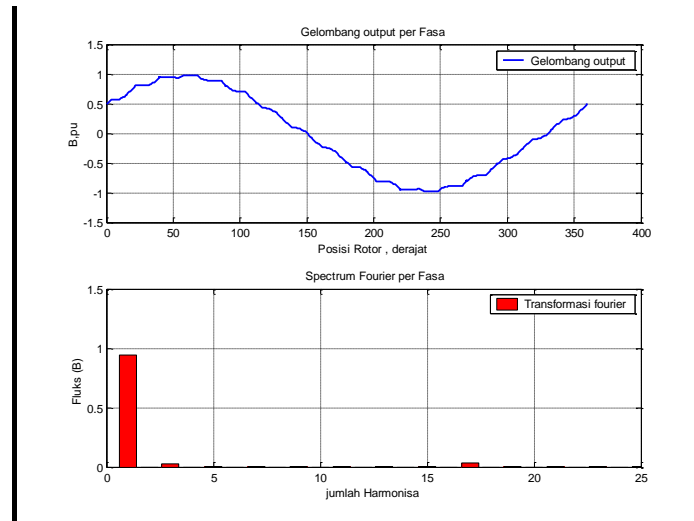
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan didapat nilai faktor distribusi (kd), faktor bentangan (kp) dan faktor belitan (k_w). 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.



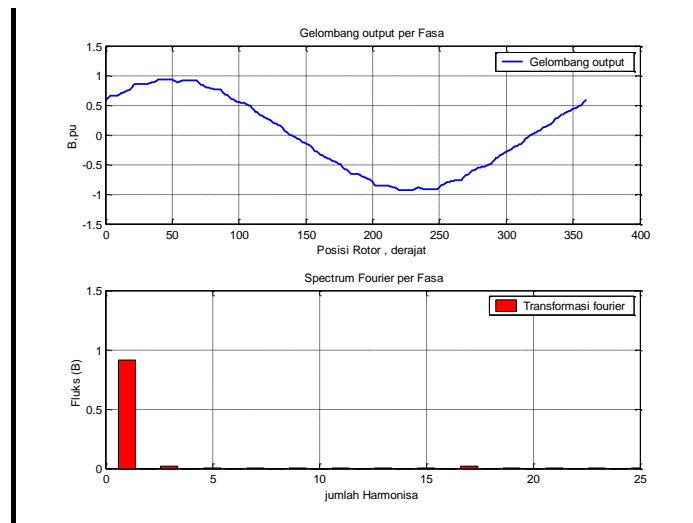
Gambar 4. 1 Gelombang output per fasa dan spektrum fouriernya pada bentang belitan 180° listrik

Gambar 4.2 menunjukkan gelombang output per fasa dan spektrum fouriernya pada bentang belitan 180° 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%.



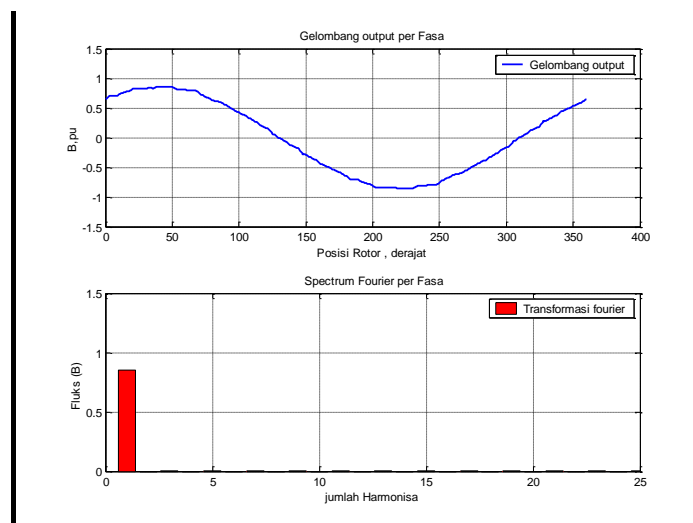
Gambar 4. 2 Gelombang output per fasa dan spektrum fouriernya pada bentang belitan 162° listrik

Gambar 4.3 menunjukkan gelombang output per fasa dan spektrum fouriernya pada bentang belitan 180° 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%.



Gambar 4. 3 Gelombang output per fasa dan spektrum fouriernya pada bentang belitan 144° listrik

Gambar 4.4 menunjukkan gelombang output per fasa dan spektrum fouriernya pada bentang belitan 180° listrik yaitu pada bentang belitan 8/10 slot per kutub yang biasa disebut bentang belitan penuh, dengan nilai faktor distribusi (k_d) adalah 0.9589, faktor bentangan (k_p) adalah 0.9511, faktor belitan (k_w) adalah 0.9119 dan nilai THD adalah 3.2766%.



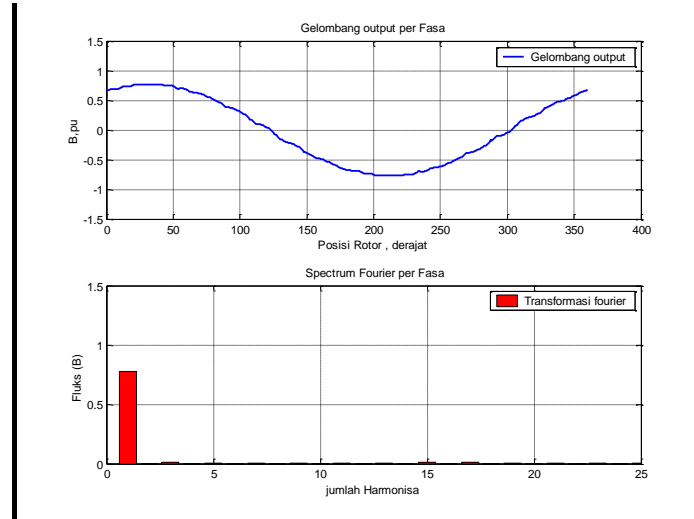
Gambar 4. 4 Gelombang output per fasa dan spektrum fouriernya pada bentang belitan 126° listrik

Gambar 4.5 menunjukkan gelombang output per fasa dan spektrum fouriernya pada bentang belitan 180° 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° listrik

Gambar 4.6 menunjukkan gelombang output per fasa dan spektrum fouriernya pada bentang belitan 180° 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 (ρ) pada stator yang mungkin di gunakan, faktor belitan (kw) dan THD hasil dari simulasi.

Bentang kumparan ρ (derajat listrik)	Faktor distribusi kd	Faktor bentangan kp	Faktor belitan kw	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 per kutub.
3. tetapi yang dipilih pada bentang belitan 144° listrik atau 8/10 slot per kutub dengan dengan nilai THD 3.2766% dengan pertimbangan faktor belitan (k_w) adalah 0.9119 yang menentukan banyaknya belitan yang dipasang pada stator.
4. Pada bentang belitan (ρ) 162° listrik atau 9/10 slot per kutub dengan nilai THD adalah 4.7221% lebih besar dari bentang belitan 144° 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 (ρ) 126° listrik dan 108° listrik atau 7/10 dan 6/10 slot per kutub, nilai THD adalah 1.8891% dan 2.8261% lebih kecil dari bentang belitan 144° listrik atau 8/10 slot per kutub dengan nilai THD adalah 3.2766% tetapi dari nilai faktor belitan k_w pada bentang belitan (ρ) 126° listrik dan 108° listrik atau 7/10 dan 6/10 slot per kutub adalah 0.8544 dan 0.7757 lebih kecil dari bentang belitan 144° 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 VA \leq daya \leq 2200 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.

