

ANALISIS PERUBAHAN TEMPERATUR INDUKSI MOTOR TIGA PHASE BERBASIS FUZZY INFERENCE SYSTEM (FIS)

Fajar Pujiyanto

Politeknik Bumi Akpelni Semarang
e-mail: fajar.pujiyanto@akpelni.ac.id

Eka Darmana

Politeknik Bumi Akpelni Semarang
e-mail: ekadarmana@akpelni.ac.id

ABSTRACT

The three-phase induction motor is an alternative to changing the diesel engine as the main driver in the industrial world. This transition is aimed at energy efficiency and reducing air pollution from diesel engine exhaust gases. It was chosen because it is easy to operate, quiet, and has low operating costs. Induction motors are used for driving water pumps as the main propulsion on board vessels. Constraints and failures of induction motor components when operating, cause a decrease in performance and risk of damage. This is due to winding disturbances, increasing motor temperature, unbalanced stator, and rotor, broken rotor shafts, air gap eccentricity, motor load, mechanical and environmental effects. The cause of motor damage is increased temperatures on the motor side. It occurs due to unbalanced phase voltage (UPV), unbalanced magnet pull (UMP), and induction motor load (IML). This research discusses three factors and their effect on induction motor temperature (IMT) based on the Fuzzy Inference System (FIS) on MatLab application. FIS analysis is used to simulate changes in motor temperature which are influenced by the variable values of these three factors. This paper uses a qualitative descriptive method with literature reviews and data analysis using FIS in a MatLab application. The analysis of the change in temperature of an induction motor with the three parameters based on FIS has been successfully carried out. The result of the study concludes that UPV and UMP are the dominant factors as a cause of temperature changes in the IMT compared to EML.

Keywords: *Induction motor, fuzzy inference system (FIS), temperature changes.*

ABSTRAK

Motor induksi tiga *phase* adalah alternatif pengganti dari mesin diesel sebagai penggerak utama di dunia industri, peralihan ini bertujuan untuk efisiensi energi dan mengurangi polusi udara oleh gas buang mesin diesel ke lingkungan. Motor induksi dipilih karena mudah dalam pengoperasian, tidak bising dan biaya operasional rendah. Motor induksi digunakan untuk keperluan paling sederhana sebagai penggerak pompa air hingga sebagai motor penggerak utama di kapal. Kendala dan kegagalan komponen induksi motor saat beroperasi menyebabkan terjadinya penurunan performa hingga resiko kerusakan, hal ini disebabkan adanya gangguan lilitan, kenaikan temperatur motor, kondisi stator dan rotor tidak seimbang, *shaft* rotor patah, eksentrisitas celah udara, beban (*load*), efek mekanik dan efek lingkungan. Salah satu penyebab kerusakan induksi motor yaitu kenaikan temperatur berlebih pada sisi motor, kenaikan temperatur terjadi karena tiga hal yaitu *unbalanced phase voltage (UPV)*, *unbalanced magnet pull (UMP)* dan *induction motor load (IML)*. Pada penelitian ini dibahas tentang ketiga faktor tersebut dan pengaruhnya terhadap perubahan temperatur induksi motor menggunakan *Fuzzy Inference System (FIS)* di program aplikasi MatLab. Analisis FIS digunakan untuk mensimulasikan perubahan *induction motor temperature (IMT)* yang dipengaruhi oleh variabel nilai dari ketiga faktor tersebut. Dasar penulisan digunakan metode deskriptif kualitatif dengan mengacu pada *literature review*, dan analisis data menggunakan logika FIS pada program aplikasi Matlab. Analisis perubahan temperatur induksi motor dengan ketiga parameter yaitu UPV, UMP dan IML menggunakan FIS di program MatLab telah berhasil dilakukan. Hasil penelitian disimpulkan bahwa UPV dan UMP adalah faktor dominan sebagai penyebab terjadinya perubahan IMT dibandingkan dengan IML.

Kata kunci: *Induksi motor, fuzzy inference system (FIS), perubahan temperatur.*

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi industri menekankan kepada efisiensi energi dan pengurangan polusi ke lingkungan hidup, perubahan mesin penggerak utama di dunia industri yang awalnya menggunakan motor diesel beralih digantikan induksi motor 3 *phase*. Aturan tentang pencemaran udara oleh Marpol 73/78 Annex 6 tentang pencegahan pencemaran udara-(Bergmeijer, 1992), Peraturan Pemerintah No 41 Tahun 1999 tentang pengendalian pencemaran udara(PP, 1999) menuntut untuk menjaga kebersihan lingkungan hidup. Induksi motor 3 *phase* sebagai alternatif penggerak utama dikarenakan mudah dalam pengoperasian, tidak bising dan biaya operasional rendah. Induksi motor 3 *phase* digunakan untuk keperluan paling sederhana yaitu sebagai penggerak pompa air hingga sebagai motor penggerak utama di atas kapal. Data konsumsi energi dunia mencatat sekitar 68% dari listrik yang dikonsumsi di seluruh dunia di sektor industri, dan 46% dari konsumsi listrik global digunakan untuk menggerakkan motor listrik(Waide & Brunner, 2011).

Motor induksi atau disebut motor asinkron, pada prinsipnya adalah jenis motor listrik AC yang bekerja berdasarkan induksi pada medan magnet yang berada di antara rotor dan stator. Motor ini bekerja dengan memanfaatkan perbedaan *phase* sumber untuk menimbulkan gaya putar pada bagian rotornya. Perbedaan *phase* didapat langsung dari sumber daya listrik(Squirrel, 2020). Induksi motor 3 *phase* memiliki dua komponen utama yaitu stator dan rotor. Stator terdiri tiga belitan *phase* terisolasi terpisah yang berjarak 120° (listrik) terpisah dan terletak di *slot* yang dipotong menjadi inti magnetik baja berlapis.

Jenis konstruksi Induksi motor 3 *phase* terdiri dari dua tipe utama, yaitu *Squirrel cage induction motor* dan *Slip ring induction motor*(Squirrel, 2020). Perbandingan karakteristik dari kedua tipe motor tersebut ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Kontruksi pada Induksi Motor 3 Phase

No	Desain	Squirrel Cage Motor	Slip Ring Motor
1	<i>Rotor construction</i>	Rotor menggunakan <i>bars, squirrel cage</i> sangat sederhana, kuat dan awet, tidak ada <i>slip rings</i> dan <i>carbon brush</i>	Rotor menggunakan lilitan, perlu perhatian untuk lilitan rotor, menggunakan <i>slip rings</i> dan <i>carbon brush</i>
2	<i>Starting method</i>	DOL, Star delta, auto trasformer	Rotor <i>resistance</i> sangat diperlukan
3	<i>Starting torque</i>	Rendah	Sangat tinggi
4	<i>Starting current</i>	Tinggi	Rendah
5	<i>Speed variation</i>	Sulit untuk variasi <i>speed</i>	Mudah variasi <i>speed</i>
6	<i>Maintenance</i>	Mendekati <i>zero maintenace</i>	Diperlukan perawatan berkala dan ekstra
7	<i>Cost</i>	Rendah	Tinggi

Sumber: https://uomustansiriyah.edu.iq/media/lectures/5/5_2020

Permasalahan dan kendala muncul saat induksi motor beroperasi yaitu penurunan performa hingga resiko kerusakan. Para peneliti telah mempelajari berbagai gangguan induksi motor, seperti gangguan lilitan, stator dan rotor tidak seimbang, *shaft* rotor patah, eksentrisitas udara, dan tingkat *load*(Siddiqui et al., 2014). Kasus pengoperasian induksi motor 3 *phase* di bawah tegangan yang tidak seimbang, menyebabkan efek arus lilitan stator menjadi tidak seimbang juga. Perbedaan keseimbangan tegangan yang kecil, akan mengakibatkan perbedaan keseimbangan arus yang lebih besar(Motors and Generator Section, 2009). Perbedaan kesimbangan tegangan mengakibatkan efek negatif yang serius pada kinerja induksi motor, antara lain yaitu: panas berlebih, penurunan efisiensi dan pengurangan torsi keluaran. Beban induksi motor (*motor load*) yang tinggi saat beroperasi mengakibatkan

terjadinya kenaikan temperatur pada sisi lilitan motor. Guna menghindari pemanasan yang berlebihan pada lilitan, maka beban motor harus dikurangi untuk membatasi kenaikan arus dan temperatur elektrik motor (International et al., 2004).

Perbedaan keseimbangan tegangan (*unbalanced phase voltage*) pada induksi motor 3 *phase* berakibat terjadinya kenaikan temperatur atau panas pada sisi stator motor, panas berlebih ini akan merusak material isolasi lilitan stator dan menyebabkan lilitan terbakar. Kategori material isolasi yang digunakan pada lilitan stator berdasarkan spesifikasi *insulation class electric motor* (Adnanes, 2003). Hal ini berpengaruh terhadap tingkat kekuatan material isolasi dalam menerima kenaikan panas. Material isolasi digunakan pada lilitan stator tergantung pada temperatur dimana motor dioperasikan. Perbedaan kutub magnet (*unbalanced magnetic pull*) terjadi dikarenakan perbedaan celah udara (*air gap*) antara rotor dan stator, kondisi ideal motor yaitu rotor dipusatkan di celah udara dan gaya magnet bekerja seimbang dalam arah yang berlawanan di kedua ujung rotor. Gaya magnet dalam stator menghasilkan gaya elektrodinamik dan gaya ini sebanding dengan kuadrat arus (I^2).

Penelitian dan literatur terdahulu tentang induksi motor, dinyatakan bahwa faktor penyebab kerusakan induksi motor karena kegagalan pada komponennya. Kegagalan tersebut perlu diagnosa dan analisis untuk menghindari terjadinya kerusakan yang lebih parah. Salah satu penyebab kerusakan induksi motor yaitu peningkatan temperatur berlebih pada sisi motor, hal ini terjadi karena perbedaan keseimbangan tegangan, perbedaan kutub magnet dan besarnya beban motor (*load*). Keterkaitan dari ketika faktor tersebut dan dampak yang ditimbulkan terhadap perubahan temperatur induksi motor menjadi inti permasalahan dan ketertarikan untuk dipelajari serta dibahas. Maka didalam penelitian ini dibahas tentang analisis keterkaitan dan dampak yang ditimbulkan dari setiap variabel nilai oleh ketiga faktor terhadap perubahan temperatur induksi motor 3 *phase* menggunakan analisis *Fuzzy Inference Sytem (FIS)* di program aplikasi MatLab.

Dikarenakan belum ada penelitian terdahulu ataupun judul yang sama dalam membahas permasalahan ini, namun perlu dibahas beberapa penelitian terdahulu berkaitan tentang permasalahan dan kontrol yang berhubungan dengan induksi motor 3 *phase*. Berikut penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian ini sebagai sarana memperbanyak bahan kajian dan ilmu pengetahuan, ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Penelitian Terdahulu tentang Induksi Motor sebagai Penambah Kajian

Nama Peneliti (Tahun)	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
Hartono; YB. Praharto; Fitrizawati. (2020)	Analisa <i>Thermal Overload Relay (TOR)</i> Pada Sistem Proteksi Motor 3 Fasa Belt Conveyor.	Makin besar arus beban yang melalui relay, makin cepat pula waktu trip. Hasil uji sebagai referensi dalam melakukan <i>setting relay TOR</i> dan pengetahuan kepada operator saat beban berlebih, sehingga operator mengetahui estimasi motor akan trip (Teknologi & Seni, 2020).
B. Melka; J. Smolka; J.Hetmanczyk; P. Lasek. (2019)	Analisis numerik dan eksperimental intensifikasi pembuangan panas dari induksi motor.	Cara efektif pembuangan panas dari kumparan stator dengan penggunaan resin epoksi sebagai bahan pengisi, dilambangkan di kertas sebagai varian E +D. Hal ini menghasilkan pengurangan kenaikan temperatur di <i>hotspot</i> sekitar 30°K di atas <i>ambient</i> temperatur (Melka et al., 2019).
I Wayan RA; I Putu S. (2017)	Pemodelan sistem kontrol <i>fuzzy logic</i> untuk pengaturan kecepatan induksi motor menggunakan aplikasi Matlab.	Kontroler <i>fuzzy</i> bekerja dengan respon cepat dan performa yang bagus. Hasil simulasi diperoleh bahwa sistem kontroler <i>fuzzy</i> mampu

memperbaiki kinerja pengaturan kecepatan induksi motor dengan memperkecil lonjakan dan waktu pemulihan *set point* (Ardana & Sutawinaya, 2017).

Sumber : Studi literatur

2. Metodologi Penelitian

Metode riset yang digunakan dalam penulisan ini adalah metode deskriptif kualitatif dengan mengacu pada *literature review* dan analisis data, untuk menyelesaikan permasalahan digunakan analisis *Fuzzy Inference System* di program aplikasi MatLab. Objek penelitian adalah *electric motor* atau induksi motor 3 *phase* sebagai penggerak pompa utama *Oil Bass Mud* di kapal MV. NMS Bravery. Gangguan pada induksi motor saat beroperasi berisiko menyebabkan kerusakan, salah satu penyebab adalah terjadi kenaikan temperatur berlebih pada sisi stator induksi motor. Pemicu perubahan temperatur stator motor antara lain yaitu tegangan fase tidakimbang, gaya magnet tidakimbang, dan tingkat beban motor (*load*). Ketiga komponen tersebut sebagai parameter input untuk dilakukan analisis perubahan temperature induksi motor menggunakan analisis *Fuzzy Inference System (FIS)* pada program aplikasi MatLab. FIS pada program MatLab bekerja dengan cara memasukan nilai acuan dari setiap parameter input dan output untuk dilakukan proses pengolahan dari setiap perubahan nilai parameter atau data masukan.

2.1 Objek Penelitian

Pada penelitian ini digunakan Induksi motor 3 *phase (electric motor)* sebagai motor penggerak utama *Oil Bass Mud (OBM) pump* di kapal MV. NMS Bravery. Data spesifikasi objek penelitian induksi ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi DESMI Electric Motor sebagai Objek Penelitian

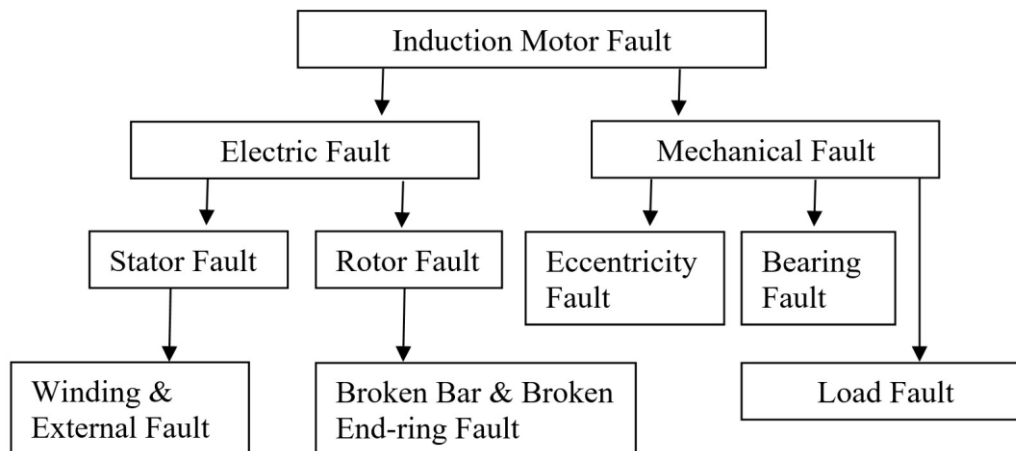
No	Parameters	Value
1	Type	3D 280M1-2
2	Serial No	xxxx
3	Voltage	380
4	Ampere	178.9
5	Frequency	50
6	Rpm	3xxx
7	Cos θ	0.90
8	Insulation Class	F
9	IP	55
10	Ambient Temperatur	40° C

Sumber: Induksi motor 3 *phase* sebagai motor penggerak *Oil Bus Mud Pump* di kapal MV. NMS Bravery

2.2 Faktor Penyebab Perubahan Temperatur Induksi Motor

Dasar pemikiran dalam melaksanakan penelitian dan analisis awal untuk memberikan pemahaman tentang faktor penyebab terjadinya perubahan dan kenaikan temperatur pada induksi motor dengan merujuk pada informasi terdahulu antara lain adalah hasil penelitian oleh Khadim M Siddiqui tahun 2014, menjelaskan kegagalan induksi motor pada dasarnya diklasifikasikan menjadi dua masalah yaitu kegagalan sisi listrik dan kerusakan sisi mekanik. Kegagalan sisi stator dan kerusakan bantalan atau bearing merupakan penyebab kerusakan paling tinggi,

begitu juga kaitannya dengan kerusakan pada rotor yaitu *shaft* rotor patah dan *shaft ring end* putus (Siddiqui et al., 2014). Diagram klasifikasi penyebab terjadinya kegagalan pada induksi motor ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Klasifikasi Umum Penyebab Kerusakan Induksi Motor (*Electric Motor*)

Sumber: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1396088>

Hasil penelitian oleh Mustafa dkk tahun 1993 yaitu menjelaskan kesalahan utama saat motor listrik beroperasi secara umum dapat diklasifikasikan dalam beberapa poin penting, antara lain yaitu koneksi lilitan stator yang tidak normal, *shaft* rotor rusak atau cincin ujung rotor retak, ketidakaturan celah udara statis dan dinamis, *shaft* rotor bengkok (eksentrisitas dinamis), gulungan medan rotor korsleting dan terakhir adalah kegagalan bantalan atau *gearbox* utama (Mustafa, Demetgul, Muhammet, 1993). Hasil penelitian oleh Bonnet dkk tahun 1992 yaitu menjelaskan kerusakan induksi motor 3 *phase* banyak dipengaruhi oleh kerusakan pada kedua komponen utamanya yaitu sisi stator dan rotor, hal disebabkan karena adanya banyak tekanan pada kedua komponen tersebut. Variasi tekanan yang berlaku dan merusak sisi stator dikelompokkan menjadi empat sebab pokok, antara lain adalah faktor *Thermal (Aging, overload, cycling)*, faktor *Electrical (dielectric, tracking, corona, transient)*, faktor *Mechanical (coil movement rotor strike, miscellaneous)* dan terakhir faktor *Enviromental (moisture, chemical, abrasion, foreign objecs)* (Bonnett & Soukup, 1992). Hasil penelitian oleh Nandi, Kliman dkk tahun 1996 yaitu menyatakan kerusakan induksi motor disebabkan oleh kerusakan bantalan. Kerusakan stator dan kerusakan *shaft* rotor adalah hal paling umum dan sering dialami, meskipun hampir 40% - 50% dari semua kegagalan terkait dengan kerusakan bantalan atau disebut dengan kerusakan asimetris rotor. Gangguan stator disebabkan oleh kegagalan isolasi mulai dari lilitan dengan *ground* motor atau lilitan dengan lilitan. Hampir 30% - 40% dari semua kegagalan motor induksi yang dilaporkan adalah termasuk dalam kategori ini (Kliman et al., 1996).

Berdasarkan kondisi variasi tekanan negatif dan faktor penyebab kerusakan induksi motor dari literatur terdahulu, untuk penelitian ini pembahasan hanya berfokus pada tiga faktor penyebab terjadinya perubahan temperatur pada induksi motor. Ketiga faktor negatif tersebut adalah *unbalanced phase voltage (UPV)*, *unbalanced magnetic pull (UMP)*, dan *electric motors load (EML)*.

a. Unbalanced phase voltage (UPV)

Tegangan *phase* tidak seimbang dengan sejumlah kecil beda tegangan menyebabkan peningkatan temperatur lilitan dengan jumlah yang berlebihan.

Sebagai aturan praktis, untuk setiap ketidakseimbangan tegangan 3,5% per *phase*, temperatur belitan akan meningkat 25% pada *phase* dengan arus tertinggi. Untuk alasan ini, setiap upaya harus dilakukan untuk mempertahankan suplai tegangan tetap seimbang (Bonnett & Soukup, 1992). Pengoperasian induksi motor lebih dari 5% untuk *unbalanced voltage* tidak diperbolehkan (Motors and Generator Section, 2009).

b. *Unbalanced Magnetic Pull (UMP)*

Gaya magnet tidak seimbang adalah masalah potensial yang dapat menyebabkan rotor menekuk dan membentur belitan stator. Pada motor “ideal”, rotor dipusatkan di celah udara, dan gaya magnet seimbang dalam arah yang berlawanan, tidak menyebabkan defleksi rotor (Bonnett & Soukup, 1992). Pada kondisi kerja nyata rotor sulit untuk selaras atau terpusat sempurna pada celah udara, salah satu penyebab adalah kerusakan *bearing*. Ketidakseimbangan gaya magnet menyebabkan gaya tarik terpusat satu titik dan celah udara menyempit hingga rotor bersentuhan dengan stator. Batas celah udara minimum dan batas pengaturan jumlah eksentrisitas celah udara yang dapat diterima dalam kisaran 10 - 20% dari celah udara, tergantung pada ukuran mesin (Bonnett & Soukup, 1992). Eksentrisitas celah udara hingga 10% diperbolehkan, namun pabrikan menjaga tingkat eksentrisitas total lebih rendah untuk meminimalkan UMP, mengurangi getaran dan kebisingan (Nandi et al., 2005).

c. *Induction Motors Load (IML)*

Standar efisiensi hemat energi, dan efisiensi motor premium mencapai puncak mendekati 75% dari beban penuh dan relatif konstan hingga titik beban 50% (Waide & Brunner, 2011). Nilai beban (*Load*) untuk induksi motor linier dengan variasi *ampere* dengan rentang *non load*, *load* dan *overload*. Ampere motor bervariasi dan linier terhadap beban hingga sekitar 50% dari beban penuh. Di bawah nilai beban 50%, karena persyaratan arus magnetisasi reaktif, faktor daya menurun, dan kurva arus listrik menjadi semakin non linier dan tidak lagi menjadi indikator beban yang berguna (McCoy, Gilbert A.; Douglass, 2014). Motor listrik dirancang untuk berjalan pada kisaran load 50% hingga 100%. Efisiensi maksimum adalah mendekati 75% dari beban tercantum. Dengan demikian, motor 10 Hp memiliki rentang beban yang dapat diterima antara 5 sampai 10 Hp. Efisiensi puncak adalah pada 7,5 Hp, efisiensi motor cenderung menurun secara dramatis di bawah sekitar 50% *load*——(US Department of Energy, 2014).

2.3 *Fuzzy Inference System (FIS) pada Program Aplikasi MatLab*

Fuzzy Inference System (FIS) adalah metodologi kontrol berdasarkan logika Fuzzy sebagai analisis pemecahan masalah, yang banyak dan cocok untuk diimplementasikan pada berbagai sistem kerja. Logika Fuzzy ini digunakan mulai dari sistem sederhana, sistem kecil, *embedded* sistem, jaringan PC, *multichannel* berbasis akuisisi data, dan sistem kontrol (Kusumadewi, 2003). Program aplikasi Matlab adalah program yang digunakan untuk analisis penyelesaian suatu program kerja. Matlab menggunakan bahasa pemrograman tinggi, tertutup, dan *case sensitive* dalam lingkungan komputasi *numerik* yang dikembangkan oleh *MathWorks* (Advernesia, 2017). Prinsip dasar pengoperasian logika Fuzzy baik secara penghitungan manual ataupun menggunakan FIS adalah sama, yaitu melalui empat tahapan pokok antara lain adalah *fuzzification*, *fuzzy rules base*, *inference engine* dan *defuzzification*.

Proses kerja logika Fuzzy yaitu memperhitungkan dan mengolah setiap nilai atau data masukan dengan mengacu pada parameter input dan output. Parameter input dan output adalah nilai acuan dasar dari setiap parameter untuk mendapatkan nilai keanggotaan fuzzy atau proses fuzzyfikasi, yang kemudian diolah untuk dilanjutkan ke tahapan *rules*, *inference engine* dan yang terakhir yaitu proses defuzzyfikasi. Parameter input terdiri dari 3 parameter yaitu ketidakseimbangan *phase* tegangan (UPV), ketidakseimbangan gaya magnet (UMP), dan tingkat beban motor (IML). Parameter output adalah nilai perubahan temperatur induksi motor (IMT) hasil akhir dari pengolahan data dari ketiga parameter input. Nilai acuan pada parameter input dan output sebagai dasar menjalankan program dan pengoperasian *Fuzzy Inference System (FIS) pada program aplikasi MatLab*. Nilai atau parameter dasar logika Fuzzy ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai Parameter Input dan Output pada Analisis FIS di Program MatLab

No	Parameter Input dan Output	Ambang Batas Nilai (Range)
1	Ketidakseimbangan Phase Tegangan (<i>Unbalanced Phase Voltage – UPV</i>)	Nilai baik <1%; nilai toleransi =1 - 2,5%; Nilai critical = 2,5 - 5%(Motors and Generator Section, 2009)
2	Ketidakseimbangan Gaya Magnet (<i>Unbalanced Magnetic Pull – UMP</i>)	Nilai toleransi 10 -20%, lebih dari 20% menyebabkan getaran lebih, kebisingan, merusak motor(Bonnett & Soukup, 1992)
3	Variasi <i>Induction Motor Load (IML)</i>	Motor Unload < 50 % Normal Load = 50-100% Motor Overload >100 % Efisiensi Load= 75% (McCoy, Gilbert A.; Douglass, 2014)
4	<i>Induction Motor Temperature (IMT)</i>	Induksi motor Dengan <i>Insulation class F</i> max temp 155 °C, Max temp Full load service 105 °C, Ambient temp 40 °C(Motors and Generator Section, 2009).

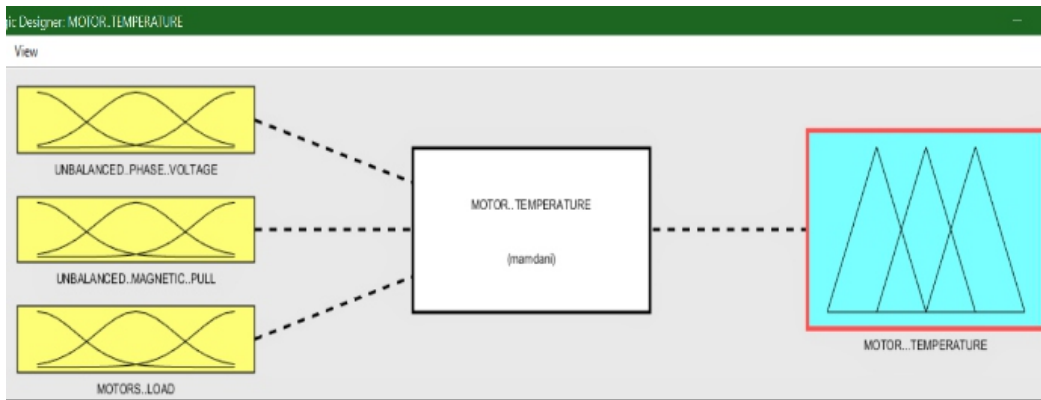
Sumber : Studi literatur

3. Pembahasan

Proses pengolahan dan penghitungan data dari ketiga parameter masukan dengan analisis FIS di program aplikasi MatLab menggunakan nilai acuan berdasarkan pada parameter input dan output yang telah ditentukan pada Tabel 4. Seluruh nilai acuan disetiap parameter input dan output digunakan untuk menentukan batasan himpunan anggota Fuzzy. Proses penghitungan ini berjalan dan pada akhirnya bertujuan untuk mengetahui dampak yang ditimbulkan dari setiap nilai dari ketiga parameter input terhadap perubahan temperatur oleh induksi motor. Urutan tahapan dan proses analisis FIS pada program MatLab antara lain yaitu:

3.1 Fuzzyfikasi.

Fuzzyfikasi yaitu mengubah nilai *crisp* input dan output menjadi fuzzy input dan output menggunakan fungsi-fungsi keanggotaan. Adapaun himpunan fuzzy adalah ketiga parameter input yaitu *Unbalanced Phase Voltage*, *Unbalanced Magnetic Pull* dan *Induction Motor Load*, sedangkan parameter output adalah perubahan *Induction Motor Temperature*. Analisis FIS pada program aplikasi MatLab dibuat berdasarkan ketiga parameter input dan output, ditunjukkan pada Gambar 2.

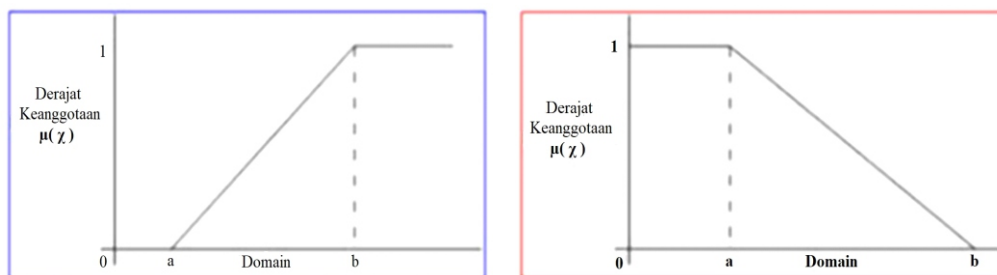


Sumber : Hasil penelitian

Gambar 2. Fuzzy Optimization Perubahan Temperatur Induksi Motor dengan Analisis FIS pada Program Aplikasi MatLab.

Pada Gambar 2 ditunjukkan tentang skema proses analisis FIS pada program Matlab yaitu hubungan dan kaitan antara parameter input dan dampak terhadap parameter output yaitu perubahan temperatur induksi motor. Nilai atau variabel pada ketiga parameter input yaitu UPV – UMP – IML diolah menggunakan logika *Fuzzy Inference Sytem (FIS)*. Hasil perhitungan dari analisis logika FIS di program MatLab secara otomatis menghasilkan perubahan nilai atau variabel pada sisi parameter output yaitu temperatur induksi motor (IMT).

Analisis FIS di program aplikasi MatLab menggunakan basis logika Fuzzy Mamdani guna menyelesaikan permasalahan dalam penelitian ini. Jenis himpunan Logka Fuzzy yang digunakan adalah grafik berbentuk segitiga, dimana terdapat faktor domain dengan dua fungsi berbeda untuk proses penyelesaian permasalahan. Fungsi domain untuk logika Fuzzy terdiri dari 2 macam yaitu domain dengan fungsi naik dan domain dengan fungsi turun. Jenis domain dengan fungsi naik (A) dan fungsi turun (B) ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Fuzzyfikasi dengan Domain Fungsi Naik dan Fungsi Turun Logika Fuzzy

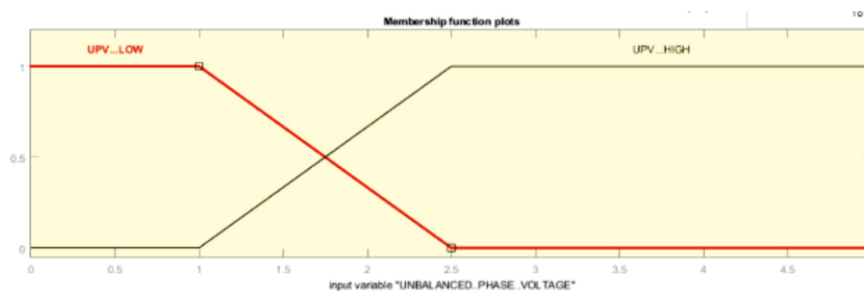
Domain fungsi naik dan fungsi turun memiliki persamaan masing-masing, persamaan ini digunakan untuk menentukan himpunan anggota fuzzyfikasi sesuai fungsi *Fuzzy Rules*. Persamaan yang berlaku untuk domain dengan fungsi naik dan fungsi turun ditunjukkan pada persamaan 1 dan 2(Sri Kusumadewi, 2010).

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ 1; & x \geq b \end{cases} \quad \text{Persamaan domain fungsi naik... (1)}$$

$$\mu[x] = \begin{cases} 1; & x \leq a \\ \frac{b-x}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ 0; & x \geq b \end{cases} \quad \text{Persamaan domain fungsi turun...(2)}$$

Nilai ambang batas atau *range* disetiap parameter input dan output pada Tabel 4 digunakan dan dimasukkan ke dalam himpunan fuzzyfikasi sebagai acuan dasar dalam penghitungan analisis FIS di program MatLab. Parameter input dan parameter output beserta nilai acuan untuk dasar analisis FIS adalah sebagai berikut:

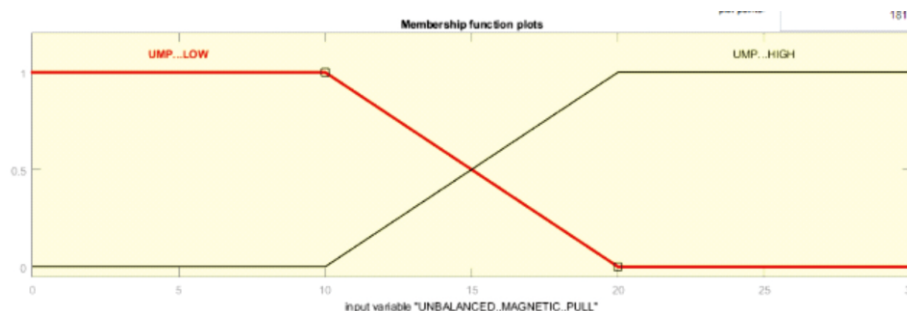
- a. Fuzzyfikasi untuk parameter input *Unbalanced Phase Voltage (UPV)* yaitu dengan ambang batas pada titik a=1% dan titik b=2,5%. Dengan mengacu pada aturan main analisis Logika Fuzzy, maka untuk domain dengan fungsi naik bernilai 0 jika $\chi \leq 1\%$, bernilai rentang 0 s/d 1 jika $1\% \leq \chi \leq 2,5\%$ dan bernilai 1 jika $\chi \geq 2,5\%$. Domain dengan fungsi turun bernilai 1 jika $\chi \leq 1\%$, bernilai 1 s/d 0 jika $1\% \leq \chi \leq 2,5\%$, dan bernilai 0 jika $\chi \geq 2,5\%$. Fuzzyfikasi parameter input *Unbalanced Phase Voltage (UPV)* yaitu, dengan batas nilai a=1% dan b=2,5% ditunjukkan pada Gambar 4.



Sumber : Hasil penelitian

Gambar 4. Fuzzyfikasi *Unbalanced Phase Voltage* pada Analisis FIS di Program MatLab

- b. Fuzzyfikasi untuk parameter input *Unbalanced Magnetic Pull (UMP)* yaitu dengan ambang batas pada titik a=10% dan titik b=20%. Dengan mengacu pada aturan main analisis Logika Fuzzy, maka untuk domain dengan fungsi naik bernilai 0 jika $\chi \leq 10\%$, bernilai rentang 0 s/d 1 jika $10\% \leq \chi \leq 20\%$ dan bernilai 1 jika $\chi \geq 20\%$. Domain dengan fungsi turun bernilai 1 jika $\chi \leq 10\%$, bernilai 0 s/d 1 jika $10\% \leq \chi \leq 20\%$, dan bernilai 0 jika $\chi \geq 20\%$. Fuzzyfikasi parameter input *Unbalanced Magnetic Pull (UMP)*, dengan nilai a=10% dan b=20% ditunjukkan pada Gambar 5.

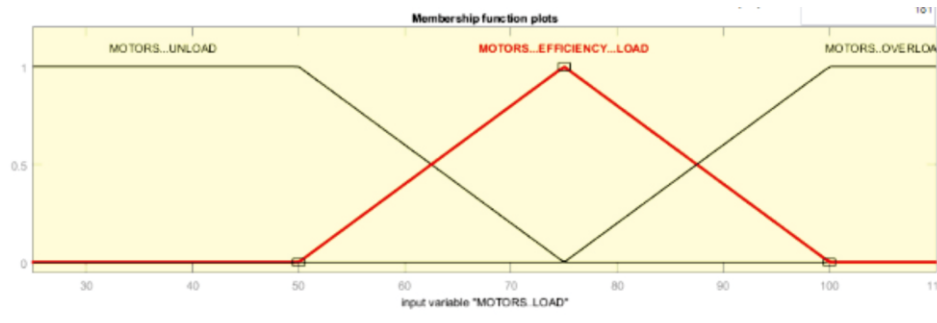


Sumber : Hasil penelitian

Gambar 5. Fuzzyfikasi *Unbalanced Magnetic Pull* pada Analisis FIS di Program MatLab

- c. Fuzzyfikasi untuk parameter input *Induction Motor Load (IML)* yaitu dengan ambang batas pada titik a=50% titik b=75%, dan titik c=100%. Dengan mengacu pada aturan main analisis Logika Fuzzy, maka untuk domain dengan fungsi naik bernilai 0 jika $\chi \leq 50\%$, bernilai rentang 0 s/d 1 jika $50\% \leq \chi \leq 75\%$, bernilai 1 jika $\chi = 75\%$, bernilai rentang 1 s/d 0 jika $75\% \leq \chi \leq 100\%$, dan bernilai 0 jika $\chi \geq 100\%$.

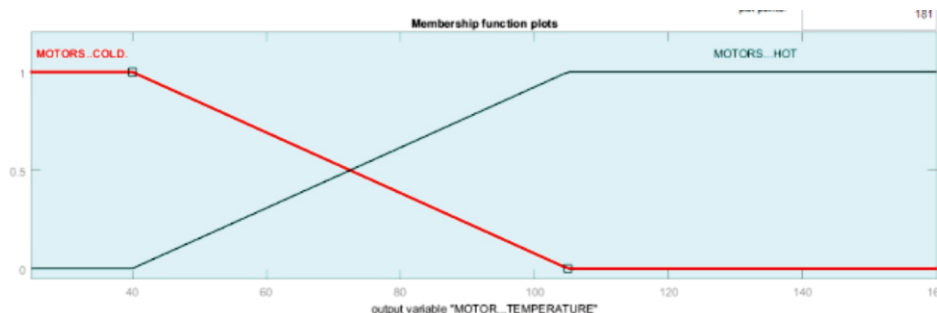
Domain dengan fungsi turun bernilai 0 jika $\chi \leq 50\%$, bernilai rentang 1 s/d 0 jika $50\% \leq \chi \leq 75\%$, bernilai 0 jika $\chi = 75\%$, bernilai rentang 0 s/d 1 jika $75\% \leq \chi \leq 100\%$, dan bernilai 1 jika $\chi \geq 100\%$. Fuzzyfikasi parameter input variabel *Induction Motor Load (IML)* dengan nilai $a=50\%$; $b=75\%$ dan $c=100\%$ ditunjukkan pada Gambar 6.



Sumber : Hasil penelitian

Gambar 6. Fuzzyfikasi *Induction Motor Load* pada Analisis FIS di Program MatLab

- c. Fuzzyfikasi untuk parameter output yaitu *Induksi Motor Temperatur (IMT)* yaitu dengan ambang batas pada titik $a=40\%$ dan titik $b=105\%$. Dengan mengacu pada aturan main analisis Logika Fuzzy, maka untuk domain dengan fungsi naik bernilai 0 jika $\chi \leq 40\%$, bernilai rentang 0 s/d 1 jika $40\% \leq \chi \leq 105\%$ dan bernilai 1 jika $\chi \geq 105\%$. Domain dengan fungsi turun bernilai 1 jika $\chi \leq 40\%$, bernilai 1 s/d 0 jika $40\% \leq \chi \leq 105\%$, dan bernilai 0 jika $\chi \geq 105\%$. Fuzzyfikasi parameter output yaitu *Induksi Motor Temperatur (IMT)*, dengan nilai $a=40^\circ\text{C}$ dan $b=105^\circ\text{C}$ ditunjukkan pada Gambar 7.



Sumber : Hasil penelitian

Gambar 7. Fuzzyfikasi Temperatur Induksi Motor pada Analisis FIS di Program MatLab

3.2 Fuzzy Rules Base Analisis FIS pada Program Aplikasi MatLab

Pada penelitian ini terdapat tiga parameter input dan satu parameter output, parameter input terdiri dari *Unbalanced Phase Voltage (UPV)*, *Unbalanced Magnetic Pull (UMP)* dan *Induction Motor Load (IML)* serta parameter output yaitu perubahan *Induction Motor Temperatur (IMT)*. Pada parameter input pertama untuk UPV memiliki dua nilai linguistik, yaitu nilai rendah (*Low*) dan nilai tinggi (*High*). Pada parameter input kedua untuk UMP juga memiliki dua nilai linguistik, yaitu nilai *Low* dan *High*. Pada parameter input ketiga untuk IML memiliki tiga nilai linguistik, yaitu dengan nilai non beban (*Unload*), beban efisiensi (*Efficiency Load*) dan kelebihan beban (*Overload*).

Pada parameter output untuk *Induction Motor Temperatur (IMT)* memiliki dua nilai linguistik yaitu temperatur motor dingin (*Cold*) dan temperatur motor panas (*Hot*). Berdasarkan jumlah parameter input dan parameter output untuk setiap nilai

linguistik di tiap parameter, maka dapat dimodelkan secara penalaran untuk *Fuzzy Rules Based* atau aturan Fuzzy dengan total sebanyak 12 aturan dasar (12 *Rules*). Aturan dasar atau *Fuzzy Rules based* ditunjukkan pada tabel 5.

Tabel 5. Aturan Dasar Fuzzy Sistem (*Fuzzy Rules Based*) Analisis FIS pada Program MatLab

Rules-Based	Parameter Input			Parameter Output
	UPV	UMP	Motor Load (ML)	Motor Temperature (MT)
1	Low	Low	Unload	Cold
2	Low	Low	Efficiency Load	Cold
3	Low	High	Overload	Hot
4	High	High	Unload	Hot
5	High	Low	Efficiency Load	Cold
6	High	Low	Overload	Hot
7	Low	High	Unload	Hot
8	Low	High	Efficiency Load	Cold
9	Low	Low	Overload	Cold
10	High	Low	Unload	Hot
11	High	High	Efficiency Load	Hot
12	High	High	Overload	Hot

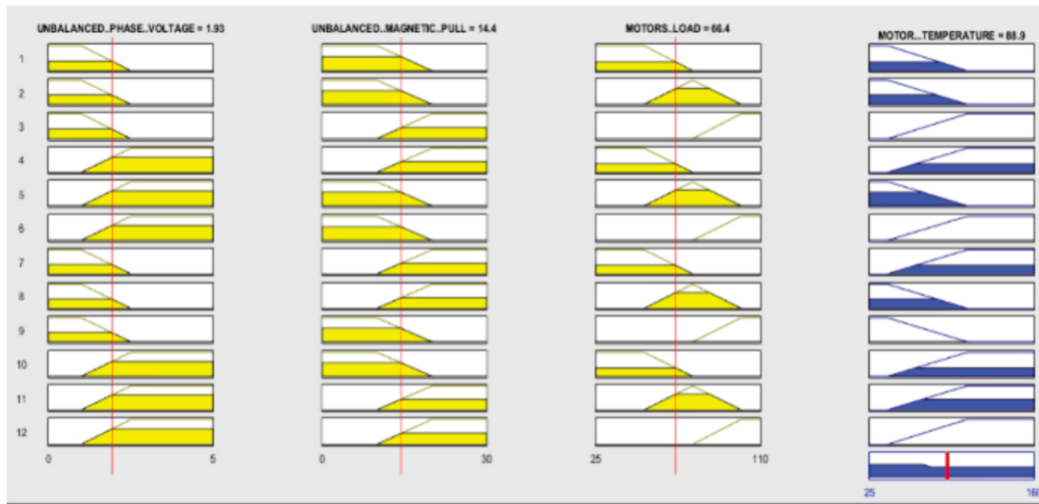
Sumber : Hasil olah data

Metode pembacaan untuk aturan dasar atau *Fuzzy Rules* yang berlaku di dalam analisis FIS program MatLab, yaitu dengan memberikan kata bantu penegasan di setiap *Rules* dengan menambahkan kata sambung “*If, And – Then*”. Berdasarkan Tabel 5, maka dapat dibuat kalimat pernyataan penegasan dari setiap *Fuzzy Rules* untuk memudahkan pemahaman. Kalimat pernyataan penegasan dari *Fuzzy Rules* dengan penambahan kata “*If, And – Then*” berlaku sama untuk ke-12 *rules*, sebagai contoh ditunjukkan kalimat pernyataan penegasan untuk *Rule 1* sampai *Rule 6* adalah sebagai berikut:

- a.[Rule 1]. If UPV is Low, And UMP is Low, And IML is Unload, Then IMT is Cold.
- b.[Rule 2]. If UPV is Low, And UMP is Low, And IML is Efficiency load, Then IMT is Cold.
- c.[Rule 3]. If UPV is Low, And UMP is High, And IML is Overload, Then IMT is Hot.
- d.[Rule 4]. If UPV is High, And UMP is High, And IML is Unload, Then IMT is Hot.
- e.[Rule 5]. If UPV is High, And UMP is Low, And IML is Efficiency load, Then IMT is Cold.
- f.[Rule 6]. If UPV is High, And UMP is Low, And IML is Overload, Then IMT is Hot.

3.3 *Fuzzy Inference Engine dan Defuzzification Analisis FIS pada Program MatLab*

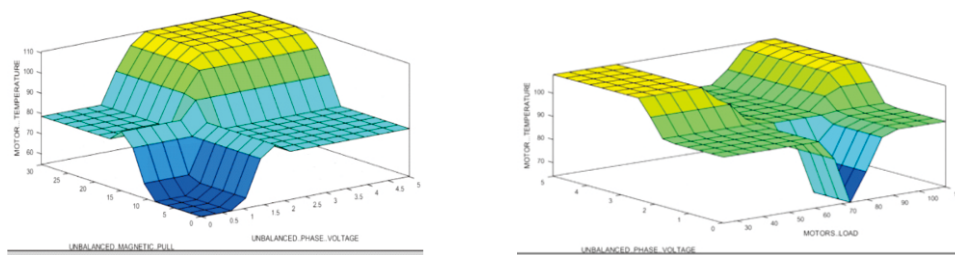
Berdasarkan fungsi himpunan fuzzyfikasi dari ketiga parameter input dan kombinasi pemberlakuan fungsi dari 12 aturan dasar fuzzy (12 *Rules*), maka diperoleh *Inferensi engine* dan *Defuzzyfikasi* yang bekerja berdasarkan logika *Fuzzy Inference System* (FIS) Mamdani dalam program plikasi Matlab. Hasil *inferensi engine* dan defuzzyfikasi tentunya berjumlah 12 fungsi, yakni disesuaikan dengan banyaknya jumlah *Fuzzy Rules* yang telah dibentuk sesuai dengan Tabel 5. *Inference engine* dan defuzzyfikasi untuk analisis FIS dalam program aplikasi MatLab ditunjukkan pada Gambar 8.



Sumber : Hasil penelitian

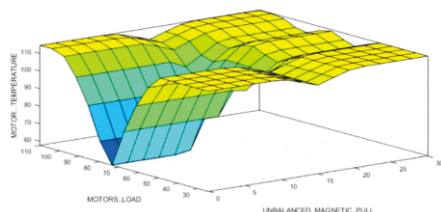
Gambar 8. Inferensi Engine dan Defuzzifikasi Analisis FIS pada Program MatLab

Berdasarkan *inferensi engine* dan defuzzyfikasi yang telah terbentuk oleh analisis FIS dalam program aplikasi Matlab, aplikasi analisis FIS pada MatLab juga menampilkan hubungan dan keterkaitan antara ketiga parameter input dan parameter output yaitu UPV, UMP dan IML serta IMT sesuai dengan nilai masukan yang diberikan dalam bentuk grafik tiga dimensi. Grafik keterkaitan antara ketiga parameter input UPV - UMP – IML dan parameter output IMT digunakan untuk memudahkan pembacaan nilai *Range* parameter utama untuk menjalankan proses penghitungan dan analisis logika FIS di program MatLab. Grafik ini menampilkan nilai *Range* secara jelas untuk setiap parameter, sehingga untuk menganalisa nilai dasar acuan (*Range*) tidak diperlukan masuk ke program dasar seperti ditunjukkan pada Gambar 4 sampai Gambar 7. Gambar skema grafik keterkaitan antara ketiga parameter input dan parameter output oleh analisis FIS pada aplikasi MatLab ditunjukkan pada Gambar 9 dan Gambar 10.



Sumber : Hasil penelitian

Gambar 9. Grafik Hubungan antara IMT-UPV-Ump dan IMT-UPV-IML oleh Analisis FIS pada Program MatLab.



Sumber : Hasil penelitian

Gambar 10. Grafik Hubungan antara IMT-Ump-IML oleh Analisis FIS pada Program MatLab.

3.4 Hasil Pengujian Analisis FIS pada Program MatLab

Simulasi analisis logika *Fuzzy Inference System (FIS)* pada program aplikasi MatLab dilakukan dengan cara mensimulasikan setiap nilai terhadap ketiga parameter input yaitu UPV, UMP dan IML dengan tujuan mengetahui dampak pada parameter output yakni perubahan temperatur induksi motor (IMT). Sistem pengujian analisis FIS pada program Matlab dapat dilakukan dengan dua cara, cara pertama yaitu memberikan masukan nilai berbeda secara manual di ketiga parameter input dan cara kedua yaitu memberikan nilai masukan secara otomatis ke seluruh *fuzzy rules* dan *inference engine* yang telah dibangun pada program FIS MatLab. Simulasi pengujian dilakukan terhadap program analisis FIS di Matlab yaitu dengan memberikan nilai masukan secara manual ataupun dengan menggeser garis acuan pada *Fuzzy inferensi engine* di ketiga parameter input, kemudian program FIS yang telah dibangun secara otomatis melakukan proses analisa, penghitungan dan menghasilkan nilai akhir untuk parameter output berupa nilai besaran temperatur induksi motor.

Pembacaan secara menyeluruh dilakukan dengan menilai setiap hasil pengujian yang telah dilakukan pada ketiga parameter input UPV – UMP – IML dan dampak yang ditimbulkan terhadap parameter output yaitu perubahan temperatur IMT. Hasil pengujian dapat dilihat secara signifikan pada sisi kolom IMT, dimana temperatur IMT mencapai lebih dari 100°C dipengaruhi oleh ketiga parameter input. Penilaian hasil pengujian dilakukan secara terpisah dengan membandingkan setiap hubungan diantara ketiga parameter dan dampak terhadap IMT, penilaian dari konektivitas dan dampak terhadap perubahan nilai temperatur antara UPV - IMT, UMP – IMT, dan IML - IMT. Konektivitas pertama antara UPV - IMT dinyatakan bahwa UPV dengan nilai lebih dari 2,09% menyebabkan perubahan temperatur IMT hingga 105°C, dan UPV dengan nilai diatas 2,5% menyebabkan perubahan temperatur 106°C sampai lebih dari 110°C. Konektivitas kedua antara UMP - IMT dinyatakan bahwa UMP dengan nilai lebih dari 20% menyebabkan perubahan temperatur IMT hingga 106°C. Konektivitas ketiga antara IML - IMT dinyatakan bahwa IML dengan nilai antara 86% - 98% Load menyebabkan perubahan temperatur IMT di angka 56°C hingga 95°C, dengan penilaian dari ketiga konektivitas antara parameter input dan IMT tersebut dinyatakan bahwa faktor nilai UPV dan UMP lebih dominan terhadap perubahan dan kenaikan temperatur IMT dibandingkan dengan faktor nilai IML. Hasil penilaian dan pengujian program analisis logika FIS pada aplikasi MatLab ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengujian Temperatur Induksi Motor oleh Analisis FIS pada Program MatLab

No Uji	Input Value			Output Value	No Uji	Input Value			Output Value
	UPV%	UMP%	IML%	IMT (°C)		UPV%	UMP%	IML%	IMT (°C)
1	0,06	0,40	30,0	52,1	26	3,44	25,1	63,9	109,0
2	0,15	0,54	35,1	52,1	27	2,83	26,4	84,5	110,0
3	0,54	2,76	50,5	52,2	28	2,03	28,3	96,3	108,0
4	0,54	3,55	61,6	56,7	29	1,55	21,2	96,3	106,0
5	0,54	5,66	61,6	56,7	30	1,24	17,8	98,5	107,0
6	0,85	5,66	70,0	54,1	31	1,07	15,4	98,5	94,9
7	0,85	6,71	86,0	56,4	32	0,72	13,6	98,5	82,7
8	0,85	6,71	91,2	55,4	33	0,63	12,2	100	72,5
9	1,21	6,71	91,2	68,7	34	0,41	11,7	100	68,0
10	1,47	7,50	83,8	80,4	35	0,24	10,9	91,9	64,2
11	1,55	7,50	83,8	82,9	36	0,24	10,9	76,4	57,8

12	1,55	9,36	71,2	70,2	37	0,15	9,61	73,4	52,5
13	1,95	12,2	72,2	75,4	38	0,06	5,40	54,9	53,7
14	2,25	14,3	74,2	88,2	39	0,02	3,82	40,2	52,1
15	2,39	15,4	76,4	94,9	40	0,02	2,24	77,1	52,7
16	2,56	17,0	76,4	103,0	41	0,02	10,0	77,1	60,3
17	2,56	17,0	86,0	100,0	42	0,02	13,6	77,1	64,0
18	2,56	18,3	84,5	106,0	43	0,0	16,4	69,1	74,3
19	3,04	18,8	84,5	107,0	44	0,0	16,4	80,8	75,7
20	3,26	20,1	78,6	113,0	45	0,0	18,3	81,5	75,6
21	3,26	21,2	66,8	110,0	46	0,15	21,7	83,8	82,4
22	3,39	21,7	50,4	114,0	47	0,15	23,0	84,5	84,5
23	4,49	23,6	43,1	115,0	48	2,09	8,20	52,8	105,0
24	4,67	26,4	37,2	115,0	49	2,80	18,1	46,5	112,0
25	4,10	25,1	57,2	111,0	50	4,57	26,6	97,1	113,0

Sumber : Hasil pengolahan data

4. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian tentang perubahan temperatur pada induksi motor (IMT) menggunakan program analisis *Fuzzy Inference System* (FIS) didalam aplikasi Matlab, yaitu pengujian dengan memberikan nilai masukan berbeda pada ketiga parameter input yakni *Unbalanced Phase Voltage (UPV)*, *Unbalanced Magnet Pull (UMP)* dan *Induction Motors Load (IML)* telah berhasil disimulasikan. Hasil penelitian yaitu dengan dilakukan penilaian terhadap hasil pengujian oleh program analisis FIS di aplikasi Matlab adalah menjelaskan keterkaitan antara ketiga parameter input dan dampaknya pada parameter output yaitu perubahan temperatur induksi motor 3 phase. Hasil penelitian disimpulkan bahwa nilai dari *Unbalanced Phase Voltage (UPV)* dan *Unbalanced Magnet Pull (UMP)* menjadi faktor dominan atas perubahan temperatur pada induksi motor 3 phase (IMT) dibandingkan dengan nilai *Induction Motor Load (IML)*.

Daftar Pustaka

- Ådnanes, A. K. (2003). Maritime electrical installations and diesel electric propulsion. *ABB AS Marine*.
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.115.966&rep=rep1&type=pdf>
- Advernesia. (2017). *What is MATLAB and its Uses*. Article/Id_ID.
- Ardana, I. W. R., & Sutawinaya, I. P. (2017). Pemodelan Sistem Kontroler Logika Fuzzy Pada Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Menggunakan Perangkat Lunak Matlab / Simulink. *Matrix : Jurnal Manajemen Teknologi Dan Informatika*, 7(1), 1. <https://doi.org/10.31940/matrix.v7i1.504>
- Bergmeijer, P. (1992). The International Convention for the Prevention of Pollution from Ships. *Ports As Nodal Points in a Global Transport System*, 111(50), 259–270. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-040994-8.50026-7>
- Bonnett, A. H., & Soukup, G. C. (1992). Cause and Analysis of Stator and Rotor Induction Motors. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 28(4), 921–937.

- International, C., Commission, E., Deshpande, V., Power, C., & No, O. (2004). *Internationale International Standard. Order A Journal On The Theory Of Ordered Sets And Its Applications*, 1997, 1–25.
- Kliman, G. B., Premerlani, W. J., Koegl, R. A., & Hoeweler, D. (1996). New approach to on-line turn fault detection in AC motors. *Conference Record - IAS Annual Meeting (IEEE Industry Applications Society)*, 1, 687–693. <https://doi.org/10.1109/ias.1996.557113>
- Kusumadewi, S. (2003). *Artificial Intelligence (Techniques and Applications)*. Graha Ilmu.
- McCoy, Gilbert A.; Douglass, J. G. (2014). *Premium efficiency motor selection and application guide - A handbook for industry*. 136. https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/04/f15/amo_motors_handbook_web.pdf
- Melka, B., Smolka, J., Hetmanczyk, J., & Lasek, P. (2019). Numerical and experimental analysis of heat dissipation intensification from electric motor. *Energy*, 182, 269–279. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.06.023>
- Motors and Generator Section. (2009). *NEMA Standards Publication MG 1-2009*. 552, 775. <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/005/nema.mg-1.2009.pdf>
- Mustafa, Demetgul, Muhammet, U. (Ed.). (1993). *Parameter Estimation, Condition Monitoring and Diagnosis of Electrical Machines*. 1993 (1st ed.). Janeza trdine 9. 51000 Rijeka, Croatia. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5772/63169>
- Nandi, S., Toliyat, H. A., & Li, X. (2005). Condition monitoring and fault diagnosis of electrical motors - A review. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 20(4), 719–729. <https://doi.org/10.1109/TEC.2005.847955>
- PP. (1999). Pp Ri No 41 Tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara. *Peraturan Pemerintah No. 41 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara*.
- Siddiqui, K. M., Sahay, K., & Giri, V. K. (2014). Health Monitoring and Fault Diagnosis in Induction Motor- A Review. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 3(1), 2320–3765.
- Squirrel, I. (2020). *Lecture 1 Three-phase Induction Motor Construction and Principle of Operation 2 . Induction Motor Types : May 13, 2020*, 1–9.
- Sri Kusumadewi, H. P. (2010). *Fuzzy logic application for decision support*. Graha Ilmu.
- Teknologi, I., & Seni, D. (2020). *Analisa Thermal Overload Relay (TOR) Type Lrd08c Pada Sistem Proteksi Motor 3 Fasa Belt Conveyor. 1*, 79–90.

US Department of Energy. (2014). Determining Electric Motor Load Ranges. *Motor Challenge, 1, 1*.
<https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/04/f15/10097517.pdf>

Waide, P., & Brunner, C. U. (2011). Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems. *Internationale Energy Agency, na(na)*, 132.