

PENERAPAN METODE NEURAL NETWORK UNTUK MENGLASIFIKASI KERUSAKAN BATANG ROTOR MOTOR INDUKSI MELALUI DATA SPEKTRUM ARUS

Osni Boimau, Iradiratu Diah D.P.K, Belly Yan Dewantara, Daeng Rahmatullah

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan, Universitas Hang Tuah Surabaya

Jl. Arief Rachman Hakim No. 150, Keputih, Sukolilo, Kota Surabaya, Jawa Timur 60111.

Email: ozilboys221095@gmail.com, iradiratu@hangtuah.ac.id, bellyandewantara@hangtuah.ac.id,
daengrahmatullah@gmail.com

ABSTRACT

Kerusakan batang rotor merupakan salah satu jenis kerusakan pada motor induksi yang dapat menyebabkan masalah serius. Kerusakan tersebut dapat mencapai 5% - 10% dari seluruh kasus gangguan motor induksi. Oleh karena itu perlu adanya prediksi awal untuk mengetahui adanya gangguan pada motor induksi, agar dapat dilakukan perbaikan lebih cepat dan tanggap sebelum terjadi kerusakan yang lebih parah. Pada penelitian ini membahas tentang klasifikasi kerusakan batang rotor motor induksi dengan menggunakan analisa arus stator. Data spectrum arus diambil menggunakan metode fast fourier transform. Eksperimen penelitian dilakukan menggunakan metode Neural Network sebagai alat bantu untuk mendeteksi sinyal kesalahan dari mesin listrik karena mampu mengenali pola setiap kerusakan pada batang rotor motor induksi. Pengujian sistem dilakukan untuk menentukan letak kerusakan dalam beberapa kondisi, yaitu kondisi rotor diambil dari hasil pendeteksian Fast Fourier Transform, kondisi beban diambil dari presentase pembebanan yakni 0%, 25%, 50%, 75%, 100% dan tingkat kerusakan motor diambil mulai dari kondisi batang rotor normal sampai rotor mengalami kerusakan 3BRB7mm. Hasil pengujian ini membuktikan bahwa metode Neural Network mampu mengklasifikasi setiap kondisi kerusakan batang rotor motor induksi dengan membuktikan dari hasil Mean Squared Error MSE yang dihasilkan memiliki nilai rata-rata pada semua kondisi kerusakan sebesar 5.84×10^{-10} . Dengan rata-rata efisiensi pengujian dibawah 5%.

Keywords : Analisis arus stator, Kerusakan, Fast Fourier Transform (FFT), Neural Network(NN), Motor induksi

1. PENDAHULUAN

Motor induksi merupakan mesin arus bolak-balik, motor induksi sebagai peralatan elektromekanik yang digunakan dalam berbagai aplikasi industri untuk mengubah tenaga listrik menjadi energi mekanik di industri. (Hermawan, 2019). Meskipun motor induksi cukup handal tetapi pada kenyataannya dapat saja mengalami banyak masalah pada saat beroperasi yang menyebabkan kerusakan total pada motor induksi (Huda, 2019). Gejala kerusakan motor induksi berupa timbulnya getaran (vibrasi), bising (*noise*), peningkatan suhu kerja serta adanya percikan bunga api yang dapat membuat motor berhenti bekerja. (Prasetyadi, 2019) Kerusakan tersebut tidak hanya menurunkan efisiensi kerja dari mesin, melainkan bisa menimbulkan potensi bahaya untuk produksi yang berkelanjutan dan keamanan kerusakan yang sering terjadi diantaranya kerusakan batang rotor yang sering terjadi dapat mencapai 5% - 10%. (Faiz, 2019). Apabila kerusakan pada motor induksi tidak dideteksi pada tahap permulaan akan dapat mengakibatkan *shut down* serta dapat menyebabkan terhentinya proses produksi yang menimbulkan kerugian besar terutama bila kerusakan yang timbul secara mendadak. (Faturrohman, 2019). Pada penelitian sebelumnya teknik

memonitoring kerusakan batang rotor motor motor induksi menggunakan deteksi getaran, namun metode ini merupakan metode konvensional dan jika terjadi kerusakan ringan sulit untuk dideteksi (Al-Deen, 2018). Penelitian sebelumnya juga mendeteksi kerusakan rotor melalui arus stator menggunakan metode *Neural Network* namun tidak menjelaskan secara detail proses konstruksi kerusakan berupa lubang dan diameter yang digunakan saat proses penelitian dan juga hasil keluaran pengujian *Neural Network* berupa *Mean Squared Error (MSE)* rata-rata yang dihasilkan masih sangat signifikan (Wanggon, 2014). Ada beberapa analisa kerusakan melalui arus stator menggunakan MCSA (*Motor Current Signature Analysis*) antara lain mendeteksi kerusakan batang rotor menggunakan metode FFT (*Fast Fourier Transform*) (Shodiq, 2019). Mendeteksi kerusakan *Outer Race Bearing* menggunakan metode *Fast Fourier Transform (FFT)* (Abduh, 2019). Mendeteksi kerusakan *Inner Race Bearing* melalui sinyal arus motor (Iradiratu, 2019). Mendeteksi kerusakan *outer race bearing* menggunakan metode *Decomposition Wavelet Transform* (Dewantara, 2019). Mendeteksi bantalan balap luat pada motor induksi menggunakan arus stator (Iradiratu, 2019). Diagnosa Eksentrisitas

Celah Udara Pada Motor Induksi Melalui Analisa *Axial Fluks* (Fithrooh, 2020). Berdasarkan analisis MCSA tersebut maka penulis akan mengembangkan kembali deteksi kerusakan motor dengan pengembangan untuk penentuan letak kerusakan motor, dimana akan difokuskan pada kerusakan yang terjadi pada batang rotor. Pada penentuan letak kerusakan batang rotor motor penelitian ini menggunakan *neural network* (NN) dengan pembelajaran *backpropogasi*. difokuskan pada kerusakan yang terjadi pada batang rotor. Pada penentuan letak kerusakan batang rotor. Dalam penelitian ini nantinya akan dilakukan beberapa eksperimen berupa rekonstruksi kerusakan batang rotor 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 (NI-DAQ) yang dilengkapi dengan software *LabVIEW*, *Diadem* dan *MATLAB* untuk memudahkan proses pengukuran dan pengolahan sinyal arus stator sehingga mampu menghasilkan dan meningkatkan keakurasian dari proses diagnosa motor pada keadaan batang rotor sehat maupun rusak dengan melihat jumlah *ripple* yang dihasilkan.

2. TEKNIK DAN EKSPERIMEN ANALISA KERUSAKAN BATANG ROTOR MOTOR INDUKSI

A. *Motor Current Signature Analysis* (MCA)

MCSA saat ini ditemukan secara efektif untuk mendeteksi bentuk gelombang abnormal dari mesin listrik. juga banyak digunakan untuk mendiagnosis gangguan arus khususnya dengan kondisi batang rotor yang rusak. Oleh karena itu, frekuensi *sideband* yang menonjol dari spektrum arus motor dapat ditinjau sebagai:

$$f_{brb} = (1 \pm 2s) f_s \quad (1)$$

Dimana :

f_{brb} = frekuensi dengan kerusakan rotor (Hz),

f_s = frekuensi sumber (Hz)

S = slip motor.

Untuk kecepatan putaran slip (s) persamaan sebagai berikut:

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

Dimana :

S =Slip

n_s = Kecepatan Putaran Stator

n_r = Kecepatan Putaran Rotor

Sementara untuk kecepatan medan stator dapat ditulis sebagai:

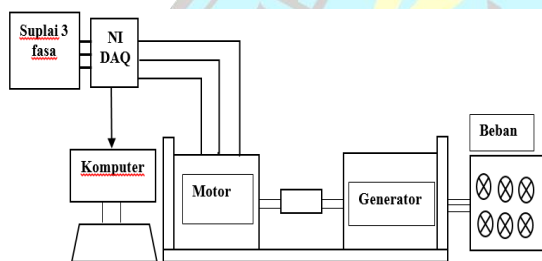
$$n_s = \frac{120 \cdot f_s}{p} \quad (3)$$

dimana:

p = jumlah kutub motor induksi

f_s = Frekuensi sumber

Sistem deteksi kerusakan batang rotor yang dirancang dalam penelitian ini berbasis kepada metode analisis bentuk spektrum arus stator motor induksi 3 fasa. Metode ini biasa dikenal dengan nama *Motor Current Signature Analysis* (MCSA). Untuk membentuk sistem deteksi tersebut diperlukan beberapa peralatan penunjang seperti sumber motor induksi 3 fasa, generator, beban lampu, serta perangkat NI DAQ data yang terhubung ke komputer yang dilengkapi dengan *software LabVIEW* dan MATLAB.



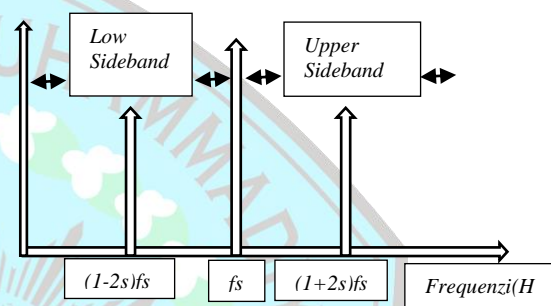
Gambar 1. Menunjukkan Skema Pengumpulan Data Arus Stator



Gambar 2. Diagram Blok Untuk Menentukan Letak Spektrum Frekuensi Kerusakan Rotor

Gambar 1 menunjukkan skema pengumpulan data arus stator. Gambar 2 menunjukkan diagram untuk menentukan letak *spektrum* kerusakan batang rotor. Secara teknis resolusi frekuensi 50Hz cukup untuk menangkap kesalahan

harmonik dari kasus batang rotor yang rusak di motor induksi. Oleh karena itu *standar fast fourier transform* (FFT) digunakan untuk mengenali analisa frekuensi dari spektrum arus stator, karena bentuk gelombang arus stator asli sulit untuk mendeteksi kerusakan dari kondisi batang rotor yang rusak. gambar 3 menunjukkan misalnya frekuensi sideband dari gelombang arus stator.



Gambar 3. Frekuensi Sideband Di Sekitar Frekuensi Suplai Dasar.

B. Eksperimen Penelitian

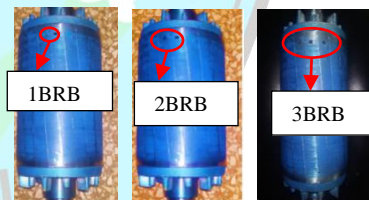
Sumber yang digunakan berupa sumber AC tiga fasa yang langsung diambil dari jaringan PLN. Fungsinya sebagai sumber listrik arus bolak-balik untuk mengoperasikan motor induksi tiga fasa yang akan digunakan. Motor induksi tiga fasa yang digunakan dalam penelitian ini merupakan jenis rotor sangkar *merk* Tatung dengan kapasitas 2 HP atau setara dengan 1,5 kW. Konfigurasi belitan yang digunakan adalah delta (Δ) 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 15 buah dengan daya 100 Watt. Data motor induksi yang di gunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar dibawah ini

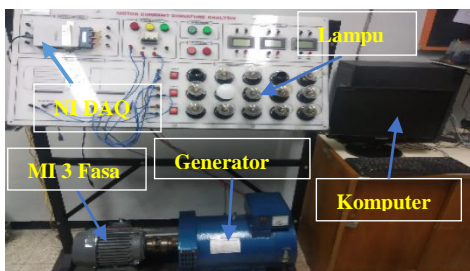
Tabel 1. Data Motor Induksi Tiga Fasa

Merk	Tatung
Daya	2 HP / 1,5 kW
Tegangan	220 / 380 V
Arus	5,94/3,44 A
Frekuensi	50 Hz
Faktor Daya	0,786
Kecepatan	1380 rpm

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 tampilanya. 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 bisa dilakukan proses analisis. Rekonstruksi Kerusakan Batang Rotor.



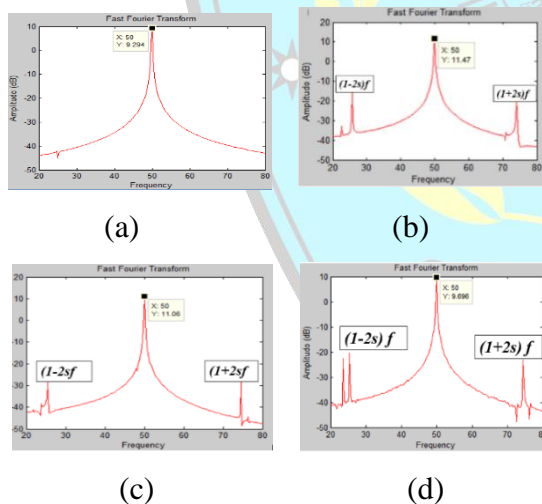
Gambar 5. Foto-Foto Eksperimental 1BRB, 2BRB, 3BRB



Gambar 4. Implementasi Sistem Deteksi Kerusakan Rotor

Gambar 5 menunjukkan foto-foto rotor *prototype* yang merupakan kerusakan batang rotor (1BRB) dengan kedalaman 3mm dan 7mm, kondisi batang rotor (2BRB) dengan kedalaman 3mm dan 7mm, kondisi kerusakan batang rotor (3BRB) dengan kedalaman 3mm dan 7mm. Awalnya, motor induksi untuk

pekerjaan eksperimental ini dioperasikan pada kondisi beban penuh (100%). Akibatnya Gambar 6 menunjukkan hasil dari spektrum arus stator yang diukur untuk penentuan spektrum saat ini. Juga karakteristik frekuensi dari spektrum arus stator diperhatikan dengan jelas sesuai dengan persamaan (1) Karena motor memiliki masalah rotor bar yang rusak, frekuensi yang dihasilkan biasanya ditetapkan sebagai $(1-2s)f$ adalah, yang dapat diberi label sebagai *sideband*-bawah (LSB) dan $(1+2s)f$ adalah, yang dapat disebut sebagai bagian atas *sideband* (USB) seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 3 Juga besaran yang dihasilkan dari komponen harmonik lebih tinggi ketika jumlah bar rotor yang rusak parah.



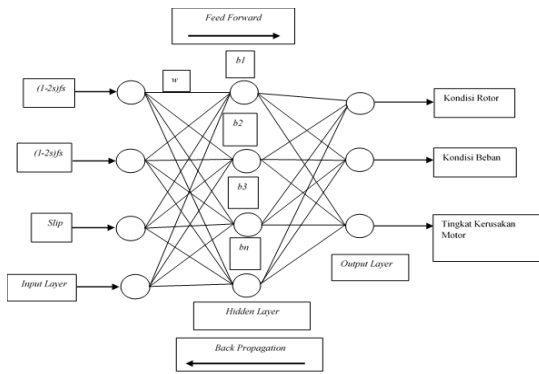
Gambar 6. a) Normal, b) 1BRB 7mm c) 2BRB 7mm, d) 3BRB 7mm

3. METODE 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* *back-propagasi* umpan balik memerlukan parameter inti seperti *input* data (P_k), *output* target (t_k), bobot (w), dan nilai bias (B_k). Secara umum, kesalahan rata-rata jaringan (MSE), yang merupakan fungsi kinerja untuk proses pelatihan, dapat dinyatakan sebagai :

$$MSE = \sum_{k=1}^K e^2 \quad k = \frac{1}{k} t_k - a_k \quad \text{dan} \quad a_k \quad \text{adalah keluaran} \quad [a_k = f(n_k)] \quad (4)$$



Gambar 7. Gambaran *Input* dan *Output* Penelitian yang diusulkan

Gambar 7 menunjukkan susunan berlapis-lapis dari algoritma backpropagation yang diusulkan. Ada tiga lapisan jaringan saraf yang terdiri dari lapisan *input*, satu lapisan tersembunyi dan satu lapisan keluaran. Parameter *input* terdiri dari besaran keluaran dari komponen harmonik dan slip motor yang dapat dilabeli sebagai *Plsb*, *Pusb* dan *Pslip*. Juga bobot ditambahkan ke masing-masing jalur penghubung untuk menyesuaikan menggunakan data *input* ini dengan proses pelatihan dan kemudian *output* yang dihitung dapat dioptimalkan oleh nilai-nilai yang diinginkan. Gambar 7 menunjukkan detail proses diagram alur algoritma backpropagation.

4. KLASIFIKASI KONDISI ROTOR EKSPERIMENTAL

Untuk pekerjaan eksperimental ini, motor induksi, yang terdiri dari 0BRB kedalaman 3mm dan 7mm, 1BRB dengan kedalaman 3mm dan 7mm, 2BRB dengan kedalaman 3mm dan 7mm, 3BRB,

dioperasikan dengan kondisi beban yang bervariasi dari 0% , 25%, 50%, 75% hingga 100%, tabel II dan tabel III menunjukkan data untuk parameter *input* dari jaringan saraf yang diusulkan. Ada *Plsb*, *Pusb* dan *Pslip* seperti yang disebutkan sebelumnya. Karena kondisi beban motor induksi bervariasi, besarnya keluaran komponen harmoniknya juga diatur khususnya motor induksi dengan kerusakan batang rotor. Pada dasarnya slip motor juga terkait dengan kondisi beban.

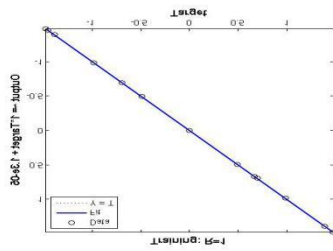
Tabel 2. Letak *spectrum* frekuensi kerusakan rotor tanpa beban

Beban 0%	Slip	(1-2s)f	dB	(1+2s)f	dB
Normal	0.002	49.8	-1.513*	50.2	-4.651*
1brb 3mm	0.002	49.8	-2.549*	50.2	-5.717*
1brb 7mm	0.002	49.8	-4.268*	50.2	-6.715*
2brb 3mm	0.002	49.8	-6.545*	50.2	-8.449*
2brb 7mm	0.004	49.6	-7.595*	50.4	-4.538*
3brb 3mm	0.004	49.6	-8.871*	50.4	-6.741*
3brb 7mm	0.004	49.6	-9.657*	50.4	-7.977*

Tabel 3. Letak *spectrum* frekuensi kerusakan Beban Penuh

Beban 100%	Slip	(1-2s)f	dB	(1+2s)f	dB
Normal	0.048	45.2	-24.02*	54.8	-24.91*
1brb 3mm	0.046	45.4	-21.91	54.6	-24.88
1brb 7mm	0.044	45.6	-20.88	54.4	-22.49
2brb 3mm	0.042	45.8	-21.53	54.2	-21.63
2brb 7mm	0.042	45.8	-17.73	54.2	-23.24
3brb 3mm	0.048	45.2	-17.64	54.8	-24.19
3brb 7mm	0.046	45.4	-16.55	54.6	-23.03

Ket : Tidak ada lonjakan amplitudo Terdeteksi (*)

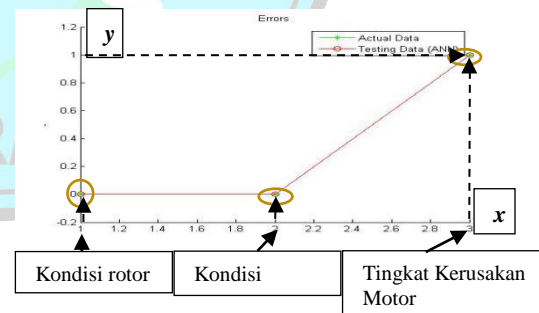


Gambar 8. Hubungan antara target dengan *output* jaringan, untuk data pelatihan.

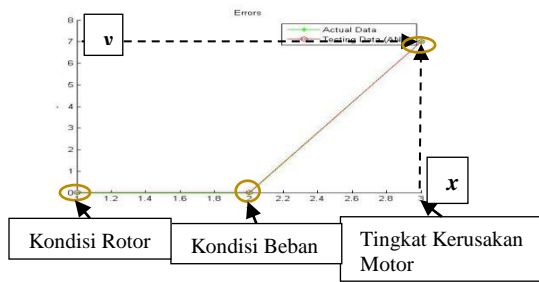
Gambar 8. menunjukkan grafik regression dimana hubungan antara *output* dan target mempunyai koefisien korelasi bernilai 1 karena yang digunakan adalah fungsi aktivasi *sigmoid biner*, maka batas *output* fungsi adalah (0,1). Hal ini menunjukkan hasil yang baik untuk kecocokan *output* jaringan dengan target selama masa training *output* yang dihasilkan oleh program memiliki korelasi yang cukup kuat dengan target.

Dari pencarian tersebut diperoleh nilai MSE terkecil 10^0 pada angka 2.60×10^{-08} pada iterasi 130 dengan kombinasi jumlah *neuron* lapisan *input* 31 dan jumlah *neuron* lapisan tersembunyi 7 sedangkan untuk jumlah lapisan tersembunyi pada *output* 3 dan jumlah lapisan *output* adalah 3. Pengujian NN akan dilakukan untuk mengetahui apakah NN mampu menentukan letak kerusakan batang rotor di setiap kondisi rotor, kondisi beban dan tingkat kerusakan motor pada setiap rotor bar motor induksi. Target yang diberikan untuk tiap

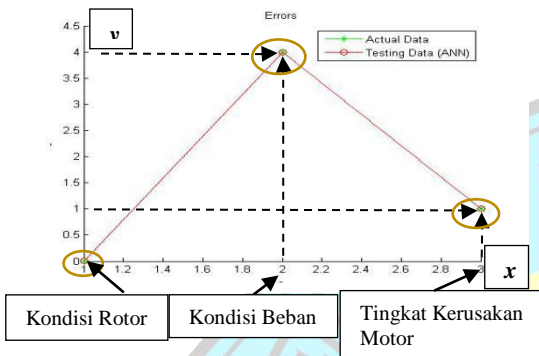
pengujian dibuat berbeda-beda dan target yang ditentukan secara bertahap. Disetiap kondisi rotor target yang diberikan adalah 0 dan 1 dimana 0 adalah kerusakan rotor yang tidak terdeteksi, sedangkan 1 adalah kerusakan rotor yang terdeteksi. Target yang diberikan untuk kondisi pembebanan adalah 0.00 sampai 4.00 yakni 0%, 25%, 50%, 75% dan 100%, sedangkan target untuk tingkat kerusakan motor yakni 1 sampai 7, mulai dari kondisi motor normal sampai kondisi kerusakan batang rotor 3lubang 7mm. Pengujian seperti ini dimaksudkan apakah NN mampu mengestimasi letak kerusakan rotor bar motor induksi. grafik dibawah ini merupakan hasil keluaran klasifikasi kerusakan batang rotor menggunakan metode NN, penulis hanya menampilkan grafik tanpa beban dan kondisi pembebanan penuh motor.



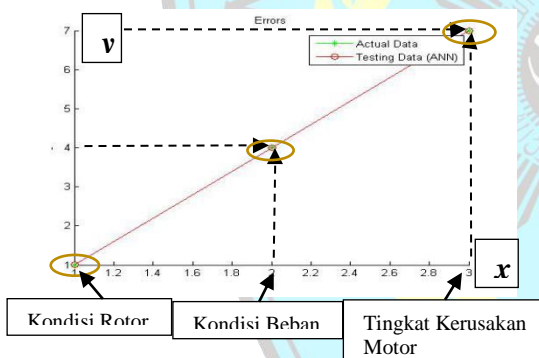
Gambar 9. Kondisi Motor Normal Tanpa Beban



Gambar 10. Kondisi Motor Rusak 3BRB 7mm Tanpa Beban



Gambar 11. Kondisi Motor Normal Pembebanan Penuh Motor



Gambar 12. Motor dalam Kondisi 3BRB 7mm Beban Penuh

Gambar 9 dan gambar 12 adalah grafik dari hasil pengujian motor normal dan kondisi motor rusak 3BRB 7mm beban penuh motor, melalui analisa *spectrum* arus pada motor induksi, koordinat ('x') menyatakan total target yang diinginkan yaitu "3" dimana (1 adalah kondisi rotor, maksud dari kondisi rotor adalah proses pendeteksi dari metode

fast fourier transform yang diambil dari lonjakan amplitudo yang diberi label 0 artinya tidak ada lonjakan amplitudo dan 1 artinya adanya lonjakan amplitudo, (2 adalah kondisi beban mulai dari 0%, 25%, 50%, 75% dan 100%, (3 adalah tingkat kerusakan motor yakni kondisi motor normal sampai kondisi motor 3BRB 7mm.

Koordinat ('y') menyatakan target yang dihasilkan oleh metode NN. Maksud dari pemberian garis putus-putus warna hitam (---) adalah jika kondisi yang diklasifikasi oleh NN ditunjukkan pada titik "nol (0) kondisi rotor" di koordinat ('y') maka dapat ditarik garis ke titik satu koordinat ('x'), jika yang ditunjukkan pada koordinat ('y') titik "nol (0) kondisi beban" maka dapat ditarik garis ke titik dua koordinat ('x'), dan jika ditunjukkan pada koordinat ('y') titik "satu (1) tingkat kerusakan motor" maka dapat ditarik garis lurus ke koordinat ('x'). Hal ini bisa dikatakan bahwa antara target yang diinginkan dan hasil keluaran NN berada pada titik yang sama. Garis berwarna hijau (-) adalah data *spectrum* arus sedangkan garis warna merah (-) adalah hasil pengujian NN juga berada pada jalur yang sama.

Tabel 4. Hasil Pengujian *Neural Network* Pada Tanpa Beban

Kondisi Batang Rotor Tanpa Beban							
Kondisi Motor	Neural Network						
	Target Klasifikasi Kerusakan Batang Rotor			Estimasi NN Untuk Klasifikasi Kerusakan Batang Rotor			
	Kondisi Rotor	Kondisi Beban	Tingkat Kerusakan Motor	Kondisi Rotor	Kondisi Beban	Tingkat Kerusakan Motor	Mean Squared Error MSE
Normal	0	0.00	1	0.0000	-0.0001	1.0001	1.79×10^{-10}
1BRB 3mm	0	0.00	2	0.0000	-0.0001	2.0002	2.41×10^{-10}
1BRB 7mm	0	0.00	3	-0.0000	0.0011	3.0002	2.14×10^{-08}
2BRB 3mm	0	0.00	4	0.0001	-0.0011	4.0000	1.98×10^{-08}
2BRB 7mm	0	0.00	5	-0.0000	0.0007	5.0002	7.78×10^{-09}
3BRB 3mm	0	0.00	6	0.0001	-0.0004	6.0001	2.30×10^{-09}
3BRB 7mm	0	0.00	7	0.0001	0.0000	7.0000	8.30×10^{-11}

Tabel 5. Hasil Pengujian *Neural Network* Pembebanan Penuh

Kondisi Batang Rotor 100%							
Kondisi Motor	Neural Network						
	Target Klasifikasi Kerusakan Batang Rotor			Estimasi NN Untuk Klasifikasi Kerusakan Batang Rotor			
	Kondisi Rotor	Kondisi Beban	Tingkat Kerusakan Motor	Kondisi Rotor	Kondisi Beban	Tingkat Kerusakan Motor	Mean Squared Error MSE
Normal	0	4.00	1	0.0001	4.0001	1.0000	2.75×10^{-10}
1BRB 3mm	1	4.00	2	1.0000	4.0000	1.9998	1.53×10^{-11}
1BRB 7mm	1	4.00	3	1.0000	3.9997	2.9997	1.36×10^{-09}
2BRB 3mm	1	4.00	4	1.0000	4.0002	3.9997	4.64×10^{-10}
2BRB 7mm	1	4.00	5	1.0000	4.0000	4.9999	9.15×10^{-12}
3BRB 3mm	1	4.00	6	1.0000	3.9997	5.9996	1.37×10^{-09}
3BRB 7mm	1	4.00	7	1.0000	4.0001	6.9995	1.69×10^{-10}

Tabel 4 dan 5 merupakan hasil klasifikasi kerusakan batang rotor pada motor induksi menggunakan analisa arus stator dalam keadaan tanpa beban dan pembebanan penuh motor atau. Tabel diatas menampilkan data motor sehat hingga motor mengalami kerusakan 3 BRB 7mm. Untuk mengklasifikasi letak kerusakan bar rotor motor induksi, tiga set data *input* dianggap sebagai PLB, PUSB dan PSLIP sebagaimana disebutkan dalam gambar 3. Target yang diberikan pada metode *neural network* yang diusulkan ini dapat mengklasifikasikan kondisi bar rotor

yang rusak, Rotor sehat (0 BRB), kerusakan batang rotor (1BRB) dengan kedalaman 3mm dan 7mm, (2BRB) dengan kedalaman 3mm dan 7mm dan (3 BRB) dengan kedalaman 3mm dan 7mm Terlihat jelas bahwa setiap target yang dibuat berbeda-beda dan target yang dibuat secara bertahap untuk menguji keakuratan NN pada kerusakan batang rotor. Hal tersebut menunjukkan bahwa hasil keluaran pengujian NN mampu mengenali data spectrum arus stator dengan baik pada setiap pemberian data target yang diinginkan. Akibatnya *output* yang diinginkan dihasilkan dari algoritma yang diusulkan dapat mengklasifikasikan kerusakan motor dengan jumlah bar rotor yang rusak dengan benar dengan dibuktikan dari nilai MSE yang dihasilkan.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang didapatkan pada penelitian ini, melalui proses pengambilan data, pengujian data dan analisis data mengenai sistem klasifikasi kerusakan batang rotor pada motor induksi menggunakan analisa arus stator berbasis *Neural Network* (NN) didapatkan bahwa :

1. Dapat disimpulkan bahwa metode *Neural Network Backpropagation* mampu mengklasifikasi kerusakan batang rotor dari motor induksi secara

efektif dengan dibuktikan nilai *mean squared error*. Dari pengujian yang dilakukan terlihat bahwa nilai MSE untuk motor tanpa beban sampai pembebanan penuh motor rata-rata memiliki efisiensi kerusakan dengan akurat yang dibuktikan dengan nilai MSE yang dihasilkan pada beban 0% rata-rata memiliki nilai MSE sebesar 7.41×10^{-09} , dan pada beban 100% rata-rata nilai MSE yang dihasilkan sebesar 5.84×10^{-10} .

2. Dapat disimpulkan bahwa nilai MSE tertinggi berada pada beban 0% dengan nilai sebesar 7.41×10^{-09} . Dengan rata-rata pada semua pembebanan sebesar 2.09×10^{-09} . Dikarenakan parameter *fast fourier transform* untuk semua kondisi rotor memiliki nilai yang hampir sama satu sama lain. Arus yang mengalir pada rotor tidak begitu besar sehingga pengaruhnya pada arus suplai yang mengalir pada stator tidak begitu jelas. Bahkan pada list program FFT yang tidak begitu akurat, semua kondisi rotor akan terlihat sama oleh karenanya metode NN dengan mudah dapat mengklasifikasi kerusakan rotor pada motor induksi.
3. Metode NN dapat mengenali setiap pola masukan yang diujikan hal ini bisa dilihat pada MSE yang

dihasilkan rata-rata memiliki efisiensi pengujian rata-rata dibawah 5%.

DAFTAR PUSTAKA

- Abduh, M. et al., 2019, “*Deteksi Kerusakan Outer Race Bearing Pada Motor Induksi Melalui Analisa Arus Stator Menggunakan Metode Fast Fourier Transform (FFT)*”, Prosiding SENIATI, 5(3), 175-181.
- Al-Deen. et al., 2018, “*Signature Analysis as a Medium for Faults Detection in Induction Motors*”, In 2018 International Conference on Computing Sciences and Engineering (ICCSE), (pp. 1-6). IEEE.
- Dewantara, B. Y et al., 2019, “*Decomposition Wavelet Transform as Identification of Outer Race Bearing Damage Through Stator Flow Analysis in Induction Motor*”, In 2019 International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT) (pp. 733-737). IEEE.
- Dewantara, B. Y et al., 2019, “*Healthy Monitoring and Fault Detection Outer Race Bearing in Induction Motor Using Stator Current*”, ijie, Vol. 11, no. 3, sep. 2019.
- Faiz, A. et al., 2019, “*Identifikasi Gangguan Batang Rotor Pada Motor*

- Induksi Menggunakan Analisa Arus stator berbasis Decomposition Wavelet Transform (DWT)*”, CITTE, 24-25 Juli, ISSN: 2085-6350 (1), pp. 90-97.
- Hermawan, A. et al., 2019 “*Deteksi Kegagalan Isolasi Pada Belitan Stator Motor Induksi Berbasis Fast Fourier Transform*”, ,CITTE,24-25 Juli, ISSN: 2085-6350 (1), pp. 98-102.
- Huda, I. et al., 2019, “*Identifikasi Gangguan Belitan Stator Motor Induksi Metode Wavelet*”, Prosiding SNST ke-10, ISBN: 978-602-52386-1-1 (1), pp. 43-47.
- Iradiratu, D. P. K. et al., 2019, “*Deteksi Kerusakan Inner Race Bearing Menggunakan Motor Current Signature Analysis Berbasis Fast Fourier Transform*”, Jurnal Teknik Elektro dan Komputer TRIAC, 6(1).
- Prasetyadi, Y. et al., 2019, “*Fast Fourier Transform (FFT) Untuk Mendeteksi Kerusakan Bola Bearing Pada Motor Induksi Melalui Arus Stator*”, CITTE, 24-25 Juli, ISSN: 2085-6350 (1), pp. 69-73.
- Rohman, F. et al., 2019, “*Identifikasi Kerusakan Inner Race Bearing Pada Motor Induksi Berbasis Dekomposisi*”, Wavelet Transform Melalui Analisa Arus Steady State, CITTE, 24-25 Juli, ISSN: 2085-6350 (1), pp. 74-81.
- Shodiq, F. et al., 2019, “*Monitoring Kerusakan Batang Rotor Pada Motor Induksi Menggunakan Analisa Arus Stator Berbasis Fast Fourier Transform*”, CITEE, 24-25 Juli.
- Wangngon, B. et al., 2014, “*Fault detection technique for identifying broken rotor bars by artificial neural network method*”, ,In 2014 17th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS) (pp. 3436-3440). IEEE.