



Instrumentasi

Scientific Publication

ISSN 0125-9202 | Volume 35 No.1 | January-June 2011

- Non-Thermal Plasma Reactor for Wastewater Treatment *Anto Tri Sugiarto*
- Water Level Measurement Using the Reflection of a Laser Beam *Andrianto Handoyo, et al.*
- Analisis Kelayakan Sistem Kalibrasi dari Standar Nasional Tegangan DC 10 v ke Multifungsi Kalibrator F-5720A Sampai dengan 1000 v Menggunakan Metode Pengukuran Rasio pada Ketelitian Sampai dengan 0,8 μ v *Hadi Sardjono*
- Perancangan dan Implementasi Sistem Kalibrasi *Dead Weight Tester* Menggunakan *Reference Pressure Monitor* *Rudi Anggoro Samodro, dkk.*
- Rancangan Relay Pengaman Motor Induksi Berbasis *Fuzzy Logic* *Yunus Tjandi, dkk.*
- Standar Filter untuk Kalibrasi Fotometer sebagai Alat Ukur Kadar Chlorine pada Air dalam Kemasan *Boedi Soesatyo*
- Sistem Mekanik Translasi Linier Pergeseran Cermin dengan Penggerak Motor Stepper 2 Fase untuk Interferometer Michelson *Santoso Prajitno Sugondo*

Accreditation

DIKTI No. 39/DIKTI/Kep/2004
LIPI No. 181/AU1/P2MBI/08/2009

Instrumentasi

Scientific Publication

Puslit KIM-LIPI, Teknik Fisika ITB, and Himll

Instrumentasi is a scientific magazine with high standard of papers. Papers in Indonesian or English language can be submitted for publication, however, papers in English have preference to be published over those written in Indonesian. The members of the Editorial Board shall give suggestions for correction or improvement to authors if their submitted manuscripts are considered below the requirement.

Puslit KIM-LIPI (Research Centre for Calibration, Instrumentation and Metrology - Indonesian Institute of Sciences) is the centre of excellence and reference in the fields of metrology and precision instrumentation. As a backbone of the national system of standardization and measurement traceability, Puslit KIM-LIPI constitutes the technical infrastructure for supporting industries and trades. This research centre also performs as the national metrology institute (NMI) of Indonesia.

Graduate Program in Instrumentation and Control, Department of Engineering Physics, ITB is aimed to provide graduate study program leading to Master Degree in Engineering Sciences, equipping candidates with the capability to apply and to develop professionally the science and technology of instrumentation and control for education, research as well as industrial application.

Himll is a professional organization covering the fields of instrumentation and control with their many aspects. Himll aims to empower the instrumentation society for the country.

Publisher: LIPI Press, Anggota IKAPI

Jln. Gondangdia Lama 39,
Menteng, Jakarta 10350
Phone. (021) 3140228, 3146942
Fax. (021) 3144591
E-mail: bmrliipi@centrin.net.id,
lipipress@centrin.net.id

Distributor: Yayasan Obor Indonesia

Jln. Plaju No. 10 Jakarta 10230
Phone. (021) 31926978, 3920114
Fax. (021) 31924488
E-mail: yayasan_obor@cbn.net.id

Board of Editors

Chief Editor

Prof. Dr..Ir S. Farid Ruskanda, M.Sc. Puslit KIM – LIPI

Vice-chief Editor

Prof.Dr.Ir. H.A Tjokronegoro Teknik Fisika ITB

Editors

Prof. Sunartoto Gunadi, M.Eng. Puslit KIM-LIPI
Prof.Ir. Jimmy Pusaka, M.Sc. Puslit KIM-LIPI
Prof.Dr.Ir.A.Harris Yadda, M.T. Puslit KIM-LIPI
Prof.Ir.Boedi Soesatijo, M.Sc. Puslit KIM-LIPI
Prof.Dr.Andrianto Handojo Teknik Fisika ITB
Prof.Dr.Ir.Benyamin Soenarko Teknik Fisika ITB
Dr.Ir.Hermawan K. Dipojono Teknik Fisika ITB
Dr.Ing.Ir. Yul Y. Nazarudin Teknik Fisika ITB
Dr. Sekartedjo Teknik Fisika ITS
Dr. Wahidin Wahab UI
Prof.Dr.Ir. H. Purwadaria, M.Sc. IPB
Ir. Marga Alisjahbana, Ph.D. Teknik Elektro ITI
Prof.Dr.Kreshna Amurwabumi Puslit Fisika-LIPI
Dr.Ir. Fatimah Z. Padmadinata Puslit SMTP-LIPI
Ir. Santosa Prajitna S, M.Sc, APU. Puslit KIM-LIPI
Dr.Ir. Husein A. Akil, M.Sc. Puslit KIM – LIPI
Drs. A. Harimawan, M.Si. Puslit KIM-LIPI
Drs.Dede Erawan, M.Sc. Puslit KIM-LIPI

Executive Editors

Dr.Ir. Dini Andiani, M.App.Sc. Puslit SMTP-LIPI
Mego Pinandito, M.Eng. Puslit KIM-LIPI
Agustinus Praba D., M.Eng. Puslit KIM-LIPI
Aditya Ahmadi, S.Si. Puslit KIM-LIPI
Agus Prihartono, S.T. Puslit KIM-LIPI
Asep Hapidin, S.Si. Puslit KIM-LIPI
Bernandus Herdi S. S.Si. Puslit KIM-LIPI
Denny Hermawanto, S.T. Puslit KIM-LIPI
Gigin Ginanjar, S.Si. Puslit KIM-LIPI
Helmi Zaini, S.T. Puslit KIM-LIPI
Maharani Ratna Palupi, S.T. Puslit KIM-LIPI
R.Rudi Anggoro, S.Si. Puslit KIM-LIPI
Veny Luvita, S.T. Puslit KIM-LIPI

Secretariat

Sri Wahyuningsih, B.A. Puslit KIM-LIPI
M. Haekal Habiebie Puslit KIM-LIPI

Treasurer

Yuniar Restuwati, S.Sos, M.M. Puslit KIM-LIPI

Copy Editor

Dra. Sarwintyas Prahastuti, M.Hum. LIPI PRESS
Muhammad Fadly Suhendra, A.Md. LIPI PRESS

Paper Layout

Muhammad Fadly Suhendra, A.Md. LIPI PRESS

Cover Design

Junaedi Mulawardana, A.Md. LIPI PRESS

RANCANGAN RELAY PENGAMAN MOTOR INDUKSI BERBASIS FUZZY LOGIC

THE DESIGN OF FUZZY LOGIC BASED RELAY FOR INDUCTION MOTOR PROTECTION

Yunus Tjandi¹, H. Muddassir², Nadjamuddin Harun³

^{1,2}Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Negeri Makassar, Jln. Daeng Tata Raya Makassar, Sulawesi Selatan

³Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Jln. Perintis Kemerdekaan, Kampus Tamalanrea Km 10, Makassar, Sulawesi Selatan
E-mail: ¹yunustjandi_unm@yahoo.com, ³n_harun@unhas.ac.id

Received: 28 September 2010, Accepted for publication: 19 November 2010

INTISARI

Telah dibuat perangkat relay-pengaman untuk menyelamatkan motor-motor induksi 3-fase dari kerusakan fatal akibat gangguan acak ketidakseimbangan tegangan dalam jaringan listrik 3-fase yang memanfaatkan pengendali mikro tipe "AVR AT Mega 32" berbasis pengendali logika samar. Berbeda dengan relay-pengaman (motor-motor listrik 3-fase) konvensional yang digunakan dalam industri selama ini hanya dapat mendeteksi gangguan tegangan kurang dan tegangan lebih saja, maka relay-pengaman pada penelitian ini dirancang untuk dapat mendeteksi gangguan-gangguan acak berupa tegangan kurang, tegangan lebih, ketidakseimbangan tegangan, tegangan hilang satu fase yang terjadi secara acak, dan pengaruh temperatur pada belitan motor sebagai kelengkapan. Relay-pengaman ini dilengkapi pula dengan fasilitas reset dan setting masing-masing untuk menampilkan posisi awal relay-pengaman dan batas-batas variabel-variabel tegangan kurang, tegangan lebih, dan batas atas temperatur yang diinginkan melalui kunci-kunci (tombol) pada *key-pad*. Dengan demikian, motor-motor induksi tiga fase tersebut aman dari kerusakan fatal yang disebabkan oleh gangguan dan masalah ketidakseimbangan tegangan tiga fase yang (selalu) terjadi secara acak. Analisis data hasil simulasi dan pengujian laboratorium menunjukkan bahwa perangkat lunak dan perangkat keras relay-pengaman yang dirancang bekerja dan berfungsi sesuai yang diharapkan dari awal.

Kata Kunci: Gangguan Ganda, Relay-pengaman, Fuzzy Logic, Pengendali-Mikro, Ketidakseimbangan tegangan, Tegangan hilang satu fase

ABSTRACT

A protection relay for 3-phases induction motors hazard protection purpose has been designed utilizing of type AVR AT Mega 32 fuzzy logic based micro-controller. Distinguish in between conventional relay-protection whose common use in industries before, this new design is prepare for random unbalance voltage, low and or over voltage, one phase missing voltage, and the influence of temperature to the motor's coil instead of detects low or over voltage only. This protection-relay is also completed with reset and setting facilities to indicate the protection-relay's parameters initial position, lower and upper voltage boundaries, and the maximum upper temperature boundary is needed are invoke via keypad. Such hazard and overloaded in the electric induction motors due to the influence of the unbalance voltage random event can be avoided. Data analysis of the online simulation and laboratory running test show that both hardware and software good properly works and well functioning.

Keywords: Multiple Trouble, Protection-relay, Fuzzy Logic based, Micro-controller, Unbalance voltage, one phase missing voltage.

1. PENDAHULUAN

Kondisi peralihan dalam operasi sistem tenaga listrik merupakan suatu kondisi yang terjadi berulang-ulang tanpa bisa dihindari. Setiap perubahan baik pembebanan, penambahan beban sistem, maupun

pelepasan beban selalu menimbulkan kondisi peralihan. Makin besar kapasitas penambahan atau pelepasan beban makin besar pula kondisi peralihan yang ditimbulkan sehingga makin luas area dalam sistem yang ikut mengalami kondisi peralihan yang terjadi.

Kondisi peralihan selalu menimbulkan *overshoot* yang menyebabkan relay bekerja memutuskan suplai beban meskipun hal itu adalah kondisi normal, karena relay klasik pada kondisi peralihan tidak mampu membedakan antara kondisi normal dan abnormal. Karena hal itu maka relay klasik ditambahkan waktu tunda agar kondisi peralihan yang terjadi dilewatkan terlebih dahulu barulah relay mulai bekerja dengan baik.

Ketidakeimbangan suplai tegangan pada beban-beban tiga fase adalah suatu kondisi yang amat berbahaya menimbulkan kerusakan pada peralatan sistem tenaga listrik. Ketidak seimbangan tegangan dalam sistem adalah kondisi yang terjadi terus menerus akibat beban-beban satu fase yang tidak terdistribusi secara merata pada ketiga fase sistem. Karena itu beban tiga fase harus dilengkapi dengan relay ketidak seimbangan fase (*phase unbalance relay*) yang bekerja berdasarkan persentase ketidakseimbangan tegangan antar ketiga fase sistem. Menurut standar "NEMA" bahwa ketidakseimbangan maksimum adalah 5%. Akan tetapi, relay klasik ini berkerja secara kaku sesuai dengan setting yang diberikan. Hal ini telah diuji coba dengan menggunakan *Programmable Logic Controller* (PLC), yang mana dasar prinsip kerja dari PLC adalah mewakili relay klasik ketidakseimbangan fase, hal ini dapat dilihat pada Gambar 1.^[1]

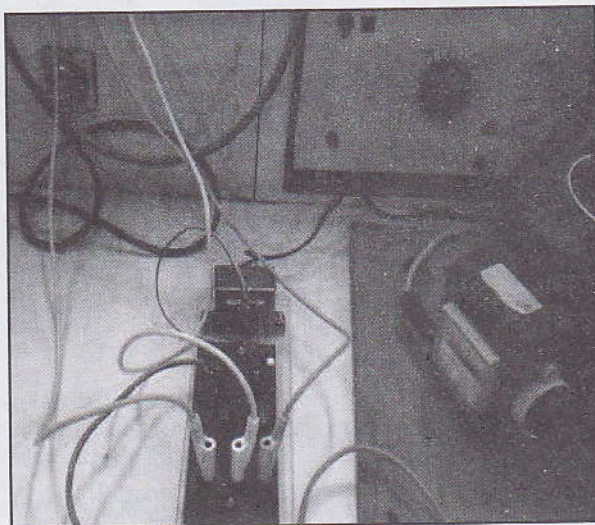
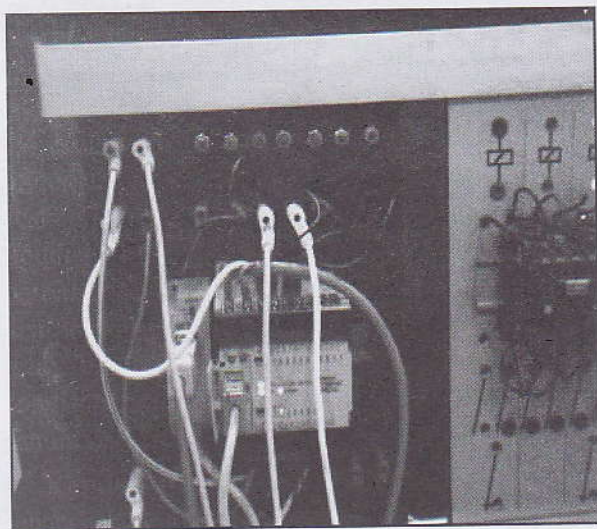
Untuk memperbaiki kinerja dari relay klasik tersebut, maka dibuat relay pengaman berbasis

fuzzy logic dengan menggunakan pengendali mikro tipe AVR AT Mega 32. Relay pengaman ini dapat berpikir dan bertindak menyerupai manusia. Berpikir karena dapat mengukur besaran tegangan per fase dan membandingkan besaran itu di antara ketiga fasenya. Jika terjadi perbedaan tegangan yang membahayakan beban tiga fase maka alat tersebut akan memberi petunjuk tentang tindakan yang seharusnya dilakukan. Relay pengaman ini juga dapat memonitoring dan mencatat keadaan yang terjadi dalam sistem selama operasi dan tidak perlu ditambahkan waktu tunda padanya.

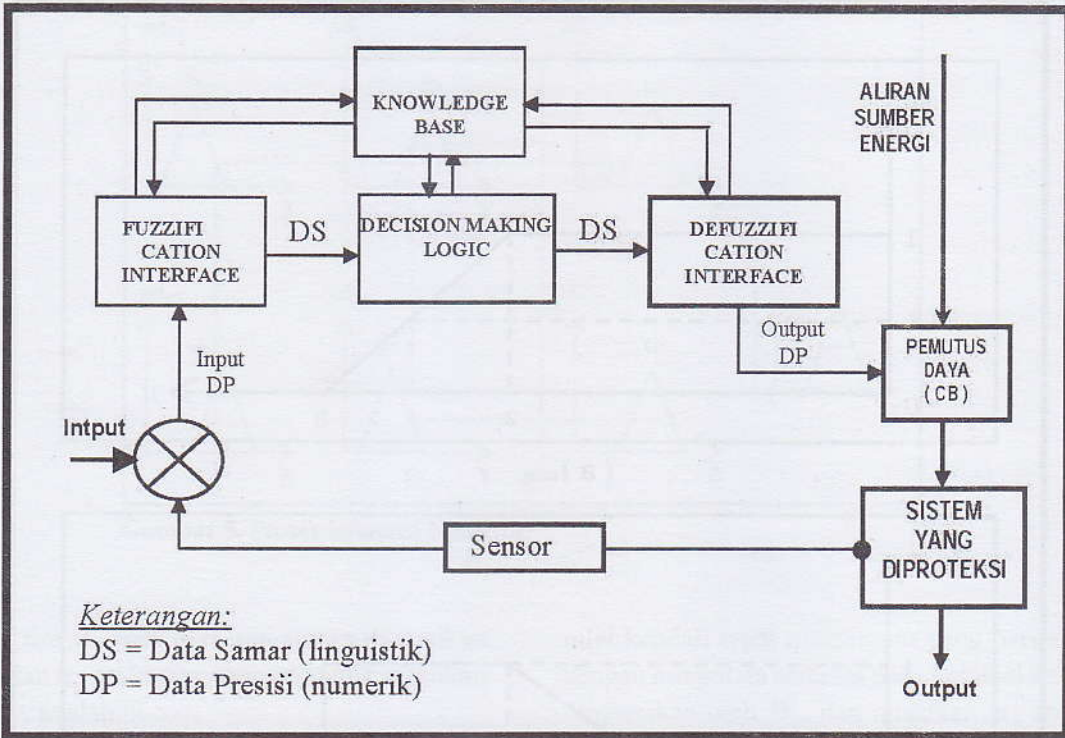
2. PRINSIP DASAR RELAY PENGAMAN BERBASIS FUZZY LOGIC

Secara umum diagram blok dari relay pengaman ini terdiri atas masukan (*input*), *Fuzzification Interface*, *Knowledge Base*, *Decision Making Logic*, *Defuzzification Interface*, Sensor, pemutus daya (CB) dan sistem yang diamankan (dilindungi) seperti yang terlukis pada Gambar 2.^[1,2,3]

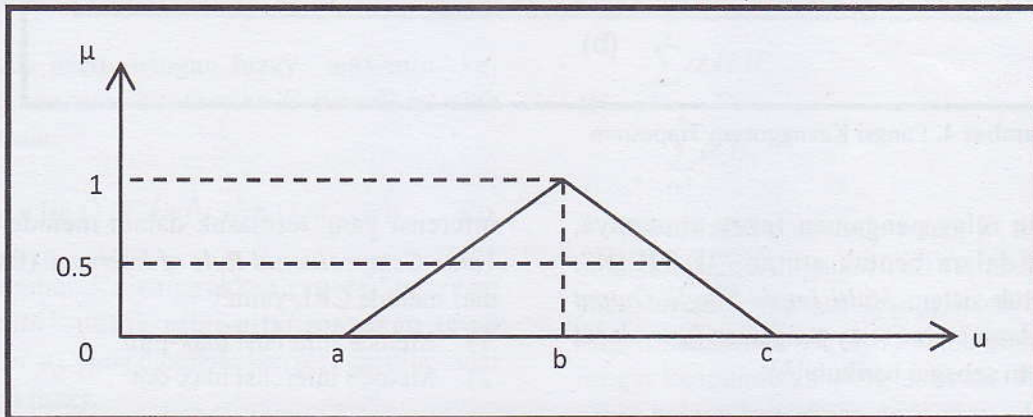
Fuzzifikasi (*fuzzification*) merupakan proses untuk memetakan hasil pengamatan sinyal masukan sistem ke himpunan-himpunan fuzzy dengan menerapkan basis pengetahuan yang tepat. Proses pemetaan ini dapat diekspresikan dengan menggunakan fungsi-fungsi standar himpunan fuzzy berikut.^[1,2,4]



Gambar 1. Relay Ketidakseimbangan Fase Menggunakan PLC^[1]



Gambar 2. Diagram Blok Relay Pengaman Berbasis Fuzzy Logic^[1,2,3]



Gambar 3. Fungsi Keanggotaan Segitiga

- Fungsi segitiga didefinisikan sebagai berikut:^[1,4]

$$T(\mu : a, b, c) = \begin{cases} 0 & \text{untuk } \mu < a \\ \frac{\mu - a}{b - a} & \text{untuk } a \leq \mu \leq b \\ \frac{c - \mu}{c - b} & \text{untuk } b \leq \mu \leq c \\ 0 & \text{untuk } \mu > c \end{cases} \quad (1)$$

- Fungsi trapesium dapat memiliki dua bentuk seperti Gambar 4.a dan 4.b.

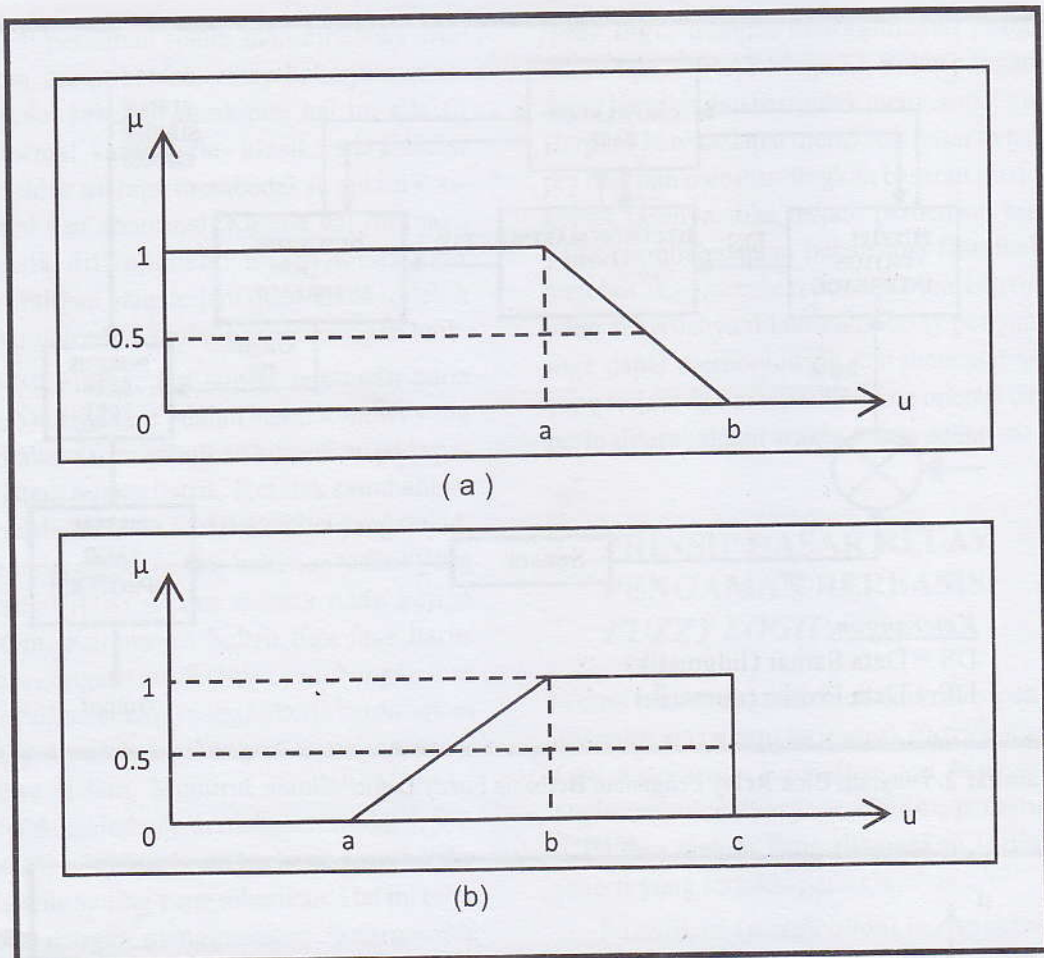
Untuk Gambar 4 (a) didefinisikan sebagai berikut:^[1,4]

$$T_r(\mu : a, b, c) = \begin{cases} 1 & \text{untuk } 0 \leq \mu \leq a \\ \frac{b - \mu}{b - a} & \text{untuk } a \leq \mu \leq b \\ 0 & \text{untuk } \mu > b \end{cases} \quad (2)$$

- Sementara untuk untuk Gambar 4 (b) didefinisikan sebagai berikut:^[1,4]

$$T(\mu : a, b, c) = \begin{cases} 0 & \text{untuk } 0 \leq \mu < a \\ \frac{\mu - a}{b - a} & \text{untuk } a \leq \mu \leq b \\ 1 & \text{untuk } b \leq \mu \leq c \\ 0 & \text{untuk } \mu > c \end{cases} \quad (3)$$

Knowledge base terdiri dari *database* dan *rule base*. *Database* menyediakan defenisi-defenisi parameter fuzzy yang diperlukan sebagai himpunan-himpunan semesta dari tiap variabel. Sementara *Rule base* terdiri dari aturan-aturan kendali fuzzy yang bertujuan untuk mencapai sasaran proteksi sistem.



Gambar 4. Fungsi Keanggotaan Trapesium

Dalam relay pengaman fuzzy aturannya, biasanya dalam bentuk aturan "IF-THEN". Maka untuk sistem *Multi Input Single Output* (MISO), dasar aturan relay pengaman fuzzy dapat dinotasikan sebagai berikut:^[1,2,3]

Aturan 1 : F x_1 adalah A_1 AND ... AND x_m adalah A_{1m} THEN y adalah B_1

Aturan 2 : F x_1 adalah A_2 AND ... AND x_m adalah A_{2m} THEN y adalah B_2

Aturan n : F x_1 adalah A_n AND ... AND x_m adalah A_{nm} THEN y adalah B_2

• **Pengambilan Keputusan (Decision Making Logic)**

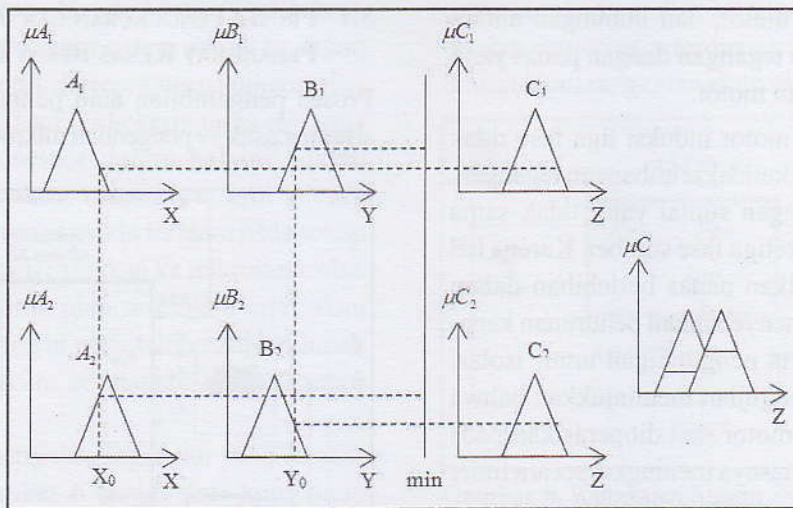
Ada beberapa cara di mana nilai-nilai masukan hasil observasi dapat digunakan untuk mengidentifikasi aturan mana yang seharusnya digunakan untuk menyimpulkan tindakan relay pengaman fuzzy yang ada yaitu metode *Compositional Rule of Inference* (CRI) dan metode *Approximate Analogical Reasoning* (AAR) maka yang paling sering digunakan dewasa ini adalah metode

inferensi yang termasuk dalam metode *Point Value Compositional Rule of Inference* (PVCRI) dari metode CRI, yaitu:^[1,2,3]

- 1) Metode inferensi max-min
- 2) Metode inferensi max-dot

Proses inferensi atau pengambilan keputusan dikenal dengan pertimbangan pendekatan (*Approximate reasoning*). Karena kendali proses bersifat alami maka sering data masukan bersifat tepat. Jika diasumsikan bahwa kita mempunyai aturan kendali fuzzy sebanyak dua buah,^[1,2,3] maka

Aturan 1 : IF x adalah A_1 AND y adalah B_1 THEN z adalah C_1
 Aturan 2 : IF x adalah A_2 AND y adalah B_2 THEN z adalah C_2 (5)



Gambar 5. Proses Inferensi Max-Min^[1]

Jika *fire strength* dari tiap aturan ditentukan oleh α_1 dan α_2 , maka *fire strength* untuk masukan x_0 , dan y_0 adalah:^[1]

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \mu_{A_1}(x_0) \cap \mu_{B_1}(y_0) \\ \alpha_2 &= \mu_{A_2}(x_0) \cap \mu_{B_2}(y_0) \end{aligned} \quad (6)$$

Pada pertimbangan fuzzy "max-min" keanggotaan dari konsekuen C diberikan oleh persamaan:^[1]

$$\mu_C(w) = (\alpha_1 \cap \mu_{C_1}(w)) \cup (\alpha_2 \cap \mu_{C_2}(w)) \quad (7)$$

Gambar 5 menunjukkan proses "inferensi max-min" untuk nilai-nilai masukan tetap x_0 dan y_0 yang diberlakukan sebagai nilai-nilai tunggal fuzzy.

• Strategi-Strategi Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan suatu proses pemetaan yang memindahkan (memetakan) nilai keluaran fuzzy (linguistik) ke dalam nilai keluaran non-fuzzy (numerik). Ada beberapa metode defuzzifikasi yang sering digunakan antara lain, metode *Center of Maximum* yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

Misalkan sebuah sistem samar MISO dengan jumlah aturan dinotasikan oleh n dan tinggi maksimum (puncak) nilai puncak dari fungsi dari nilai keanggotaan maksimum dari sebuah himpunan fuzzy yang terdefinisi untuk aturan ke- i kendali keluaran dinotasikan oleh nilai H_i . Sementara itu,

nilai kendali tepat maksimum yang bersesuaian dengan himpunan semesta pada variabel keluaran dinotasikan oleh W_i , dan misalkan *fire strength* dari tiap aturan dinotasikan α_i maka nilai kendali tepat W yang didefuzzifikasikan dalam metode COM diberikan oleh:^[1,2,3]

$$W_i = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i H_i W_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i H_i} \quad (8)$$

Karena nilai tepat (*crisp value*) W_i merupakan nilai dari bagian linguistik dari variabel keluaran yang memiliki fungsi keanggotaan mencapai tinggi maksimum H_i (H_i sama dengan satu) fungsi keanggotaan yang simetris dibukukan untuk bagian konsekuen pada aturan himpunan fuzzy.

3. RANCANGAN DAN UJI COBA RELAY PENGAMAN

Motor induksi digunakan sebagai sumber tenaga mekanik untuk melakukan berbagai jenis pekerjaan, baik dalam rumah tangga maupun di berbagai industri dan perkantoran. Karena itu diperlukan pemeliharaan dan pengamanan motor terhadap berbagai gangguan dalam pengoperasiannya, agar dapat bertahan lama. Maka demi mewujudkan tujuan tersebut diperlukan gambaran karakteristik pengoperasian motor induksi, terutama pengaruh ketidakseimbangan tegangan terhadap lama

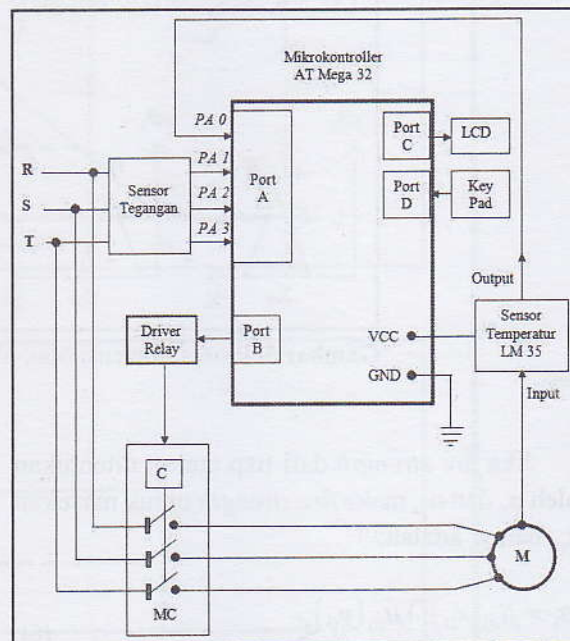
waktu pengasutan motor, dan hubungan antara ketidakseimbangan tegangan dengan panas yang timbul dalam belitan motor.

Pengoperasian motor induksi tiga fase tidak dapat mengabaikan ketidakseimbangan tegangan, yaitu kondisi tegangan suplai yang tidak sama besarnya di antara ketiga fase sumber. Karena hal itu akan menimbulkan panas berlebihan dalam belitan motor dan menyebabkan penurunan kapasitas (*derating*) serta pengurangan umur isolasi belitan^[1,5]. Hasil pengujian menunjukkan bahwa temperatur belitan motor saat dioperasikan pada beban sesuai kapasitasnya meningkat secara linier sejalan dengan lama waktu pengoperasiannya.

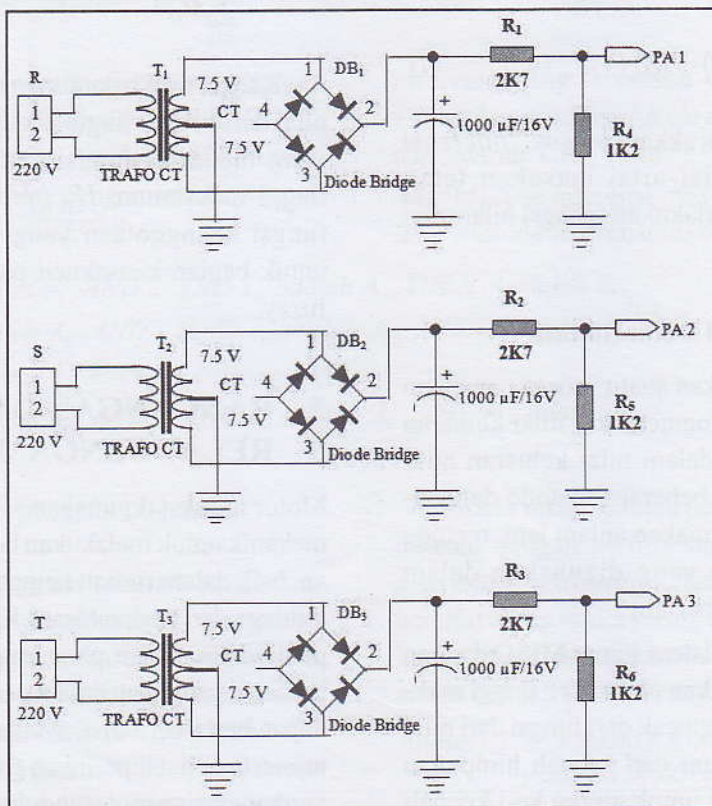
Akan tetapi, jika dioperasikan pada ketidakseimbangan terbesar, yaitu putusnya salah satu fase maka panas yang timbul dalam belitan motor meningkat secara eksponensial terhadap lama waktu pengoperasiannya. Dengan demikian, pengoperasian motor induksi tiga fase pada operasi satu fase, yaitu putusnya salah satu fase sumber tidak diperkenankan, yang berarti motor harus diputuskan dari sumber tenaga listrik.

3.1 PROSES PENGUKURAN DAN RANCANGAN PERANGKAT KERAS RELAY PENGAMAN

Proses pengambilan atau pengukuran data dari sistem masuk ke pengendali mikro (*microkontroller*)



Gambar 6. Diagram Blok Proses Pencuplikan data dari Sistem^[1]



Gambar 7. Rangkaian ekivalen sistem sensor tegangan^[1]

Rangkaian utama relay pengaman yang dapat berpikir dan bertindak menyerupai manusia ini, terdiri dari komponen-komponen pembentuknya yang ditunjukkan dengan rangkaian ekuivalen pada Gambar 10. Rangkaian tersebut menunjukkan bahwa ada tiga besaran ukur utama yang digunakan dalam rancangan pengaman ini, yaitu besar tegangan tiap fase, sementara temperatur atau suhu dari belitan adalah besaran turunan sebagai fungsi dari besar beban dan tingkat ketidakseimbangan tegangan.

3.2 DIAGRAM ALIR PENYUSUNAN RELAY PENGAMAN

Untuk mewujudkan relay pengaman yang diharapkan benar-benar dapat bekerja mengamankan pengoperasian motor induksi dari gangguan ketidakseimbangan suplai tegangan, maka disusun urutan langkah atau proses pembuatan perangkat lunaknya mulai dari inisialisasi perangkat keras hingga tindakan perbaikan sistem yang seharusnya dilakukan. Hal tersebut dapat dinyatakan dengan diagram alir (algorithm) seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 11:^[1,3]

4. HASIL RANCANGAN DAN DISKUSI HASIL

Setelah selesainya penyusunan perangkat lunak Relay Pengaman yang menggunakan bahasa C++, maka dicoba dijalankan dan hasilnya sangat baik seperti terlihat pada Tabel 1.

4.1 HASIL UJI LABORATORIUM

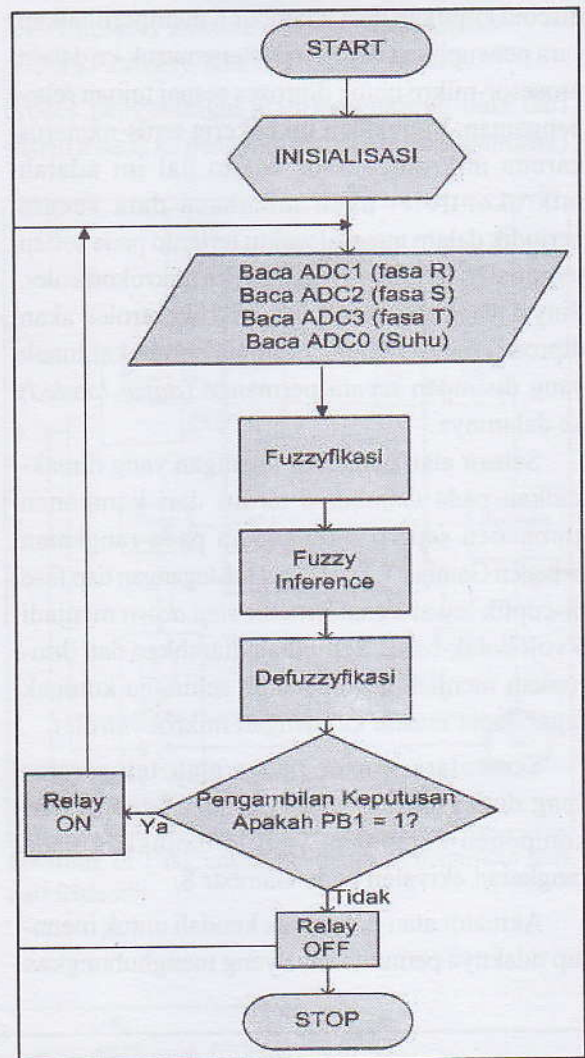
Setelah dilakukan simulasi program maka dilanjutkan dengan uji laboratorium terhadap perangkat keras yang telah dibuat. Hasil uji laboratorium memperlihatkan hasil, seperti terlihat pada Tabel 2.

4.2 HASIL UJI LABORATORIUM RELAY PENGAMAN BIASA

Berikut adalah lukisan diagram pengkabelan untuk pelaksanaan uji laboratorium kendali pengamanan motor.^[1]

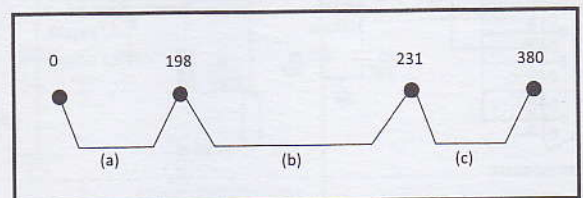
Penjelasan Hasil Uji Laboratorium:

- 1) Tegangan Input Regulator R-N = 220V



Gambar 11. Algorithma (Diagram Alir) Relay Pengaman^[1,3]

- 2) Tegangan Input Display = 220V
- 3) A1 – A2 = Coil dari MC (Magnetic Contactor)
- 4) RST adalah sumber 3 fase dari jala-jala PLN
- 5) M = Motor Induksi 3 fase
- 6) R – N = 198 V ---> Setting Tegangan pada posisi Under Voltage.
=> Relay akan bekerja, apabila tegangan dari sumber PLN, berada di bawah tegangan 198 Volt motor off.



Gambar 13. Kondisi dan Posisi Koneksi/Hubungan Tegangan^[#1 20]. (a) = Pengaman OFF (motor berhenti / off

Tabel 1. Hasil Simulasi Program Relay Pengaman Motor Induksi^[1,3]

PORT INPUT				INFERENCE MEMBERSHIP DEGREE Max-Min				DEFUZZY Ouput	KEPUTUSAN (Tindakan)
R (Volt)	S (Volt)	T (Volt)	Temperatur (°C)	Min_tp1	Min_sgt	Min_tp2	Maxim		
231.0	231.0	231.0	30.0	1.0	0.0	0.0	1.0	225.0	Normal pada input tinggi
198.0	198.0	198.0	30.0	0.0	0.0	1.0	1.0	214.0	Normal pada input rendah
220.0	220.0	220.0	30.0	0.0	1.0	0.0	1.0	220.0	Normal amat baik
231.0	220.0	198.0	35.0	1.0	1.0	1.0	1.0	219.7	Taksimetris amat berbahaya
231.0	230.0	229.0	35.0	1.0	0.0	0.0	1.0	225.0	Normal pada input tinggi
231.0	225.0	220.0	35.0	1.0	1.0	0.0	1.0	222.5	Taksimetris pada input tinggi
225.0	220.0	215.0	36.0	1.0	0.2	0.8	1.0	220.0	Normal
228.0	221.0	200.0	37.0	0.2	0.8	1.0	1.0	217.5	Normal
219.0	198.0	198.0	38.0	0.0	0.8	0.2	0.8	219.0	Normal
200.0	210.0	205.0	40.0	0.0	0.0	1.0	1.0	214.0	Normal pada input rendah
211.0	210.0	212.0	40.0	0.0	0.0	1.0	1.0	214.0	Normal pada input rendah
215.0	205.0	205.0	45.0	0.0	0.2	0.8	0.8	215.0	Normal
210.0	220.0	205.0	46.0	0.0	1.0	1.0	1.0	217.0	Taksimetris pada input rendah
220.0	210.0	205.0	47.0	0.0	1.0	1.0	1.0	217.0	Taksimetris pada input rendah
205.0	215.0	210.0	47.0	0.0	0.2	0.8	0.8	215.0	Normal
198.0	198.0	231.0	52.0	1.0	0.0	1.0	1.0	219.5	Taksimetris berbahaya
199.0	220.0	198.0	53.0	0.0	1.0	1.0	1.0	217.0	Taksimetris pada input rendah
231.0	230.0	231.0	53.0	1.0	0.0	0.0	1.0	225.0	Normal pada input tinggi
225.0	221.0	224.0	53.0	0.2	0.2	0.0	0.2		Normal
198.0	220.0	231.0	58.0	1.0	1.0	1.0	1.0		Taksimetris amat berbahaya
200.0	200.0	230.0	60.0	1.0	0.0	1.0	1.0		Taksimetris berbahaya
228.0	229.0	228.0	60.0	1.0	0.0	0.0	1.0	225.0	Normal pada input tinggi
195.0	194.0	196.0	61.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Trip_(Semua input diluar batas)
232.0	197.0	196.0	40.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Trip_(Volt input diluar batas)
232.0	225.0	225.0	35.0	1.0	0.0	0.0	1.0	225.0	Trip_(R Over Voltage)

==> Posisi Under Voltage); (b) = Pengaman ON (motor jalan pada tegangan 198V ÷ 231V); (c) = Pengaman OFF (motor berhenti / off ==> Posisi Over Voltage)

7) Relay Pengaman OFF (motor berhenti), apabila Tegangan listrik dari suplai berada di bawah Tegangan 198 Volt (posisi Under Voltage) dan pada saat Tegangan di atas 231 Volt (posisi Over Voltage).

8) Relay Pengaman ON (motor listrik berputar) apabila Tegangan listrik dari sumber suplai berada pada tegangan 198V ÷ 231 Volt.

9) Apabila sumber tegangan dari Regulator berasal dari fase R dan fase N (R - N), maka bila terjadi gangguan pada fase S atau T, maka Relay Pengaman tidak dapat mendeteksi gangguan tersebut.

Tabel 2. Hasil Uji Laboratorium Perangkat Keras Relay Pengaman Motor Induksi^[1,3]

PORT INPUT				INFERENSIMEMBERSHIP DEGREE Max-Min				DEFUZZY Ouput	KEPUTUSAN (Tindakan)
R (Volt)	S (Volt)	T (Volt)	Temperatur (°C)	Min_tp1	Min_sgt	Min_tp2	Maxim		
231.0	231.0	231.0	30.0					224.4	Normal pada input tinggi
198.0	198.0	198.0	30.0					214.0	Normal pada input rendah
220.0	220.0	220.0	30.0					217.0	Normal amat baik
230.0	220.0	198.0	35.0					216.2	Taksimetris amat berbahaya
230.0	225.0	220.0	35.0					220.9	Taksimetris pada input tinggi
225.0	220.0	215.0	36.0					217.0	Normal
228.0	221.0	200.0	37.0					215.6	Normal
200.0	210.0	205.0	40.0					209.0	Normal pada input rendah
211.0	210.0	212.0	40.0					209.0	Normal pada input rendah
215.0	205.0	205.0	45.0					210.8	Normal
210.0	220.0	205.0	46.0					214.5	Taksimetris pada input rendah
220.0	210.0	205.0	47.0					218.1	Taksimetris pada input rendah
205.0	215.0	210.0	47.0					209.0	Normal
199.0	199.0	230.0	52.0					217.0	Taksimetris berbahaya
225.0	221.0	224.0	53.0					222.2	Normal
200.0	200.0	230.0	60.0					217.3	Taksimetris berbahaya
228.0	229.0	228.0	60.0					225.5	Normal pada input tinggi
195.0	194.0	196.0						0.0	
232.0	197.0	196.0	40.0					0.0	
232.0	217.0	224.0	37.0					0.0	R > 231
220.0	217.0	224.0	37.0					0.0	Mtr lalu berhenti

lalu dicabut.

Keterangan:

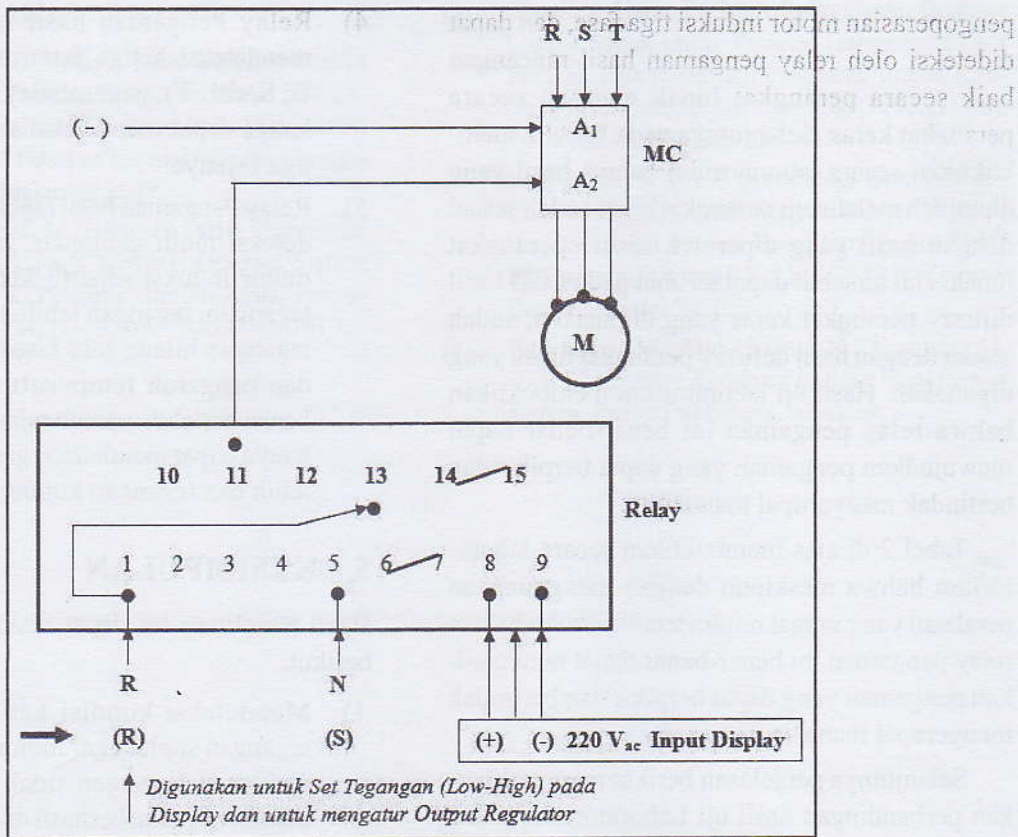
Bagian terakhir dari Tabel 2 diperoleh dengan cara motor induksi sedang beroperasi kemudian diputuskan salah satu fasenya (“fase R dicabut”). Hasil yang diperlihatkan oleh LCD adalah nilai 0, dan sementara itu, sebelum fase R dicabut, maka motor tersebut terlebih dahulu mendengung kemudian berhenti berputar.

- 10) Apabila fase S atau fase T dilepaskan dari sumber kontaktor, maka motor listrik terus berputar, tetapi suaranya mendengung. Dan bila hal ini dibiarkan dalam waktu yang cukup lama, maka belitan motor akan terbakar.
- 11) Demikian sebaliknya apabila sumber tegangan dari Regulator berasal dari fase S dan fase N (S – N), maka Relay Pengaman tidak dapat mendeteksi gangguan tersebut, apabila fase yang terganggu adalah fase R atau fase T.

- 12) Hal yang sama berlaku apabila fase R dan fase S yang terganggu dan sumber suplai tenaga listrik dari fase T dan fase N, maka Relay Pengaman tidak akan bekerja.

4.3 DISKUSI HASIL

Pengujian Relay Pengaman untuk mengamankan multi gangguan pada motor induksi dari suplai tegangan tak seimbang baik secara perangkat lunak maupun dalam wujud perangkat keras



Gambar 12. Diagram Pengkabelan Kontrol Pengaman Biasa^[1]

menunjukkan hasil yang sangat baik sesuai yang diharapkan. Sebagai contoh pada baris pertama Tabel 1, ditunjukkan bahwa kondisi tegangan suplai tersebut adalah masih normal meskipun tegangan ketiga fase sumber sudah tinggi yaitu 231 volt, sehingga jika terjadi sedikit saja kenaikan tegangan maka sudah menjadi tegangan berlebihan (*over voltage*). Hal yang menarik dari penerapan *fuzzy logic* ini adalah kemampuan memberikan petunjuk akan tindakan yang seharusnya dilakukan agar sistem kembali normal dan aman yaitu keluran defuzifikasi agar tegangan diturunkan ke 225 volt. Hal tersebut juga digambarkan pada LCD perangkat keras sebesar 24,4 Volt.

Selanjutnya pada baris kedua Tabel 1 menunjukkan bahwa sistem beroperasi pada kondisi normal tetapi berada pada tegangan suplai yang rendah, yaitu 198 volt, maka untuk lebih amannya menurut keluaran defuzifikasinya harus dikembalikan pada tegangan 214 volt. Sementara pada baris ketiga menunjukkan kondisi operasi yang amat baik pada tegangan 220 volt, maka keluaran defuzifikasinya meminta untuk dipertahankan.

Pertanyaan kekhawatiran bahwa bagaimana kalau distribusi beban satu fase pada sistem distribusi tiga fase yang tidak merata menyebabkan ketidakseimbangan tegangan yang amat buruk, terjawab pada baris keempat. Ketidakseimbangan tegangan yang terbesar ditandai dengan hasil *inferensi Max-min* dari ketiga himpunan keanggotaan yang ada bahwa ketiganya bernilai satu, yang berarti rentang tegangan suplai sistem mulai dari batas tegangan maksimum sampai batas tegangan minimum yang diizinkan. Karena itu pada kondisi operasi ini jika ditinjau dari rentang tegangannya tidak ada masalah, tetapi jika ditinjau dari ketidakseimbangan tegangan maka kondisi ini adalah kondisi yang amat berbahaya, dan jika dibiarkan berlangsung lama akan menimbulkan panas berlebihan dalam belitan motor dan merusak isolasi belitan motor mulai dari penurunan kapasitas, hingga berkurangnya umur isolasi belitan motor induksi tiga fase, dalam hal ini relay pengaman ini akan sangat baik mengatasi kondisi tersebut.

Baris berikutnya pada Tabel 1 menunjukkan kondisi-kondisi operasi yang sering timbul dalam

pengoperasian motor induksi tiga fase, dan dapat dideteksi oleh relay pengaman hasil rancangan baik secara perangkat lunak maupun secara perangkat keras. Selanjutnya pada Tabel 2 membuktikan secara laboratorium bahwa hasil yang diperoleh melalui uji perangkat keras sudah sesuai dengan hasil yang diperoleh secara perangkat lunak. Hal tersebut dapat terlihat pada LCD hasil difuzzy perangkat keras yang digunakan, sudah sesuai dengan hasil defuzzy perangkat lunak yang digunakan. Hasil uji laboratorium membuktikan bahwa relay pengaman ini benar-benar dapat mewujudkan pengaman yang dapat berpikir dan bertindak menyerupai manusia.

Tabel 2 di atas membuktikan secara laboratorium bahwa meskipun dengan menggunakan peralatan yang sangat minim tetapi terbukti bahwa relay pengaman ini benar-benar dapat mewujudkan pengaman yang dapat berpikir dan bertindak menyerupai manusia.

Selanjutnya penjelasan berikut memperlihatkan perbandingan hasil uji Laboratorium antara relay pengaman hasil rancangan dengan relay pengaman biasa.

Perbandingan hasil uji laboratorium tersebut dapat dijelaskan antara lain sebagai berikut:

- 1) Jika salah satu fase dari relay pengaman terganggu (misalnya fase S turun tegangannya di bawah 198 Volt), maka relay pengaman hasil rancangan akan trip (off) dan motor berhenti, namun pada relay pengaman biasa tidak trip, karena yang dideteksi oleh pengaman biasa hanya fase R saja.
- 2) Jika salah satu fase dari relay pengaman hasil rancangan kehilangan tegangan dari sumber, (misalnya fase T terputus dari sumber), maka relay pengaman akan trip dan menghentikan motor, namun pada relay pengaman biasa tidak trip, karena yang dideteksi hanya fase R saja, sesuai sumber inputnya.
- 3) Jika terjadi kenaikan temperatur yang berlebihan pada belitan motor induksi, maka relay pengaman hasil rancangan akan bekerja menghentikan motor, namun pada relay pengaman biasa motor tidak berhenti tetapi tetap beroperasi hingga belitannya terbakar.
- 4) Relay Pengaman hasil rancangan dapat mendeteksi ketiga fasenya sekaligus (fase R, S, dan T), namun relay pengaman biasa hanya dapat mendeteksi salah satu dari ketiga fasenya.
- 5) Relay Pengaman hasil rancangan dapat mendeteksi multi gangguan yang terjadi pada motor induksi seperti: ketidakseimbangan tegangan, tegangan lebih, tegangan kurang, tegangan hilang satu fase (*single phasing*), dan pengaruh temperatur akibat pembebanan berlebih, namun relay pengaman biasa hanya dapat mendeteksi gangguan tegangan lebih dan tegangan kurang saja.

5. KESIMPULAN

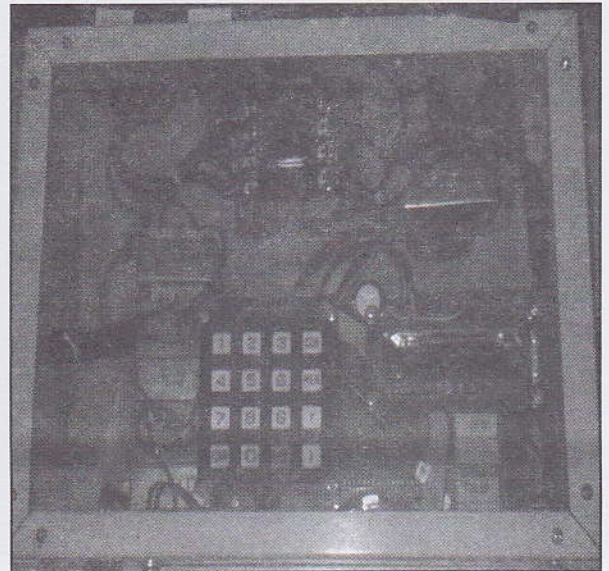
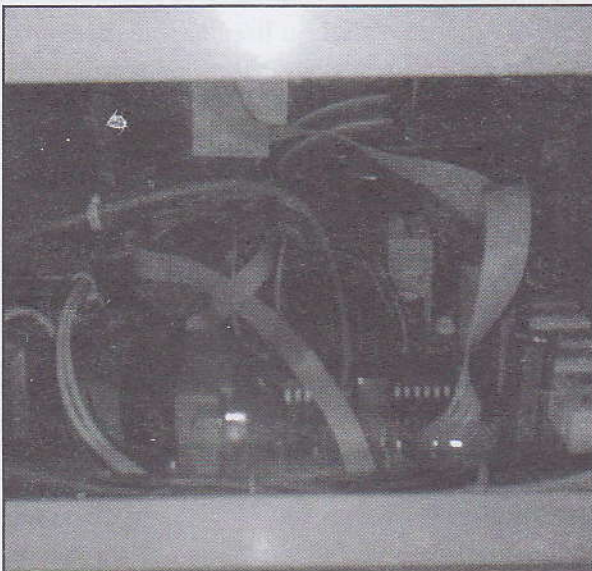
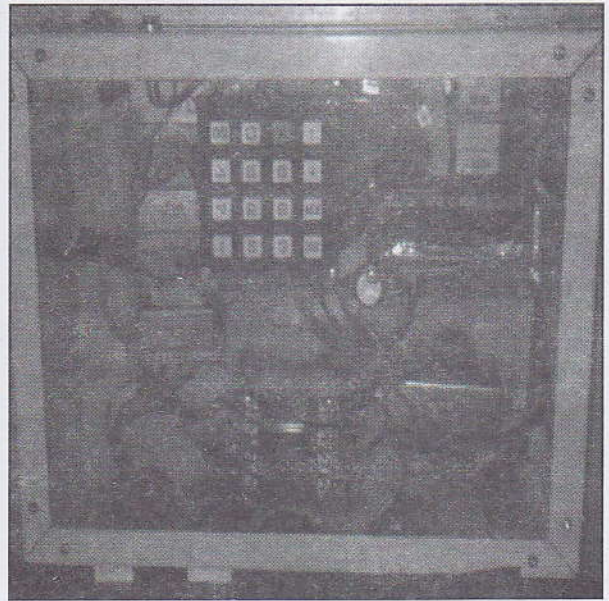
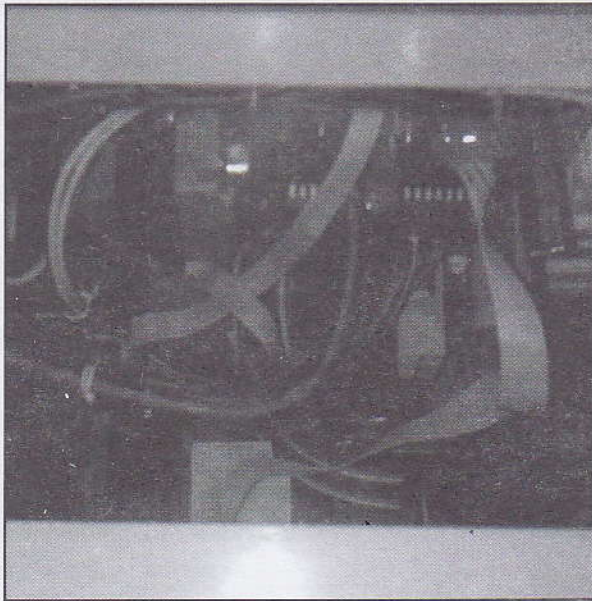
Hasil penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

- 1) Mendeteksi kondisi ketidakseimbangan tegangan suplai agar motor induksi beroperasi pada tegangan tidak seimbang yang membahayakan berhasil diwujudkan dengan menggunakan sensor tegangan dihubungkan ke mikrokontroler dengan menggunakan prinsip *fuzzy logic*. Uji laboratorium relay pengaman ini menunjukkan kemampuannya mendeteksi dan membedakan ketidakseimbangan tegangan yang dapat merusak sehingga dapat diambil tindakan yang tepat.
- 2) Menyesuaikan pengoperasian motor induksi tiga fase pada suplai tegangan tak seimbang agar tidak menimbulkan kerusakan pada motornya juga berhasil diwujudkan dengan baik, hal ini terbukti dapat dilihat bahwa pada saat terjadi ketidakseimbangan tegangan yang sangat membahayakan, maka relay pengaman akan memberhentikan motor beroperasi dan jika tegangan sudah normal kembali motor induksi tersebut akan beroperasi kembali seperti semula.
- 3) Membangun sistem relay pengaman berbasis mikrokontroler untuk mengamankan motor induksi telah berhasil diwujudkan dengan baik dalam penelitian ini.
- 4) Penerapan peralatan pendeteksi pengaruh temperatur pada pengoperasian motor induksi terbukti berhasil baik dengan menggunakan sensor temperatur type LM 35 yang dihubungkan ke mikrokontroler.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tjandi, Y. 2009. Relay Cerdas Berbasis Logika Samar Untuk Proteksi Gangguan Motor Induksi, Laporan Penelitian Tugas Akhir Mahasiswa (Disertasi) S-3 Fakultas Teknik UNHAS, Kampus Tamalanrea, Makassar 2009.
- [2] Sugianto, Arief, M. Hilal, H. 2010. Penerapan Logika Samar Pada Kendali Operasi Sistem Tenaga Listrik, Publikasi Ilmiah Jurnal Instrumentasi, Vol. 34, No. 2, Juli–Desember 2010.
- [3] Tjandi, Y., Harun, N. 2008. Relay Cerdas Berbasis Logika Samar untuk Proteksi Gangguan Motor Induksi, Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Kalibrasi, Instrumentasi dan Metrologi (PPI KIM'08), Puslit KIM-LIPI, hlm. 434–445.
- [4] Maftukhah, T. 2010. Metodologi Umpan Balik Relevansi Fuzzy pada Sistem Perolehan Citra Berbasis Isi, Laporan Penelitian Tugas Akhir Mahasiswa (Disertasi) S-3 FIKOM-UI, Kampus Depok, Januari 2010.
- [5] Titarenko, M., Dukelsky, I.N., Feinberg, J. 1997. *Protective Relaying in Electrical Power Sistem*, Peace Publishers. Moskow.

LAMPIRAN:
FOTO RELAY PENGAMAN BERBASIS *FUZZY LOGIC CONTROL*
HASIL RANCANGAN^[1]





HIMPUNAN INSTRUMENTASI INDONESIA - HimII
Instrumentation Society of Indonesia

SEKRETARIAT



Puslit KIM-LIPI

Kompleks Puspiptek Serpong, Tangerang 15314
Telp. 021-7560-533 psw. 3026 (Yuni), 3006 (Haekal)
Faks. 021-7560-568
Email: instrumentasi@kim.lipi.go.id
humas@kim.lipi.go.id



Program Magister

Program Studi Instrumentasi dan Kontrol (PINK)
Jurusan Teknik Fisika ITB
Jalan Ganesha 10 Bandung, 40132
Faks. 022-2504-424 (Lina / Tanti)

www.kim.lipi.go.id/instrumentasi/