

Rancang Bangun Alat Pendeteksi Penyebab Kerusakan Motor Sebagai Penggerak Mobil Listrik Menggunakan *Current Analysis* Dengan *Artificial Neural Network*

Sindu Muhammad Imam Taufik¹, Era Purwanto², dan Ony Asrarul Qudsi³

^{1,2,3}Teknik Elektro Industri, Departemen Teknik Elektro, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Kampus PENS, Jl. Raya ITS, Keputih Kec. Sukolilo, Kota Surabaya, 60119, Jawa Timur, Indonesia.

email: sindu@pe.student.pens.ac.id¹, era@pens.ac.id², ony@pens.ac.id³

Abstraksi - Seiring dengan kemajuan zaman, transportasi selalu mengalami perkembangan salah satunya yaitu mobil listrik. Motor induksi merupakan salah satu jenis penggerak yang paling umum untuk digunakan baik dalam kebutuhan industri, rumahan, sarana transportasi, dan lainnya. Motor jenis ini banyak digunakan karena memiliki konstruksi yang kokoh, harga murah, pengoperasian mudah dan kecepatan motor relatif konstan. Saat ini, telah banyak alat-alat proteksi untuk motor induksi. Tetapi alat-alat tersebut hanya melindungi bagian instalasi saja. Maka dari itu, diciptakan deteksi dini kerusakan motor. Konsep kerja alat ini yaitu dengan mendeteksi arus yang dihasilkan oleh motor induksi 3 fasa 1,2 KW. Arus tersebut memiliki karakteristik gelombang arus yang nantinya diolah pada mikrokontroler yang dilakukan proses *fast fourier transform* (FFT) terlebih dahulu agar bisa dilihat spektrumnya, lalu di dihitung (Δ dB) selisih frekuensi puncak dengan *lower side band* (gelombang sebelum puncak tertinggi). dB tersebut yang digunakan untuk karakteristik setiap kondisi dari motornya. Selanjutnya membandingkan hasil arus dengan data yang telah diinputkan pada data base mikrokontroler menggunakan metode *artificial neural network* (ANN). Kemudian menghasilkan analisa kondisi motor induksi. Pada pengujian ANN, perbandingan target dan *output* memiliki *error* sangat kecil yaitu rata-rata *error* 0,000667826.

Kata Kunci - Mikrokontroler, Motor induksi, FFT, ANN

Abstract - Along with the progress of the times, transportation is always experiencing developments, one of which is electric cars. Induction motors are one of the most common types of propulsion for use in both industrial, home, transportation, etc. This type of motor is widely used because it has a sturdy construction, low price, easy operation and relatively constant motor speed. Currently, there are many protection devices for induction motors. But these tools only protect the installation part. Therefore, an early detection for motor damage was created. The working concept of this tool is to detect the current generated by a 1.2 Kw 3-phase induction motor. The current has the characteristics of a current wave which will be processed on the microcontroller which is Fast Fourier Transform (FFT) first so that the spectrum can be seen, then calculated (Δ dB) the difference between the peak frequency and the lower side band (the wave before the highest peak). The dB used for the characteristics of each condition of the motor. Next, compare the current results with the data that has been inputted into the microcontroller data base using the ANN method. Then produce an analysis of the condition from induction motor. In the ANN test, the target and output comparison has a very small error, namely the average error is 0.000667826.

Keyword - Microcontroller, Induction motor, FFT, ANN

I. PENDAHULUAN

Perkembangan sarana transportasi selalu mengalami perkembangan seiring dengan kemajuan jaman, salah satunya merupakan Mobil listrik. Mobil listrik adalah kendaraan ramah lingkungan yang menggunakan tegangan listrik sebagai sumber utama dan nantinya diharapkan mampu mengurangi penggunaan bahan bakar hasil minyak bumi atau fosil purba secara signifikan. Perkembangan mobil listrik di Indonesia sangat mengalami peningkatan, hal ini

terlihat dari banyaknya mobil listrik yang dipasarkan di Indonesia dan dibangunnya infrastruktur penunjang seperti Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU). Terdapat berbagai macam penggerak untuk mobil listrik, salah satunya adalah motor induksi. Motor induksi merupakan salah satu jenis penggerak yang paling umum untuk digunakan baik dalam kebutuhan industri, rumahan, sarana transportasi, dan lain-lain. Motor jenis ini banyak digunakan karena memiliki konstruksi yang kokoh, harga yang murah, pengoperasian yang mudah dan kecepatan motor yang relatif konstan. Namun terdapat banyak faktor yang dapat menyebabkan kerusakan pada motor induksi. Kerusakan yang muncul dapat menyebabkan kerugian yang tidak sedikit, akibatnya ada beberapa komponen yang harus diganti.

Pada saat ini, telah banyak alat-alat proteksi untuk motor induksi. Contohnya adalah *miniature circuit breaker* (MCB), *thermal over load relay* (TOR), *over and under voltage relay*, dan lain-lain. Perangkat-perangkat tersebut sangat umum digunakan untuk menjaga peralatan listrik seperti motor induksi agar terhindar dari kerusakan dengan cara memutus daya suplai ke motor [1]. Tetapi alat-alat tersebut hanya melindungi bagian instalasi saja dan tidak dapat mendeteksi kerusakan komponen pada motor induksi. Perangkat proteksi tersebut juga memiliki konstruksi yang cukup besar, sehingga kurang cocok untuk diaplikasikan pada mobil listrik. Maka dari itu, diperlukan suatu alat atau perangkat yang dapat digunakan untuk mendeteksi komponen yang rusak pada motor untuk mobil listrik. Oleh karena itu, penelitian ini menawarkan produk berupa alat deteksi dini kerusakan motor sebagai penggerak mobil listrik menggunakan metode *current analysis* [2]. Sistem ini memiliki konsep kerjanya yaitu dengan mendeteksi arus yang dihasilkan oleh motor induksi 3 fasa. Arus tersebut memiliki karakteristik gelombang arus yang nantinya diolah pada mikrokontroler di-FFT-kan terlebih dahulu, agar bisa dilihat spektrumnya lalu dihitung selisih frekuensi puncak (ΔdB) dengan *lower side band* (gelombang sebelum puncak tertinggi). Selisih tersebut yang akan digunakan karakteristik setiap kondisi motornya. Mikrokontroler membandingkan hasil arus dengan data yang telah dimasukkan pada *database* mikrokontroler. Kemudian alat ini menghasilkan keluaran berupa status motor. Sehingga dengan adanya sistem ini diharapkan dapat membantu pengguna mobil listrik maupun pengusaha mobil listrik untuk melakukan deteksi dini kerusakan pada motor serta menghindari pengeluaran yang tidak diperlukan akibat kerusakan motor induksi [3].

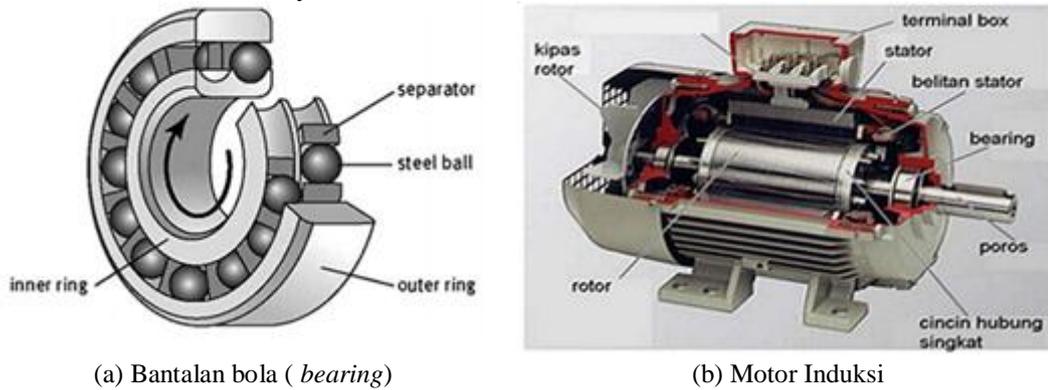
II. METODE

A. Motor Induksi

Motor induksi merupakan motor arus bolak-balik yang paling banyak digunakan dan dapat dijumpai dalam setiap aplikasi industri, rumah tangga, alat transportasi, dan lain-lain. Penamaannya berasal dari kenyataan bahwa arus rotor motor ini tidak diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan dari arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar atau (*rotating magnetic field*) yang dihasilkan arus stator. Motor ini memiliki konstruksi yang sangat kuat, sederhana, handal, serta memiliki biaya murah. Di samping itu motor induksi juga memiliki efisiensi yang tinggi saat berbeban dengan penuh dan tidak membutuhkan perawatan yang banyak.

Untuk kesalahan yang diuji mengenai kerusakan *bearing*, *bearing* disini adalah dua set bantalan ditempatkan di kedua ujung rotor motor induksi untuk menopang poros yang berputar. *Bearing* ini menahan rotor di tempatnya dan membantunya berputar bebas dengan mengurangi gesekan. Setiap bantalan terdiri dari *inner race* dan *outer race* yang disebut balapan dan satu set elemen bergulir yang disebut bola di antara dua balapan ini. Biasanya, dalam kasus motor, balapan bagian dalam melekat pada poros dan beban ditransmisikan melalui bola yang berputar ini mengurangi gesekan. Pada *bearing* dapat terjadi kesalahan seperti kelebihan beban, korosi,

kontaminasi dan lain-lain. Untuk setiap kegagalan bantalan, biasanya gesekan meningkat yang menyebabkan kenaikan suhu bantalan dan peningkatan getaran mesin yang bersangkutan. Oleh karena itu, suhu dan getaran bantalan dapat memberikan informasi yang berguna mengenai kondisi bantalan dan karenanya kesehatan mesin.



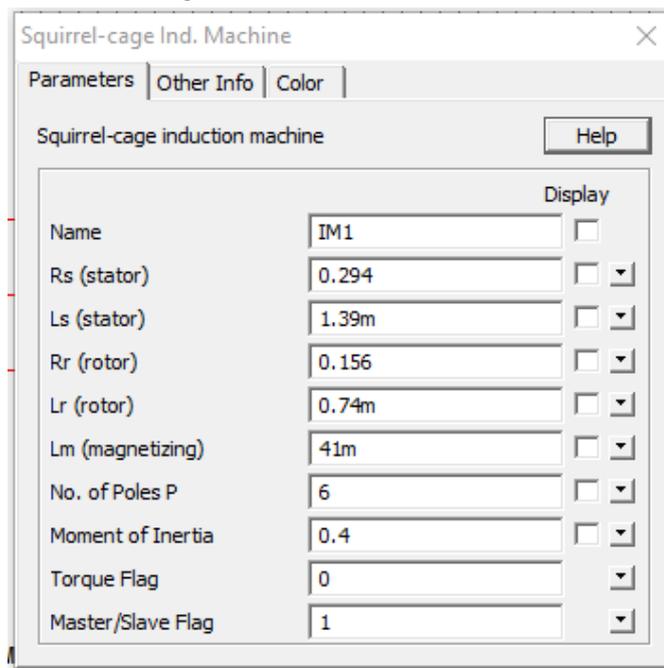
(a) Bantalan bola (bearing)

(b) Motor Induksi

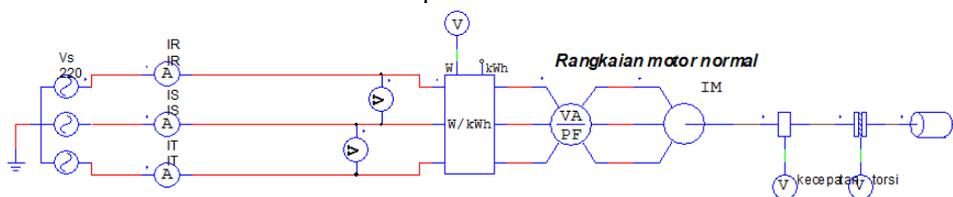
Gambar 1. Konstruksi Motor Induksi

Motor induksi untuk simulasi menggunakan spesifikasi pada Gambar 2. Pengambilan data menggunakan dua kondisi yang berbeda yaitu dengan kondisi normal tanpa ada gangguan dan kerusakan *bearing* atau *unnormal*. Untuk kerusakan *bearing* ini menggunakan hambatan 5Ω dengan tujuan agar kondisi motor *unbalance current* di mana dalam kondisi itu mempengaruhi hasil dari FFT. Dari hasil tersebut dapat diidentifikasi untuk tiap tiap kondisi dari motor itu. Rangkaian simulasi yang digunakan sesuai Gambar 3 dan Gambar 4. *Unbalance current* dapat dihitung dengan Persamaan 1.

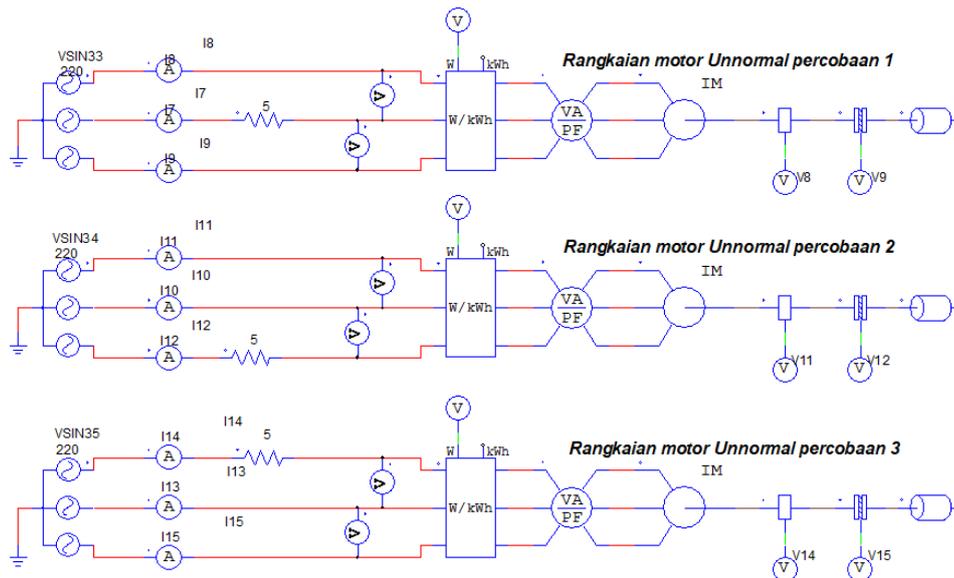
$$\% \text{ Unbalance} = \frac{I_{\text{Maximum deviation}} - I_{\text{average}}}{I_{\text{average}}} \times 100\% \tag{1}$$



Gambar 2. Spesifikasi Motor Induksi



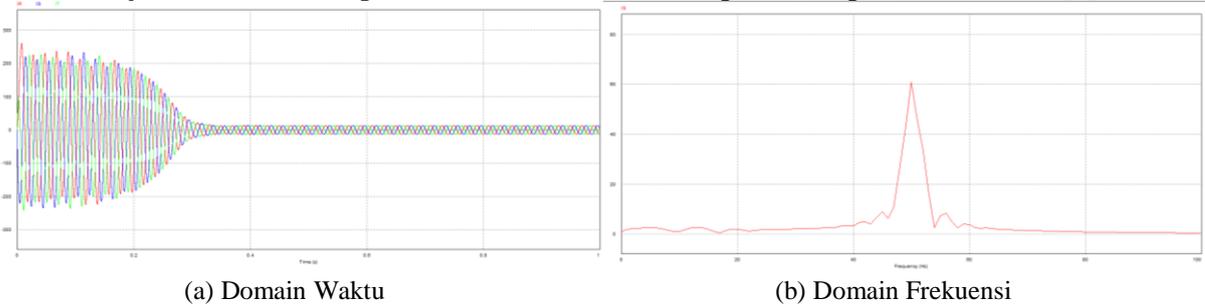
Gambar 3. Rangkaian Motor Normal Menggunakan PSIM



Gambar 4. Gambar Rangkaian Motor Dengan Gangguan Menggunakan PSIM

B. Fast Fourier Tranform (FFT)

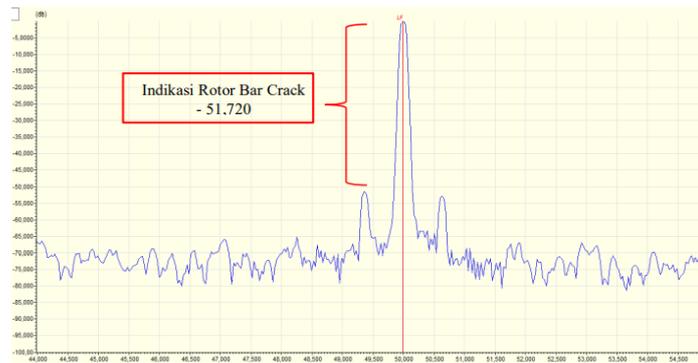
Fast fourier transform (FFT) pada penelitian ini digunakan sebagai alih bentuk data yang semula dari domain waktu menjadi domain frekuensi seperti pada Gambar 5. Hal tersebut memiliki tujuan untuk mendapatkan sebuah karakteristik pada setiap kondisi motor [4].



Gambar 5. Perpindahan Domain Waktu ke Frekuensi

Karakteristik ini bisa didapat melalui pengambilan data spektrum dari arus yang didapatkan dari snyal FFT, sinyal FFT adalah hasil sinyal sampling atau diskrit agar lebih mudah dalam pembacaannya seperti contoh seharusnya sinyal itu normalnya berbentuk gelombang sinus kemudian ternyata terdapat gangguan pada sinyal tersebut, maka dari itu dilakukan sampling atau diskrit agar lebih mudah dalam pembacaan nantinya. Lalu dari spektrum yang telah dirubah domain menggunakan FFT menghasilkan seperti puncak tertinggi seperti pada Gambar 5b, dan nantinya dihitung (Δ dB) selisih frekuensi puncak dengan *lower side band* (gelombang sebelum puncak tertinggi) seperti pada Gambar 6, dihitung dari t sekarang dikurang t0. Selisih itu yang nantinya digunakan sebagai karakteristik setiap kondisi motor. Untuk besar nilai (Δ dB) 30-36 dB yang menandakan kerusakan pada *bearing* [2], dB > 36 bisa disebut normal seperti pada Tabel 1. Pada Gambar 5 diambil data dengan time step 0,01 dan didapat frekuensi sampling 100Hz menggunakan Persamaan 2. Frekuensi sampling misal frek sampling 100 Hz.

$$\text{Time step} = \frac{1}{\text{frek sampling}} \tag{2}$$



Gambar 6. Spektrum Rotor

TABEL 1. TINGKAT KEPARAHAN KERUSAKAN BATANG ROTOR

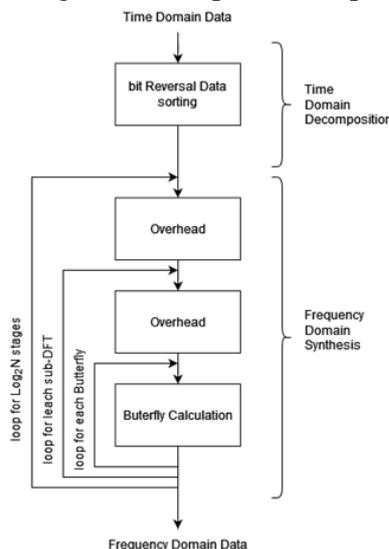
| Condition | ΔdB Value | Rotor Condition | Action |
|-----------|-----------|---|-------------------------------------|
| 1 | >60 | Excellent | None |
| 2 | 54-60 | Good | None |
| 3 | 48-54 | Moderate | Trend |
| 4 | 42-48 | Rotor Fracture or High Resistance Joint | Increase Test Intervals and Trend |
| 5 | 36-42 | Two or more bars cracked or broken | Confirm with motor circuit analysis |
| 6 | 30-36 | Two or more bars and end ring problem | Overhaul |
| 7 | <30 | Multiple broken rotor bars and other severe rotor problem | Overhaul or replace |

Tabel 1 digunakan sebagai acuan untuk mendeteksi kondisi pada motor pada penelitian ini. Kemudian untuk kerusakan *bearing* berada pada kondisi ke 6. Untuk Gambar 6 memiliki nilai dB 51,72 Sesuai dengan Tabel 1 maka data tersebut menunjukkan motor dalam kondisi *moderate*.

FFT pada simulasi kali ini menggunakan bantuan aplikasi MATLAB yaitu melalui pemrograman pada *script* dan juga melalui PSIM. Dari program tersebut data arus yang sebelumnya dari domain waktu menjadi domain frekuensi. Untuk membuktikan hasil FFT dapat dihitung secara matematis dengan Persamaan 3.

$$F[m] = \sum_{n=0}^{N-1} x[2n]W_N^{2nm} + \sum_{n=0}^{N-1} x[2n + 1]W_N^{2nm} \tag{3}$$

Nantinya pada frekuensi tersebut menunjukkan karakteristik gelombang arus pada tiap-tiap kondisi motor lalu dihitung dB-nya dari hasil FFT tersebut dengan cara t sekarang dikurangi t0 yang di dapat dari kenaikan awal dan akhir. Sehingga baik untuk dijadikan sebuah karakteristik. Jika dilihat pada diagram alir pada proses komputasi FFT di mana terdapat 2 bagian penting dalam proses perhitungan FFT. Diagram alir dapat dilihat pada Gambar 7.

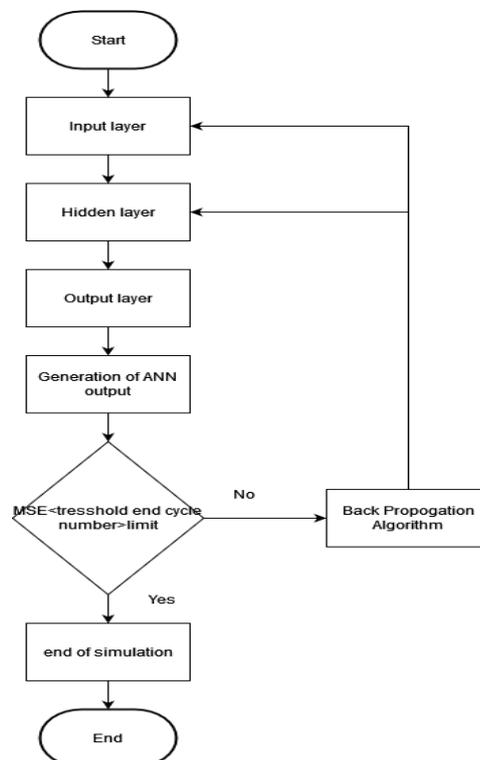


Gambar 7. Diagram Alir Proses Fast Fourier Transform

C. Artificial Neural Network (ANN)

Program algoritma ANN yang digunakan adalah ANN dengan pembelajaran yang terawasi (*supervised learning*) sedangkan arsitektur jaringan yang digunakan adalah arsitektur *perceptron* [5], dengan bantuan algoritma pembelajarannya menggunakan *feed forward backpropagation neural network* (FFBPNN) [1]. Jaringan syaraf tiruan dengan pembelajaran yang terawasi (*supervised learning*) harus melalui proses pembelajaran (*learning*) terlebih dahulu sebelum diimplementasikan kedalam suatu alat atau suatu project. Sedangkan langkah-langkah untuk dapat mengimplementasikan metode *artificial neural network* ke dalam simulasi ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan data spektrum dari FFT Arus pada tiap-tiap kondisi, dari spektrum terdapat karakteristik gelombang arus yang nantinya dihitung (Δ dB) selisih frekuensi puncak dengan *lower side band*.
2. Data frekuensi tersebut kemudian yang digunakan sebagai data input *Traning* ANN. *Traning* dilakukan dengan menggunakan software dari MATLAB dengan program *script*.
3. ANN yang telah di *traning* memiliki nilai *mean square error* (MSE) yang sangat kecil guna mendapatkan model yang paling ideal.
4. Setelah mendapatkan nilai *MSE* terkecil, kemudian hasil tersebut diujikan dengan menggunakan Simulink dengan cara mengetik genism (NN) pada Command Windows MATLAB.



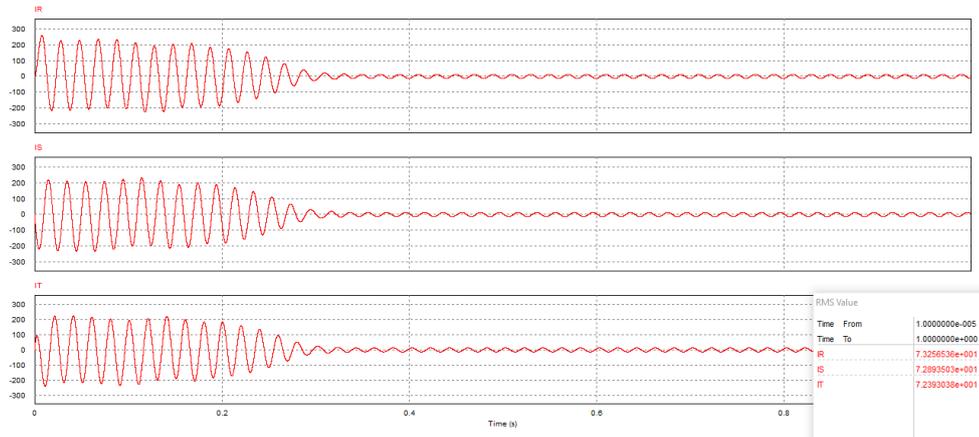
Gambar 8. Flowchart Traning ANN

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada simulasi motor ini bertujuan untuk mencari data motor normal dan motor *unnormal*, untuk mengidentifikasi motor normal dan *unnormal* disini menggunakan *motor current signature analysis* (MCSA) yang di mana dalam menganalisa menggunakan arus [6]–[8]. Dari simulasi ini dapat dilihat kondisi dari arus sebelum dan sesudah dilakukan FFT. Nantinya setelah arus dilakukan FFT akan menghasilkan seperti puncak tertinggi seperti pada Gambar 6 dan nantinya dihitung (Δ dB) selisih frekuensi puncak dengan *lower side band* (gelombang

sebelum puncak tertinggi), dihitung dari t sekarang dikurang t0. Db itulah yang digunakan sebagai karakteristik setiap kondisi motor. Untuk besar nilai (ΔdB) 30-36 dB yang menandakan kerusakan pada *bearing*, $dB > 36$ bisa di anggap normal seperti pada Tabel 1. Pada simulasi ini motor yang digunakan yaitu motor induksi 3 fasa. Terdapat 4 rangkaian, rangkaian berikut rangkaian dari motor induksi 3 fasa yang disimulasikan pada PSIM.

Lalu dicari data motor melalui rangkaian pada Gambar 3 dan Gambar 4, dengan menganalisa arus apakah normal atau tidak, berikut contoh Gambar gelombang arus dari motor normal atau tanpa gangguan. Untuk pada motor dengan gangguan di beri hambatan pada salah satu fasa, pada rangkaian diatas diberi hambatan 5Ω , karena dari hambatan tersebut hasil FFT sesuai pada Tabel 1. Setelah dicari arusnya dapat dihitung % *unbalance* menggunakan Persamaan 1.



Gambar 9. Hasil Gelombang Motor Tanpa Gangguan

Dari hasil Arus pada Gambar 9 didapat nilai arus dan hasil gelombang, nilai dari arus dapat dilihat pada Tabel 2. *Current unbalance* dapat dihitung dengan Persamaan 1 dan hasil perhitungannya dapat dilihat di bawah ini:

TABEL 2. ARUS FASA SAAT TIDAK ADA GANGGUAN

| No. | Fasa | Arus (A) |
|-----|---------|----------|
| 1 | R | 73.2 |
| 2 | S | 72.8 |
| 3 | T | 72.3 |
| | Average | 72.76 |

$$I_{Max} = 73,2$$

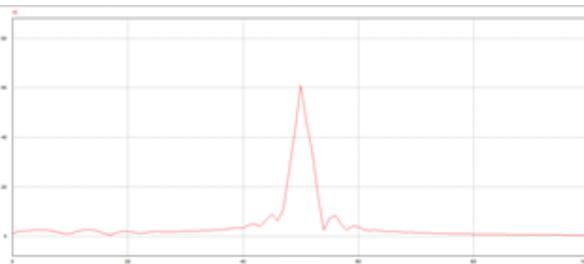
$$I_{rata\ rata} = \frac{(73,2 + 72,8 + 72,3)}{3}$$

$$I_{rata\ rata} = 72,76$$

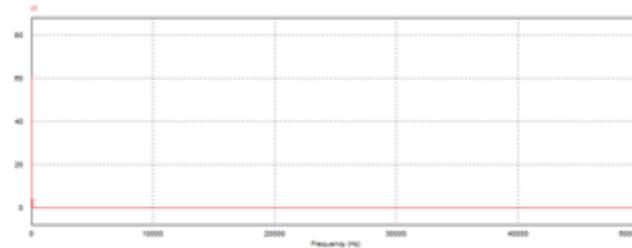
$$\% \text{ Unbalance} = \frac{73,2 - 72,76}{72,76} \times 100\%$$

$$\% \text{ Unbalance} = 0,6 \%$$

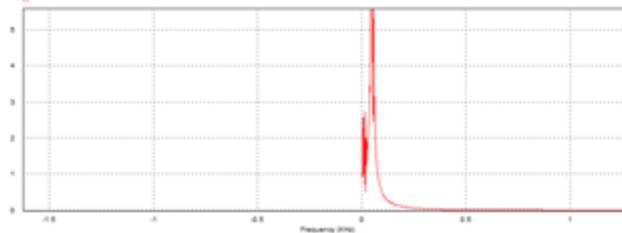
Dari hasil percobaan didapat arus *unbalance* sebesar 0,6 %. Maka sesuai dengan standar VTHD IEEE 519-1992 motor dalam kondisi arus normal, level yang diizinkan untuk persen arus tidak seimbang tidak melebihi 5 %.



Gambar 10. Hasil FFT Motor Tanpa Gangguan Frekuensi 0-100 Hz

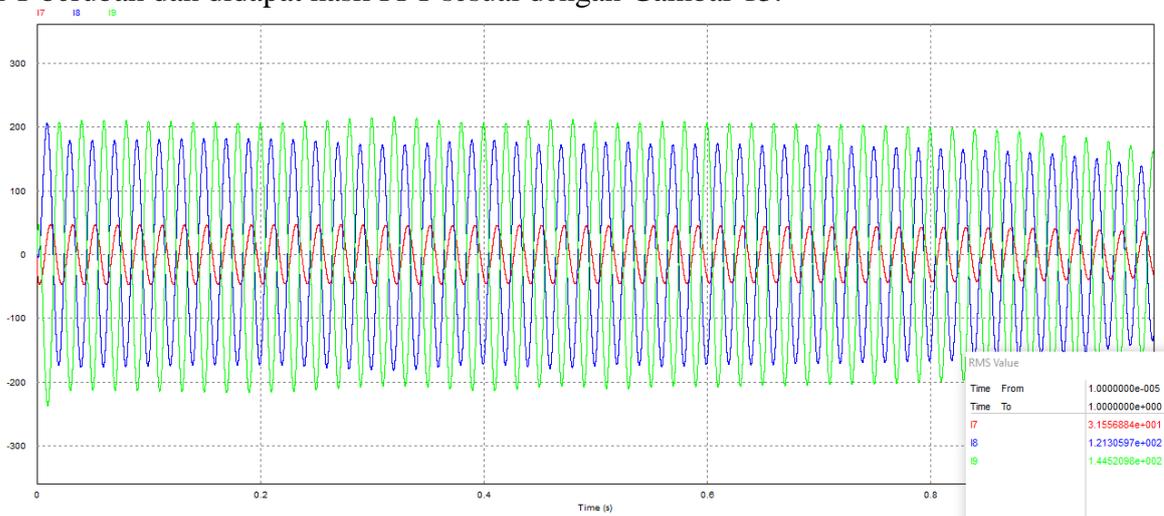


Gambar 11. Puncak Tertinggi Sekarang Gelombang FFT 60 dB



Gambar 12. Puncak Tertinggi Sebelumnya Gelombang FFT 2,8 dB

Puncak tertinggi sebelumnya 2,8 dB. Jika pada acuan data yang di hitung adalah $\Delta dB = 60 - 2,8 = 57,2$ dB. Jadi jika dilihat dari selisih di atas bahwa motor dengan spek dari PSIM dinyatakan dalam kondisi baik. Pada Gambar 10 dan Gambar 11 didapat dari hasil rangkaian motor normal, lalu berikut untuk hasil dari rangkaian motor *unnormal*. Selanjutnya didapat hasil motor dari rangkaian dengan gangguan atau *unnormal*. Dengan adanya penambahan resistor 5 Ω dengan tujuan untuk memberi *unbalance current*, karena adanya gangguan tersebut hasil dari FFT berubah dan didapat hasil FFT sesuai dengan Gambar 13.



Gambar 13. Simulasi Gelombang Arus Dengan Gangguan

TABEL 3. ARUS FASA RANGKAIAN MOTOR UNNORMAL

| No. | Fasa | Arus (A) |
|---------|------|----------|
| 1 | R | 121,3 |
| 2 | S | 31,55 |
| 3 | T | 144,52 |
| Average | | 99,12 |

$$I_{Max} = 144,52$$

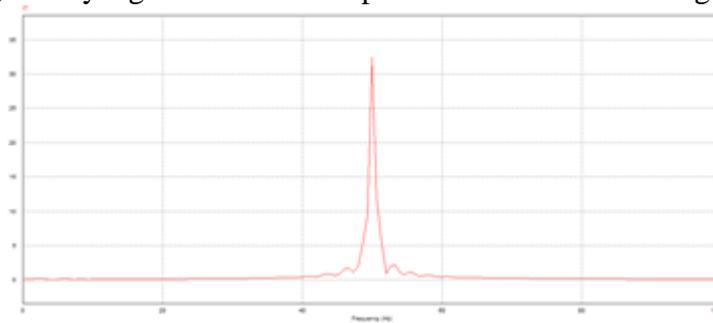
$$I_{rata\ rata} = (121,3 + 31,55 + 144,52) / 3 =$$

$$I_{rata\ rata} = 99,12$$

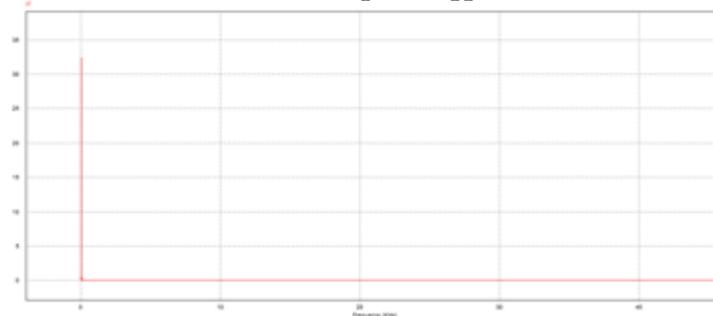
$$\% \text{ Unbalance} = \frac{144,52 - 99,12}{99,12} \times 100\%$$

$$\% \text{ Unbalance} = 45,8 \%$$

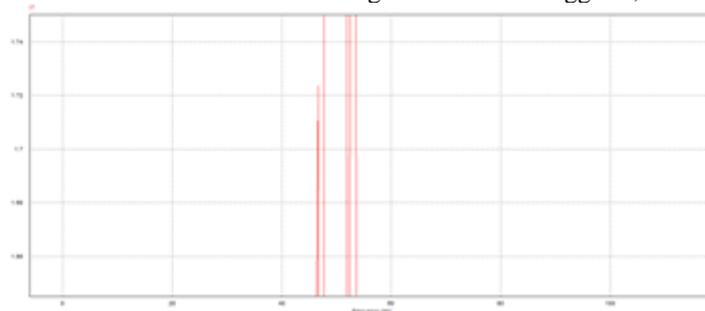
Dari hasil data percobaan dengan rangkaian *unnormal* didapat persen arus *unbalance* sebesar 45,8 %. Maka sesuai dengan standar VTHD IEEE 519-1992 motor dalam kondisi *unbalance current*, level yang diizinkan untuk persen arus tidak seimbang tidak melebihi 5 %.



Gambar 14. Hasil FFT Motor dengan Gangguan Frekuensi 0-100 Hz

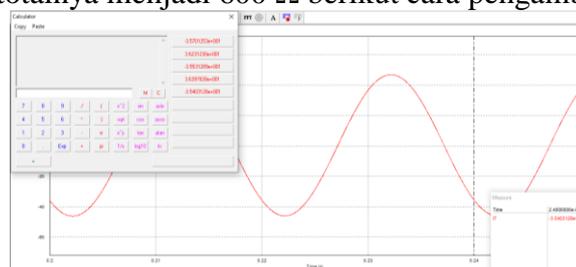


Gambar 15. Hasil FFT dengan Puncak Tertinggi 32,4



Gambar 16. Puncak Tertinggi Sebelumnya Gelombang FFT 1,732 dB

Puncak tertinggi sebelumnya 1,723 dB. Jika pada Tabel 1 data yang di hitung adalah $\Delta dB = 32,4 - 1,732 = 30,668$ dB. jadi dilihat dari selisih diatas bahwa motor dengan spek dari PSIM dinyatakan dalam kondisi *6 multiple cracked or broken bars and end ring problem*. Seperti pada Tabel 1. Setelah hasil dari motor normal dan *unnormal* didapatkan, langkah selanjutnya melakukan pengambilan data, dengan cara mendiskrit atau melakukan pencuplikan dari gelombang arusnya. Untuk simulasi ini dilakukan pengambilan data arus dengan *time step* 0.01, dari data 0 sampai 1 detik, dan didapat 100 data setiap fasanya, karena dalam motor normal terdapat 3 fasa didapat 300 data dan untuk motor *unnormal* terdapat 3 rangkaian dengan kondisi setiap fasanya di beri tahanan 5Ω dengan kondisi bergantian setiap fasanya jadi 300 data untuk motor *unnormal*, maka totalnya menjadi 600 Ω berikut cara pengambilan datanya.



Gambar 17. Contoh Pengambilan Data Dengan Cara di Scope Pada Time Step 0,01 Detik

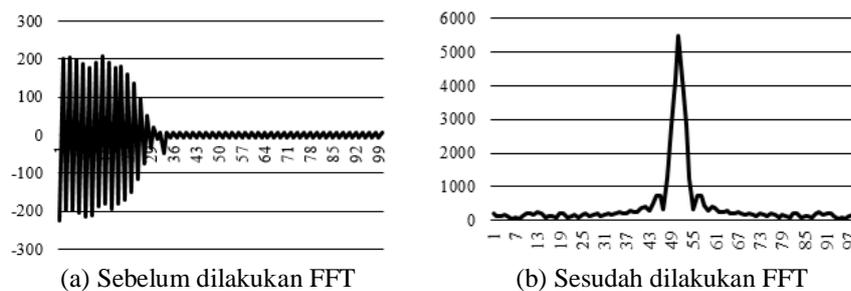
A. *Fast Fourier Transform*

Untuk analisa data menggunakan FFT untuk melihat selisih dB dari puncak tertinggi di kurangi dB puncak sebelumnya. Dalam perhitungan matematis akan dimasukkan 8 buah data pada variabel $X[n] = [19.58, 9.74, 8.2, 11.62, 25.67, 43.02, 43.11, 23.38]$ Didapat 8 data diatas dari hasil simulasi motor induksi menggunakan PSIM kemudian dapat dilihat FFT pada PSIM atau MATLAB. Pada PSIM dapat menggunakan cara pilih pada pilihan FFT di atas Gambar gelombang. Jika pada MATLAB dapat menulis pada command dapat di ketik “hasil=abs(fft(x))”. Berikut merupakan hasil perhitngan hasil fast fourier transform secara matematis menggunakan persamaan 3 fast fourier transform. Dari hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan fast fourier transform didapatkan hasil $F[n]=[184, 69, 17, 16, 11, 16, 17, 69]$. Untuk proses perbandingan adalah dengan melakukan proses perhitungan simulasi menggunakan software MATLAB. Dengan menggunakan data yang sama, maka hasil perhitungan di MATLAB dapat dilihat Pada Tabel 4.

TABEL 4. PERBANDINGAN FFT PERHITUNGAN DAN MATLAB

| No | Data | Perhitungan | Matlab | Error |
|----|------|-------------|--------|-----------|
| 1 | X[0] | 184,32 | 184,32 | Sesuai |
| 2 | X[1] | 69 | 70 | mendekati |
| 3 | X[2] | 17 | 18 | mendekati |
| 4 | X[3] | 9 | 9,6 | mendekati |
| 5 | X[4] | 8,8 | 8,8 | Sesuai |
| 6 | X[5] | 9 | 9,6 | mendekati |
| 7 | X[6] | 17 | 18,7 | mendekati |
| 8 | X[7] | 69 | 70 | mendekati |

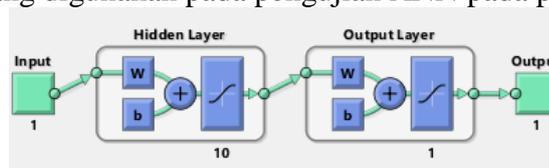
Tabel 4 merupakan contoh perbandingan teori dan simulasi dengan 8 data. Hasil yang didapat masih memiliki *error* dikarenakan ada perbedaan dalam pengambilan nilai dibelakang koma. Kemudian jika 100 data dari motor tidak ada gangguan sebelum dilakukan FFT dan sesudah dilakukan FFT dapat di tampilkan gelombangnya pada Excel seperti pada Gambar 18.



Gambar 18. Hasil Tampilan Gelombang 100 Data

B. *Artificial Neural Network*

Sebelum dilakukan pengujian pada simulasi MATLAB, Persiapan sleanjutnya yang harus disiapkan adalah membuat arsitektur jaringan *perceptron* pada *neural network*. Gambar 19 merupakan spesifikasi yang digunakan pada pengujian ANN pada penelitian.

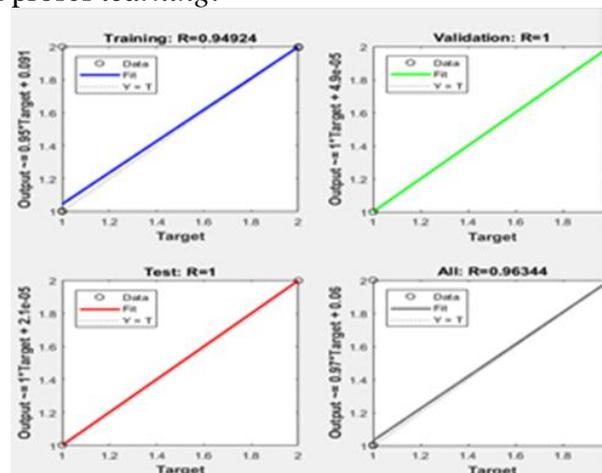


Gambar 19. Arsitektur Jaringan Perceptron Neural Network

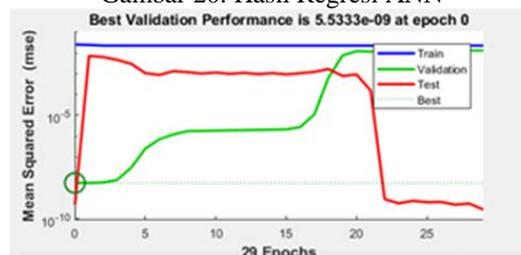
1. *Input* ANN = 1 *input*
2. Jumlah *layer* = 1 *hidden layer*
3. Neuran pada *hidden layer* = 10
4. Fungsi aktifasi = Tansig, Tansig

Gambar 19 merupakan *perceptron neural network* yang digunakan pada simulasi ini yang terdiri dari 1 *hidden layer*. Setelah *perceptron neural network* telah dibuat, maka langkah selanjutnya adalah melakukan *training/learning* ANN pada MATLAB dengan data–data uji yang telah diambil sebelumnya. Menggunakan fungsi aktivasi Tansig, Tansig karena dari fungsi aktivasi lainnya memiliki *error* yang lebih besar.

Pada simulasi ini digunakan ANN melalui *script* yang mana untuk memanggil fungsi *network* secara otomatis melalui pengkodean pada kolom *command windows*. Pada saat *learning/traning* dicari sampai menemukan bobot (*weight*) dan bias yang paling baik untuk *neural network*. Penentuan dilakukan berdasarkan pada *trial and error* untuk menentukan dari jumlah neuron yang paling sesuai. Gambar 20 dan 21 merupakan grafik hasil regresi dan nilai MSE setelah dilakukan proses *learning*.



Gambar 20. Hasil Regresi ANN



Gambar 21. Hasil Performace Berupa Nilai MSE ANN

Berdasarkan Gambar 20 dan 21 dapat diketahui bahwa grafik regresi hasil pembelajaran ANN yang mendekati 1, yang mana berarti bahwa bobot dan bias pada ANN telah baik dan ANN memahami *learning* yang telah diajarkan. Selain itu pada Gambar ditengah merupakan grafik *mean square error* (MSE) yang menunjukkan besar *error* model ANN pada saat *learning* dilakukan. Selanjutnya nilai bobot dan bias dari proses *training* dapat dilihat pada kotak dialog *view/edit weight*. Di mana bobot pada layer 1 , bobot layer 2 , bias layer 1 dan bias layer 2 dapat dilihat pada Tabel 5.

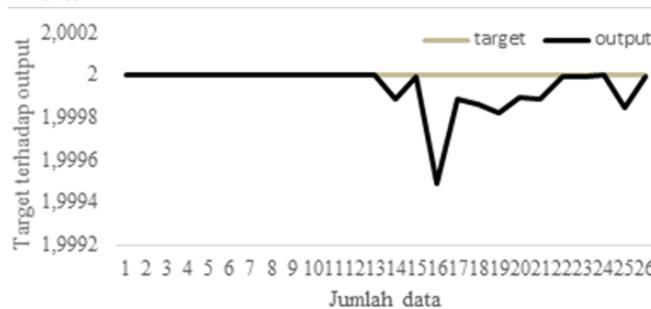
TABEL 5. BOBOT DAN BIAS HASIL *LEARNING* ANN

| Bobot Layer 1 | Bobot Layer 2 | Bias Layer 1 | Bias Layer 2 |
|---------------|---------------|--------------|--------------|
| 14.0767 | 5.6747 | -13.9166 | |
| 14.0729 | 4.6033 | -10.7938 | |
| 594.9522 | 95.39 | 60.4375 | |
| -65.7174 | 69.1781 | 15.5005 | |
| 116.9138 | 60.7054 | -21.0326 | |
| 269.1836 | -184.6029 | 27.0933 | -6.2614 |
| 316.3585 | 608.1856 | 37.7497 | |
| -158.4399 | 1890.1339 | -19.2483 | |
| -76.663 | -1362.2058 | -9.5796 | |
| 10.6368 | -5.6596 | 17.5351 | |

TABEL 6. HASIL *ERROR* PERBANDINGAN TARGET DAN *OUTPUT*

| No | Datatesting1 | Target | Output | Error | Datatesting2 | Target | Output | Error | Datatesting3 | Target | Output | Error |
|----|--------------|--------|------------|-------------|--------------|--------|-------------|-------------|--------------|--------|----------|--------------|
| 1 | 19,586478 | 1 | 1 | 0 | 36,197186 | 2 | 2 | 0 | 44,035396 | 2 | 1,999981 | 0,00094175 |
| 2 | -22,618251 | 1 | 1 | 0 | -36,024375 | 2 | 2 | 0 | -43,816848 | 2 | 1,99998 | 0,001015539 |
| 3 | 9,7900679 | 1 | 1 | 0 | 35,732477 | 2 | 2 | 0 | 44,063054 | 2 | 1,999948 | 0,002585422 |
| 4 | -30,921507 | 1 | 2 | 100 | -36,1041 | 2 | 2 | 0 | -43,710141 | 2 | 1,999996 | 0,000209952 |
| 5 | -13,465345 | 1 | 1 | 0 | 35,666904 | 2 | 2 | 0 | 44,073528 | 2 | 1,999924 | 0,003783989 |
| 6 | -34,416159 | 1 | 2 | 100 | -36,164943 | 2 | 2 | 0 | -43,623144 | 2 | 1,999999 | 5,33072E-05 |
| 7 | 6,0346166 | 1 | 1 | 0 | 35,997866 | 2 | 2 | 0 | 44,062699 | 2 | 1,999949 | 0,002552221 |
| 8 | -28,809221 | 1 | 1 | 0 | -36,205645 | 2 | 2 | 0 | 43,558102 | 2 | 2 | 1,79748E-05 |
| 9 | 209,49403 | 1 | 1 | 0 | 35,590491 | 2 | 2 | 0 | 44,023023 | 2 | 1,999988 | 0,000598247 |
| 10 | 201,32993 | 1 | 1 | 0 | -36,219167 | 2 | 2 | 0 | 43,518921 | 2 | 2 | 9,137256E-06 |
| 11 | 196,516 | 1 | 1,00007179 | 0,007178922 | 35,594223 | 2 | 2 | 0 | 43,945484 | 2 | 1,999999 | 3,39312E-05 |
| 12 | 205,65198 | 1 | 1 | 0 | -36,196997 | 2 | 2 | 0 | -43,50976 | 2 | 2 | 7,77946E-06 |
| 13 | 197,03334 | 1 | 1,00007179 | 0,007178923 | 35,638434 | 2 | 2 | 0 | 205,58531 | 1 | 1,000072 | 0,007178935 |
| 14 | 199,43482 | 1 | 1 | 0 | -43,941511 | 2 | 1,999888911 | 0,00554455 | 186,26999 | 1 | 1 | 0 |
| 15 | -205,58531 | 1 | 1,00007179 | 0,007178935 | 44,035396 | 2 | 1,999981165 | 0,00094173 | 207,14149 | 1 | 1 | 0 |
| 16 | 186,26999 | 1 | 1 | 0 | 43,816848 | 2 | 1,999979689 | 0,001015539 | -178,71168 | 1 | 1,000072 | 0,007178915 |
| 17 | 207,14149 | 1 | 1 | 0 | 44,063054 | 2 | 1,999948292 | 0,002585422 | 186,72594 | 1 | 1 | 0 |
| 18 | 178,71168 | 1 | 1,00007179 | 0,007178915 | -43,710141 | 2 | 1,999995801 | 0,000209952 | -174,73047 | 1 | 1,000072 | 0,007178915 |
| 19 | 186,72594 | 1 | 1 | 0 | 44,073528 | 2 | 1,99992432 | 0,003783989 | 188,83046 | 1 | 1 | 0 |
| 20 | -174,73047 | 1 | 1,00007179 | 0,007178919 | -43,623144 | 2 | 1,999998938 | 5,31072E-05 | -165,01866 | 1 | 1,000072 | 0,007178914 |
| 21 | 188,83046 | 1 | 1 | 0 | 44,062699 | 2 | 1,999948956 | 0,002552221 | 193,96482 | 1 | 1 | 0 |
| 22 | -165,01866 | 1 | 1,00007179 | 0,007178914 | 43,558102 | 2 | 1,999999641 | 1,79748E-05 | -157,46077 | 1 | 1,000072 | 0,007178914 |
| 23 | 193,96482 | 1 | 1 | 0 | 44,023023 | 2 | 1,999988035 | 0,000598247 | -52,761723 | 1 | 1,000075 | 0,00745694 |
| 24 | 157,46077 | 1 | 1,00007179 | 0,007178914 | -43,518921 | 2 | 1,999999817 | 9,13725E-05 | 46,967663 | 1 | 1 | 0 |
| 25 | -52,761723 | 1 | 1,00007457 | 0,00745694 | 43,945484 | 2 | 1,999999321 | 3,39313E-05 | 46,967663 | 1 | 1 | 0 |
| 26 | 46,967663 | 1 | 1 | 0 | -43,50976 | 2 | 1,999999844 | 7,77946E-06 | 11,62049 | 1 | 1 | 0 |

Tabel 6 merupakan perbandingan *error* dan target perbandingan antara target dan hasil output ANN. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa hasil *learning* ANN memiliki selisih yang kecil dengan target. Kebanyakan dari perbandingan target dan *output* saling mendekati bisa dikatakan *training* sudah baik. Berikut merupakan grafik perbandingan antara target terhadap output hasil ANN.



Gambar 22. Grafik Perbandingan Antara Target dan Hasil ANN

KESIMPULAN

Dari pembahasan diatas, yaitu mengenai rancang bangun alat untuk mengetahui penyebab kerusakan motor sebagai penggerak mobil listrik menggunakan *current analysis* dengan metode ANN didapat beberapa kesimpulan di antaranya sebagai berikut:

1. Pada pengujian *fast fourier transform* didapatkan bahwa hasil perhitungan matematis dan hasil matlab mendekati.
2. Pada pengujian *fast fourier transform* didapatkan bahwa hasil perhitungan matematis dan hasil program belum mendekati.
3. Pada pengujian *artificial neural network* didapatkan hasil paling baik yaitu menggunakan fungsi aktifasi Tansig,Tansig dengan *error* rata-rata 0,000667826.

REFERENSI

[1] D. O. Anggriawan, A. L. Satriawan, I. Sudiharto, E. Wahjono, E. Prasetyono, and A. Tjahjono, "Levenberg Marquardt Backpropagation Neural Network for Harmonic Detection," in *2018 International Electronics Symposium on Engineering Technology and Applications, IES-ET*, Bali: IEEE, 2019, pp. 129–132.

[2] E. Navasari, D. A. Asfani, and M. Y. Negara, "Detection of Induction Motor Bearing

- Damage With Starting Current Analysis Using Wavelet Discrete Transform and Artificial Neural Network,” in *2018 10th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE)*, Bali: IEEE, 2018, pp. 316–319.
- [3] S. Karmakar, S. Chattopadhyay, M. Mitra, and S. Sengupta, *Induction Motor Fault Diagnosis*. Singapore: Springer Nature, 2016. doi: 0.
- [4] A. Syaifuddin, “Fast Fourier Transform (FFT) Untuk Analisis Sinyal Suara Doppler Ultrasonik,” *Youngster Phys. J.*, vol. 3, no. 3, pp. 181–188, 2014.
- [5] J. Nievergelt, “R69-13 Perceptrons: An Introduction to Computational Geometry,” *IEEE Trans. Comput.*, vol. C-18, no. 7, pp. 572–572, 1969.
- [6] N. R. Firdhana, T. Sukmadi, and Karnoto, “Analisis Kerusakan Batang Rotor Pada Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Metode Motor Current Signature Analysis,” *Jurna Transm.*, vol. 19, no. 4, pp. 168–176, 2017.
- [7] M. Seera, C. P. Lim, D. Ishak, and H. Singh, “Fault detection and diagnosis of induction motors using motor current signature analysis and a hybrid FMM-CART Model,” *IEEE Trans. Neural Networks Learn. Syst.*, vol. 23, no. 1, pp. 97–108, 2012.
- [8] X. Song, Z. Wang, and J. Hu, “Detection of Bearing Outer Race Fault in Induction Motors using Motor Current Signature Analysis,” in *2019 22nd International Conference on Electrical Machines and Systems*, Harbin: IEEE, 2019, pp. 1–5.