

ANALISA FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI TINGKAT HARMONISA PADA MOTOR INDUKSI TIGA FASA TIPE ROTOR SANGKAR TUPAI

Luqman Assaffat¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Semarang
Jl. Kasipah no 10 -12 Semarang – Indonesia
e_mail : assaffat@yahoo.com

ABSTRAK

Motor induksi tiga fasa tipe rotor sangkar tupai sangat banyak dan lazim digunakan pada dunia industri, terutama pada industri manufakturing. Walaupun motor induksi tiga fasa mempunyai banyak keuntungan dan kelebihan, terdapat beberapa sisi negatif dari penggunaan motor induksi jenis ini, yaitu timbulnya harmonisa yang dapat mengurangi kualitas daya listrik. Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya harmonisa yang dihasilkan oleh motor induksi tiga fasa, dapat dilakukan dengan pengujian tanpa beban, dengan alat ukur Power Quality Analyzer A3Q. Pengujian kualitas daya pada motor induksi ini, dilakukan terhadap beberapa variabel, antara lain variabel tegangan, variabel kapasitas daya, dan variabel kecepatan motor induksi tersebut. Hasil pengujian menunjukkan bahwa Total Harmonics Distortion dari motor induksi tiga fasa tipe rotor sangkar tupai dipengaruhi oleh perubahan tegangan kerja, kapasitas daya dan kecepatan motor induksi tiga fasa tersebut. Selain itu, harmonisa urutan yang dominan muncul adalah harmonisa urutan ke tiga.

Kata kunci : motor induksi tiga fasa, harmonisa, kualitas daya, PQ analyzer

Pendahuluan

Di dalam industri, suatu produk dihasilkan dari bahan baku atau bahan mentah, yang kemudian melalui suatu tahapan-tahapan yang disebut proses produksi. Setiap industri mempunyai tahapan – tahapan proses yang berbeda – beda, sesuai dengan jenis produk yang dihasilkannya.

Mesin – mesin produksi di industri digerakkan oleh motor – motor listrik, di mana jenis motor listrik yang luas di gunakan adalah motor induksi, khususnya motor induksi tiga fasa tipe rotor sangkar tupai. Luasnya penggunaan motor induksi tiga fasa tipe rotor sangkar tupai pada sektor industri ini karena beberapa keuntungan yaitu harganya yang murah, konstruksinya yang sederhana dan perawatannya yang relatif lebih mudah jika dibandingkan dengan jenis motor listrik yang lain.

Motor induksi tiga fasa adalah suatu mesin listrik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik berupa putaran motor dengan prinsip – prinsip induksi elektromagnetik. Prinsip – prinsip induksi elektromagnetik ini membuat motor induksi mempunyai sifat saturasi atau kejenuhan, yaitu suatu keadaan di mana pada titik tertentu, arus listrik yang dihasilkan tidak sebanding dengan kenaikan tegangan yang diberikan pada motor, dan bahkan akan cenderung tetap. Karena sifat kejenuhan tersebut, maka motor induksi dikelompokkan ke dalam jenis beban tak linier.

Di dalam sistem tenaga listrik, beban tak linier menghasilkan suatu harmonisa, yaitu gelombang yang mempunyai frekuensi dengan kelipatan frekuensi dasarnya. Pengaruh harmonisa ini pada sistem tenaga listrik (sisi pemasok) adalah meningkatnya impedansi jaringan saluran transmisi sehingga meningkatkan rugi-rugi tembaga dan fluks. Pada transformator daya akan menyebabkan meningkatnya rugi-rugi besi, arus bocor dan stress pada isolasi sehingga akan mengakibatkan pemanasan berlebihan pada transformator daya. Pada sisi beban (konsumen listrik), pengaruh harmonisa menyebabkan peralatan listrik akan bekerja dengan tidak semestinya.

Studi tentang harmonisa pada motor induksi tiga fasa sebenarnya telah banyak dilakukan. Namun kajian tentang harmonisa selama ini lebih banyak pada akibat yang ditimbulkan harmonisa pada sistem tenaga listrik yang dihasilkan oleh motor induksi, atau kinerja motor induksi itu sendiri jika diberikan suatu tegangan yang mengandung harmonisa, bukan dititik beratkan pada motor induksi sebagai penghasil harmonisa.

Kajian tentang harmonisa pada motor induksi tiga fasa khususnya tipe rotor sangkar tupai yang dititik beratkan pada sisi beban (motor induksi) dapat dilakukan dengan cara menganalisa apakah tingkat harmonisa (THD) yang ditimbulkan oleh motor induksi tiga fasa tersebut dipengaruhi oleh faktor – faktor seperti rating daya motor, tegangan yang diberikan atau kecepatan putar motor. Penelitian ini perlu dilakukan untuk mengetahui faktor dominan yang mempengaruhi tingkat harmonisa yang dihasilkan oleh motor induksi tiga fasa tersebut.

Dengan diketahuinya faktor – faktor yang mempengaruhi tingkat harmonisa (THD) pada motor induksi tiga fasa, sektor industri sebagai pengguna beban jenis ini dapat melakukan suatu langkah-langkah tertentu untuk mengurangi tingkat harmonisa yang dihasilkannya . Sehingga sektor industri dapat menekan tingkat harmonisa yang disumbangkan ke sistem tenaga listrik karena penggunaan motor induksi tiga fasa tipe rotor sangkar tupai secara luas, di mana 70% beban listrik di industri adalah motor induksi tiga fasa .

2. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah :

- 1.Menganalisa pengaruh rating daya terhadap tingkat harmonisa (THD) yang dihasilkan pada motor induksi tiga fasa tipe rotor sangkar tupai
- 2.Menganalisa pengaruh tegangan masukan yang diberikan motor induksi tiga fasa tipe rotor sangkar tupai terhadap tingkat harmonisa (THD) yang ditimbulkannya
3. Menganalisa pengaruh putaran motor induksi tiga fasa tipe rotor sangkar tupai terhadap tingkat harmonisa (THD) yang dihasilkannya

3. Harmonisa

Pada sistem satu fasa pengaruh yang ditimbulkan oleh harmonisa adalah terjadinya distorsi gelombang arus dan tegangan. Akibat langsung yang teramati dari gangguan ini adalah bertambahnya arus yang mengalir pada netral (Stevenson, 1996). Pengaruh lain yang sering timbul berupa distorsi yang menyebabkan bentuk gelombang sinusoidal terganggu (Lewis dan Houdek, 1999).

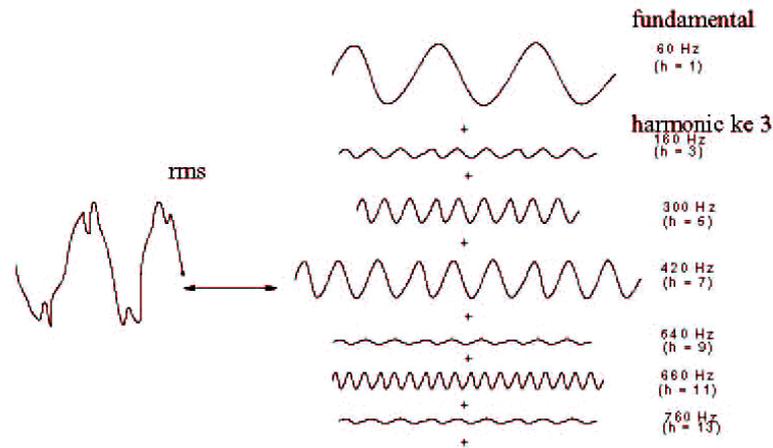
Dalam melakukan pengukuran harmonisa, digunakan suatu peralatan khusus yang dapat diketahui urutan harmonisa yang muncul dan tingkat harmonisa yang ditimbulkannya. Sumber utama harmonik pada sistem tenaga konvensional adalah beban tak linier. Beban tak linear menyebabkan arus bervariasi tak sebanding dengan tegangan selama setiap setengah periode, sehingga arus dan tegangan akan terdistorsi. Standar IEEE 519-1992 menggolongkan beban tak linear atas tiga tipe yaitu:

1. peralatan elektronika daya seperti konverter,
2. peralatan yang menimbulkan busur api (*arcing devices*) seperti *arc furnaces*, lampu *fluorescent*, dan
3. peralatan dengan saturasi inti ferromagnetik (motor induksi, transformator).

3.1. Harmonisa Dalam Sistem Tenaga

Harmonisa adalah suatu gelombang yang berbentuk sinusoida (tegangan dan arus listrik) yang mempunyai frekuensi dengan nilai kelipatan dari frekuensi dasarnya. Pada dasarnya, harmonisa merupakan gejala pembentukan gelombang-gelombang dengan

frekuensi berbeda yang merupakan perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya. Frekuensi dasar sistem tenaga listrik di Indonesia adalah 50 Hz, sehingga suatu harmonisa mempunyai frekuensi dengan nilai kelipatan dari 50 Hz. Sehingga harmonisa keduanya adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 100 Hz, harmonik ketiga adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 150 Hz dan seterusnya. Gelombang-gelombang ini kemudian menumpang pada gelombang murni/aslinya sehingga terbentuk gelombang cacat yang merupakan jumlah antara gelombang murni sesaat dengan gelombang harmoniknya.



Gambar 1. Bentuk gelombang harmonisa dengan frekuensi dasar 60 Hz

3.2. Distorsi Harmonisa

Harmonisa dapat menyebabkan suatu distorsi harmonisa, yaitu suatu gangguan yang terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik akibat terjadinya distorsi gelombang arus dan tegangan. Tingkat distorsi harmonisa dijelaskan melalui spektrum harmonisa yang lengkap dengan magnitudo dan sudut fase masing – masing komponen harmonisa tunggal. Hal yang juga umum untuk kuantitas tunggal, *Total Harmonics Distortion* (THD)/Distorsi Total Harmonisa , sebagai ukuran nilai efektif dari distorsi harmonisa.

Nilai Distorsi Harmonisa Total (THD) dari suatu gelombang dapat dihitung dengan formula :

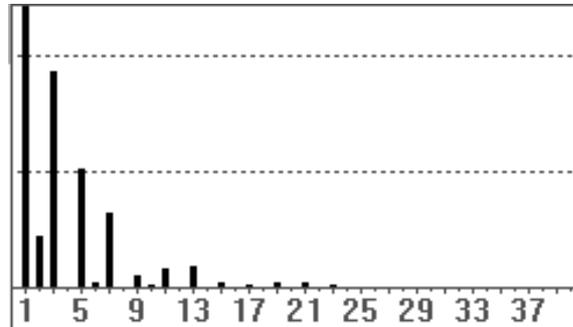
$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} M_h^2}}{M_1} \dots\dots\dots(1)$$

Di mana M_h adalah nilai rms komponen harmonisa h dari kuantitas M . Nilai rms dari total bentuk gelombang bukanlah penjumlahan dari setiap komponen harmonisa, tetapi akar kuadrat dari penjumlahan kuadratnya.

Hubungan THD dengan nilai rms dari gelombang adalah :

$$rms = \sqrt{\sum_{h=1}^{h_{max}} M_h^2} = M_1 + \sqrt{1+THD^2} \dots\dots\dots(2)$$

Tegangan harmonisa selalu dijadikan suatu pedoman untuk nilai dasar dari bentuk gelombang sesaat. Karena tegangan mempunyai persentase perbedaan yang kecil, di mana THD tegangan adalah pendekatan dari jumlah yang sebenarnya. Hal ini tidak berlaku untuk arus listrik, karena sebuah arus yang mempunyai nilai kecil dapat menghasilkan THD yang tinggi, sehingga tidak dapat digunakan untuk menggambarkan keadaan suatu sistem.



Gambar 2. Spektrum harmonisa

Standar harmonisa berdasarkan standar IEEE 512-1992. Ada dua kriteria yang digunakan untuk mengevaluasi distorsi harmonisa. Yaitu batasan untuk harmonisa arus, dan batasan untuk harmonisa tegangan. Untuk standard harmonisa arus, ditentukan oleh rasio $I_{SC}/I_L \cdot I_{SC}$ adalah arus hubung singkat yang ada pada PCC (*Point of Common Coupling*), sedangkan I_L adalah arus beban fundamental nominal. Sedangkan untuk standard harmonisa tegangan ditentukan oleh tegangan sistem yang dipakai.

Tabel 1. Batas distorsi tegangan (dalam % Vi)

Tegangan PCC	Harmonis a Individual (%)	THD_V (%)
<20	4,0	2,0
20 – 50	7,0	3,5
50 – 100	10,0	4,5
100 – 1000	12,0	5,5
> 1000	15,0	7,0

4. Motor Induksi Tiga Fasa Tipe Rotor Sangkar Tupai Sebagai Sumber Harmonisa

Motor induksi tiga fasa adalah suatu mesin listrik yang mengubah energi listrik arus bolak-balik menjadi energi mekanik dengan prinsip-prinsip induksi magnetik. Apabila suatu motor induksi diberikan tegangan tiga fasa pada terminal statornya, maka akan timbul suatu medan magnet yang berputar pada kumparan statornya dengan kecepatan putar (n_s), yang besarnya dipengaruhi oleh frekuensi sumber tegangan (f_s) dan jumlah kutub magnet (p), di mana :

$$n_s = \frac{120 \cdot f_s}{p} \dots\dots\dots(3)$$

Medan magnet putar tersebut bergerak dan akan memotong batang-batang konduktor yang terdapat pada rotor, sehingga akan diinduksikan suatu tegangan gaya gerak listrik (E_2), yang besarnya dipengaruhi oleh frekuensi putar rotor (f_r), jumlah belitan rotor (N_2) dan fluks magnet yang terjadi (Φ_m), di mana :

$$E_2 = 4,44 \cdot f_r \cdot N_2 \cdot \Phi_m \dots\dots\dots(4)$$

Di dalam rangkaian rotor akan timbul arus listrik, karena terdapatnya tegangan ggl dan rotor merupakan rangkaian tertutup. Apabila terdapat arus listrik di dalam medan magnet, akan menimbulkan gaya yang akan menyebabkan rotor akan berputar. Perputaran rotor ini akan terjadi apabila terdapat slip (s), yaitu nilai perbedaan kecepatan putar medan magnet yang ada di stator (n_s) dan kecepatan putar rotor (n_r), di mana :

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\% \dots\dots\dots(6)$$

Berdasarkan penjelasan di atas, maka prinsip kerja dari motor induksi tiga adalah terdapatnya suatu perbedaan kecepatan antara rotor dan stator yang disebut dengan slip, serta motor induksi tidak memerlukan tegangan eksitasi untuk membangkitkan medan magnet. Motor induksi tiga fasa akan mengalami suatu keadaan saturasi (kejenuhan) pada saat diberikan peningkatan tegangan. Apabila dalam keadaan saturasi, peningkatan antara tegangan dan arus listrik sudah tak linier lagi, sehingga motor induksi tiga fasa digolongkan ke dalam beban listrik tak linier yang menghasilkan harmonisa.

Menurut G. Vankestan R., dan kawan – kawan (2006), motor induksi tiga fasa tipe rotor sangkar menghasilkan THD Arus Listrik (THDi) sebesar 120,9 % saat dibebani 25% dari nominalnya, 102,8 % saat dibebani 50% dari nominalnya, 87,7% saat dibebani 75% dari nominalnya, 78,9% saat dibebani 100% dari nominalnya. Namun penelitian tersebut tidak mengidentifikasi adanya THD tegangan (THDv).

5. Metodologi

Peralatan ukur utama yang dipergunakan di dalam penelitian ini adalah *Power Quality Analyzer A3Q* merk LEM, Italia. Peralatan ini dapat mengukur parameter – parameter seperti, arus dan tegangan listrik, frekuensi, tingkat harmonisa (THD) total dan individual, bentuk gelombang tegangan dan arus listrik, flicker, ketidak seimbangan sistem tiga fasa, daya, faktor daya, $\cos \phi$, serta distorsi daya listrik serta kualitas daya listrik secara umum.

Gambar di bawah ini memperlihatkan alat ukur A3Q merk LEM.



Gambar 3. Alat ukur Power Quality A3Q

Pada penelitian ini, motor induksi tiga fasa mendapatkan tiga perlakuan yang berbeda, yaitu :

- a. Untuk menganalisa pengaruh rating daya motor induksi terhadap THD yang dihasilkan, maka tegangan masukan motor induksi dipertahankan konstan pada tegangan 220 V, dan variabel bebasnya adalah rating daya motor induksi serta variabel tergantung (dependent) adalah THD_V dan THD_I
- b. Untuk menganalisa pengaruh kecepatan putar motor induksi terhadap THD yang dihasilkan, maka tegangan masukan motor induksi dipertahankan konstan pada tegangan 220 V, sehingga variabel bebasnya adalah kecepatan putar motor induksi dan variabel tergantung (dependent) adalah THD_V dan THD_I
- c. Untuk menganalisa pengaruh tegangan masukan pada motor induksi terhadap THD yang dihasilkan, maka tegangan masukan motor induksi diberikan bervariasi dari 50 V (motor mulai berputar) sampai 220 V, sehingga variabel bebasnya adalah tegangan masukan pada motor dan variabel tergantung (dependent) adalah THD_V dan THD_I

6. Hasil dan Pembahasan

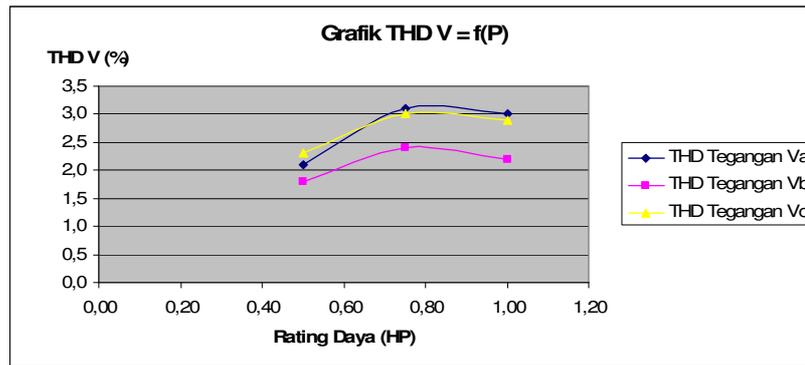
6.1. Pengaruh Rating Daya Motor Induksi Tiga Fasa Terhadap THD

Tabel 2. di bawah ini memperlihatkan pengujian terhadap tiga buah motor induksi tiga fasa pada tegangan konstan 50. V, dan THD tegangan dan THD arus diukur pada setiap fasanya.

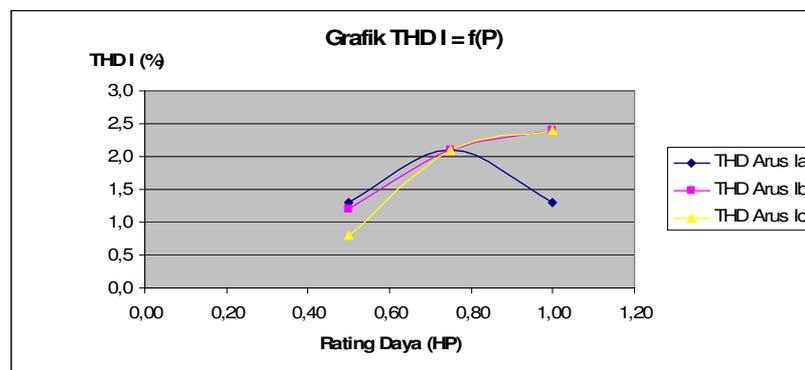
Tabel 2. Pengujian Pengaruh Rating Daya Motor Induksi Tiga Fasa Terhadap THD pada tegangan masukan 50 V

No	Rating Daya (HP)	THD Tegangan			THD Arus		
		THD_{VA}	THD_{VB}	THD_{VC}	THD_{IA}	THD_{IB}	THD_{IC}
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
1	0,5	2.1	1.8	2.3	1.3	1.2	0.8
2	1,0	3.1	2.4	3.0	2.1	2.1	2.1
3	1,5	3.0	2.2	2.9	1.3	2.4	2.4

Dari tabel 2. bila disajikan dalam bentuk grafik THD V dan THD I terhadap rating daya P, maka diperlihatkan pada gambar berikut.



Gambar 4. Grafik THD V = f(P) pada tegangan 50V



Gambar 5. Grafik THD I = f(P) pada tegangan 50 V

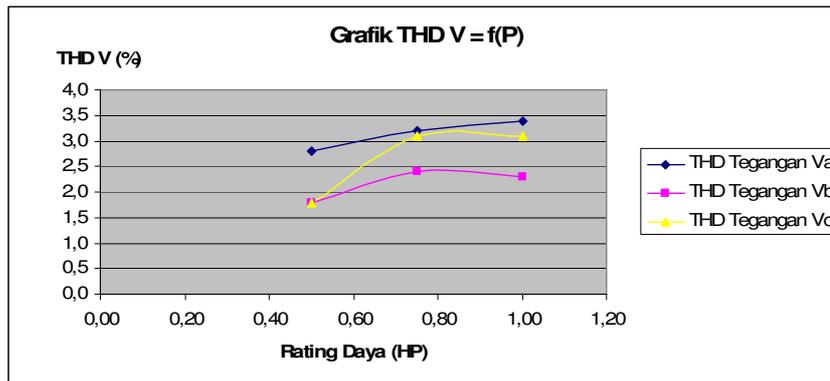
Dari tabel. 2. dan kedua gambar grafik di atas, memperlihatkan bahwa pada tegangan 50 V, semakin besar rating daya motor induksi tiga fasa, maka THD tegangan untuk setiap fasanya cenderung semakin besar. Untuk THD arus, semakin besar rating daya motor induksi, maka terdapat kecenderungan meningkat pula, namun terjadi perbedaan pada fasa A, bahwa THD arusnya mengalami penurunan setelah mencapai puncaknya.

Tabel 3. berikut ini memperlihatkan pengujian terhadap tiga buah motor induksi tiga fasa pada tegangan konstan 100. V, dan THD tegangan dan THD arus diukur pada setiap fasanya.

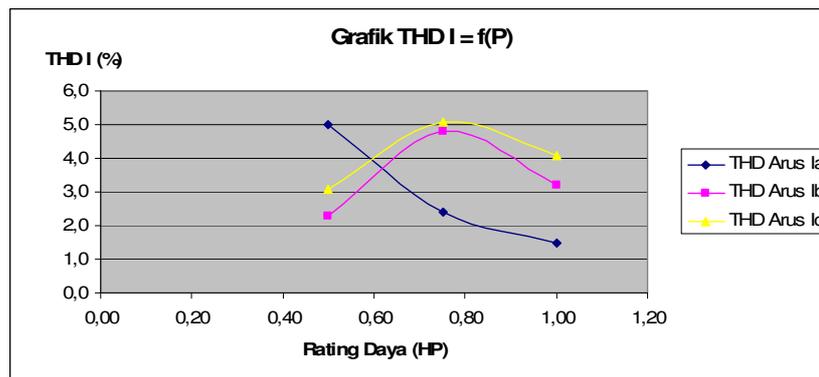
Tabel 3. Hasil Pengujian Pengaruh Rating Daya Motor Induksi Tiga Fasa Terhadap THD pada tegangan masukan 100 V

No	Rating Daya (HP)	THD Tegangan			THD Arus		
		THD _{VA} (%)	THD _{VB} (%)	THD _{VC} (%)	THD _{IA} (%)	THD _{IB} (%)	THD _{IC} (%)
1	0,5	2,8	1,8	1,8	5,0	2,3	3,1
2	1,0	3,2	2,4	3,1	2,4	4,8	5,1
3	1,5	3,4	2,3	3,1	1,5	3,2	4,1

Dari tabel 3. bila disajikan dalam bentuk grafik THD V , THD I terhadap rating daya P, maka diperlihatkan pada gambar berikut.



Gambar 6. Grafik THD V = f(P) pada tegangan 100 V



Gambar 7. Grafik THD I = f(P) pada tegangan 100 V

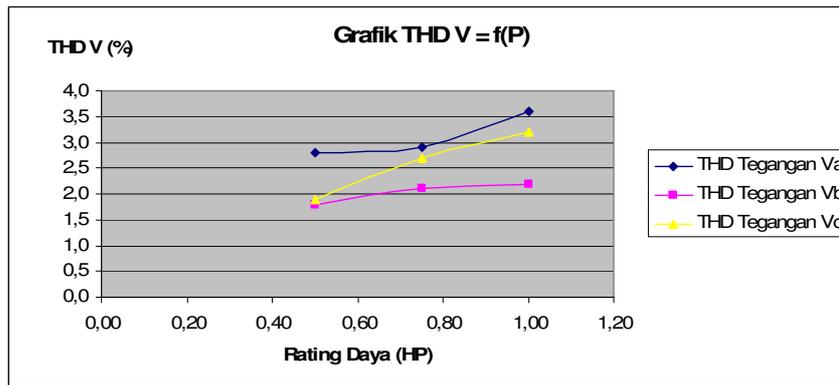
Dari tabel. 3. dan kedua gambar grafik di atas, memperlihatkan bahwa pada tegangan 100 V, semakin besar rating daya motor induksi tiga fasa, maka semakin besar pula THD tegangan. Berbeda dengan THD tegangan, pada THD arus terjadi penurunan untuk fasa A, dan untuk fasa B dan C mengalami penurunan setelah mencapai puncak.

Tabel 4. berikut ini memperlihatkan pengujian terhadap tiga buah motor induksi tiga fasa pada tegangan konstan 145. V, dan THD tegangan dan THD arus diukur pada setiap fasanya.

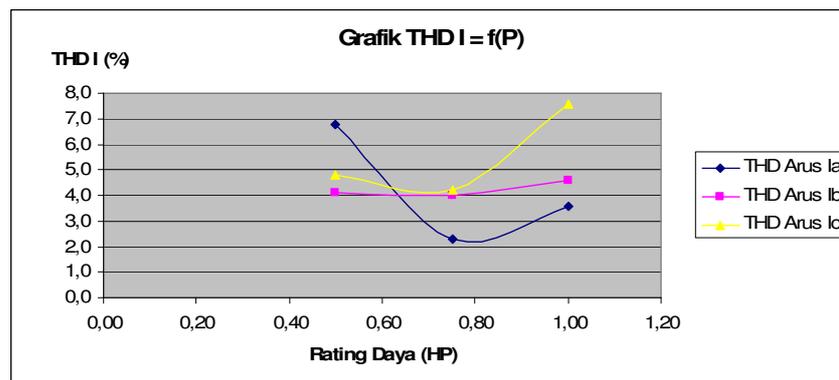
Tabel 4. Hasil Pengujian Pengaruh Rating Daya Motor Induksi Tiga Fasa Terhadap THD pada tegangan masukan 100 V

No	Rating Daya (HP)	THD Tegangan			THD Arus		
		THD _{VA} (%)	THD _{VB} (%)	THD _{VC} (%)	THD _{IA} (%)	THD _{IB} (%)	THD _{IC} (%)
1	0,5	2,8	1,8	1,9	6,8	4,1	4,8
2	1,0	2,9	2,1	2,7	2,3	4,0	4,2
3	1,5	3,6	2,2	3,2	3,6	4,6	7,6

Dari tabel 4. bila disajikan dalam bentuk grafik THD V , THD I terhadap rating daya P, maka diperlihatkan pada gambar berikut.



Gambar 8. Grafik THD V = f(P) pada tegangan 145 V



Gambar 9. Grafik THD I = f(P) pada tegangan 145V

Dari tabel. 4. dan kedua gambar grafik di atas, memperlihatkan bahwa pada tegangan 145 V, semakin besar rating daya motor induksi tiga fasa, maka semakin besar pula THD tegangan. Berbeda dengan THD tegangan, pada THD arus terjadi penurunan namun kemudian naik kembali, hal ini diperlihatkan untuk semua fasa.

Dari pengujian laboratorium dengan kondisi tegangan yang berbeda tersebut, dapat ditarik suatu kesimpulan bahwa, semakin besar rating daya suatu motor induksi tiga fasa, maka THD tegangan dan THD arusnya mempunyai kecenderungan semakin besar. Hal ini dapat terjadi karena dengan semakin besar rating daya sebuah motor induksi, maka medan magnet yang dihasilkan juga semakin besar. Di mana motor induksi menghasilkan Harmonisa dari sifat kejenuhan magnetisasinya.

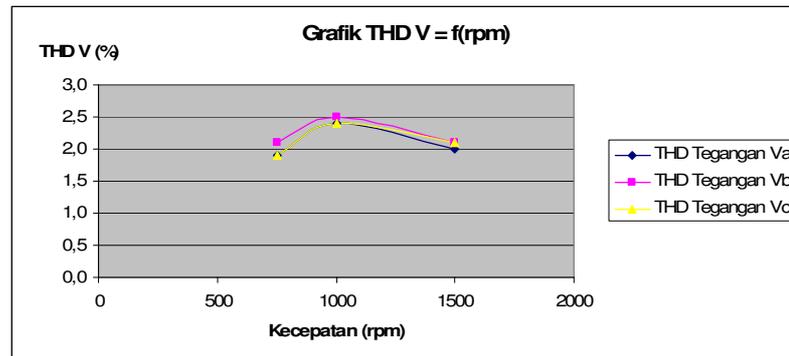
6.2. Pengaruh Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Terhadap THD

Dari hasil pengujian laboratorium terhadap tiga buah motor induksi tiga fasa yang mempunyai spesifikasi kecepatan putar berbeda namun mempunyai spesifikasi rating daya yang sama yaitu 1,5 HP, dengan suatu perlakuan di mana tegangan yang diberikan dipertahankan konstan pada tegangan kerja 220 V, diperoleh hasil sebagai berikut :

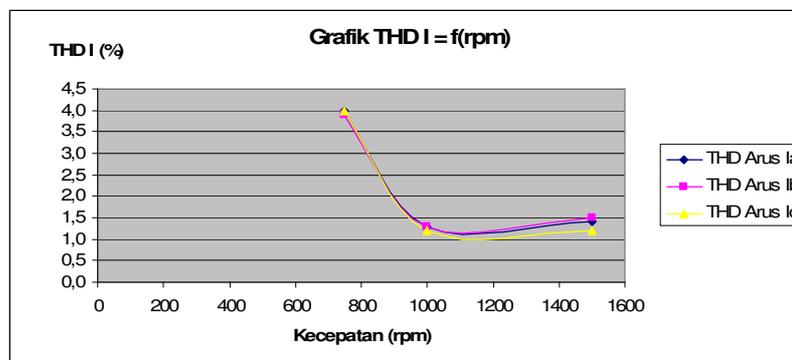
Tabel 5. Hasil Pengujian Pengaruh kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Terhadap THD pada tegangan kerja 220 V

No	Kecepatan (rpm)	THD Tegangan			THD Arus		
		THD _{VA} (%)	THD _{VB} (%)	THD _{VC} (%)	THD _{IA} (%)	THD _{IB} (%)	THD _{IC} (%)
1	750	1.9	2.1	1.9	4.0	3.9	4.0
2	1000	2.4	2.5	2.4	1.3	1.3	1.2
3	1500	2.0	2.1	2.1	1.4	1.5	1.2

Dari tabel 5. bila disajikan dalam bentuk grafik THD V , THD I terhadap kecepatan putar motor induksi dalam rpm, maka diperlihatkan pada gambar berikut.



Gambar 10. Grafik THD V = f(kecepatan)



Gambar 11. Grafik THD I = f(kecepatan)

Dari hasil pengujian pada data tabel 5. dan grafik THD V dan THD I terhadap perubahan spesifikasi kecepatan motor, maka terlihat bahwa semakin besarnya spesifikasi kecepatan motor induksi tiga fasa, maka Total Harmonic Distortion, baik THD tegangan maupun THD arus cenderung mengalami penurunan. Hal ini dapat disebabkan karena, semakin tinggi spesifikasi kecepatan motor induksi tiga fasa, maka jumlah pasangan kutub magnetnya semakin sedikit. Sehingga jumlah medan magnet yang dihasilkan juga semakin kecil, dan dimungkinkan THD nya mengalami penurunan.

6.3. Pengaruh Perubahan Tegangan Masukan Motor Induksi Tiga Fasa Terhadap THD

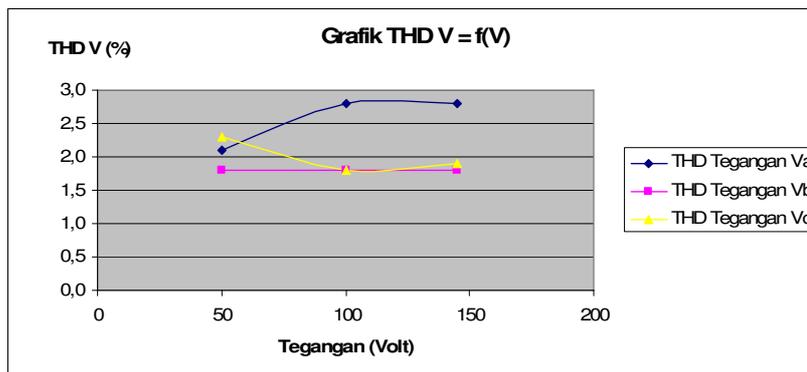
Dari hasil pengujian laboratorium terhadap tiga buah motor induksi tiga fasa yang mempunyai spesifikasi rating daya berbeda namun mempunyai spesifikasi kecepatan yang sama yaitu 1500 rpm, dengan suatu perlakuan di mana tegangan yang diberikan secara variabel, antara 50 V sampai 220 V.

Tabel 6. di bawah ini memperlihatkan hasil pengujian laboratorium terhadap motor induksi tiga fasa dengan rating daya 0,5 HP, pada tegangan variabel dari 50 V sampai 145 V

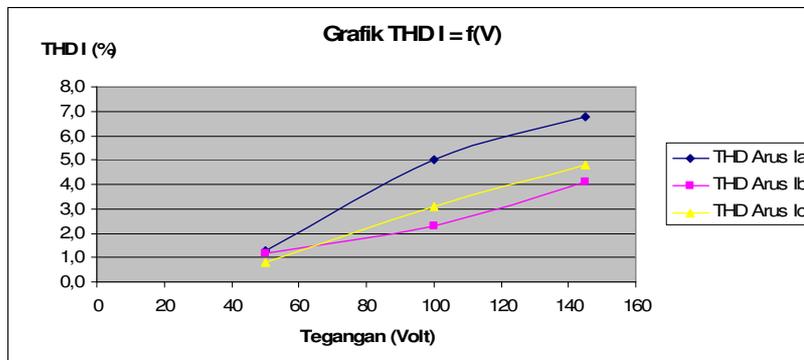
Tabel 6. Hasil Pengujian Pengaruh Perubahan Tegangan Terhadap THD pada Motor Induksi Tiga Fasa Rating Daya 0,5 HP

No	Tegangan (Volt)	THD Tegangan			THD Arus		
		THD _{VA} (%)	THD _{VB} (%)	THD _{VC} (%)	THD _{IA} (%)	THD _{IB} (%)	THD _{IC} (%)
1	50	2.1	1.8	2.3	1.3	1.2	0.8
2	100	2.8	1.8	1.8	5.0	2.3	3.1
3	145	2.8	1.8	1.9	6.8	4.1	4.8

Dari tabel 6. jika disajikan dalam bentuk grafik THD V = f(V) dan THD I = f(V), maka diperlihatkan pada gambar berikut :



Gambar 12. Grafik THD V = f(V) untuk motor induksi 0,5 HP



Gambar 13. Grafik THD V = f(I) untuk motor induksi 0,5 HP

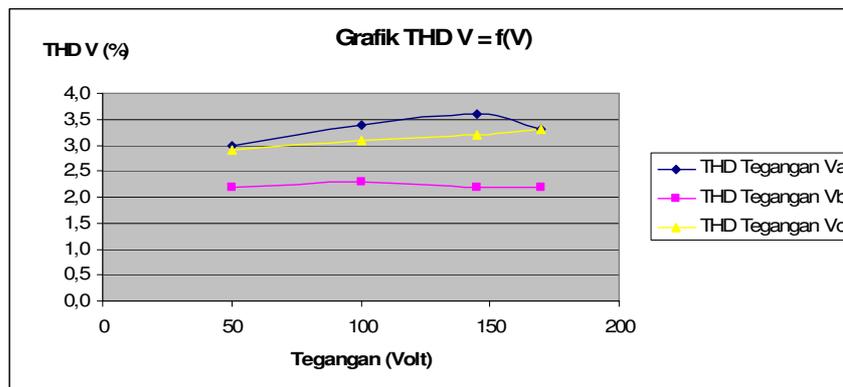
Tabel 6. dan kedua grafik di atas menunjukkan bahwa, untuk sampel motor 0,5 HP apabila diberikan tegangan yang variabel secara meningkat, maka THD arus nya semakin meningkat. Namun pada THD tegangan terdapat perbedaan, yaitu fasa B dan C meningkat THDnya seiring dengan kenaikan tegangan, namun untuk fasa A mengalami penurunan.

Tabel 7. di bawah ini menunjukkan hasil pengujian laboratorium terhadap motor induksi tiga fasa dengan rating daya 1 HP, untuk tegangan variabel 50 V sampai 170 V.

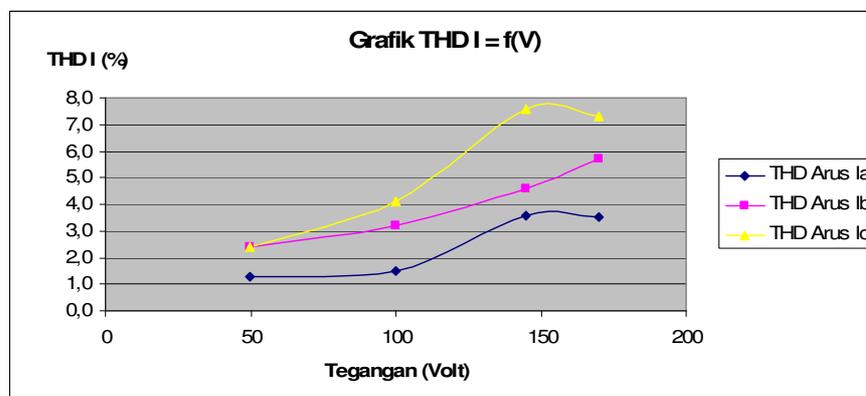
Tabel 7. Hasil Pengujian Pengaruh Perubahan Tegangan Terhadap THD pada Motor Induksi Tiga Fasa Rating Daya 1,0 HP

No	Tegangan (Volt)	THD Tegangan			THD Arus		
		THD _{VA}	THD _{VB}	THD _{VC}	THD _{IA}	THD _{IB}	THD _{IC}
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
1	50	3.0	2.2	2.9	1.3	2.4	2.4
2	100	3.4	2.3	3.1	1.5	3.2	4.1
3	145	3.6	2.2	3.2	3.6	4.6	7.6
4	170	3.3	2.2	3.3	3.5	5.7	7.3

Dari tabel 7. jika disajikan dalam bentuk grafik THD V = f(V) dan THD I = f(V), maka diperlihatkan pada gambar berikut :



Gambar 14. Grafik THD V = f(V) untuk motor induksi 1,0 HP



Gambar 15. Grafik THD V = f(I) untuk motor induksi 1,0 HP

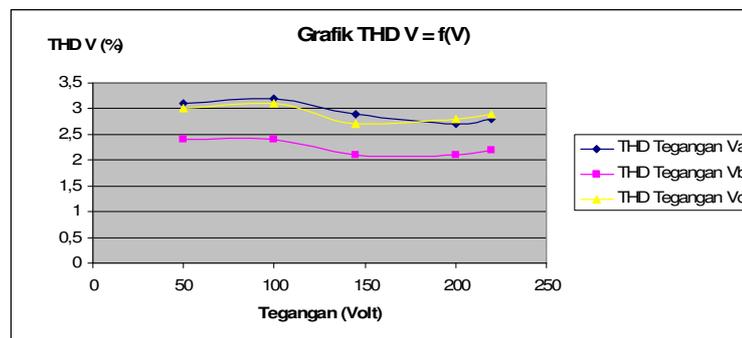
Tabel 7. dan kedua grafik di atas menunjukkan bahwa, untuk sampel motor 1,0 HP apabila diberikan tegangan yang variabel secara meningkat, maka THD tegangan dan THD arus nya semakin meningkat untuk semua fasanya.

Tabel 8. di bawah ini menunjukkan hasil pengujian laboratorium terhadap motor induksi tiga fasa dengan rating daya 0,75 HP, untuk tegangan variabel dari 50 V sampai 220 V.

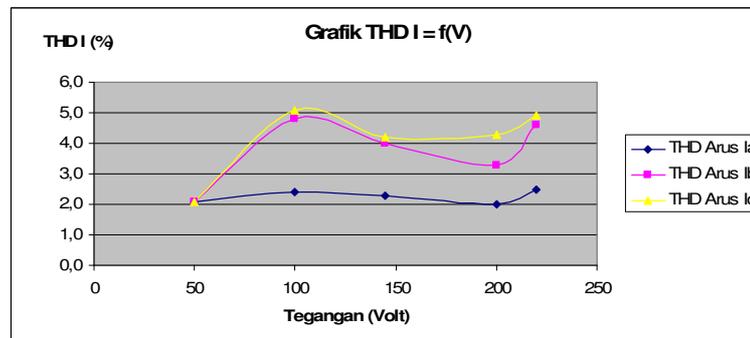
Tabel 8. Hasil Pengujian Pengaruh Perubahan Tegangan Terhadap THD pada Motor Induksi Tiga Fasa Rating Daya 0,75 HP

No	Tegangan (Volt)	THD Tegangan			THD Arus		
		THD _{VA} (%)	THD _{VB} (%)	THD _{VC} (%)	THD _{IA} (%)	THD _{IB} (%)	THD _{IC} (%)
1	50	3.1	2.4	3.0	2.1	2.1	2.1
2	100	3.2	2.4	3.1	2.4	4.8	5.1
3	145	2.9	2.1	2.7	2.3	4.0	4.2
4	200	2.7	2.1	2.8	2.0	3.3	4.3
5	220	2.8	2.2	2.9	2.5	4.6	4.9

Gambar 16 dan 17 di bawah ini memperlihatkan grafik THD tegangan dan THD arus terhadap peningkatan tegangan masukan untuk motor induksi dengan rating daya 0,75 HP.



Gambar 16. Grafik THD V = f(V) untuk motor induksi 0,75 HP



Gambar 17. Grafik THD I = f(V) untuk motor induksi 0,75 HP

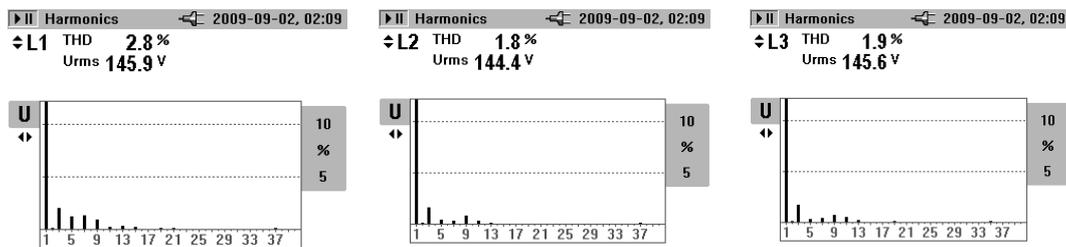
Tabel 8 dan kedua grafik di atas memperlihatkan bahwa untuk motor induksi tiga fasa rating daya 0,75 HP, apabila diberikan tegangan masukan secara variabel, maka dengan semakin meningkatnya tegangan masukan, maka THD arusnya mempunyai kecenderungan meningkat. Namun berbeda untuk THD tegangan, dengan semakin meningkatnya tegangan masukan, maka THD tegangannya mempunyai kecenderungan menurun.

Dari ketiga sampel motor induksi tiga fasa yang mempunyai rating daya yang berbeda, dapat ditarik suatu kesimpulan bahwa dengan meningkatnya tegangan masukan pada motor induksi tiga fasa, maka akan menghasilkan THD tegangan dan THD arus yang mempunyai kecenderungan meningkat. Hal ini dapat disebabkan oleh kenaikan tegangan akan menyebabkan kenaikan medan magnet yang dihasilkan oleh motor induksi tersebut.

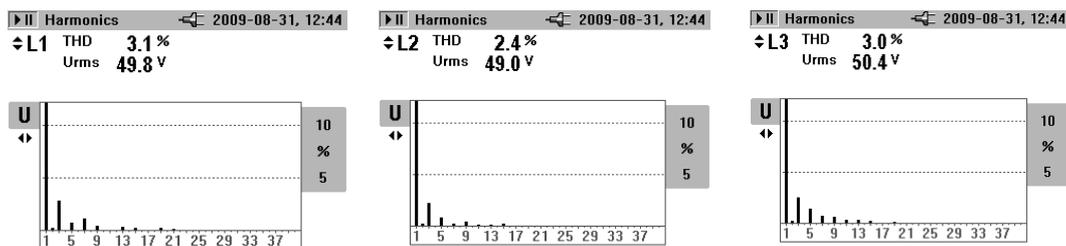
6.4. Analisa Spektrum Harmonisa Pada Motor Induksi Tiga Fasa

Pada tabel 2 sampai dengan tabel 8. memperlihatkan THD tegangan dan THD arus yang dihasilkan oleh motor induksi tiga fasa untuk berbagai keadaan tegangan dan berbagai spesifikasi rating daya dan kecepatan. Dari tabel 5.1. sampai 5.7. tersebut, dapat diamati bahwa rata-rata THD tegangan dan THD arus yang dihasilkan oleh motor induksi kurang dari 5%. Hal ini menandakan bahwa THD tegangan dan THD arus untuk sampel motor induksi yang diambil, masih dalam batas yang diijinkan.

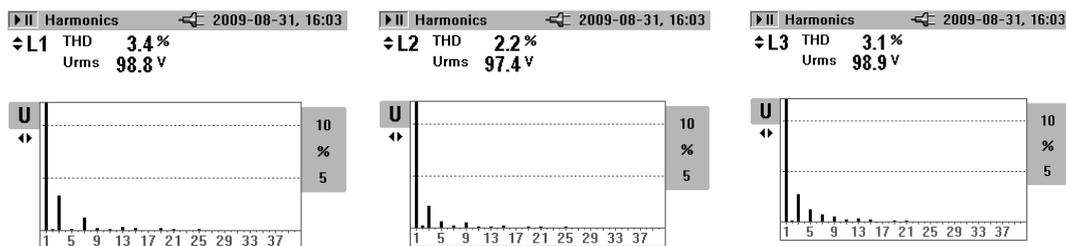
Harmonisa yang dihasilkan oleh motor induksi tiga fasa secara kualitatif dapat dianalisa dengan melihat spektrum harmonisanya. Gambar – gambar berikut ini memperlihatkan sebagai Spektrum Harmonisa dari motor induksi tiga fasa yang diambil sampelnya dalam pengujian laboratorium.



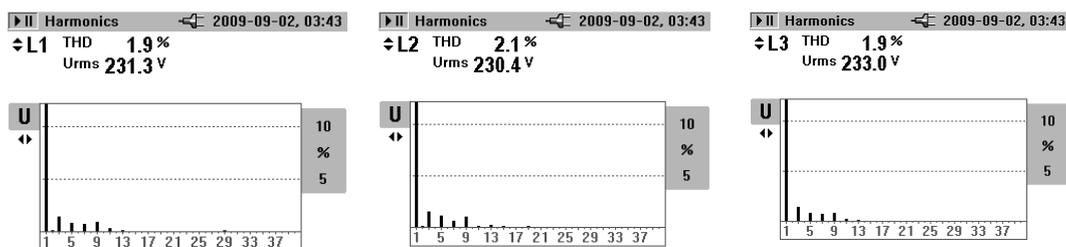
Gambar 18. Spektrum Harmonisa Motor Induksi Tiga Fasa 0,5 HP pada tegangan 145 V



Gambar 19. Spektrum Harmonisa Motor Induksi Tiga Fasa 0,75 HP pada tegangan 50 V



Gambar 20. Spektrum Harmonisa Motor Induksi Tiga Fasa 1,0 HP pada tegangan 100 V



Gambar 21. Spektrum Harmonisa Motor Induksi Tiga Fasa 1,5 HP pada tegangan 220 V

Pada gambar 18 sampai 21 di atas dapat dilihat bahwa ke empat buah motor induksi tiga fasa menghasilkan harmonisa dominan urutan ke-3. Terdapat harmonisa ganjil lainnya, namun persentasenya kecil, serta setiap motor induksi tidak menampakkan hasil yang sama. Keempat buah motor induksi yang diuji dilaboratorium tersebut juga menghasilkan harmonisa genap, yaitu harmonisa urutan ke 2 walaupun persentasenya sangat kecil. Hal ini perlu di waspadai bagi pengguna motor induksi tiga fasa, karena harmonisa genap ini bersifat merusak peralatan – peralatan listrik.

7. Kesimpulan

Dari penelitian analisa faktor – faktor yang mempengaruhi tingkat harmonisa pada motor induksi tiga fasa tipe rotor sangkar tupai, dapat diambil suatu kesimpulan bahwa :

1. Rating daya suatu motor induksi tiga fasa, cenderung mempengaruhi besarnya THD tegangan dan THD arus yang dihasilkan. Semakin besar rating daya dari motor induksi tiga fasa, maka semakin besar pula THDnya
2. Kecepatan dari suatu motor induksi tiga fasa, cenderung mempengaruhi besarnya THD tegangan dan THD arus yang dihasilkan. Semakin tinggi kecepatan motor induksi tiga fasa, maka semakin kecil THDnya
3. Tegangan input yang diberikan pada suatu motor induksi tiga fasa, cenderung mempengaruhi besarnya THD tegangan dan THD arus yang dihasilkan. Semakin besar tegangan yang diberikan pada motor induksi tiga fasa, maka semakin besar pula THDnya
4. THD yang dihasilkan oleh motor induksi tiga fasa secara individual masih relatif kecil dan aman yaitu di bawah 5%
5. Motor induksi tiga fasa tipe rotor sangkar tupai cenderung menghasilkan harmonisa dominan pada urutan ke 3

8. Daftar Pustaka

- [1] Abdul Kadir, Prof., Ir., 1986, “Mesin Tak Serempak”, Penerbit Djambatan, Jakarta
- [2] A. E Fitzgerald, Charles Kingsley Jr, Stephen D Umans, 1989, “Mesin-Mesin Listrik”, Penerbit Erlangga, Jakarta
- [3] Arrilaga, J, Bradley, D.A., Bodger, P.S, 1985 , ”*Power System Harmonics*”, John Wiley & Sons Ltd, New York.
- [4] Arrilaga, J, Watson N.R., S Chen, 2000, “*Power System Quality Assesment*”, John Wiley & Sons Ltd, New York.
- [5] Asmo Tenhunen, Timo, P. Holopainen, Antero Arkkio, ” *Effects of saturation on the forces in induction motors with whirling cage rotor*”, Reprinted from Proceedings of Compumag'03, Vol. II. Saratoga Springs, NY, USA, 13-18 July 2003, pages 66-67.
- [6] B. L Theraja, 1984, “*A Text-book of Electrical Technology in S.I System of Units*”, Nirja Construction & Development Co. (P) Ltd, New Delhi
- [7] Dugan, R.C, McGranaghan M.F, Beaty H.W. , 1996, “*Electrical Power System Quality*”, McGraw-Hill Book Company, New York.
- [8] Davis, E.J, Emanuel, A.E., Pileggi, D.J. , 2000, “Evaluation of Single Point Measurement Method for Harmonic Pollution Cost Allocation”, IEEE Trans. On Power Deleverly, pp14-15.
- [9] Eugene C. Lister, 1988, ”Mesin dan Rangkaian Listrik”, Penerbit Erlangga, Jakarta

- [10] G. Venkatesan, R. Arumugam, S. Paramasivam, S. Vijayan, 2006, "Occurrence of Harmonics with Induction Machine and Switched Reluctance Machine : A Survey and Analysis", *Journal of Applied Sciences* 6(9)
- [11] IEEE Task Force, April 1993, "Effect of Harmonic on Equipment", *IEEE Trans. Power Delivery*, vol.8, pp.672-680,
- [12] IEEE Task Force, Sept1985, "The Effect of Power system Harmonic on Power System Equipment and Loads" *IEE Trans. Power Apparatus and Systems*, vol PAS-104, pp 2555-2563.
- [13] C. Thanga Raj, S. P. Srivastava, and Pramod Agarwal, "Induction Motor Design with Limited Harmonic Currents Using Particle Swarm Optimization", *International Journal of Electrical Systems Science and Engineering* 1;3 © www.waset.org Summer 2008
- [14] Liang Chi Shen, Jin Au Kong, 1996, "Aplikasi Elektromagnetik Jilid 2", Penerbit Erlangga, Jakarta
- [15] McGranaghan M.F, 1998, "*Overview of the Guide for Applying Harmonic Limits on Power Systems-IEEE P519A*", The 8th International Conference on Harmonic and Quality of Power ICHQP.
- [17] Theodor Wildi, 1987, "*Electrical Machines, Drive, and Power System*", Prentice-Hall International Inc., New Jersey