

# KORELASI ANTARA MEDAN MAGNET DENGAN TINGKAT DISTORSI HARMONISA PADA MOTOR INDUKSI TIGA FASA

Luqman Assaffat<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Semarang  
Jl. Kasipah no 10 -12 Semarang – Indonesia  
e\_mail : [assaffat@yahoo.com](mailto:assaffat@yahoo.com)

## ABSTRAK

Motor induksi tiga fasa mempunyai rangkaian ekivalent yang sama dengan sebuah transformator, di mana keduanya mempunyai prinsip kerja yang sama yaitu dengan cara induksi magnet yang menghasilkan sebuah tegangan. Sebagaimana halnya transformator, motor induksi tiga fasa digolongkan sebagai jenis beban yang tak linier karena mempunyai sifat kejenuhan magnetisasi sebagai akibat dari penggunaan tipe material magnetnya.

Beban – beban yang tak linier akan menghasilkan suatu polutan daya listrik yang sering disebut dengan harmonisa. Harmonisa diukur dengan suatu tingkatan yang disebut Total Harmonics Distortion, THD, atau dalam istilah Bahasa Indonesia sering diartikan sebagai Tingkat Distorsi Harmonisa. Dari hal tersebut dapat diduga bahwa harmonisa yang dihasilkan oleh motor induksi tiga fasa disebabkan oleh besarnya medan magnet yang terjadi. Sehingga perlu dilakukan suatu uji korelasi antara besarnya medan magnet dengan tingkat distorsi harmonisa pada motor induksi tiga fasa.

Hasil pengujian menunjukkan korelasi menunjukkan bahwa Tingkat Distorsi Harmonisa pada motor induksi tiga fasa, baik THD tegangan maupun THD arus, dipengaruhi oleh besarnya medan magnet yang terjadi.

*Kata kunci : motor induksi tiga fasa, harmonisa, medan magnet, uji korelasi*

## 1. Pendahuluan

Motor induksi tiga fasa adalah suatu jenis motor listrik arus bolak-balik yang prinsip kerjanya tidak menggunakan suatu tegangan eksitasi di dalam menghasilkan medan magnet. Sehingga, putaran motor dari motor induksi tiga fasa mempunyai perbedaan dengan putaran sinkron pada belitan jangkarnya, yang disebut dengan slip.

Karena tidak mempunyai tegangan eksitasi, maka untuk menghasilkan putaran motor pada statornya, motor induksi tiga fasa pada belitan rotornya dihubungkan-singkat, sehingga mengalirlah arus listrik pada rotor. Adanya arus listrik di dalam pengaruh medan magnet jangkar, maka akan menghasilkan gaya dan torsi putaran. Prinsip kerja dari motor induksi tiga fasa ini hampir sama dengan prinsip kerja dari sebuah transformator, sehingga keduanya mempunyai rangkaian ekivalent yang hampir sama juga.

Sebagaimana halnya dengan sebuah transformator, motor induksi tiga fasa juga digolongkan sebagai beban listrik yang tak linier. Di mana, 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.

Dari sifat kejenuhan magnetisasinya, motor induksi tiga fasa digolongkan sebagai beban tak linier, di mana beban tak linier menghasilkan suatu harmonisa yang merupakan polutan daya listrik. Sehingga perlu dikaji tentang korelasi antara besarnya medan magnet yang terjadi dengan tingkat distorsi harmonisa yang dihasilkan oleh suatu motor induksi tiga fasa.

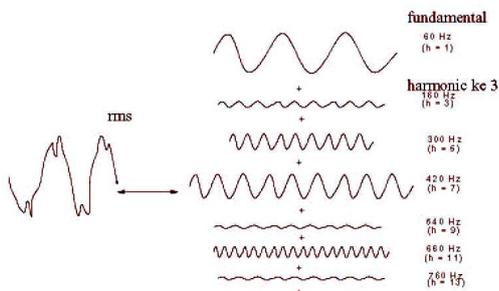
## 2. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah menganalisa korelasi antara besarnya medan magnet yang dihasilkan oleh suatu motor induksi dengan tingkat distorsi harmonisa.

## 3. 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

#### 4. 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 :

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

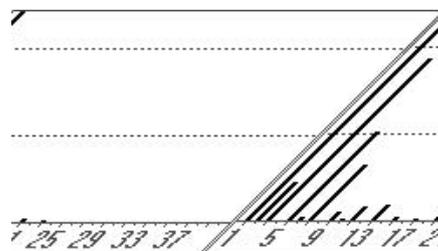
Di mana  $M_h$  adalah nilai rms komponen harmonisa  $h$  dari kuantitas  $M$ . Nilai rms dari total bentuk gelombang bukanlah penjumlahan dari setiap komponen harmonisa, tetapi akar kuadrat dari penjumlahan kuadratnya.

Hubungan THD dengan nilai rms dari gelombang adalah :

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

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

#### 5. 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 ( $\Phi_m$ ), 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 :

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\% \dots\dots\dots(5)$$

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).

**6. Metode Penelitian**

Peralatan ukur utama yang dipergunakan di dalam penelitian ini adalah *Power Quality Analyzer A3Q* merk LEM, Italia, yang digunakan untuk mengukur tingkat distorsi harmonisa (THD) total. Gambar di bawah ini memperlihatkan alat ukur A3Q merk LEM dan Tesla Meter



Gambar 3. Alat ukur Power Quality A3Q

Selain power quality analyser, digunakan pula alat ukur electromagnetic field tester merk Lutron, yang digunakan untuk mengukur kerapatan fluks medan magnet yang dihasilkan oleh motor induksi tiga fasa tersebut. Gambar berikut ini adalah gambar alat ukur electromagnetic field tester merk lutron.



Gambar 4. Electromagnetic Field Tester

Data THD (Total Harmoronics Distortion) dan rapat fluks medan magnet diambil secara acak (random) untuk beberapa nilai tegangan dan di ambil dari sejumlah motor induksi tiga fasa. Kemudian Data THD dan rapat fluks magnet diuji dengan uji statistik korelasi.

Terdapat beberapa metode dalam uji korelasi statistik non parametrik, salah satunya adalah analisis koefisien korelasi peringkat Spearman. Jika terdapat dua buah sampel, masing-masing sampel *X* dan *Y* yang saling berpasangan, maka Koefisien Korelasi Peringkat Spearman adalah :

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d^2}{n(n^2 - 1)} \dots\dots\dots(7)$$

$$\sum d^2 = \sum_{i=1}^n [R(X_i) - R(Y_i)]^2 \dots\dots\dots(8)$$

Di mana *R(X)* adalah peringkat dari sampel *X* dan *R(Y)* adalah peringkat dari sampel *Y*.

Keputusan korelasi dua sampel dapat diambil dengan nilai taraf nyata  $\alpha$  yang telah ditentukan, dan dengan membandingkan nilai koefisien Spearman hasil perhitungan dengan nilai kritis pada tabel uji Spearman.

**7. Hasil dan Pembahasan**

Dari pengambilan sampel secara acak dan pengukuran terhadap medan magnet serta tingkat distorsi harmonisa tegangan pada sejumlah motor induksi tiga fasa, maka diperoleh data seperti pada tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. THD Tegangan terhadap medan magnet pada motor induksi tiga fasa

No.	Medan Magnet (mTesla)	THD Tegangan		
		Va (%)	Vb (%)	Vc (%)
1	2,46	3,1	2,4	3,0
2	4,30	3,2	2,4	3,1

3	6,94	2,9	2,1	2,7
4	10,49	2,7	2,1	2,8
5	17,57	2,8	2,2	2,9
6	2,86	3,0	2,2	2,9
7	3,11	3,4	2,3	3,1
8	8,34	3,6	2,2	3,2
9	9,23	3,3	2,2	3,3
10	0,50	2,1	1,8	2,3
11	1,01	2,8	1,8	1,8
12	1,35	2,8	1,8	1,9
13	0,53	1,9	2,1	1,9
14	1,57	1,9	2,1	1,9
15	9,41	2,0	2,1	2,1

Sedangkan tabel 2 adalah data hasil dari pengambilan sampel secara acak dan pengukuran terhadap medan magnet serta tingkat distorsi harmonisa arus pada sejumlah motor induksi tiga fasa.

Tabel 2. THD Arus terhadap medan magnet pada motor induksi tiga fasa

No.	Medan Magnet (mTesla)	THD Arus		
		Ia (%)	Ib (%)	Ic (%)
1	2,46	2,1	2,1	2,1
2	4,30	2,4	4,8	5,1
3	6,94	2,3	4,0	4,2
4	10,49	2,0	3,3	4,3
5	17,57	2,5	4,6	4,9
6	2,86	1,3	2,4	2,4
7	3,11	1,5	3,2	4,1
8	8,34	3,6	4,6	7,6
9	9,23	3,5	5,7	7,3
10	0,50	1,3	1,2	0,8
11	1,01	5,0	2,3	3,1
12	1,35	6,8	4,1	4,8
13	0,53	4,0	3,9	4,0
14	1,57	0,9	0,7	0,7
15	9,41	1,4	1,5	1,2

Dari tabel 1 dan tabel 2 terlihat bahwa jumlah data adalah 15, dengan taraf nyata  $\alpha=0,05$ , diperoleh  $R_s$  Tabel Spearman adalah 0,4429. Setelah dilakukan pengolahan data untuk tabel 1 diperoleh nilai  $R_s$  hitung adalah :

1.  $R_s$  Tegangan VA = 0,3063
2.  $R_s$  Tegangan VB = 0,4384
3.  $R_s$  Tegangan VC = 0,5429

Dari hasil perhitungan tersebut terlihat bahwa  $R_s$  Tegangan fasa A dan B kurang dari  $R_s$  Tabel 0,4429, sehingga keputusannya adalah hipotesa diterima yaitu terdapat hubungan saling bebas antara medan magnet yang dihasilkan dengan THD Tegangan pada Fasa A dan B. Sedangkan untuk fasa C nilai  $R_s$  hitung lebih besar dari  $R_s$  tabel, sehingga keputusannya adalah hipotesa ditolak yaitu antara medan magnet dan THD tegangan Fasa C hubungan positif. Karena dua fasa menyatakan terdapat hubungan saling bebas, maka dapat disimpulkan bahwa antara medan magnet dan THD tegangan yang dihasilkan oleh motor induksi tiga fasa tidak ada korelasi pada taraf nyata 95%.

Setelah dilakukan pengolahan data untuk tabel 2 diperoleh nilai  $R_s$  hitung adalah :

1.  $R_s$  Arus IA = -0,0491
2.  $R_s$  Arus IB = 0,4580
3.  $R_s$  Arus IC = 0,5179

Dari hasil perhitungan tersebut terlihat bahwa  $R_s$  Arus B dan C lebih dari  $R_s$  Tabel 0,4429, sehingga keputusannya adalah terdapat hubungan positif antara medan magnet yang dihasilkan dengan THD Arus pada Fasa B dan C. Sedangkan untuk fasa A nilai  $R_s$  hitung lebih kecil dari nilai negatif  $R_s$  tabel, sehingga keputusannya adalah antara medan magnet dan THD arus Fasa A saling bebas. Karena dua fasa menyatakan terdapat hubungan positif, maka dapat disimpulkan bahwa antara medan magnet dan THD arus dihasilkan oleh motor induksi tiga fasa terdapat korelasi pada taraf nyata 95%.

## 8. Kesimpulan

Dari penelitian uji korelasi antara besarnya medan magnet dengan tingkat distorsi harmonisa pada motor induksi tiga fasa, maka kesimpulan yang dapat diperoleh adalah :

1. Tingkat Distorsi Harmonisa Tegangan yang dihasilkan oleh motor induksi tiga fasa tidak terdapat hubungan atau saling bebas dengan besarnya medan magnet pada taraf nyata 95%.
2. Tingkat Distorsi Harmonisa Arus yang dihasilkan oleh motor induksi tiga fasa berhubungan positif dengan besarnya medan magnet pada taraf nyata 95%.

## 9. 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 Delevery, 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 8<sup>th</sup> International Conference on Harmonic and Quality of Power ICHQP.
- [16.] Murray R. Spiegel, 2003, Statistik Scaum Series, Penerbit Erlangga, Jakarta
- [17.] Theodor Wildi, 1987, "*Electrical Machines, Drive, and Power System*", Prentice-Hall International Inc., New Jersey