

PENGARUH TEGANGAN SUMBER DAN BEBAN TERHADAP TINGKAT HARMONISA PADA MOTOR INDUKSI TIGA PHASA

Elvira Zondra¹, Abrar Tanjung², Arlenny³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lancang Kuning
Jl. Yos Sudarso km. 8 Rumbai, Pekanbaru, Telp. (0761) 52324
Email: elviraz@unilak.ac.id, abrar@unilak.ac.id, arlenny@unilak.ac.id

ABSTRAK

Motor induksi dikelompokkan ke dalam jenis beban tak linier. Beban tak linier akan menghasilkan suatu harmonisa. Prinsip – prinsip induksi elektromagnetik membuat motor induksi mempunyai sifat kejenuhan atau saturasi, yaitu suatu keadaan di mana pada kondisi tertentu, arus listrik yang dihasilkan tidak sebanding dengan kenaikan tegangan yang diberikan pada motor, dan bahkan akan cenderung tetap.

Harmonisa berpengaruh pada sistem tenaga listrik. Saluran pada jaringan transmisi akan mengalami peningkatan impedansi sehingga meningkatkan rugi-rugi tembaga dan fluks. Pada transformator daya, harmonisa akan menyebabkan peningkatan rugi-rugi besi, arus bocor dan stress pada isolasi. Hal ini akan mengakibatkan pemanasan berlebihan pada transformator daya tersebut. Pada sisi konsumen listrik, pengaruh harmonisa ini adalah menyebabkan peralatan listrik akan bekerja dengan tidak semestinya. Dari sisi konsumen listrik (motor induksi), untuk mengetahui faktor-faktor dominan yang mempengaruhi tingkat harmonisa yang dihasilkan oleh motor induksi tiga fasa tersebut maka perlu dilakukan penelitian ini. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat harmonisa (THD) yang dihasilkan akibat pengaruh tegangan masuk yang diberikan pada motor induksi tiga fasa dan menganalisis tingkat harmonisa (THD) yang dihasilkan akibat pengaruh beban pada motor induksi tiga fasa tersebut.

Semakin besar tegangan yang diberikan pada motor induksi tiga fasa, maka semakin turun THDnya. Dimana THD terendah didapatkan pada saat motor diberikan tegangan nominal dari motor induksi tiga fasa tersebut dengan THD tegangan 2% dan THD arus 4,6%. Semakin besar beban yang diberikan pada motor induksi tiga fasa, maka semakin turun THDnya. Dimana THD terendah didapatkan pada saat motor diberikan beban dibawah daya keluar nominal dari motor induksi tiga fasa tersebut dengan THD tegangan 1,9% dan THD arus 2,7%.

Kata kunci: Motor Induksi tiga fasa, harmonisa

ABSTRACT

Induction motor is a nonlinear load motor which cause a harmonics. Induction motor has a saturation condition where temporarily the electric current produced is not equal to the increasing of voltage input to the motor, otherwise it seems steady.

Harmonic gives an impact to electrical power system. Transmission system impedance increasing is the result which increases copper and flux losses. In other case, harmonic increases iron losses, current leakage and insulation stress. Overheating exist on the transformer if these conditions happen. The electricity user is the victim in this case because electrical equipment do not work properly. It is important to search the dominant factor which effect the harmonics level in the user side. This research is applied to three-phase induction motor as a type in induction motor. The aim of this study is analyzing the influences of input voltage and load generated on three induction motor harmonics levels (THD).

The result is that the increasing of voltage have a negative correlation to THD and the increasing of load also have a negative correlation to THD. The lowest voltage THD is 2% and the lowest current THD is 4.6% when three phase motor get nominal voltages. The lowest voltage THD is 1.9% and the lowest current THD is 2.7% when three phase motor get loads which are lower than nominal output load.

Keywords: three-phase induction motor, harmonics

1. PENDAHULUAN

Motor induksi merupakan motor yang banyak digunakan pada industri, pusat bisnis transportasi dan lain-lain. Konstruksinya yang kokoh (robust) merupakan keuntungan yang luar biasa dari motor induksi disamping harga yang murah dan mudah dalam perawatan.

Motor induksi tiga fasa merupakan suatu mesin listrik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik dengan prinsip-prinsip elektromagnetik. Beban tak linear menyebabkan arus bervariasi tak sebanding dengan tegangan selama setiap setengah periode, sehingga arus dan tegangan akan terdistorsi. Motor Induksi merupakan salah satu beban yang tidak linier dari sistem kelistrikan [1].

Pada umumnya motor yang digunakan untuk keperluan industri adalah motor-motor kecil yang memiliki efisiensi tidak tinggi. Motor induksi dikelompokkan ke dalam jenis beban tak linier. Beban tak linier akan menghasilkan suatu harmonisa. Prinsip – prinsip induksi elektromagnetik membuat motor induksi mempunyai sifat kejenuhan atau saturasi, yaitu suatu keadaan di mana pada kondisi tertentu, arus listrik yang dihasilkan tidak sebanding dengan kenaikan tegangan yang diberikan pada motor, dan bahkan akan cenderung tetap.

Harmonisa berpengaruh pada sistem tenaga listrik. Saluran pada jaringan transmisi akan mengalami peningkatan impedansi sehingga meningkatkan rugi-rugi tembaga dan fluks. Pada transformator daya, harmonisa akan menyebabkan peningkatan rugi-rugi besi, arus bocor dan stress pada isolasi. Hal ini akan mengakibatkan pemanasan berlebihan pada transformator daya tersebut. Pada sisi konsumen listrik, pengaruh harmonisa ini adalah menyebabkan peralatan listrik akan bekerja dengan tidak semestinya. Dari sisi konsumen listrik (motor induksi), untuk mengetahui faktor-faktor dominan yang mempengaruhi tingkat harmonisa yang dihasilkan oleh motor induksi tiga fasa tersebut maka perlu dilakukan penelitian ini.

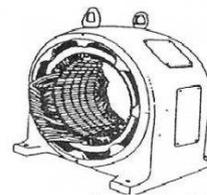
Apabila faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat harmonisa pada motor induksi tiga fasa diketahui maka sektor industri yang merupakan pengguna beban jenis ini akan bisa melakukan langkah-langkah pengurangan tingkat harmonisa yang dihasilkan dan disumbangkannya ke sistem tenaga listrik.

Penelitian ini bertujuan untuk Menganalisis tingkat harmonisa (THD) yang dihasilkan akibat pengaruh tegangan masuk yang diberikan pada motor induksi tiga fasa serta menganalisa tingkat harmonisa (THD) yang dihasilkan akibat pengaruh beban pada motor induksi tiga fasa.

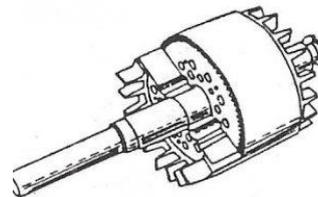
Motor Induksi

Motor induksi bekerja berdasarkan adanya

induksi elektromagnetik. Motor induksi memiliki dua bagian utama yaitu bagian yang berputar (rotor) dan bagian yang diam (stator). Diantara stator dan rotor terdapat celah celah udara yang sangat kecil [2]. Stator terletak pada bagian luar dan merupakan bagian dari motor induksi yang tidak berputar. Dibuat dari besi bundar berlaminasi dan mempunyai alur – alur sebagai tempat meletakkan kumparan. Kumparan dibelitkan untuk sejumlah kutup tertentu. Rotor sangkar terdapat pada bagian dalam dari motor induksi dimana rotor berputar bebas. Rotor terdiri dari sederetan batang – batang penghantar yang terletak pada alur – alur sekitar permukaan rotor. Ujung – ujung batang penghantar dihubungkan singkat dengan menggunakan cincin hubung singkat.



Gambar 1. Stator motor induksi



Gambar 2. Rotor sangkar motor induksi

Jika belitan stator diberi tegangan maka akan timbul fluks yang konstan dan berputar dengan kecepatan medan putar stator n_s (kecepatan sinkron). Kecepatan sinkron dapat diekspresikan dalam British unit dengan konversi [3]:

$$n_s = \frac{60}{2\pi} \omega_s = \frac{60}{2\pi} \left(\frac{2}{p} \right) 2\pi f = \frac{120f}{p} \quad (1)$$

Keterangan :

n_s = kecepatan sinkron (rpm)

ω_s = kecepatan mekanik angular (rad/s) = $(2/p)\omega$

ω = frekuensi angular (rad/s) = $2\pi f$

f = frekuensi sumber (Hz)

p = jumlah kutup

Motor induksi tiga phase yaitu motor dengan tiga gulungan stator yang beroperasi dengan sumber daya listrik tiga phase. Rotor motor induksi berputar pada kecepatan yang lebih kecil dari stator. Slip s pada motor induksi merupakan perbedaan antara kecepatan sinkron dan kecepatan rotor, dinyatakan dalam persen atau perunit dari kecepatan

sinkron. Slip perunit didapatkan dengan persamaan [4]:

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \quad (2)$$

Keterangan :

s = slip

n_s = kecepatan medan putar stator

n_r = kecepatan putar rotor

Harmonisa

Sumber utama harmonisa pada sistem tenaga konvensional adalah beban tak linier. Pada sistem satu fasa dan tiga 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. Pengaruh lain yang sering timbul berupa distorsi yang menyebabkan bentuk gelombang sinusoidal terganggu. 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 [5]:

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).

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.

Tingkat distorsi harmonisa dijelaskan melalui spektrum harmonisa yang lengkap dengan magnitude 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 persamaan [6] :

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} M_h^2}}{M_1} \quad (3)$$

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 :

$$rms = \sqrt{\sum_{h=1}^{h_{max}} M_h^2} = M_1 + \sqrt{1 + THD^2} \quad (4)$$

Tegangan harmonisa dijadikan suatu pedoman untuk nilai dasar bentuk gelombang sesaat. Tegangan mempunyai persentase perbedaan yang kecil, 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.

Pada beban linier tiga fasa yang seimbang, arus beban pada frekuensi dasar akan saling menghilangkan sehingga arus netralnya nol. Tetapi pada beban tidak linier akan menimbulkan harmonisa kelipatan tiga ganjil, dimana polaritas dari komponen harmonisa dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Polaritas dari komponen harmonisa [7]

Harmonik	1	2	3	4	5	6	7	8
Frekuensi (Hz)	50	100	150	200	250	300	350	400
Urutan	+	-	0	+	-	0	+	-

Akibat yang ditimbulkan oleh arus urutan nol dari komponen harmonisa diantaranya tinggi

arus netral yang tinggi pada sistem 3 phase 4 kawat (sisi sekunder transformator) karena arus urutan nol

(zero sequence) kawat netral 3 kali arus urutan nol masing-masing fasa [7].

Tabel 2. Akibat dari Polaritas Komponen Harmonik

Urutan	Pengaruh Pada Sistem Distribusi
Positif	- Panas
Negatif	- Panas - Menghambat atau memperlambat putaran motor
Nol	- Panas - Menimbulkan atau menambah arus pada kawat netral

Ada dua kriteria yang digunakan untuk menganalisis distorsi harmonisa yaitu limitasi untuk distorsi arus harmonisa dan limitasi untuk distorsi tegangan harmonisa. Standar yang dipakai untuk

limitasi tegangan harmonisa adalah IEEE 519. Untuk standard harmonisa arus, ditentukan oleh rasio I_{sc}/I_L [8] (arus hubung singkat dibagi dengan arus beban).

Tabel 3. Limitasi untuk distorsi tegangan harmonisa

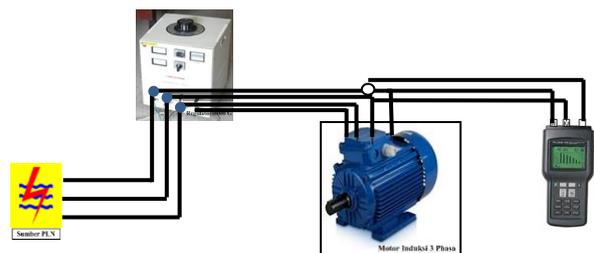
Bus Voltage at PCC	Individual Voltage Distortion (%)	Total Voltage Distortion THD (%)
69 kV and below	3.0	5.0
69.001 kV through 161 kV	1.5	2.5
161.001 kV and above	1.0	1.5

2. METODE PENELITIAN

Untuk mempermudah penyelesaian penelitian ini maka digunakan metode penelitian sebagai berikut :

1. Melakukan studi literatur dari berbagai sumber baik jurnal-jurnal dan buku-buku penunjang tentang motor induksi dan harmonisa.
2. Penelitian ini dilakukan dengan melakukan pengujian di laboratorium Teknik Elektro Fakultas Teknik dengan menggunakan motor induksi tiga fasa 7,5 kW, 10 HP, 1450 rpm, 380 V, 16,2 A dan peralatan ukur yang digunakan adalah multimeter, power analyzer fluks dan tachometer.
3. Setelah rangkaian pengujian dihubungkan, dimana motor induksi tiga fasa dihubungkan dengan sumber tegangan serta beban.
4. Untuk menganalisa pengaruh tegangan masukan pada motor induksi terhadap THD yang dihasilkan, maka tegangan masukan motor induksi diberikan bervariasi dari motor mulai berputar sampai 360 V, sehingga dengan mengatur tegangan masukan pada motor dapat diukur THD_V dan THD_I

5. Untuk menganalisa pengaruh beban motor induksi terhadap THD yang dihasilkan, maka tegangan masukan motor induksi dipertahankan konstan pada tegangan 360 V, dengan mengatur beban motor induksi dapat diukur nilai THD_V dan THD_I
6. Selanjutnya menganalisis hasil pengujian tentang harmonisa motor induksi



Gambar 3 Rangkaian pengujian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Teknis Motor Induksi

Data teknis Motor Induksi yang ada di Laboratorium Teknik Elektro Fakultas Teknik Unilak adalah sebagai berikut:

Merk	: Teco
Code	: AEEBAC
Pout	: 7,5 kW 10 HP
Tegangan	: 380 Volt

Arus : 16,2 Ampere
 Frekuensi : 50 Hz
 Kecepatan : 1450 rpm
 Kutup : 4 kutup

Dari data motor induksi didapatkan kecepatan sinkron dan slip motor induksi :

$$n_s = \frac{120f}{p} = 1500 \text{ rpm}$$

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} = \frac{1500 - 1450}{1500} = 0.03$$

Pengujian yang dilakukan pada motor induksi adalah pengujian dengan perubahan tegangan sumber dan perubahan beban. Pengujian yang dilakukan pada motor induksi adalah pengujian dengan perubahan tegangan sumber dan perubahan beban.

Untuk menganalisa pengaruh tegangan masukan pada motor induksi terhadap THD yang dihasilkan, maka tegangan masukan motor induksi diberikan bervariasi dari motor mulai berputar

sampai 360 V, sehingga dengan mengatur tegangan masukan pada motor dapat diukur THD_V dan THD_I.

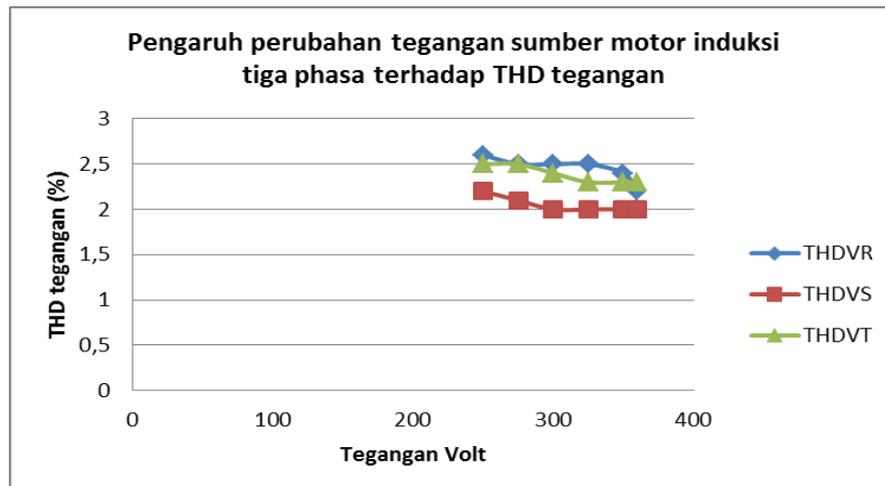
Untuk menganalisa pengaruh beban motor induksi terhadap THD yang dihasilkan, maka tegangan masukan motor induksi dipertahankan konstan pada tegangan 360 V, dengan mengatur beban motor induksi dapat diukur nilai THD_V dan THD_I.

Pengujian Dengan Perubahan Tegangan Sumber

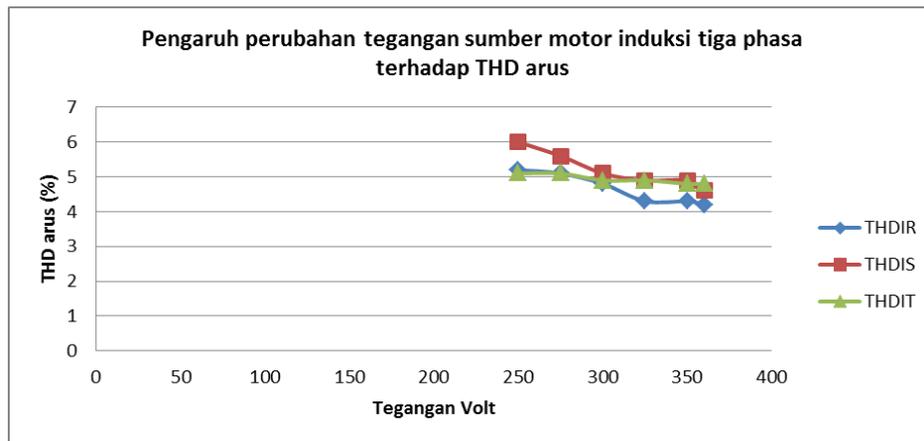
Pada pengujian dengan perubahan tegangan sumber, diberikan variasi tegangan pada motor induksi dan dilakukan pengukuran THD tegangan, THD arus motor induksi. Tegangan sumber yang diberikan pada motor induksi adalah 250Volt sampai 360Volt. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4. Dari tabel 4 dapat digambarkan Kurva besarnya THD tegangan, THD arus motor induksi tiga fasa terhadap besarnya tegangan sumber, dapat dilihat pada gambar 4 dan 5.

Tabel 4. Pengujian pengaruh perubahan tegangan sumber motor induksi tiga fasa terhadap THD

No	Tegangan	THD Tegangan			THD Arus		
		THD _{VR} %	THD _{VS} %	THD _{VT} %	THD _{IR} %	THD _{IS} %	THD _{IT} %
1	250	2,6	2,2	2,5	5,2	6	5,1
2	275	2,5	2,1	2,5	5,1	5,6	5,1
3	300	2,5	2	2,4	4,8	5,1	4,9
4	325	2,5	2	2,3	4,3	4,9	4,9
5	350	2,4	2	2,3	4,3	4,9	4,8
6	360	2,2	2	2,3	4,2	4,6	4,8



Gambar 4 Kurva THD tegangan motor induksi tiga fasa terhadap besarnya tegangan sumber



Gambar 5 Kurva THD arus motor induksi tiga fasa terhadap besarnya tegangan sumber

Tabel 4 dan kedua gambar di atas memperlihatkan bahwa untuk motor induksi tiga fasa rating daya 10 HP, apabila diberikan tegangan masukan secara variabel, maka dengan semakin meningkatnya tegangan masukan, THD tegangan nya mempunyai kecenderungan menurun. Begitu juga THD arus, dengan semakin meningkatnya tegangan masukan, maka THD arus nya juga menurun.

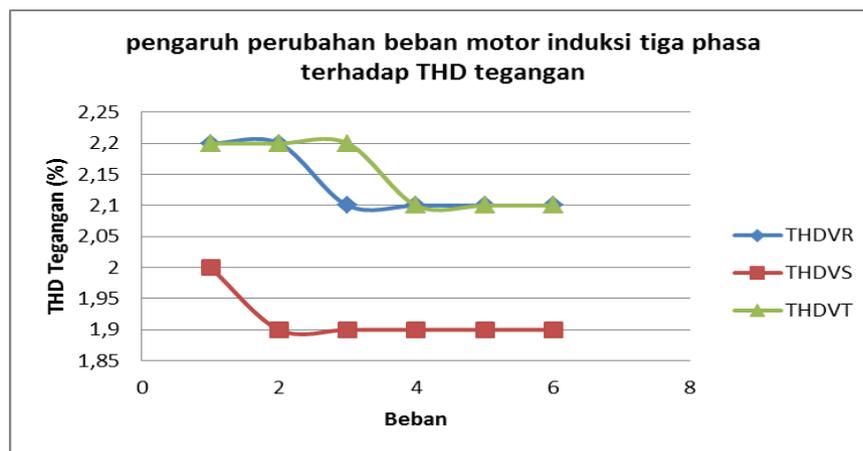
Pengujian Dengan Perubahan Beban

Pada pengujian dengan perubahan beban,

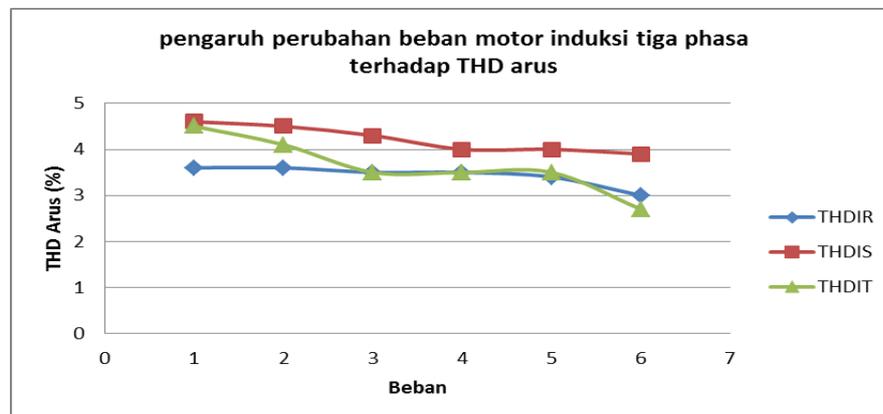
diberikan variasi beban pada motor induksi dan dilakukan pengukuran THD tegangan, THD arus motor induksi. Beban yang diberikan pada motor induksi adalah Generator sinkron 5kW tanpa beban, generator sinkron 5kW berbeban lampu 100W sampai 500W setiap fasanya. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 5. Dari tabel 5 dapat digambarkan Kurva THD tegangan, THD arus motor induksi tiga fasa terhadap perubahan beban dan dapat dilihat pada gambar 6 dan 7.

Tabel 5. Pengujian pengaruh perubahan beban motor induksi tiga fasa terhadap THD

No	Beban	THD Tegangan			THD Arus		
		THD _{VR} %	THD _{VS} %	THD _{VT} %	THD _{IR} %	THD _{IS} %	THD _{IT} %
1	Gen5kW	2,2	2	2,2	3,6	4,6	4,5
2	Gen5kW+100W	2,2	1,9	2,2	3,6	4,5	4,1
3	Gen5kW+200W	2,1	1,9	2,2	3,5	4,3	3,5
4	Gen5kW+3100W	2,1	1,9	2,1	3,5	4	3,5
5	Gen5kW+400W	2,1	1,9	2,1	3,4	4	3,5
6	Gen5kW+500W	2,1	1,9	2,1	3	3,9	2,7



Gambar 6 Kurva THD tegangan motor induksi tiga fasa terhadap besarnya beban 1(gen5kW, 2(gen5kW+100W), 3(gen5kW+200W), 4(gen5kW+300W), 5(gen5kW+400W), 6(gen5kW+500W)



Gambar 7 Kurva THD arus motor induksi tiga fasa terhadap besarnya beban 1(gen5kW, 2(gen5kW+100W), 3(gen5kW+200W), 4(gen5kW+300W), 5(gen5kW+400W), 6(gen5kW+500W)

Tabel 5 dan kedua gambar di atas memperlihatkan bahwa untuk motor induksi tiga fasa rating daya 10 HP, apabila diberikan beban secara variabel, maka dengan semakin meningkatnya beban yang tidak melebihi kapasitas motor, THD tegangan nya mempunyai kecenderungan menurun. Begitu juga THD arus, dengan semakin meningkatnya beban yang tidak melebihi kapasitas motor, maka THD arus nya juga menurun.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan

Dari penelitian tentang Pengaruh Tegangan Sumber Dan Beban Terhadap Tingkat Harmonisa Pada Motor Induksi Tiga Fasa didapatkan kesimpulan

1. Tegangan sumber 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 turun THDnya.

Dimana THD terendah didapatkan pada saat motor diberikan tegangan nominal dari motor induksi tiga fasa tersebut.

2. Beban yang diberikan pada suatu motor induksi tiga fasa, cenderung mempengaruhi besarnya THD tegangan dan THD arus yang dihasilkan. Semakin besar beban yang diberikan pada motor induksi tiga fasa, maka semakin turun THDnya. Dimana THD terendah didapatkan pada saat motor diberikan beban dibawah daya keluar nominal dari motor induksi tiga fasa tersebut. Dari tabel 1 dan 2 didapatkan nilai THD tegangan dan arus dibawah batas nilai yang diizinkan yaitu dibawah 5% . Motor induksi tiga fasa 10HP cenderung menghasilkan harmonisa dominan pada urutan ke 3 dan 5

Saran

Disarankan kepada pengguna motor induksi tiga fasa agar mengoperasikan motor induksi pada tegangan nominalnya serta memberikan beban tidak terlalu rendah dibawah daya keluaran motor. Agar

harmonisa total tidak tinggi disarankan juga untuk menggunakan filter harmonisa terutama industri yang banyak menggunakan motor induksi tiga phasa.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Daniel Rohi, *Distorsi Harmonisa Pada Pelanggan Domestik Dengan Daya 250 VA _ daya _ 2200 VA*, Jurnal EECCIS Vol. III No. 1 Juni 2009.
- [2] Brag S. Guru, 1988, *Electric Machinery and transformers*, HBJ Harcourt Brace Jovanovich Publishers Technology publications.
- [3] Jimmie J Cathey, 2001, *Electricmachines, Analysis and design applying Matlab*, McGraw Hill International Edition.
- [4] A.E.Fitzgerald, Charles Kingsley Jr, Stephen d.Umans,1990, *Mesin-Mesin Listrik*, edisi keempat, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [5] IEEE, 1992, *IEEE Recommended Practices and Requirements Harmonic Control in Electric Power System (IEEE Std 519-1992)*, IEEE Inc, New York, NY 10017-2393, USA.
- [6] Harrij Mukti, *Implementasi Scalar Control Dan Vector Control Dalam Pengaturan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa*, Jurnal Eltek, Vol 10 Nomor 02, Oktober 2012 ISSN 1693-4024.
- [7] Chairul Gagarin Irianto, *Mengurangi Harmonisa Pada Transformator 3 Fasa*, jurnal JETri, Volume 7, Nomor 2, Februari 2008, Halaman 53-68, ISSN 1412-0372
- [8] Theodore Wildi, 1991, *Electrical Machines, Drives And Power System*, Prentice Hall International Edition.
- [9] David E Johnson, 1992, *Electric Circuit Analysis*, Prentice Hall Inc.
- [10] M.V. Deshpande, 1990, *Electric Motor Aplications and Control*, Wheeler.
- [11] Paul C.Krause, Oleg Wasynczuk, Scott d.Sudhoff, 2002, *Analysis Of Electric Machinery And Drive Systems*, A John Wiley & Sons, Inc. Publication,