

# PENGARUH PERBEDAAN TIPE BELITAN TERHADAP HARMONISA DISTRIBUSI MMF CELAH UDARA MOTOR INDUKSI

Asfari Hariz Santoso<sup>1)</sup>, Rhezal Agung Ananto<sup>2)</sup>, Sri Wahyuni Dali<sup>3)</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Elektro, Program Studi Teknik Listrik, <sup>3</sup>Jurusan Teknik Elektro, Program Jaringan Telekomunikasi Digital  
Politeknik Negeri Malang,

<sup>1)</sup> *asfari.hariz@polinema.ac.id*

<sup>2)</sup> *rhezal.a.a@gmail.com*

<sup>3)</sup> *sri.wahyuni@polinema.ac.id*

## Abstrak

Motor induksi merupakan salah satu motor listrik yang luas penggunaannya. Dalam kondisi tertentu motor induksi tak jarang mengalami kerusakan yang disebabkan oleh beban berlebih, hubung singkat di dalam kumparan, maupun kondisi lingkungan yang membuat motor induksi bekerja diluar batas kemampuannya. Salah satu akibat dari kerusakan pada motor induksi adalah kondisi kumparan yang tidak memungkinkan untuk digunakan lagi sehingga harus dilakukan rewinding. Setiap tipe belitan stator motor induksi akan menghasilkan distribusi magnetomotive force (MMF) pada celah udara yang berbeda. MMF yang dihasilkan terdiri dari komponen fundamental dan komponen harmonisanya. Jumlah komponen harmonisa pada distribusi MMF celah udara menimbulkan torsi parasit yang akan berpengaruh pada unjuk kerja motor induksi. Pada penelitian ini akan dilakukan penelitian perbandingan bentuk distribusi MMF celah udara terhadap dua tipe belitan yang berbeda yakni terbagi-screw (Motor A) dan terpusat-terdistribusi (Motor B) pada motor induksi 1 fasa dengan kapasitas 1 kW 1000 rpm. Dari analisis harmonisa dan berbeban Motor A memiliki komponen harmonisa lebih tinggi dibanding Motor B sehingga Motor B memiliki performa yang baik dalam hal torsi sebesar 4,608 Nm dibanding Motor A sebesar 3,37 Nm.

**Kata kunci:** Motor Induksi, Tipe Belitan, Distribusi MMF, Harmonisa.

## 1. PENDAHULUAN

Motor induksi merupakan motor yang luas penggunaannya dari kapasitas rendah hingga tinggi dibanding motor jenis lain dengan kapasitas yang sama [1]. Pada penggunaannya motor induksi tak jarang mengalami kerusakan yang disebabkan oleh beban berlebih, hubung singkat di dalam kumparan, maupun kondisi lingkungan yang membuat motor induksi bekerja diluar batas kemampuannya. Salah satu akibat dari kerusakan pada motor induksi adalah kondisi kumparan yang tidak memungkinkan untuk digunakan lagi sehingga harus dilakukan pelilitan ulang atau *rewinding*.

Proses *rewinding* tersebut meliputi penentuan dimensi konduktor, jumlah lilit, serta tipe belitan stator yang digunakan. Tipe belitan stator yang diterapkan pada proses pelilitan pada dasarnya terdiri dari dua jenis yakni terpusat dan terdistribusi. Setiap tipe belitan stator motor induksi akan menghasilkan distribusi gaya gerak magnet atau *Magnetomotive Force* (MMF) pada celah udara yang berbeda. Gaya gerak magnet atau MMF yang dihasilkan terdiri dari komponen fundamental dan komponen harmonisanya [2]. Jumlah komponen harmonisa pada MMF celah udara menimbulkan torsi parasit yang akan berpengaruh pada unjuk kerja motor induksi [3]. Oleh karenanya penting untuk diketahui bagaimana bentuk distribusi MMF celah udara motor induksi sebelum dilakukan rewinding. Dengan begitu pengguna motor induksi khususnya industri yang sering kali melakukan

rewinding dapat menentukan jenis tipe belitan sesuai dengan karakteristik beban yang akan dihubungkan dengan motor induksi.

Dari latar belakang di atas maka akan dilakukan penelitian perbandingan bentuk distribusi MMF celah udara terhadap dua tipe belitan yang berbeda yakni terbagi screw dan terpusat-terdistribusi pada motor induksi 1 fasa dengan kapasitas 1 kW 1000 rpm. Konstruksi stator dan rotor motor induksi yang digunakan mempunyai dimensi yang sama. Analisis harmonisa yang dilakukan dengan menggunakan Deret Fourier untuk mengetahui nilai harmonisa disribusi MMF celah udara motor induksi yang diteliti.

## 2. MOTOR INDUKSI

Motor induksi merupakan motor listrik yang umum digunakan pada aplikasi industri maupun rumah tangga. Hal ini disebabkan motor induksi memiliki kelebihan dengan motor listrik jenis lain dengan konstruksi yang kokoh, perawatan yang mudah, dan harga yang ekonomis [4] [5].

### 2.1. Konstruksi Motor Induksi

Secara konstruksi motor induksi terdiri dari dua bagian penting diantaranya stator dan rotor

#### a. Stator

Stator motor induksi merupakan bagian yang tidak bergerak dimana Stator terdiri atas tumpukan laminasi inti yang memiliki slot yang menjadi tempat kumparan dililitkan yang berbentuk

silindris. Slot pada tumpukan laminasi inti diisolasi dengan kertas. Tiap elemen laminasi inti dibentuk dari lembaran besi. Tiap lembaran besi tersebut memiliki beberapa slot dan beberapa lubang pengikat untuk menyatukan inti. Tiap kumparan tersebar dalam slot yang disebut belitan fasa

b. Rotor

Rotor pada motor induksi merupakan bagian yang berputar yang terdiri atas dua jenis diantaranya rotor sangkar (*squirrel cage rotor*) dan rotor belitan (*wound rotor*). Pada rotor sangkar terdiri dari lapisan – lapisan konduktor yang dipasangkan sejajar dengan poros dan mengelilingi permukaan inti. Sedangkan rotor belitan terbuat dari lilitan. Lilitan rotor tersebar secara seragam pada slot – slot dan secara umum dihubung bintang

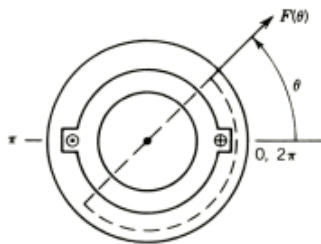
2.2. Belitan Stator Motor Induksi

Tata letak belitan dalam motor induksi mempengaruhi distribusi *Magnetic Motive Force* (MMF) dan kinerja mesin. Jenis belitan pertama dikenal sebagai belitan terpusat (*concentrated winding*). Jenis belitan yang lain disebut belitan terdistribusi (*distributed winding*) [6].

2.3. Magnetic Motive Force (MMF)

Penempatan sebuah belitan dengan  $N$  lilit yang ditempatkan pada dua slot stator motor induksi yang dialiri arus sebesar  $i$ , maka *MMF* yang didefinisikan dengan sudut  $\theta$  sebesar:

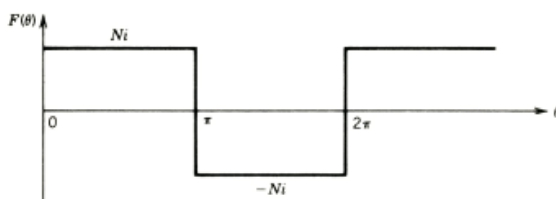
$$F(\theta) = N \cdot i \tag{1}$$



Gambar 2.1. Susunan belitan di dalam 2 slot

Besar kerapatan fluks  $B$  pada celah udara sepanjang  $g$  dapat ditentukan melalui persamaan di bawah,

$$B(\theta) = \mu_0 \frac{N \cdot i}{2 \cdot g} \tag{2}$$



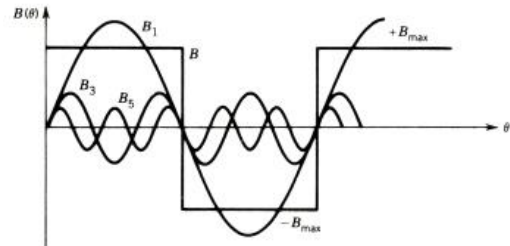
Gambar 2.2. Distribusi MMF pada celah udara dari belitan yang terdistribusi pada 2 slot

Bentuk distribusi kerapatan fluks adalah gelombang kotak yang mana bentuk ini merupakan non sinusoida yang dapat terdiri atas komponen fundamental dan

komponen harmonisanya yang dapat dituliskan melalui persamaan di bawah,

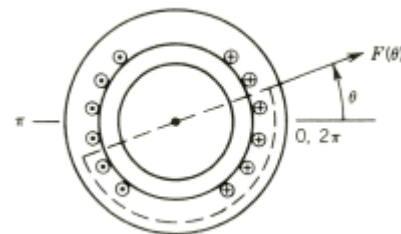
$$B(\theta) = B_{1(max)} \sin \theta + B_{3(max)} \sin 3\theta + B_{5(max)} \sin 5\theta + \dots$$

$$B(\theta) = \sum_{h=1,3,5,\dots} \frac{4B_{max}}{\pi h} (\sin h\theta) \tag{3}$$

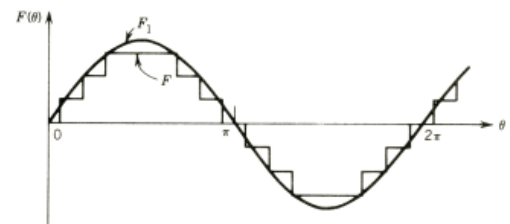


Gambar 2.3. Distribusi kerapatan fluks pada celah udara

Komponen harmonisa dapat diturunkan apabila kumparan terdistribusi di seluruh slot stator. Sebagai contoh pada Gambar 4 belitan stator terdistribusi pada 12 slot dimana distribusi MMF pada celah udara ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 2.4. Susunan belitan stator pada 12 slot



Gambar 2.5. Distribusi MMF pada celah udara dari belitan yang terdistribusi pada 12 slot

Pada Gambar 2.5 dapat disimpulkan bahwa distribusi MMF celah udara mendekati bentuk gelombang sinusoida akibat dari terdistribusinya belitan pada beberapa slot.

2.4. Analisis Harmonisa

Setiap fungsi yang berulang mempunyai persamaan  $f(t)=f(t+T)$  dan dapat dinyatakan dengan deret *Fourier* bila memenuhi persyaratan Dirichlet sebagai berikut:

- Bila gelombang tidak bersinambungan, dengan jumlah ketidaksinambungan yang terbatas dalam satu periode T.

- Gelombang memiliki nilai rata-rata yang terbatas serta memiliki nilai maksimum dan minimum dalam periode T.

Bila syarat-syarat di atas terpenuhi, deret Fourier dapat dinyatakan dengan persamaan [7]:

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t) \quad (4)$$

Suatu besaran tegangan maupun arus yang terdapat komponen harmonisnya dapat diuraikan dalam deret Fourier sebagai berikut:

$$v(t) = \sum_{h=1}^{\infty} a_h \cos(n\omega_o + \phi_h) \quad (5)$$

$$i(t) = \sum_{h=1}^{\infty} b_h \cos(n\omega_o + \theta_h) \quad (6)$$

Dimana,

$$a_o = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \quad (5)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos n\omega t dt \quad (6)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin n\omega t dt \quad (7)$$

Orde harmonisa (n) yang merupakan bilangan bulat 1,2,3,4,... dan seterusnya. Pada bidang elektro kebanyakan orde yang dominan adalah orde ganjil (1,3,5,) dimana komponen fundamentalnya dinyatakan pada n=1. Suku  $a_o$  menyatakan nilai rata-rata dari gelombang, dimana komponen ini tidak muncul dalam sistem arus bolak-balik. Gelombang yang cacat memiliki koefisien-koefisien dengan indeks n. Amplitudo harmonisa dinyatakan sebagai:

$$c_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}, n \geq 1 \quad (8)$$

Nilai-nilai c sebagai fungsi n sering digambarkan dalam suatu barchart yang disebut dengan “spektrum frekuensi” gelombang. Perhitungan koefisien setiap harmonisa dapat dilakukan menurut langkah-langkah prosedur pendekatan numerik berikut [8]:

- Perhitungan suatu integrasi secara numerik selang antara batas-batas integrasi diturunkan menjadi k bagian yang sama. Bila  $f_1, f_2, f_3, f_4, \dots, f_k$  menyatakan ordinat f(t) pada batas-batas bagian selang waktu tersebut, sedangkan a dan b menunjukkan batas-batas integrasi maka

$$\int_a^b f(t) dt = \frac{b-a}{k} (f_1 + f_2 + f_3 + \dots + f_k) \quad (9)$$

Formulasi untuk memperoleh koefisien tiap komponen harmonisa adalah sebagai berikut:

$$a_o = \frac{2}{k} \sum_{i=1}^k f_i \quad (10)$$

$$a_h = \frac{2}{k} \sum_{i=1}^k f_i \cos \left( h \frac{i2\pi}{k} \right) \quad (11)$$

$$b_h = \frac{2}{k} \sum_{i=1}^k f_i \sin \left( h \frac{i2\pi}{k} \right) \quad (12)$$

Formula untuk sudut fasa [9]:

$$\phi_h = \tan^{-1} \left( \frac{b_h}{a_h} \right) \quad (13)$$

Amplitudo dari setiap komponen harmonisa adalah:

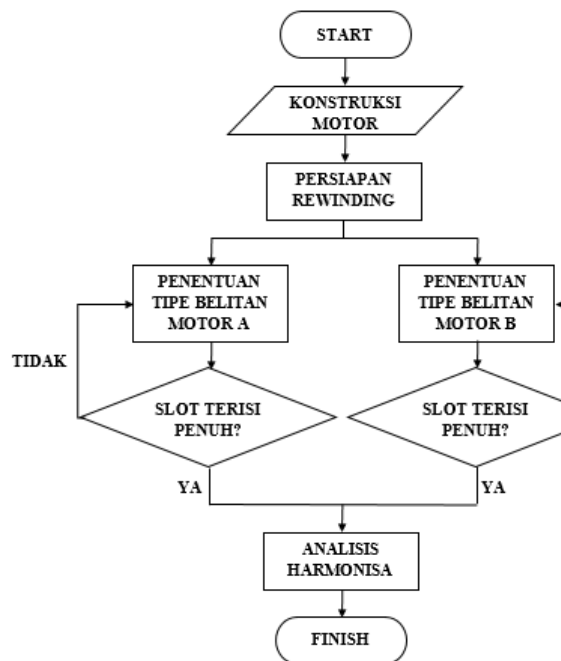
$$A = \sqrt{a_h^2 + b_h^2} \quad (14)$$

sehingga persamaannya,

$$f(t) = a_o + \sum_{h=1}^{\infty} \left[ \sqrt{a_h^2 + b_h^2} \cos(h\omega_o t - \phi_h) \right] \quad (15)$$

### 3. METODOLOGI DAN PERANCANGAN BELITAN

#### 3.1. METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 3.1. Flow Chart Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Elektronika Daya dan Kendali Motor Listrik (AL 1.01), Gedung AL, Politeknik Negeri Malang sesuai dengan flow chart pada Gambar 6 di atas, dengan memanfaatkan dua Motor Induksi yang memiliki kesamaan konstruksi dengan dua tipe belitan yang berbeda. Tipe belitan yang digunakan antara lain Terbagi Screw (Motor A) dan Terpusat Terdistribusi (Motor B).

### 3.2. PERANCANGAN BELITAN

- Konstruksi Motor Induksi  
 Data konstruksi Motor Induksi yang digunakan untuk penelitian ditunjukkan pada Tabel 1 di bawah.

TABEL 3.1. KONSTRUKSI MOTOR

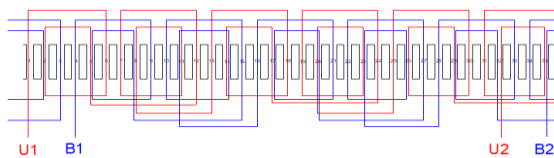
Data	Jumlah/ Dimensi	Satuan
Diameter Inti Stator	105	mm
Panjang Inti Stator	85,1	mm
Jumlah Slot Stator	36	buah
Jumlah Kutub	6	buah

Stator dengan slot sebanyak 36 buah dapat digunakan untuk kutub sebanyak 2,4, dan 6. Pada penelitian ini ditentukan jumlah kutub sebanyak 6 buah. Dengan menggunakan 6 kutub (3 pasang kutub) pada 36 slot stator didapatkan kisar slot ( $y_\theta$ ) sebesar [10]:

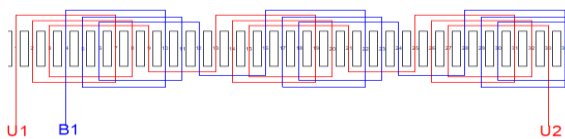
$$\begin{aligned}
 y_\theta &= p \times \frac{360^\circ}{S_s} \\
 &= 3 \times \frac{360^\circ}{36} \\
 &= 30^\circ
 \end{aligned}$$

Kisar slot sebesar  $30^\circ$  telah memenuhi persyaratan untuk melakukan modifikasi belitan agar kisar fasa antara kumparan utama dan kumparan bantu sebesar  $90^\circ$  dan kisar kutub sebesar  $180^\circ$ .

- Bentuk Belitan  
 Dua tipe yang digunakan pada penelitian ini antara lain belitan terbagi-skrew (Motor A) dan terpusat-terdistribusi (Motor B). Berikut merupakan bentuk belitan dengan kumparan utama digambar dengan warna merah dan kumparan bantu dengan warna biru seperti yang ditunjukkan Gambar 3.2 dan 3.3 di bawah.



Gambar 3.2. Bentuk belitan Motor A terbagi-skrew



Gambar 3.3. Bentuk belitan Motor B terpusat-terdistribusi

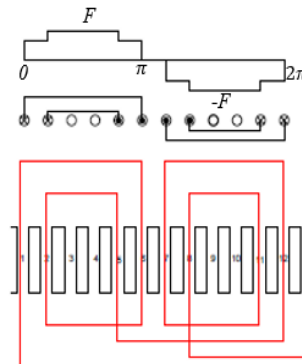
Tipe Belitan Motor A terdapat dua kumparan individu untuk setiap kutubnya dan mempunyai 12 kumparan individu pada masing-masing

fasanya. Dua kumparan individu tersebut antara lain kumparan individu luar dan kumparan individu dalam yang mempunyai lebar kumparan yang berbeda. Dimana kumparan individu luar mempunyai lebar kumparan yang lebih besar dibanding kumparan individu dalam. Sedangkan Tipe belitan Motor B terdapat satu kumparan individu untuk setiap pasang kutubnya dan 9 kumparan individu untuk setiap fasanya. Pada kedua motor yang digunakan untuk penelitian jumlah lilit tiap slot nya adalah sama yakni 45 lilit.

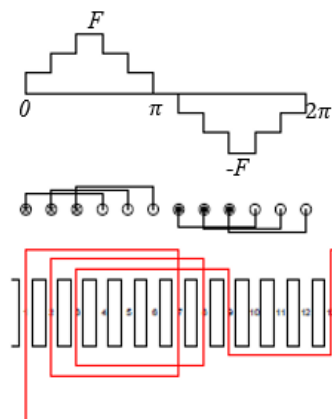
### 4. ANALISIS

#### 4.1. Distribusi MMF Celah Udara

Distribusi MMF yang dihasilkan belitan stator motor induksi didapatkan dari perkalian antara jumlah lilit dengan arus yang mengalir dalam belitan tersebut, dimana jumlah lilit tiap slot adalah 45 dan arus yang mengalir sebesar 3,2 A. Sesuai dengan persamaan 1 distribusi MMF celah udara pada Motor A dan Motor B setiap pasang kutubnya ditunjukkan pada Gambar 4.1 dan 4.2 di bawah.



Gambar 4.1. Distribusi MMF celah udara Motor A



Gambar 4.2. Distribusi MMF celah udara Motor B

Dari kedua bentuk distribusi MMF celah udara yang dihasilkan oleh masing-masing kumparan dapat ditunjukkan bahwa distribusi MMF kumparan Motor B

lebih baik dibandingkan dengan Motor A karena lebih mendekati bentuk yang sinusoida.

#### 4.2. Analisis Harmonisa

Fungsi bentuk gelombang Distribusi MMF celah udara Motor A untuk selang waktu  $0 \leq t \leq 2\pi$ , dapat ditulis sebagai,

$$f(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t \leq \frac{\pi}{5} \\ 1,5 & \frac{\pi}{5} \leq t \leq \frac{4\pi}{5} \\ 1 & \frac{4\pi}{5} \leq t \leq \pi \\ -1 & \pi \leq t \leq \frac{6\pi}{5} \\ -1,5 & \frac{6\pi}{5} \leq t \leq \frac{9\pi}{5} \\ -1 & \frac{9\pi}{5} \leq t \leq 2\pi \end{cases}$$

$$f(t) = f(t + 2\pi)$$

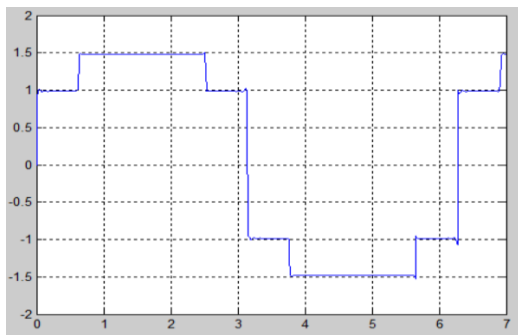
Fungsi f(t) diatas simetri terhadap terhadap titik asalnya, sehingga koefisien Fouriernya dapat dituliskan sebagai berikut,

$$b_n = \frac{2}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{5}} 1 \sin nt \, dt + \frac{2}{\pi} \int_{\frac{\pi}{5}}^{\frac{4\pi}{5}} 1,5 \sin nt \, dt + \frac{2}{\pi} \int_{\frac{4\pi}{5}}^{\pi} 1 \sin nt \, dt$$

$$= \frac{(\cos \frac{n\pi}{5}) - (\cos \frac{4n\pi}{5}) - 2 \cos(n\pi) + 2}{n\pi}$$

$$f(t) = \left( \frac{(\cos \frac{n\pi}{5}) - (\cos \frac{4n\pi}{5}) - 2 \cos(n\pi) + 2}{n\pi} \right) \sin nt$$

Koefisien Fourier Motor A diatas jika dituliskan pada program MATLAB didapatkan gambar grafik seperti ditunjukkan pada Gambar 11 berikut.



Gambar 4.3. Penjumlahan 700 suku pertama dari fungsi f(t) Motor A

Fungsi bentuk gelombang Distribusi MMF celah udara Motor B untuk selang waktu  $0 \leq t \leq 2\pi$ , dapat ditulis sebagai,

$$f(t) = \begin{cases} 0,5 & 0 \leq t \leq \frac{\pi}{5} \\ 1 & \frac{\pi}{5} \leq t \leq \frac{2\pi}{5} \\ 1,5 & \frac{2\pi}{5} \leq t \leq \frac{3\pi}{5} \\ 1 & \frac{3\pi}{5} \leq t \leq \frac{4\pi}{5} \\ 0,5 & \frac{4\pi}{5} \leq t \leq \pi \\ -0,5 & \pi \leq t \leq \frac{6\pi}{5} \\ -1 & \frac{6\pi}{5} \leq t \leq \frac{7\pi}{5} \\ -1,5 & \frac{7\pi}{5} \leq t \leq \frac{8\pi}{5} \\ -1 & \frac{8\pi}{5} \leq t \leq \frac{9\pi}{5} \\ -0,5 & \frac{9\pi}{5} \leq t \leq 2\pi \end{cases}$$

$$f(t) = f(t + 2\pi)$$

Fungsi f(t) diatas simetri terhadap terhadap titik asalnya, sehingga koefisien Fouriernya dapat dituliskan sebagai berikut,

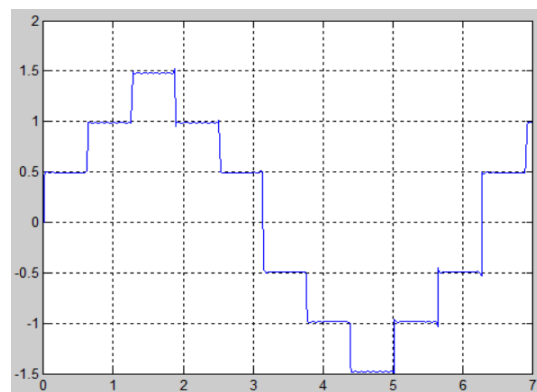
$$b_n = \frac{2}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{5}} 0,5 \sin nt \, dt + \frac{2}{\pi} \int_{\frac{\pi}{5}}^{\frac{2\pi}{5}} 1 \sin nt \, dt$$

$$+ \frac{2}{\pi} \int_{\frac{2\pi}{5}}^{\frac{3\pi}{5}} 1,5 \sin nt \, dt + \frac{2}{\pi} \int_{\frac{3\pi}{5}}^{\frac{4\pi}{5}} 1 \sin nt \, dt$$

$$= \frac{\cos(\frac{2n\pi}{5}) + \cos(\frac{n\pi}{5}) - \cos(\frac{3n\pi}{5}) - \cos(\frac{4n\pi}{5}) - \cos(n\pi) + 1}{n\pi}$$

$$f(t) = \left( \frac{\cos(\frac{2n\pi}{5}) + \cos(\frac{n\pi}{5}) - \cos(\frac{3n\pi}{5}) - \cos(\frac{4n\pi}{5}) - \cos(n\pi) + 1}{n\pi} \right) \sin nt$$

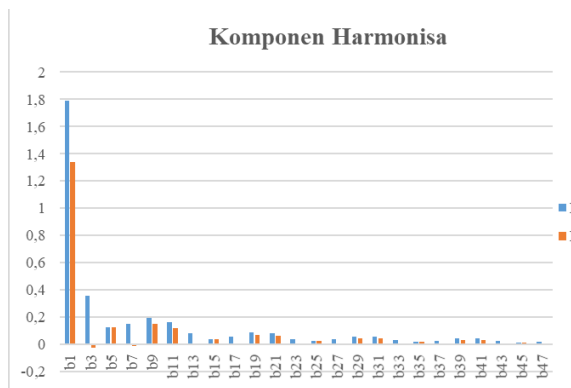
Koefisien Fourier Motor B diatas jika dituliskan pada program MATLAB didapatkan gambar grafik seperti ditunjukkan pada Gambar 12 berikut.



Gambar 4.4. Penjumlahan 700 suku pertama dari fungsi f(t) Motor B

Dari bentuk distribusi MMF celah udara kedua Motor dapat diuraikan menjadi gelombang sinusoida fundamental dan komponen harmonisa. Bentuk distribusi MMF celah udara Motor A, jika digambarkan

akan mempunyai lebih banyak komponen harmonisa pada dibanding dengan Motor B seperti yang diuraikan pada Gambar 13 di bawah.



Gambar 4.5. Komponen Harmonisa Distribusi MMF Celah Udara Motor A dan Motor B

### 4.3. Pengujian Berbeban

Pada pengujian berbeban dengan beban yang sama hingga mencapai kecepatan sudut sekitar 99-100 rad/sec Motor B menghasilkan torsi sebesar 4,608 Nm dan Motor A menghasilkan torsi sebesar 3,37 Nm. Setelah itu ketika beban ditambah Motor B memiliki torsi sebesar 4,992 Nm sedangkan Motor A sudah tidak bisa bekerja optimal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 14 di bawah.



Gambar 4.6. Grafik hasil pengujian Berbeban

Melalui pengujian berbeban besar torsi yang dihasilkan oleh motor juga dipengaruhi oleh banyaknya komponen harmonisa pada distribusi MMF celah udara. Komponen harmonisa pada distribusi MMF celah udara menghasilkan torsi parasit yang menyebabkan gaya pada rotor tidak terkompensasi. Dalam hal ini motor A memiliki komponen harmonisa yang lebih banyak dibanding Motor B.

### 5. KESIMPULAN

- Konfigurasi kumparan Motor B lebih terdistribusi dibanding Motor A, akibatnya distribusi MMF celah udara yang dihasilkan Motor B lebih mendekati bentuk sinusoida dibanding distribusi MMF Motor A yang mana memiliki lebih banyak komponen harmonisa.
- Komponen harmonisa yang lebih besar pada Motor A menghasilkan torsi parasit yang menyebabkan gaya rotor tidak terkompensasi, hal ini dibuktikan

dengan pengujian berbeban dimana Torsi mekanik yang dihasilkan Motor B sebesar 4,608 Nm dan Motor A 3,37 Nm.

### 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Pali, "A New Sensorless Speed Estimation Strategy for Induction Motor Driven Electric Vehicle with Energy Optimization Scheme," IEEE, 2016.
- [2] Jimmie J. Cathey, 2001. "Electric Machines: Analysis and Design Applying MATLAB". Singapore. The McGraw-Hill Companies, Inc.
- [3] Vladimir Kindl, Karel Hruska, Jan Sobra and Miroslav Byrtus. 2014. "Effect of Induction Machine's Load and Rotor Eccentricity on Space Harmonics in the Air Gap Magnetic Flux Density". IEEE
- [4] N. Riviere and M. Villani, "Optimisation of a High Speed Copper Rotor Induction Motor for a Traction Application," IECON 2019 - 45th Annu. Conf. IEEE Ind. Electron. Soc., vol. 1, pp. 2720–2725, IEEE, 2019.
- [5] Mismail Budiono, Dasar Teknik Elektro. Malang :Universitas Brawijawa Press, 2011
- [6] P. C. Sen. 1997. Principles of Electric Machines and Power Electronics. United States of America. John Wiley And Sons, Inc.
- [7] Mismail Budiono, Rangkaian Listrik Jilid 2. Bandung, :ITB Press, 1997.
- [8] A.R. Margunadi, Dasar-dasar Teori Rangkaian, Jakarta, Erlangga 1994.
- [9] Sudirham Sudaryatno, Analisis Rangkaian Listrik Jilid 1, Bandung, Darpublic, 2010:93
- [10] Sawhney A.K, 1990. Electrical Machine Design. New Delhi : Dhanfat Rai & Sons.Gonen, Turan. 1987. Electric Power Distribution Sistem Engineering. Singapore: McGraw-Hill Book Company.