



# Turn To Turn Short Circuit Classification In Induction Motor Stator Windings Caused By Isolation Failure Using Neural Network (NN) Method

## Klasifikasi Hubung Singkat Turn To Turn Pada Belitan Stator Motor Induksi Yang Disebabkan Kegagalan Isolasi Menggunakan Metode Neural Network (NN)

Iradiratu Diah Prahmana karyatanti<sup>1)</sup>, Belly Yan Dewantara<sup>2)</sup>, Daeng Rahmatullah<sup>3)</sup>, Barli Jeihan Irawan<sup>4)</sup>

<sup>1,2,3,4)</sup>Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering and Marine Sciences, Hang Tuah University Surabaya, Surabaya, Indonesia

<sup>1)</sup> iradiratu@hangtuah.ac.id

<sup>2)</sup> bellyyandewantara@hangtuah.ac.id

<sup>3)</sup> daengrahmatullah@gmail.com

<sup>4)</sup> barlijehanimirawan@gmail.com

**Abstract.** Almost all industries use induction motors as production aids, this is due to several reasons, namely, the rotating speed produced is constant, the induction motor does not have a brush so that the friction loss can be reduced, and easy maintenance. In this study is to detect damage to the stator winding caused by lamination of the windings so that a short circuit occurs in one phase, which is also called a turn fault. The Fast Fourier Transform (FFT) method is used to detect currents with a load of 0%, and 100% which will later be detected for classification on the Neural Network (NN). Categorizing the level of loading and the level of damage experienced by induction motors, namely turn to turn u1, turn to turn u1 and v1, and turn to turn u1, v1 and w1. The reading of the test results conducted on the Neural Network has good prediction results because the Mean Squared Error (MSE) produced does not exceed the specified 5% erracy level.

Keywords: Induction motor; Stator Winding Damage; Artificial Neural Network (NN).

**Abstrak.** Hampir seluruh industri menggunakan motor induksi sebagai alat bantu produksi, hal ini disebabkan karena beberapa alasan yaitu, kecepatan putar yang dihasilkan konstan, motor induksi tidak memiliki sikat sehingga rugi gesek dapat dikurangi, dan perawatannya yang mudah. Pada penelitian ini adalah mendeteksi kerusakan *belitan stator* yang disebabkan oleh laminasi belitan sehingga terjadinya hubung singkat pada satu fasa, yang disebut juga dengan *turn fault*. Metode *Fast Fourier Transform* (FFT) yang digunakan untuk pedeteksi arus dengan pembebanan 0%, dan 100% yang nantinya hasil deteksi untuk klasifikasi pada *Neural Network* (NN). Pengkate- gorian tingkat pembebanan dan tingkat kerusakan yang dialami oleh motor induksi, yaitu *turn to turn* u1, *turn to turn* u1 dan v1, dan *turn to turn* u1, v1 dan w1. Pembacaan hasil *test* yang dilakukan pada *Neural Network* memiliki hasil prediksi yang baik karena *Mean Squared Error* (MSE) yang dihasilkan tidak melebihi tingkat keerroran 5% yang telah ditetapkan.

Kata Kunci: Motor Induksi; Kerusakan Belitan Stator; Jaringan Saraf Tiruan (NN).

## PENDAHULUAN

Hampir seluruh industri menggunakan motor induksi sebagai alat bantu produksi, hal ini disebabkan karena beberapa alasan yaitu, kecepatan putar yang dihasilkan konstan, motor induksi tidak memiliki sikat sehingga rugi gesek dapat dikurangi, dan perawatannya yang mudah karena beberapa alasan tersebut motor induksi digunakan secara luas. Motor-motor tersebut ditempatkan pada lingkungan dan kondisi yang bervariasi yang dapat menimbulkan kerusakan dibagian-bagian motor\$. Mekanisme kerusakan pada mesin induksi yang paling umum dapat dikategorikan menurut komponen utama mesin seperti gangguan pada stator, rotor, dan *bearing*. Hampir 36% pada EPRI gangguan pada motor induksi terjadi pada stator, hal ini bisa disebabkan karena kegagalan isolasi pada belitan stator sehingga menimbulkan hubung singkat [1]. Pada penelitian sebelumnya analisa hubung singkat pada motor induksi dilakukan dengan cara mengkondisikan belitan stator terhubung singkat sesaat yang menggambarkan awal terjadinya kerusakan belitan stator menggunakan metode *Fast Fourier Transform* (FFT)\$\$. Pada penelitian tersebut simulasi hubung singkat pada belitan stator diuji menggunakan metode *Fast Fourier Transform* (FFT) [2]. Namun untuk deteksi dini hubung singkat *turn fault* pada belitan stator motor induksi yang disebabkan kegagalan isolasi menggunakan metode *Neural Network* masih belum dikembangkan. Sehingga pada penelitian ini akan dikembangkan deteksi dini kegagalan isolasi pada belitan stator yang menyebabkan hubung singkat *turn to turn* pada motor induksi dalam keadaan tanpa beban dan berbeban menggunakan *Neural Network*.

Penelitian ini akan membahas mengenai metode analisis arus stator pada kondisi *steady state* yang terjadi pada motor induksi yang dilengkapi dengan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT) yang kemudian akan memiliki keuntungan untuk mengenali pola data nonlinear dan dapat menghindari kompleksitas penentuan ambang batas deteksi menggunakan *Neural Network* (NN) Diaplikasikan pada motor induksi untuk melakukan deteksi kerusakan belitan stator [3]. Dalam penelitian ini akan dilakukan beberapa eksperimen berupa rekonstruksi kerusakan belitan stator serta pemberian beban mekanis yang bervariasi mulai dari tanpa beban, beban minimum sampai beban maksimum untuk mengetahui performa dari metode deteksi kerusakan yang diajukan. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan beberapa peralatan pengujian berupa *National Instruments* (NIDAQ) yang dilengkapi dengan *software* LabVIEW, Diadem dan MATLAB untuk memudahkan proses pengukuran dan pengolahan sinyal arus stator motor induksi.

## METODELOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini dilakukan eksperimen untuk mendeteksi terjadinya kerusakan belitan *stator* pada motor induksi melalui analisa frekuensi pada arus stator [2]. Adapun sistem yang digunakan terdiri dari beberapa *device* yang dibutuhkan antara lain sumber AC, motor induksi 3 fasa, perangkat pembebanan, dan peralatan akuisisi data yang secara langsung terhubung ke komputer. Dalam Penelitian ini, sistem pengukuran sinyal arus stator, untuk membentuk sistem deteksi tersebut diperlukan beberapa peralatan penunjang seperti sumber listrik dari PLN, motor induksi 3 fasa, perangkat pembebanan berupa generator dan lampu, serta peralatan akuisisi data (NIDAQ) terhubung komputer yang dilengkapi dengan *software* LabVIEW, Diadem dan MATLAB.

Dengan menggunakan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT) yang mengubah sinyal arus stator dari domain waktu ke domain frekuensi yang kemudian akan memiliki keuntungan untuk mengenali pola data nonlinear dan dapat menghindari kompleksitas penentuan ambang batas deteksi menggunakan *Neural Network* (NN). Tujuan digunakannya algoritma FFT dan metode NN adalah untuk melakukan deteksi hubung singkat pada belitan stator melalui spectrum arus stator dapat dilihat pada Figure 1.

[Figure 1 about here.]

*Eksperimen Penelitian*

Sumber yang digunakan berupa sumber AC tiga fasa yang langsung diambil dari jaringan PLN. Fungsinya sebagai sumber listrik arus bolak-balik untuk mengoperasikan motor induksi tiga fasa yang akan digunakan. Motor induksi tiga fasa yang digunakan dalam penelitian ini merupakan jenis rotor sangkar merk Tatung dengan kapasitas 2 HP atau setara dengan 1,5 kW. Konfigurasi belitan yang digunakan adalah *delta* (D) sehingga motor induksi tiga fasa memiliki *rating* tegangan sebesar 220/380 V dan *rating* arus sebesar 5,94/3,44 Ampere. Motor induksi tiga fasa yang digunakan memiliki jumlah pasang kutub sebanyak empat buah sehingga memiliki kecepatan sinkron sebesar 1500 rpm dan kecepatan saat beban penuh sebesar 1380 rpm. Beban mekanis pada motor yang di gunakan dalam pengukuran adalah berupa generator sinkron yang di kopel dengan motor. Untuk memvariasikan beban pada motor generator sinkron dibebani oleh beban resistif berupa lampu pijar sebanyak 8 buah dengan daya 100 Watt. Modul motor induksi yang di gunakan pada penelitian ini dapat dilihat Figure 2 dibawah ini.

[Figure 2 about here.]

Pengaturan dari proses sampling pada NI DAQ dilakukan

melalui *software* LabVIEW. Keluaran dari hasil sampling oleh NI DAQ melalui LabVIEW adalah berupa file TDMS (*Technical Data Management Streaming*). Untuk dapat melihat sinyal hasil sampling melalui file TDMS tersebut, dibutuhkan lagi satu *software* yakni DIadem. Melalui *software* DIadem, sinyal hasil proses sampling dapat diatur tampilannya. Selain itu, DIadem juga dapat digunakan untuk mengubah file TDMS tadi ke bentuk file *Excel*. File *Excel* hasil konversi oleh DIadem berisi data teknisi melalui proses sampling dan juga data arus tiga fasa. File *Excel* inilah yang akan digunakan sebagai input pada *software* MATLAB untuk dapat dilakukan proses analisis.

*Rekonstruksi Kerusakan Belitan Stator*

Rekonstruksi hubung singkat yang dilakukan dengan cara memberikan kecacatan pada bagian belitan *stator*. Kerusakan dibuat dengan membuat goresan isolasi dikumparnya.

Variasi goresan kerusakan ini dimaksudkan agar data yang dihasilkan dapat terukur tingkatannya, walaupun pada kenyataan di lapangan hubung singkat terjadi karena usia motor tua atau besaran yang tidak dapat ditentukan.

Pada perancangan kerusakan ini akan dirancang kerusakan sistem isolasi antar *Turn* pada motor induksi. Kerusakan ini melibatkan kerusakan sistem isolasi yang terdapat pada kawat-kawat, belitan yang terpisah dalam tiap koil. Pada pengujian ini koil masih dalam satu fasa yang sama yaitu fasa R, S dan T akan divariasikan jumlah *Turn fault* yang terjadi dalam satu fasa tersebut. Pada perancangan kerusakan ini akan disimulasikan pada Figure 3 yang terjadi pada *turn to turn* u1, *turn to turn* u1 dan v1, *turn to turn* u1, v1 dan w1 pada Figure 4 berikut.

[Figure 3 about here.]

[Figure 4 about here.]

Deteksi menggunakan nilai arus diubah menjadi domain frekuensi yang awalnya pendeteksian menggunakan perhitungan manual yaitu:

$$s = \frac{ns-nr}{nr} \times 100\% \quad [1]$$

Setelah perhitungan slip maka dilakukan perhitungan pada

$$F_{st} = f_s \left[ \frac{1-s}{p} \right]$$

Setelah itu dilakukan perhitungan untuk menentukan nilai frekuensi prediksi yang dimana frekuensi pada prediksi di kerusakan stator adalah

$$f_p = I f_s \pm f_{st}$$

Ini adalah contoh nilai perhitungan yang telah dilakukan

$$\frac{Ns-Nr}{Nr} = \frac{1500-1499}{1500} = 0.000666667$$

$$F_{st} = f_s \left[ \frac{1-s}{p} \right]$$

$$F_{st} = 50 \left[ \frac{1-0.000666667}{2} \right]$$

$$F_{st} = 24.98333333$$

Perhitungan nilai prediksi.

$$f_p = I f_s \pm f_{st}$$

$$f_p = 50 + 24.98333333 = 74.98333333$$

$$f_p = 50 - 24.98333333 = 25.01666667$$

Pada Figure 5 dan Figure 6 salah satu contoh grafik yang telah dilakukan perbandingan pendeteksian dari perhitungan manual dan nilai yang tertera pada grafik yang dimana pendeteksian dilakukan dengan membandingkan grafik *spectrum* arus motor normal dan motor yang telah mengalami kerusakan.

[Figure 5 about here.]

[Figure 6 about here.]

PEMBAHASAN

Neural Network

Metode *artificial intelligence* (AI) diterima sebagai metodologi yang kuat untuk beberapa bidang ilmiah. Karena *Neural Network* dapat dilatih dan dapat menangani masalah non linear, mampu secara positif untuk mewujudkan hubungan antara input dan output data dari eksperimental. Oleh karena itu, dapat diterapkan ke banyak aplikasi khususnya untuk mengenali pola. Pada dasarnya, ada banyak jenis algoritma jaringan saraf tiruan, misalnya, jaringan saraf regresi umum, jaringan fungsi basis radial, korelasi kaskade, dan jaringan tautan fungsional. Juga jaringan neural backpropagation feed-forward adalah salah satu teknik AI, mampu dengan baik untuk mengenali pola dan membuat peraturan sederhana untuk masalah yang kompleks. Metode *Neural Network backpropagasi* dipilih dalam penelitian ini bertujuan untuk mengenali harmonik dari kesalahan rotor bar rusak dengan menentukan letak kerusakan pada rotor. Secara teratur, jaringan *neural network backpropagasi* umpan balik memerlukan parameter inti seperti input data (*Pk*), output target (*tk*), bobot (*w*), dan nilai bias (*Bk*). Secara umum, kesalahan rata-rata jaringan (*MSE*), yang merupakan fungsi kinerja untuk proses pelatihan.

KLASIFIKASI KONDISI STATOR MOTOR INDUKSI EKSPERIMENTAL

Figure 7 di bawah menunjukkan nilai MSE pada neuron ke 1 sampai 7 yang nantinya disini menggunakan data latih dengan MSE terkecil yang dapat dimiliki pada neuron ke 5 percobaan d.

[Figure 7 about here.]

### Hasil Testing NN (Neural Network) Motor Turn to turn u1 Beban 0%

Hasil grafik di bawah adalah salah satu contoh acak hasil data validasi atau data tes pada motor keadaan Normal dengan beban 0 % yang telah dilakukan setelah melakukan training atau memproses data latih yang diberikan dari data FFT ke NN, data training diproses dan mendapatkan hasil pada Figure 8 grafik di bawah

[Figure 8 about here.]

[Table 1 about here.]

Hasil dari Table I diatas menyatakan bahwa tingkat beban dari 0% = 1 dan 100% = 5, dan kondisi stator pada motor terkopel generator *turn to turn* u1 menunjukkan nilai data = 2, setelah melakukan percobaan testing NN yang dilakukan melalui data FFT target klasifikasi kerusakan stator menunjukkan hasil yang terbaca dengan baik dan menunjukkan hasil target yang sama dengan data target klasifikasi kerusakan stator. Data error pada tiap tingkatan beban menunjukkan hasil error yang kecil 0% = 7, 86  $\times 100^{-14}$ , , 100% = 8, 38  $\times 1006$ .

### Hasil Testing NN (Neural Network) Motor Terkopel Generator Turn To Turn u1 dan v1 Beban 100%

Hasil grafik di bawah adalah salah satu contoh acak hasil data validasi atau data tes pada motor mengalami kerusakan *turn to turn* u1 dan v1 yang terkopel dengan generator dengan beban 100% yang telah dilakukan setelah melakukan training atau memproses data latih yang diberikan dari data FFT ke NN, data training diproses dan mendapatkan hasil pada grafik Figure 9.

[Figure 9 about here.]

[Table 2 about here.]

Hasil dari Table II di atas menyatakan bahwa tingkat beban dari 0% = 1 dan 100% = 5, dan kondisi stator pada motor terkopel generator *turn to turn* u1 menunjukkan nilai data = 3, setelah melakukan percobaan testing NN yang dilakukan melalui data FFT target klasifikasi kerusakan stator menunjukkan hasil yang terbaca dengan baik dan menunjukkan hasil target yang sama dengan data target klasifikasi kerusakan stator. Data error pada tiap tingkatan beban menunjukkan hasil error yang kecil. 0% = 2.61  $\times 100^{-14}$ , , 100% = 5.3450  $\times 10^{17}$ .

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan untuk kerusakan stator pada motor induksi menggunakan analisis arus *Stady state* dengan menggunakan *Neural Network* dan pembahasan *backpropagation* yang digunakan untuk mengklasifikasikan beban dan tingkat kerusakan pada motor induksi

yang berfokus pada stator, yaitu motor sehat, *turn to turn* u1, *turn to turn* u1 dan v1, *turn to turn* u1, v1 dan w1 sebagai berikut :

1. Pengujian dilakukan dengan pengambilan data arus lonjakan pada motor induksi keadaan *stady state* yang dilakukan di stator motor normal, dan mengalami kerusakan *turn to turn* u1, *turn to turn* u1 dan v1, *turn to turn* u1, v1, dan w1, setelah itu data arus di olah menggunakan metode FFT yang membandingkan *spectrum* arus motor normal dan motor yang mengalami kerusakan pada grafik.
2. Pada hasil yang dihasilkan pada proses metode NN dapat disimpulkan bahwa hasil pendeteksian kerusakan pada motor induksi dapat terlihat memiliki tingkat error yang kurang dari 5% pada MSE pembacaan pada grafik pada neuron ke 5 pada percobaan d yang memiliki MSE 1.63E-13.

### REFERENCES

- [1] M. Abduh, D. P.K. Iradiratu, & B. Y.Dewantara, "Deteksi Kerusakan Outer Race Bearing Pada Motor Induksi Melalui Analisa Arus Stator Menggunakan Metode Fast Fourier Transform (FFT)," *Prosiding SENIATI*, vol. 5, no. 3, pp. 175–181, 2019.
- [2] Iradiratu & P. K. Diah, "Decomposition Wavelet Transform as Identification of Outer Race Bearing Damage Through Stator Flow Analysis in Induction Motor," *2019 International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT)*, 2019.
- [3] F. Shodiq, D. P. K. Iradiratu, Y. Belly, & Dewantara, *Monitoring Kerusakan Batang Rotor Pada Motor Induksi Menggunakan Analisa Arus Stator Berbasis Fast Fourier Transform. CITEE*, Yogyakarta, 2019.

Conflict of Interest Statement: The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Copyright © 2020 Author [s]. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) and the copyright owner(s) are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

Received: 2020-03-13

Accepted: 2020-05-13

Published: 2020-06-06

## LIST OF TABLES

I	Pengambilan data hasil <i>testing</i> NN motor terkopel generator <i>turn to turn</i> u1 .....	107
II	Pengambilan data hasil <i>testing</i> NN motor terkopel generator <i>turn to turn</i> u1 dan v1 .....	108

TABLE I. PENGAMBILAN DATA HASIL *testing* NN MOTOR TERKOPEL GENERATOR *turn to turn* U1

Beban	Kondisi Stator Pada Motor Terkopel Generator <i>turn to turn</i> u1		Klasifikasi Kerusakan Stator		
	Target Klasifikasi Kerusakan Stator	Estimasi NN untuk Klasifikasi Kerusakan Stator	Tingkat Beban	Kondisi Stator	Error
0%	1	2	1	2	7.86x
100%	5	2	5	2	8.38x

TABLE II. PENGAMBILAN DATA HASIL *testing* NN MOTOR TERKOPEL GENERATOR *turn to turn* u1 dan v1

Beban	Kondisi Stator Pada Motor Terkopel Generator <i>turn to turn</i> u1 dan v1		Estimasi NN untuk Klasifikasi Kerusakan Stator		
	Target Klasifikasi Kerusakan Stator	Kondisi Stator	Tingkat Beban	Kondisi Stator	Error
0%	1	3	1	3	2.61x
100%	5	3	5	3	5.3450x

LIST OF FIGURES

1	Konfigurasi sistem deteksi kerusakan <i>belitan stator</i> .....	110
2	Implementasi Sistem Deteksi Kerusakan Rotor .....	110
3	Konfigurasi <i>turn to turn</i> motor Induksi 3 fasa.....	111
4	Kerusakan belitan stator <i>turn to turn</i> .....	111
5	Grafik spectrum arus motor normal dan <i>turn to turn</i> u1 beban 0% .....	112
6	Grafik spectrum arus motor normal dan <i>turn to turn</i> u1 beban 100% .....	112
7	Hasil grafik nilai MSE.....	113
8	Hasil grafik saat validasi data NN motor kerusakan <i>turn to turn</i> u1 yang terkopel generator beban 0% .....	113
9	Hasil grafik saat validasi data NN motor kerusakan <i>turn to turn</i> u1 dan v1 yang terkopel generator beban 100% .....	114



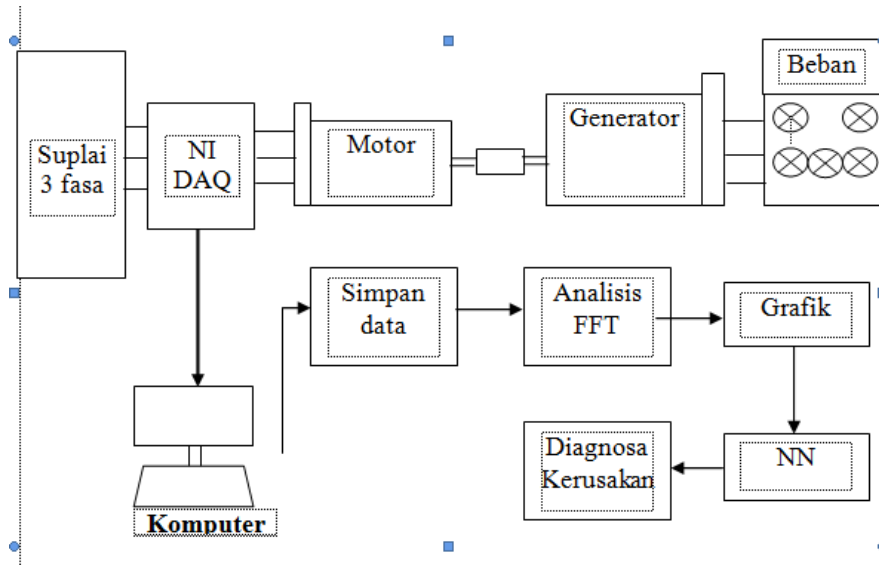


Figure 1. Konfigurasi sistem deteksi kerusakan *belitan stator*



Figure 2. Implementasi Sistem Deteksi Kerusakan Rotor

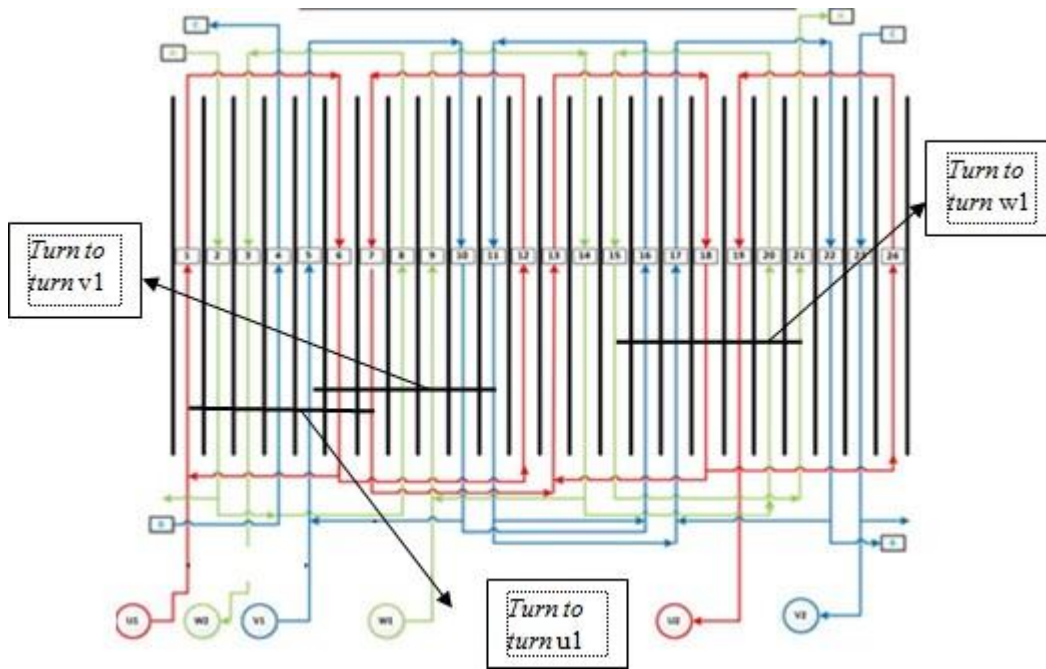


Figure 3. Konfigurasi *turn to turn* motor Induksi 3 fasa.

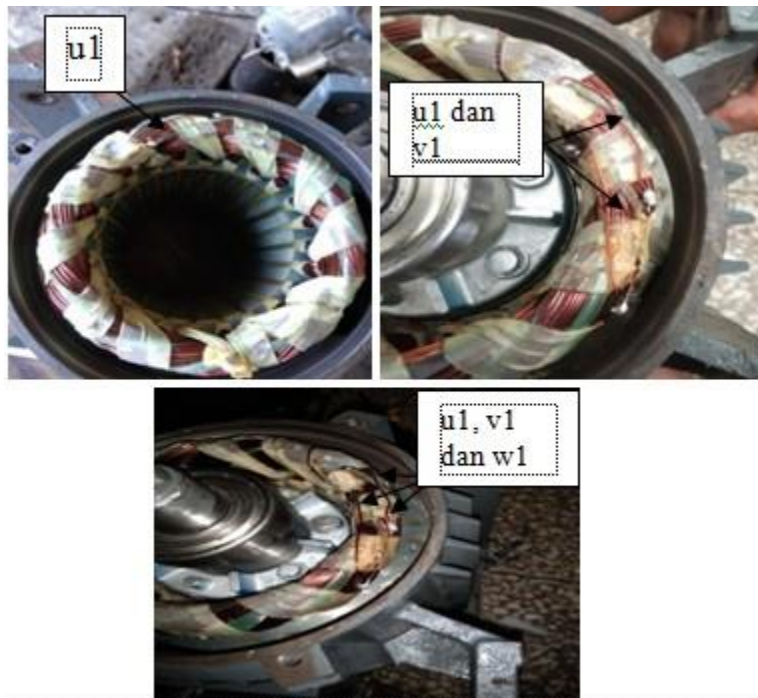


Figure 4. Kerusakan belitan stator *turn to turn*.

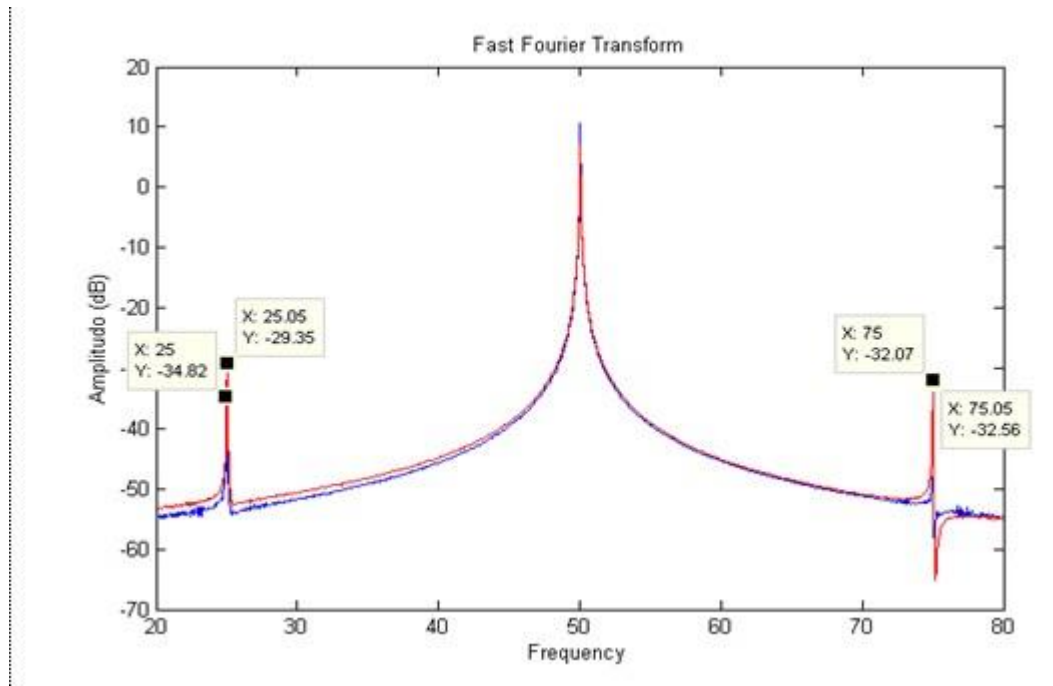


Figure 5. Grafik spektrum arus motor normal dan *turn to turn* u1 beban 0%.

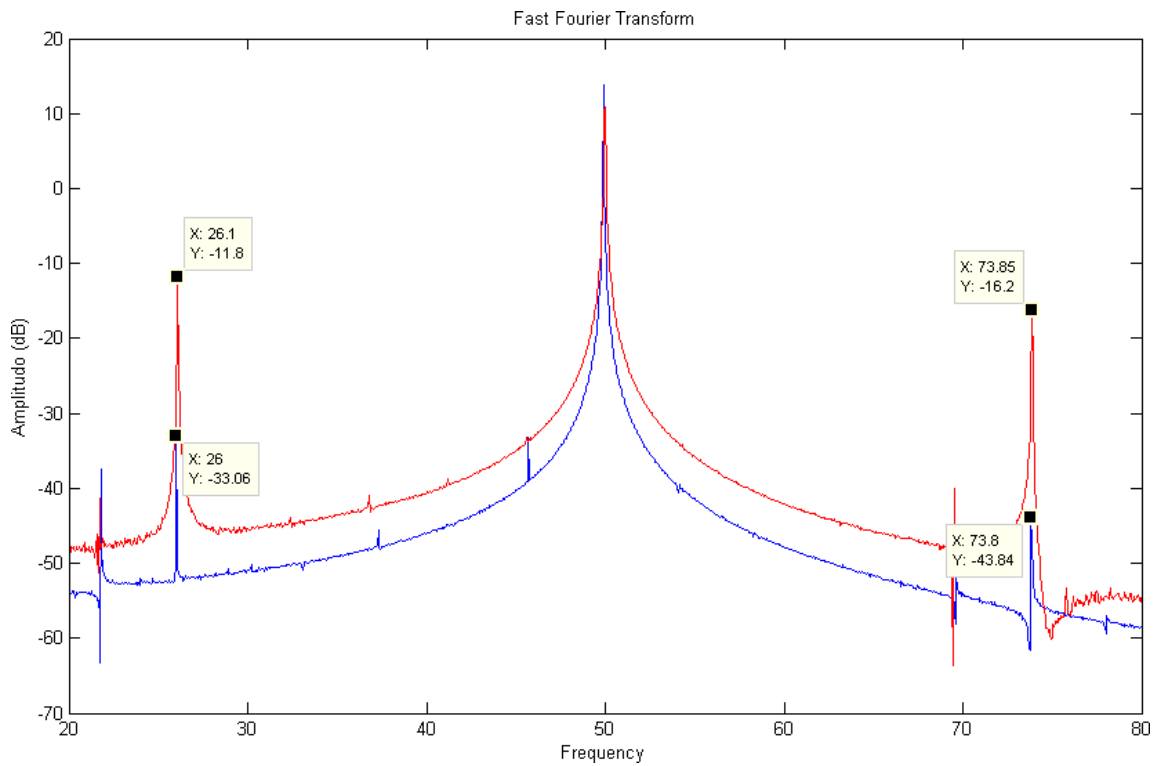


Figure 6. Grafik spektrum arus motor normal dan *turn to turn* u1 beban 100%.

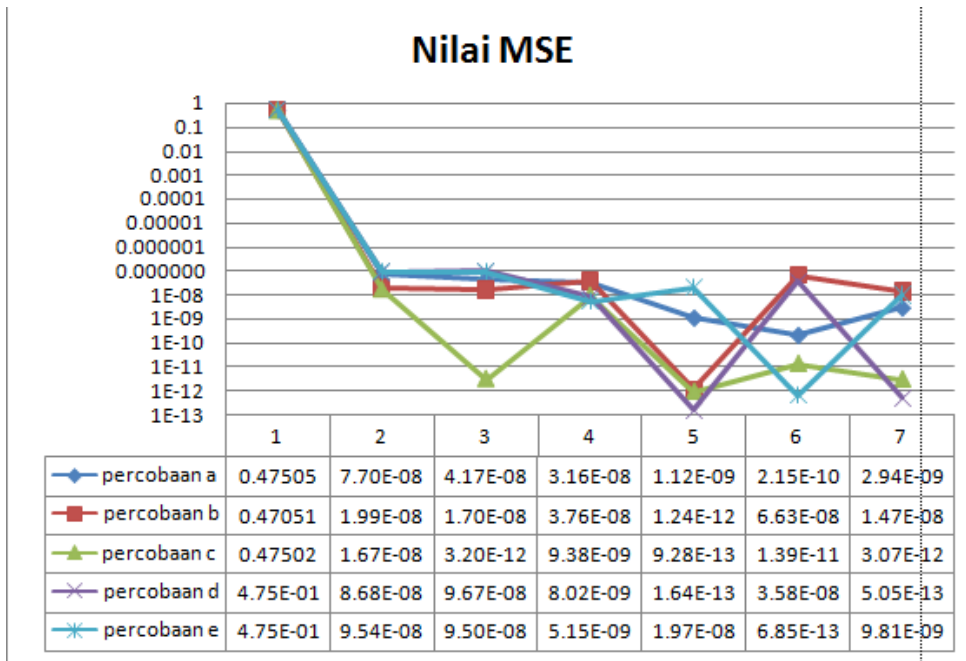


Figure 7. Hasil grafik nilai MSE.

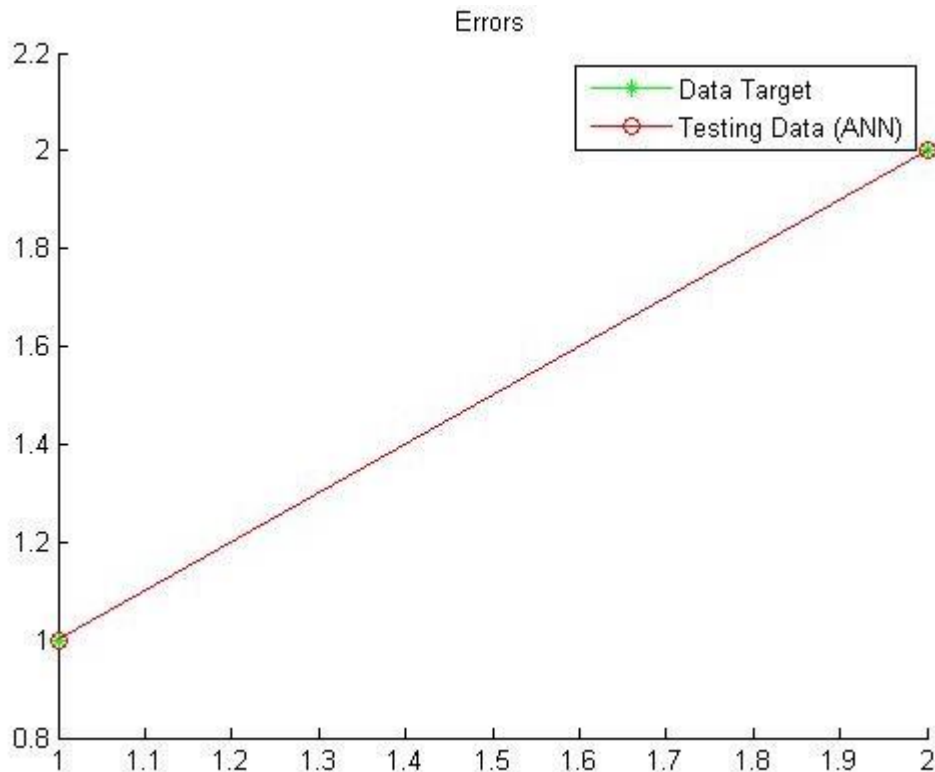


Figure 8. Hasil grafik saat validasi data NN motor kerusakan *turn to turn* u1 yang terkopel generator beban 0%.

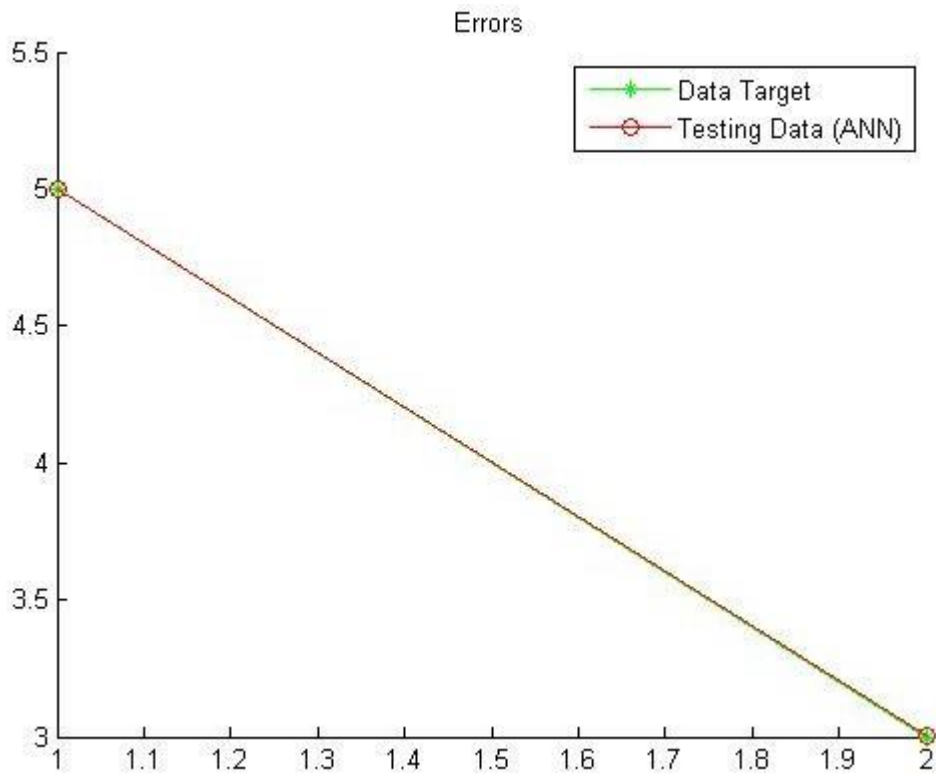


Figure 9. Hasil grafik saat validasi data NN motor kerusakan *turn to turn* u1 dan v1 yang terkopel generator beban 100%.