

**PERANCANGAN *SOFT STARTING*
PADA MOTOR INDUKSI SATU FASA**

PROYEK AKHIR

Laporan akhir ini dibuat dan diajukan untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan
Diploma IV Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung



Disusun Oleh :

| | |
|---------------|---------------|
| Muhammad Zaki | NPM : 1051717 |
| Nurhazizah | NPM : 1051718 |

**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI
BANGKA BELITUNG
TAHUN 2021**

LEMBAR PENGESAHAN

**JUDUL PROYEK AKHIR
PERANCANGAN SOFT STARTING
PADA MOTOR INDUKSI SATU FASA**

Oleh :

Muhammad Zaki/1051717

Nurhazizah /1051718

Laporan akhir ini telah disetujui dan disahkan sebagai salah satu syarat kelulusan
Program Diploma IV Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung

Menyetujui,

Pembimbing 1



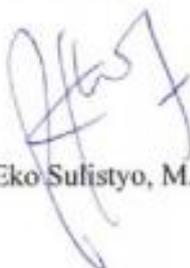
Zanu Saputra, M.Tr.T

Pembimbing 2



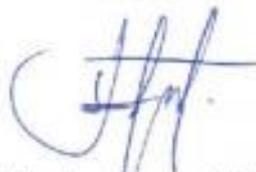
Yudhi, M.T

Penguji 1



Eko Sulistyono, M.T

Penguji 2



Sidhiq Andriyanto, M.Kom

Penguji 3



Indra Dwisaputra, M.T

PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa 1 : Muhammad Zaki NPM : 1051717

Nama Mahasiswa 2 : Nurhazizah NPM : 1051718

Dengan Judul : Perancangan Soft Starting Pada Motor Induksi Satu Fasa

Menyatakan bahwa laporan akhir ini adalah hasil kerja kami sendiri dan bukan merupakan plagiat. Pernyataan ini kami buat dengan sebenarnya dan bila ternyata dikemudian hari ternyata melanggar pernyataan ini, kami bersedia menerima sanksi yang berlaku.

Sungailiat, 10 Maret 2021

Nama Mahasiswa

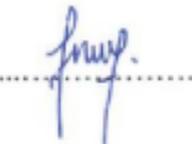
Tanda Tangan

1. Muhammad Zaki



.....

2. Nurhazizah



.....

ABSTRAK

Motor yang paling banyak digunakan di industri rumahan adalah motor induksi satu fasa. Namun, motor induksi memiliki permasalahan yang sangat merugikan sistem, yaitu arus pengasutannya yang tinggi ketika dihidupkan secara langsung. Upaya untuk mengurangi arus awal yang besar diperlukan suatu metode pengasutan *Soft Starting*. *Soft Starting* bertujuan untuk mendapatkan arus *starting* yang rendah dan putaran motor yang lebih halus. Metode *Soft Starting* akan mengatur tegangan dan arus masuk ke motor induksi dengan memberikan sudut pemicuan pada TRIAC yang diatur oleh *platform* Arduino dengan menerapkan sistem kontrol *Fuzzy Logic*. Metode *Fuzzy Logic* ini menggunakan satu *input* “*time*” dan satu *output* “*dimmer*”. Hasil dari Perancangan *Soft Starting* pada Motor Induksi Satu Fasa yaitu dapat mengalirkan tegangan dan arus secara bertahap, sehingga dapat mengatasi permasalahan lonjakan arus sebesar 1,58A menjadi 0,065A pada pengasutan awal motor induksi, serta menghasilkan putaran motor yang terkendali dengan waktu 7 detik untuk mencapai kecepatan kostan pada waktu *Soft Starting* diatur 10 sampai 15 detik. Penggunaan kontrol *Fuzzy Logic* dapat mempercepat proses *Soft Starting*, sehingga tegangan dan arus dapat mencapai nilai nominalnya lebih cepat 1 sampai 2 detik jika dibandingkan tanpa menggunakan kontrol *Fuzzy Logic*.

Kata kunci : *Soft Starting*, Motor Induksi, *Fuzzy Logic*

ABSTRACT

The most widely used motors in the home industry are single-phase induction motors. However, induction motors have a problem that is very detrimental to the system, namely their high starting current when turned on directly. Efforts to reduce the large initial currents required a soft starting method. Soft Starting aims to get a low starting current and a smoother motor rotation. The Soft Starting method will regulate the voltage and current into the induction motor by providing a triggering angle on the TRIAC which is regulated by the Arduino platform by applying the Fuzzy Logic control system. This Fuzzy Logic method uses one input "time" and one "dimmer" output. The results of the design of a soft starting on a single phase induction motor, which can flow the voltage and current gradually, so that it can overcome the problem of a current surge of 1.58A to 0.065A at the initial starting of the induction motor, and produce controlled motor rotation with 7 seconds to achieve, the speed of boarding at Soft Starting is set to 10 to 15 seconds. The use of Fuzzy Logic control can accelerate the Soft Starting process, so that the voltage and current can reach their nominal value 1 to 2 seconds faster than without using Fuzzy Logic control.

Keywords: *Soft Starting, Induction Motor, Fuzzy Logic*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh. Segala puji bagi Allah yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyusun laporan proyek akhir ini dengan judul “Perancangan *Soft Starting* Pada Motor Induksi Satu Fasa” sehingga penulis dapat menyelesaikan salah satu syarat dari kelulusan Program Diploma IV Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung Program Studi Teknik Elektronika.

Dalam penyusunan laporan ini banyak pihak yang membantu penulis mulai dari pengerjaan proyek akhir hingga penyusunan laporan proyek akhir dengan tepat waktu dengan itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang telah memberikan segala nikmat dan karunianya yang sangat luar biasa untuk penulis sehingga penyusunan ini dapat berjalan dengan baik.
2. Orang tua tercinta serta seluruh keluarga yang dengan penuh keikhlasan dan kesabaran memberikan bantuan material dan spiritual bagi penulis.
3. Bapak I Made Andik Setiawan, M.Eng, Ph.D. Selaku Direktur di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung yang telah memberikan kemudahan dalam menyelesaikan pendidikan.
4. Bapak Zanu Saputra, M.Tr.T dan Bapak Yudhi, M.T. Selaku dosen pembimbing yang telah membimbing, mengarahkan dan memberi saran-saran dalam pembuatan dan penyusunan laporan proyek akhir ini.
5. Dosen dan Staf Pengajar di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung yang telah mendidik, membina dan mengantarkan penulis untuk menempuh kematangan dalam berfikir dan berperilaku.
6. Serta teman-teman yang selalu memberikan *support* selama proyek akhir ini yang selalu berjuang bersama-sama.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan proyek akhir ini masih memiliki kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu penulis mengharpakan kritik dan saran yang membangun sehingga apa yang menjadi kesalahan penulis dapat diperbaiki untuk penulisan yang akan datang. Besar

harapan penulis semoga makalah ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca serta proyek akhir yang dibuat oleh penulis juga dapat bermanfaat untuk perkembangan ilmu teknologi pada umumnya.

Semoga Allah senantiasa melimpahkan taufiq dan hidayah-Nya kepada penulis dan semua pihak yang telah membantu dalam pembuatan proyek akhir dan penulisan makalah proyek akhir ini, Wassalamua'laikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Sungailiat, 10 Maret 2021

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|-----------------------------------|------|
| LEMBAR PENGESAHAN | ii |
| PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT | iii |
| ABSTRAK | iv |
| <i>ABSTRACT</i> | v |
| KATA PENGANTAR | vi |
| DAFTAR ISI | viii |
| DAFTAR TABEL | x |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| DAFTAR LAMPIRAN | xiii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Batasan Masalah | 2 |
| 1.4 Tujuan Proyek Akhir | 3 |
| BAB II DASAR TEORI | 4 |
| 2.1 Motor Induksi | 4 |
| 2.2 Kecepatan Motor Induksi | 4 |
| 2.3 Motor Induksi Satu Fasa | 5 |
| 2.4 Arduino Uno | 7 |
| 2.5 Fuzzy Logic Control | 8 |
| BAB III METODE PELAKSANAAN | 11 |
| 3.1 Blok Diagram Hardware | 11 |
| 3.2 Flowchart Kontrol | 12 |

| | |
|---|-----------|
| 3.2.1 Flowchart Program..... | 12 |
| 3.3 Konsultasi dengan Pembimbing..... | 14 |
| 3.4 Pembuatan dan Pengujian Program..... | 14 |
| 3.5 Pengujian Alat | 14 |
| 3.6 Pengambilan Data..... | 15 |
| BAB IV PEMBAHASAN..... | 16 |
| 4.1 Pembuatan Rangkaian Alat Soft Starting..... | 16 |
| 4.2 Pengujian Zero Crossing Detector..... | 18 |
| 4.3 Pengujian Sinyal Keluaran PWM..... | 21 |
| 4.4 Pengujian Rangkaian Solid State Relay dan TRIAC BTA16-600B | 23 |
| 4.5 Pengujian Desain Kontrol Fuzzy Logic | 27 |
| 4.6 Pengujian Sistem Keseluruhan Alat Soft Starting..... | 32 |
| 4.6.1 Pengujian dan Pengukuran Alat Soft Starting Dengan Menerapkan Metode Fuzzy Logic..... | 37 |
| 4.6.2 Pengujian dan Pengukuran Alat Soft Starting Dengan Tanpa Menerapkan Metode Fuzzy Logic..... | 44 |
| 4.6.3 Data Soft Starting Dengan Rentang Pengukuran Selama 10 detik..... | 47 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN..... | 55 |
| 5.1 Kesimpulan..... | 55 |
| 5.2 Saran..... | 55 |
| DAFTAR PUSTAKA | 57 |
| LAMPIRAN..... | 59 |
| LAMPIRAN 1 DAFTAR RIWAYAT HIDUP | 60 |
| LAMPIRAN 2 PROGRAM | 63 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 4. 1 Data Hasil Pengukuran Tegangan PWM Pada Pin D3 Arduino | 22 |
| Tabel 4. 2 Tabel Hasil Pengukuran Menggunakan Alat Ukur <i>Power Quality Analyzer</i> | 24 |
| Tabel 4. 3 Hasil Pengukuran Menggunakan Sensor Pzem-004t..... | 34 |
| Tabel 4. 4 Hasil Pengukuran Menggunakan <i>Power Quality Analyzer</i> | 34 |
| Tabel 4. 5 Data Hasil Pengukuran Tegangan Dengan Penerapan <i>Fuzzy Logic</i> | 37 |
| Tabel 4. 6 Data Hasil Pengukuran Arus Dengan Penerapan <i>Fuzzy Logic</i> | 39 |
| Tabel 4. 7 Data Hasil Pengukuran Kecepatan Putaran Motor Menggunakan Tachometer..... | 41 |
| Tabel 4. 8 Data Hasil Perbandingan dan Pengukuran Tegangan Tanpa Penerapan <i>Fuzzy Logic</i> | 44 |
| Tabel 4. 9 Data Hasil Perbandingan dan Pengukuran Arus Tanpa Penerapan <i>Fuzzy Logic</i> | 45 |
| Tabel 4. 10 Data Hasil Pengukuran Tegangan Dengan Penerapan <i>Fuzzy Logic</i> .. | 47 |
| Tabel 4. 11 Data Hasil Pengukuran Arus Dengan Penerapan <i>Fuzzy Logic</i> | 49 |
| Tabel 4. 12 Data Hasil Pengukuran Kecepatan Putaran Motor Menggunakan Tachometer..... | 50 |
| Tabel 4. 13 Data Hasil Perbandingan dan Pengukuran Tegangan Tanpa Penerapan <i>Fuzzy Logic</i> | 51 |
| Tabel 4. 14 Data Hasil Perbandingan dan Pengukuran Arus Tanpa Penerapan <i>Fuzzy Logic</i> | 52 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2. 1 (a) Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi 1 Fasa. (b) Rangkaian Pengganti Motor[6]. | 5 |
| Gambar 2. 2 Konstruksi Motor Induksi Satu Fasa Dengan Rotor Sangkar[7]..... | 6 |
| Gambar 2. 3 Torsi Arah Maju dan Torsi Arah Mundur | 6 |
| Gambar 2. 4 Rangkaian Arduino Uno[8]..... | 7 |
| Gambar 2. 5 Logika Fuzzy[8]. | 9 |
| Gambar 3. 1 Blok Diagram Rancangan Rangkaian Hardware | 11 |
| Gambar 3. 2 <i>Flowchart</i> Program Sistem <i>Soft Starting</i> | 13 |
| Gambar 4. 1 Rangkaian Keseluruhan Alat..... | 16 |
| Gambar 4. 2 Tampak Depan <i>Box Panel</i> | 17 |
| Gambar 4. 3 <i>Assembling</i> Seluruh Alat | 17 |
| Gambar 4. 4 Gambar Skema Simulasi <i>Zero Crossing</i> pada <i>Proteus</i> | 18 |
| Gambar 4. 5 Proses Pengujian Pada Pin Modul <i>Zero Crossing Detector</i> | 18 |
| Gambar 4. 6 <i>Zero Crossing Detector</i> | 19 |
| Gambar 4. 7 Sinyal Gelombang <i>Zero Crossing</i> dari Simulasi <i>Proteus</i> | 19 |
| Gambar 4. 8 Sinyal Gelombang <i>Zero Crossing</i> Pada <i>Oscilloscope</i> | 20 |
| Gambar 4. 9 Sinyal PWM Saat Minimum | 21 |
| Gambar 4. 10 Sinyal PWM Saat Maksimum | 22 |
| Gambar 4. 11 Rangkaian <i>Solid State Relay</i> dan TRIAC BTA16-600B..... | 23 |
| Gambar 4. 12 Proses Pengujian Rangkaian SSR dan TRIAC BTA16-600B | 24 |
| Gambar 4. 13 Gelombang Hasil Pengukuran Menggunakan <i>Power Quality Analyzer</i> | 26 |
| Gambar 4. 14 <i>Fuzzy Logic Designer</i> Pada Aplikasi <i>Matlab</i> | 27 |
| Gambar 4. 15 <i>Membership Function</i> Dari Input “ <i>Time</i> ” | 28 |
| Gambar 4. 16 <i>Membership Function</i> Dari Output “ <i>Dimmer</i> ” | 29 |
| Gambar 4. 17 Aturan <i>Fuzzy</i> Pada Aplikasi <i>Matlab</i> | 30 |
| Gambar 4. 18 <i>Fuzzy Rule Viewer</i> | 31 |
| Gambar 4. 19 <i>Output Fuzzy</i> yang Diproses Oleh Arduino | 31 |
| Gambar 4. 20 Motor Induksi Satu Fasa | 32 |

| | |
|---|----|
| Gambar 4. 21 (a) Lampu 16W dan (b) Motor Induksi..... | 33 |
| Gambar 4. 22 Perbandingan Pengukuran dengan Beban Lampu 16W..... | 34 |
| Gambar 4. 23 Perbandingan Pengukuran dengan Beban Motor Induksi..... | 35 |
| Gambar 4. 24 Pengukuran Menggunakan <i>Power Quality Analyzer</i> | 36 |
| Gambar 4. 25 Pengukuran Menggunakan Sensor Pzem-004t..... | 37 |
| Gambar 4. 26 Grafik Data Hasil Pengukuran Tegangan Dengan Penerapan <i>Fuzzy Logic</i> | 38 |
| Gambar 4. 27 Grafik Data Hasil Pengukuran Arus Dengan Penerapan <i>Fuzzy Logic</i> | 40 |
| Gambar 4. 28 Pengukuran Kecepatan Motor Menggunakan Tachometer..... | 41 |
| Gambar 4. 29 Grafik Data Hasil Pengukuran Kecepatan Putaran Motor Menggunakan Tachometer..... | 42 |
| Gambar 4. 30 Hasil Pembacaan Sensor pzem-004t Yang Ditampilkan Serial Monitor Pada Aplikasi Arduino IDE | 43 |
| Gambar 4. 31 Grafik Data Hasil Perbandingan dan Pengukuran Tegangan Tanpa Penerapan <i>Fuzzy Logic</i> | 45 |
| Gambar 4. 32 Grafik Data Hasil Perbandingan dan Pengukuran Arus Tanpa Penerapan <i>Fuzzy Logic</i> | 46 |
| Gambar 4. 33 Grafik Data Hasil Pengukuran Tegangan Dengan Penerapan <i>Fuzzy Logic</i> | 48 |
| Gambar 4. 34 Grafik Data Hasil Pengukuran Arus Dengan Penerapan <i>Fuzzy Logic</i> | 49 |
| Gambar 4. 35 Grafik Data Hasil Pengukuran Kecepatan Putaran Motor Menggunakan Tachometer..... | 51 |
| Gambar 4. 36 Grafik Data Hasil Perbandingan dan Pengukuran Tegangan Tanpa Penerapan <i>Fuzzy Logic</i> | 52 |
| Gambar 4. 37 Grafik Data Hasil Perbandingan dan Pengukuran Arus Tanpa Penerapan <i>Fuzzy Logic</i> | 53 |

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : Daftar Riwayat Hidup

Lampiran 2 : Program

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada industri besar, industri rumahan hingga di dalam rumah tangga motor-motor induksi sangat banyak digunakan, alasannya adalah karena karakteristiknya sesuai dengan kebutuhan dunia industri pada umumnya yang kaitannya dalam urusan harga, pemeliharaan, perawatan, konstruksi dan kestabilan kecepatan[1].

Motor yang paling banyak digunakan di industri rumahan saat ini adalah motor induksi satu fasa. Motor induksi memiliki permasalahan yang sangat merugikan sistem, yaitu arus pengasutannya yang tinggi ketika dihidupkan secara langsung[2]. Meskipun hanya berlangsung beberapa milidetik, arus pengasutan awal yang besar dapat mengakibatkan penurunan tegangan sistem yang cukup besar karena motor menarik arus untuk membuat motor berputar dan berpotensi mengganggu kerja sistem peralatan elektronik yang lain dalam satu jalur sistem yang sama, serta aliran arus yang besar dapat menyebabkan motor ataupun kabel penghantar mejadi terlalu panas dan merusak isolasi pada motor maupun kabel penghantar [2]. Masalah yang ditimbulkan ketika motor menarik arus untuk membuat motor berputar sehingga diperlukan suatu metode pengasutan dalam mengurangi tegangan pada motor induksi yang bertujuan untuk mengurangi arus pengasutan awal[2]. Untuk mengurangi arus awal yang besar dari motor induksi satu fasa diperlukan suatu metode pengasutan yaitu pengasutan *Soft Starting*.

Soft starting merupakan metode pengasutan yang cara kerjanya mengatur nilai tegangan dan arus yang masuk pada motor induksi. Pengaturan tegangan dan arus dilakukan dengan memanfaatkan komponen elektronika daya yaitu *thyristor* yang pengontrolannya dilakukan oleh mikrokontroler[3][4].

Soft Starting bertujuan untuk mendapatkan putaran awal motor induksi yang terkendali secara linier dan mencapai kecepatan nominal yang konstan

sehingga mendapatkan arus *starting* yang rendah, dan diharapkan juga tegangan dan arus dari sumber tenaga dapat mengalir masuk kedalam motor secara bertahap, sehingga tidak memerlukan arus pengasutan yang besar[1].

Pada proyek akhir ini akan dirancang sebuah perangkat *soft starting* pada motor induksi satu fasa dengan komponen TRIAC BTA16-600B sebagai komponen *driver*-nya, serta kontrol pengasutan TRIAC menggunakan mikrokontroler Arduino Uno dengan menerapkan metode *Fuzzy Logic*. *Fuzzy logic* dipilih sebagai pengontrolannya karena kontrol ini mudah untuk dipahami dan memiliki kerja seperti layaknya logika manusia. Diharapkan penerapan *fuzzy logic* pada alat *soft starting* dapat melakukan proses *soft starting* motor dengan lebih baik jika dibandingkan tanpa menggunakan kontrol *fuzzy logic*. Kemudian, nanti akan dilakukan serangkaian percobaan dan dari hasil percobaan akan dianalisis respon awal motor induksi satu fasa terhadap perangkat *soft starting*.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dikaji dalam Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Bagaimana merancang suatu alat *Soft Starting* untuk mengurangi *Inrush Current* pada saat *starting* motor induksi satu fasa?
2. Bagaimana menghasilkan putaran awal motor induksi yang terkendali secara linier dan mencapai kecepatan nominal yang konstan?

1.3 Batasan Masalah

Agar pelaksanaan proyek akhir nanti tidak menyimpang dan mengambang dari tujuan yang semula direncanakan sehingga mempermudah mendapatkan data dan informasi yang diperlukan, maka penulis menetapkan batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Analisa dibatasi pada respon awal penyalaan motor induksi satu fasa terhadap perangkat *soft starting* pada keadaan motor tanpa beban dengan spesifikasi motor listrik yang dapat digunakan yaitu motor yang bertegangan 220V, arus sebesar 1,3A, daya sebesar 102W, serta

kecepatannya 2984 rpm.

2. Komponen *driver* menggunakan TRIAC BTA16-600B sebagai komponen untuk dilakukannya *soft starting* pada motor induksi satu fasa.

1.4 Tujuan Proyek Akhir

1. Merancang perangkat keras *soft starting* pada motor induksi satu fasa yang kontrol pemicuan sudut picu tegangannya menggunakan sebuah mikrokontroler Arduino Uno dengan menerapkan metode *fuzzy logic*.
2. Membuat sebuah perangkat keras yang dapat menjalankan metode *soft starting* pada motor induksi satu fasa untuk mendapatkan hasil putaran awal motor induksi yang terkendali secara linier dan mencapai kecepatan nominal yang konstan.
3. Mendapatkan hasil sebuah perangkat keras *soft starting* yang dapat bekerja secara optimal pada motor induksi satu fasa.

BAB II DASAR TEORI

2.1 Motor Induksi

Motor elektrik yang paling banyak digunakan untuk berbagai aplikasi di dalam industri yaitu motor induksi, ini dikarenakan harganya yang relatif murah dan mempunyai banyak keandalan serta *range* dayanya yang cukup luas sehingga dapat digunakan pada beban yang besar. Motor induksi mempunyai konstruksi yang sederhana, praktis, dan hampir tidak memerlukan biaya perawatan. Konstruksi motor induksi sendiri dibagi menjadi 2 bagian yaitu rotor dan stator. Motor induksi satu fasa dapat dioperasikan secara langsung dengan cara dihubungkan ke sumber tegangan listrik yang ada di rumah atau gedung. Saat ini peran motor DC sudah banyak digantikan oleh motor induksi[5].

2.2 Kecepatan Motor Induksi

Kecepatan putaran motor induksi ditentukan oleh kecepatan medan magnet putar (sinkron) dan *slip* akibat beban yang dihubungkan dengan poros motor. Kecepatan sinkron terutama ditentukan oleh frekuensi sumber tegangan listrik[5].

$$n_s = 120 \frac{f}{p} \dots \dots \dots (1)$$

Dengan

n_s = kecepatan sinkron (rpm)

f = frekuensi (Hz)

P = jumlah kutub (*pole*)

Kecepatan putaran rotor selalu lebih rendah dari pada kecepatan sinkron. Perbedaan relatif antara putaran rotor dan kecepatan sinkron disebut *slip*(S)[6]. Nilai *slip* dipengaruhi oleh beban. Pada keadaan tanpa beban, *slip* motor induksi sangat rendah sehingga putaran rotor mendekati kecepatan sinkron. Jika motor dibebani maka *slip* akan bertambah sehingga putaran motor menjadi berkurang[5].

$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100 \dots\dots\dots(2)$$

$$n_r = (1 - S)n_s \dots\dots\dots(3)$$

Persamaan daya sumber dan persamaan daya pada motor induksi satu fasa dinyatakan dengan:

$$P = VI \dots\dots\dots(4)$$

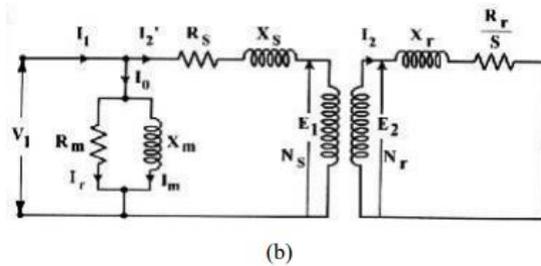
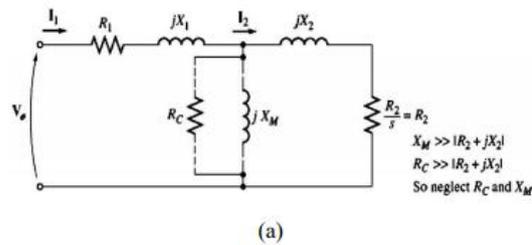
$$P = V_T I_L \cos\Theta \dots\dots\dots(5)$$

$$\eta = \text{Daya Output/Daya Input} \times 100 \dots\dots\dots(6)$$

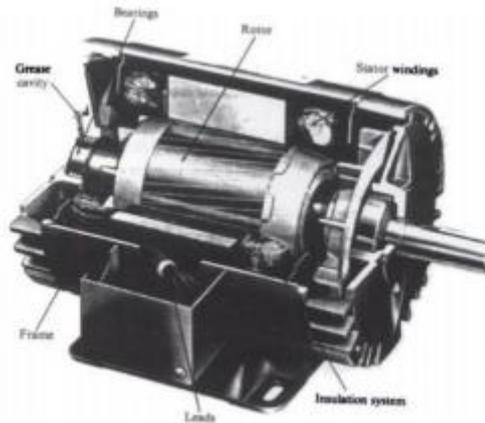
Karena pada frekuensi rendah tegangan harus diturunkan, sehingga dengan menurunkan kecepatan motor induksi, daya yang dikonsumsi menjadi berkurang[5].

2.3 Motor Induksi Satu Fasa

Motor induksi satu fasa menggunakan jenis rotor sangkar. Rangkaian ekivalen dan konstruksi motor induksi satu fasa diperlihatkan pada gambar 2.1 dan 2.2.



Gambar 2. 1 (a) Rangkaian Ekivalen Motor Induksi 1 Fasa. (b) Rangkaian Pengganti Motor[6].

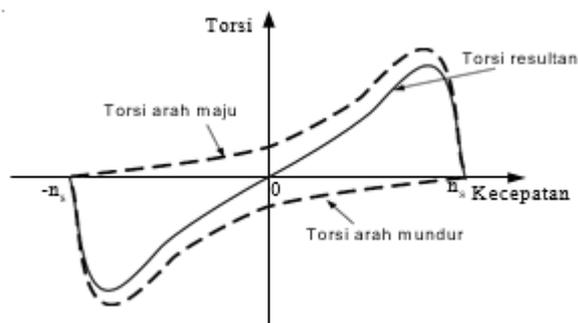


Gambar 2. 2 Konstruksi Motor Induksi Satu Fasa Dengan Rotor Sangkar[7].

Karena hanya ada satu fasa pada kumparan stator, medan magnet yang dibangkitkan tidak berputar sehingga tidak ada tegangan yang terinduksi pada konduktor rotor. Dengan demikian motor satu fasa tidak mempunyai torka *start*.

Ketika kumparan stator dihubungkan dengan sumber tegangan satu fasa maka mengalir arus, dan arus tersebut akan menimbulkan *fluks*. *Fluks* ini tidak berputar(tidak menimbulkan medan putar), akan tetapi merupakan resultan dari *fluks* bergerak arah maju dan arah mundur.

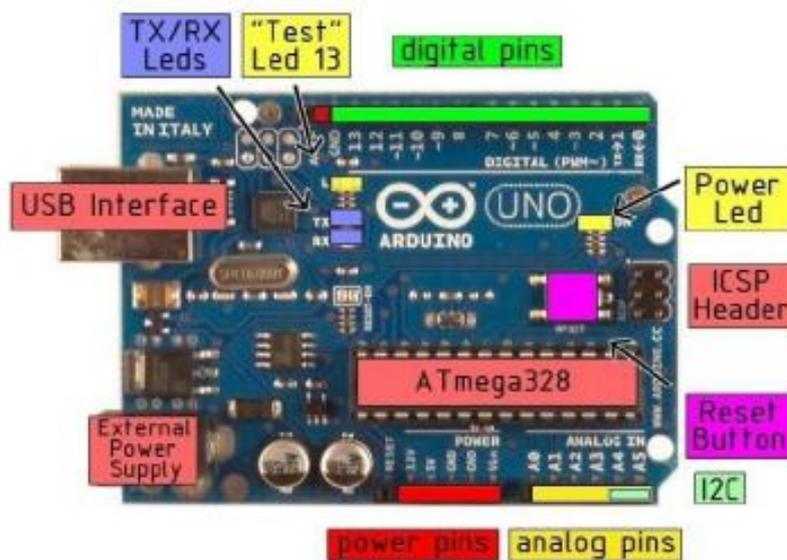
Komponen dari kedua fluksi tersebut yang bergerak berlawanan arah dengan kecepatan sudut(ωt) yang sama, tentunya akan menghasilkan torsi yang sama, dan berlawanan arah(torsi arah maju dan torsi arah mundur). Perhatikan gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Torsi Arah Maju dan Torsi Arah Mundur

2.4 Arduino Uno

Arduino adalah *chip* yang menjadi otak dari sebuah rangkaian elektronika, dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronika dalam berbagai bidang. Memiliki prosesor Atmel AVR sebagai perangkat kerasnya serta perangkat lunaknya memiliki bahasa pemrograman sendiri. Arduino adalah mikrokontroler yang serba bisa dan sangat mudah penggunaannya. Gambar 2.4 berikut menggambarkan rangkaian dari arduino uno[8].



Gambar 2. 4 Rangkaian Arduino Uno[8].

Pada dasarnya *board* Arduino adalah tentang ATmega328. *Board* Arduino didesain untuk mempermudah pengguna dalam melakukan pemrograman dan koneksi *chip* ATmega328 dengan komponen lainnya. Dengan *board* Arduino, baik itu Arduino UNO, Arduino Mega 2560, Arduino Nano, maupun Arduino Pro Mini, semuanya membantu untuk menyederhanakan proses membuat rangkaian mikrokontroler[1].

Perangkat ini sudah banyak sekali digunakan sebagai alat kontrol dalam penelitian perancangan perangkat *soft starting*. Arduino Uno dipilih karena relatif mudah dalam penggunaan dan pemrogramannya, serta merupakan jenis Arduino yang paling banyak digunakan saat ini. Arduino Uno juga memiliki I/O

(*input/output*) yang cukup untuk digunakan sebagai kontrol pada perangkat *soft starting*. Port I/O yang digunakan yaitu pada pin digital PWM Arduino yang nantinya sebagai input dari sinyal yang dihasilkan *zero crossing detector* dan juga sebagai output ke rangkaian pemicuan TRIAC.

Pada jurnal “Perancangan *Soft Starter* Motor Induksi Satu Fasa dengan Metode *Closed Loop* Menggunakan Mikrokontroler Arduino” karya Ardhito Primatama, Soeprpto, dan Wijono. Mikrokontroler Arduino Uno R3 digunakan sebagai sistem kontrol dari perangkat *soft starting* yang mereka rancang, dengan menerapkan metode *close loop* yang artinya sistem kerja *soft starting* memiliki komponen sensor yang difungsikan sebagai umpan balik ke mikrokontroler. Sensor ini berupa sensor arus dan tegangan yang fungsinya memberikan umpan balik sebagai acuan untuk sistem kontrol memberikan sinyal pulsa yang sesuai untuk memicu *gate* TRIAC sehingga arus dan tegangan ke motor dapat diberikan secara tepat hingga mencapai arus dan tegangan nominalnya. Hasilnya perangkat *soft starting* tersebut mampu menurunkan arus pengasutan hingga 2 kali dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi *steady state* selama 0,77 detik untuk kondisi motor tanpa beban.

Sistem yang diusung oleh penelitian tersebut yang menjadi acuan bagi penulis untuk membuat sistem kontrol pada perangkat *soft starting* yang akan dirancang nanti, dengan memodifikasi di bagian metode pemrograman kontrolnya. Pada penerapannya perangkat *soft starting* akan menggunakan metode *fuzzy logic* sebagai kontrolnya, dan metode ini akan dijalankan oleh Arduino Uno. Dengan kemampuan yang dimiliki oleh perangkat ini, diharapkan metode *fuzzy logic* dapat dijalankan dengan baik oleh Arduino Uno.

2.5 Fuzzy Logic Control

Logika *fuzzy* adalah suatu mekanisme pengolahan atau manajemen ketidakpastian yang kemudian dikenal dengan logika *fuzzy*. Dalam penyajiannya, variabel-variabel yang akan digunakan harus cukup menggambarkan ke-*fuzzy*-an, tetapi di lain pihak persamaan-persamaan yang dihasilkan dari variabel-variabel itu haruslah cukup sederhana sehingga komputasinya menjadi cukup mudah,

kemudian menyajikannya dengan menentukan “derajat keanggotaan” (*membership function*) dari masing-masing variabelnya. Fungsi keanggotaan (*membership function*) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik input data ke dalam nilai keanggotaannya (sering juga disebut dengan derajat keanggotaan) yang memiliki interval antara 0 sampai 1[9][10].

Terdapat dua definisi fungsi keanggotaan untuk himpunan *fuzzy* yaitu numerikal dan fungsional. Numerikal merupakan pernyataan tingkat dari fungsi keanggotaan dari himpunan *fuzzy* yang dinyatakan dengan vektor bilangan. Sedangkan fungsional adalah menentukan fungsi keanggotaan dari himpunan *fuzzy* dalam pernyataan analitik yang menyatakan tingkat keanggotaan untuk setiap elemen yang ditentukan pada himpunan universal. Standar fungsi keanggotaan adalah kesepakatan yang digunakan untuk dasar himpunan *fuzzy* pada universal U dari bilangan riil[9][11]. Kemudian di dalam logika fuzzy terdapat juga tiga tahapan pemodelan, yaitu fuzzifikasi, *interfacing*, dan defuzzifikasi.

Metode ini cocok untuk diimplementasikan pada sistem otomatis, mulai dari sistem yang sederhana, sistem kecil, *embedded system*, jaringan PC, *multi-channel* atau *workstation* berbasis akuisisi data, dan sistem kontrol. Metodologi ini dapat diterapkan pada perangkat keras, perangkat lunak, atau kombinasi keduanya[8].



Gambar 2. 5 Logika *Fuzzy*[8].

Logika *fuzzy* sebagai komponen utama pembangun *softcomputing*, terbukti telah memiliki kinerja yang sangat baik untuk menyelesaikan masalah-masalah yang mengandung ketidakpastian. Implementasinya luas, baik di bidang *engineering*, psikologi, sosial, dan juga bidang ekonomi. Karena melihat kelebihan dari pada metode *fuzzy logic* ini, telah banyak penelitian yang terdapat pada jurnal-jurnal maupun tugas akhir mahasiswa yang menggunakan *fuzzy logic* sebagai metode pengontrolannya.

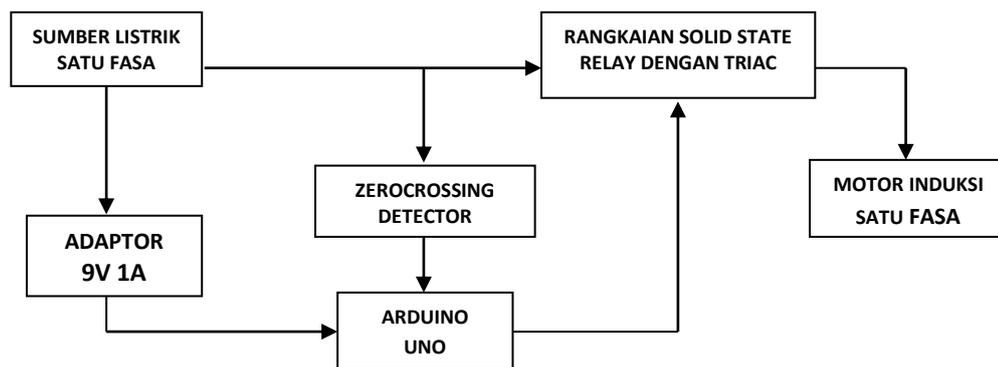
Karena metode logika *fuzzy* juga memiliki konsep matematis yang mendasari penalaran *fuzzy* sangat sederhana dan mudah dimengerti, menjadikan metode ini cocok untuk diterapkan pada pengontrolan perangkat *soft starting*. Ditambah lagi untuk saat ini penulis belum menemukan metode kontrol *fuzzy logic* ini diterapkan sebagai metode kontrol di dalam perangkat *soft starting*. Maka metode ini akan menjadi hal baru yang akan diterapkan pada perancangan *soft starting* pada motor induksi satu fasa.

BAB III METODE PELAKSANAAN

Adapun metode pelaksanaan ini meliputi sebagai berikut: pendalaman dan pemahaman literatur, memodelkan dan pembuatan alat ukur, menyusun blok diagram dan algoritma simulasi, membuat program, melakukan pengukuran, menganalisa dan memberi kesimpulan.

3.1 Blok Diagram Hardware

Berikut gambar 3.1 adalah blok diagram dari sistem *Soft Starting* Pada Motor Induksi Satu Fasa:



Gambar 3. 1 Blok Diagram Rancangan Rangkaian Hardware

Fungsi masing-masing bagian dari blok diagram pada gambar 3.1 adalah sebagai berikut :

1. Sumber Listrik Satu Fasa, berfungsi sebagai energi yang mengaktifkan proses kerja rangkaian.
2. Adaptor 9V 1A, berfungsi sebagai power catu daya untuk Arduino.
3. Arduino UNO, sebagai komponen yang mengontrol kerja dari perangkat *soft starting*, digunakan untuk membangkit sudut picu *gate TRIAC* dengan menerapkan sistem *fuzzy logic controller* sebagai metode pengontrolannya. Arduino Uno akan menerima sinyal pulsa yang dihasilkan oleh rangkaian *zero crossing detector* dan kemudian

sinyal pulsa ini akan diteruskan oleh Arduino Uno ke optocoupler MOC3021 untuk dikuatkan sinyal pulsanya sebelum diterima oleh rangkaian *driver* yang komponen utamanya berisi komponen TRIAC.

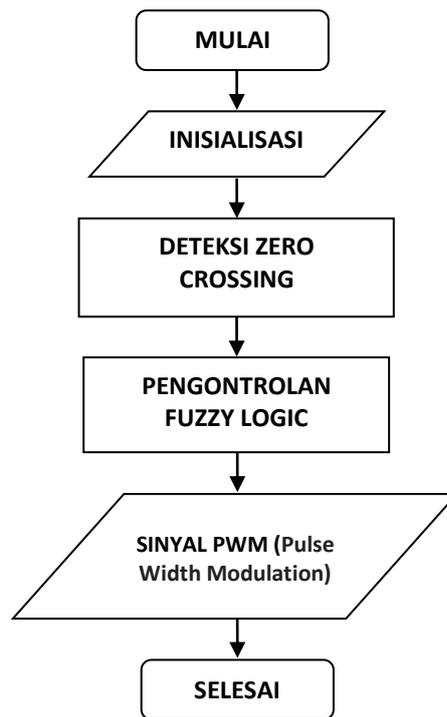
4. *Zero Crossing Detector*, rangkaian ini digunakan untuk mendeteksi gelombang sinusoidal yang berfungsi sebagai acuan dari pemberian sinyal PWM pada *gate* TRIAC. Dengan menggunakan rangkaian *zero crossing detector* ini dapat mendeteksi *zero-point* sekaligus mengubah suatu sinyal sinusoidal (*sine wave*) menjadi sinyal kotak (*square wave*).
5. Rangkaian *Solid State Relay* dengan TRIAC, Rangkaian ini berfungsi sebagai rangkaian isolasi yang memisahkan antara rangkaian kontrol dan rangkaian daya, di dalamnya dilengkapi komponen optocoupler MOC3021. Apabila terjadi gangguan pada rangkaian daya, maka rangkaian *solid state relay* akan melindungi bagian kontrolnya. Sedangkan komponen TRIAC BTA16-600B berfungsi sebagai *driver* yang akan melakukan proses pengasutan pada motor induksi satu fasa. Sinyal dari optocoupler yang diberikan oleh mikrokontroler akan diteruskan ke *gate* TRIAC BTA16-600B. Proses pengaturan dilakukan oleh TRIAC BTA16-600B pada saat pengasutan motor induksi satu fasa.

3.2 Flowchart Kontrol

Flowchart adalah suatu bagan dengan simbol-simbol tertentu yang menggambarkan urutan proses secara singkat, mendetail dan hubungan antara suatu proses (instruksi) dengan proses lainnya dalam suatu program. Dalam pembuatan sistem yang dilakukan menghasilkan *flowchart* seperti berikut.

3.2.1 Flowchart Program

Berikut adalah *flowchart* program sistem *Soft Starting* Pada Motor Induksi Satu Fasa:



Gambar 3. 2 *Flowchart* Program Sistem *Soft Starting*

Berikut adalah penjelasan singkat sistem *flowchart* program:

1. Melakukan inisialisai terhadap rangkaian modul *zero crossing detector*, kontrol *fuzzy logic*, serta variabel-variabel yang ada pada pemograman Arduino.
2. Melakukan deteksi sudut 0 derajat pada sinyal sinusoidal sebagai acuan sudut picu pada TRIAC.
3. Kontrol *fuzzy logic* akan mengolah data hasil deteksi sudut 0 derajat pada sinyal sinusoidal berdasarkan derajat keanggotaan *fuzzy* yang telah dibuat.
4. Keluaran yang dihasilkan berupa sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*). Sinyal ini akan digunakan untuk melakukan penyulutan pada *gate* TRIAC.

3.3 Konsultasi dengan Pembimbing

Tahap yang dilakukan pertama kali yaitu konsultasi dengan dosen pembimbing untuk membahas komponen-komponen yang digunakan dan desain konstruksi alat proyek akhir serta hal-hal yang berkaitan dengan proyek akhir. Hal yang dilakukan selanjutnya adalah mencari dan mengumpulkan data dari berbagai sumber. Data yang sudah terkumpul akan dijadikan sebagai referensi untuk pembuatan proyek akhir dan sebagai acuan dalam pembuatan makalah proyek akhir.

3.4 Pembuatan dan Pengujian Program

Program kontrol dibuat menggunakan *software* arduino IDE. Program yang dibuat pada tahap ini berfungsi untuk mengatur sistem serta menghasilkan sinyal *output* pembangkit sudut picu pada komponen triac di rangkaian *solid state relay*. Setelah program dibuat barulah dilakukan pengujian terhadap alat untuk mengetahui program yang sudah dibuat bisa bekerja dengan baik atau tidak, jika tidak maka program akan diperbaiki lagi dan diuji lagi sampai program tersebut bekerja dengan baik.

3.5 Pengujian Alat

Setelah program yang dibuat bekerja dengan baik maka tahap selanjutnya adalah pengujian alat untuk mengetahui alat berfungsi dengan baik atau tidak dengan menguji hal-hal berikut:

1. Pengujian sinyal keluaran yang dihasilkan oleh *Zero Crossing Detector*.
2. Pengujian sinyal keluaran dari sinyal PWM.
3. Pengujian pada rangkaian *Solid State Relay* dan TRIAC.
4. Pengujian kontrol *fuzzy logic*.
5. Pengujian sistem keseluruhan Alat *Soft Starting*.

Apabila hasil yang didapat dari pengujian tidak sesuai maka dilakukan perbaikan alat sampai mendapatkan hasil yang diinginkan.

3.6 Pengambilan Data

Tahap ini dilakukan ketika pengujian alat sistem perancangan *soft starting* pada motor induksi satu fasa dapat bekerja sesuai dengan yang direncanakan dan sesuai dengan harapan penulis. Setelah alat tersebut bekerja dengan baik barulah tahap pengambilan data dilakukan agar data yang diambil benar-benar *valid*, jika data yang diambil tidak *valid*, maka akan dilakukan analisa ulang untuk mengetahui kesalahan yang terjadi pada alat tersebut.

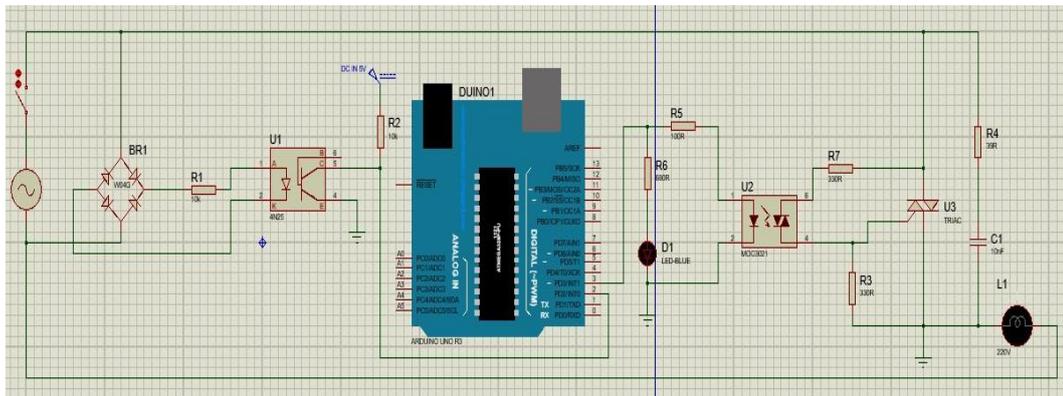
BAB IV PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas proses uraian serta metode dari pembuatan proyek akhir dengan judul “Perancangan *Soft Starting* Pada Motor Induksi Satu Fasa”.

4.1 Pembuatan Rangkaian Alat *Soft Starting*

Adapun tahap-tahap pembuatan konstruksi alat perancangan *soft starting* pada motor induksi satu fasa yaitu:

1. Merancang rangkaian skematik keseluruhan *soft starting*. Berikut gambar 4.1 rangkaian keseluruhan alat.

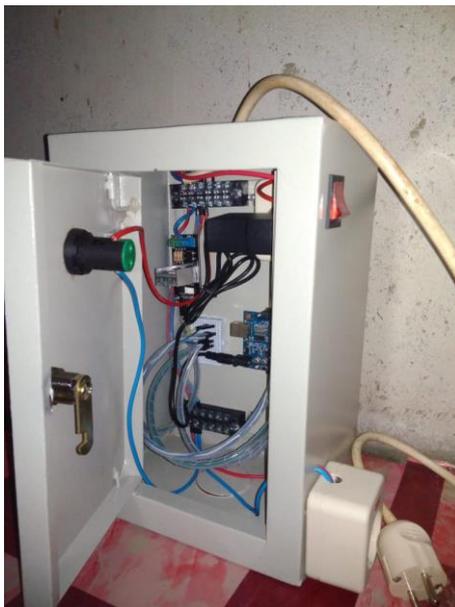


Gambar 4. 1 Rangkaian Keseluruhan Alat

2. Perakitan komponen rangkaian utama ke *Box Panel* serta *Assembling* seluruh alat. Berikut gambar 4.2 tampak depan *Box Panel* dan gambar 4.3 *Assembling* seluruh alat.



Gambar 4. 2 Tampak Depan *Box* Panel



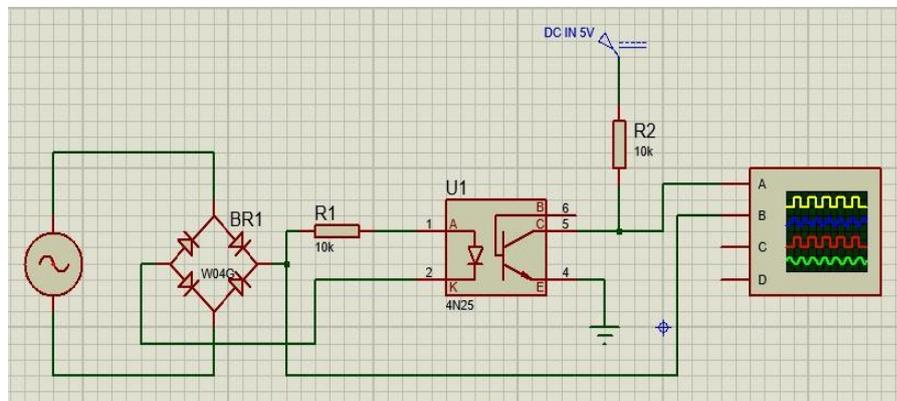
Gambar 4. 3 *Assembling* Seluruh Alat

Assembling alat merupakan proses penggabungan seluruh komponen dan merupakan tahap akhir dari pengerjaan *hardware* proyek akhir. Setelah semua komponen digabungkan, selanjutnya yaitu proses pengecekan kembali mulai dari sambungan antar komponen baik masukan ataupun keluarannya agar tidak terjadi kesalahan pada saat uji coba dilakukan.

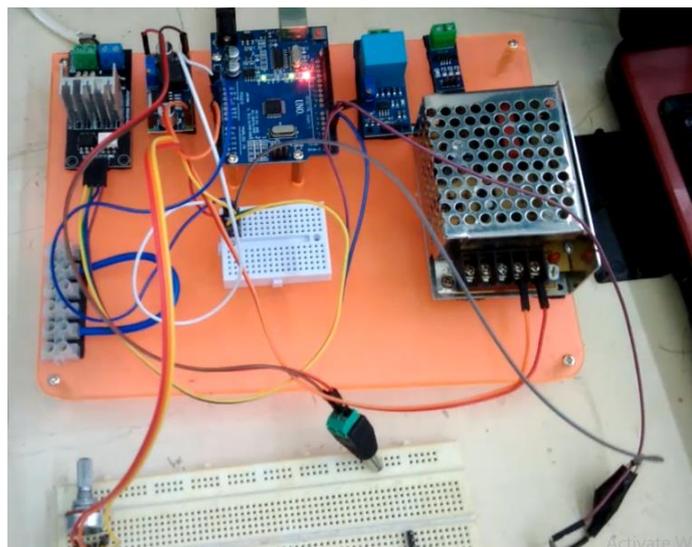
4.2 Pengujian Zero Crossing Detector

Pengujian dilakukan untuk mengetahui sinyal gelombang keluaran dari rangkaian *zero cross detector* yang akan diproses oleh mikrokontroler arduino uno sebagai sinyal referensi awal proses *soft starting*.

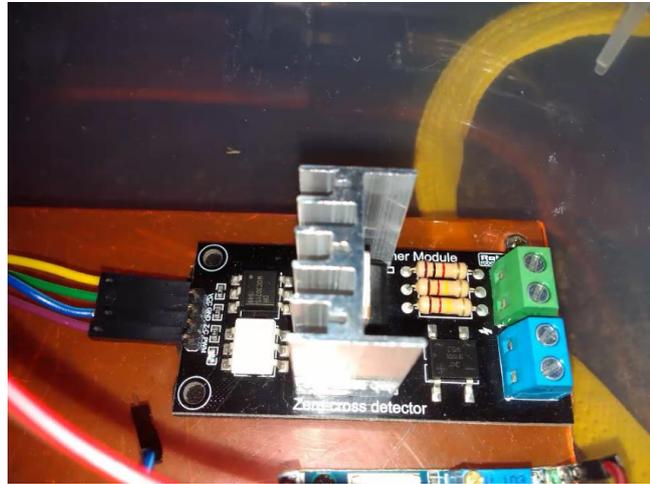
Proses pengujian dilakukan dengan menggunakan aplikasi *Proteus* dan pengujian secara langsung pada kaki pin *zero cross detector*. Berikut gambar 4.4 skema simulasi dan gambar 4.5 proses pengujian langsung pada *zero cross detector*.



Gambar 4. 4 Gambar Skema Simulasi *Zero Crossing* pada *Proteus*

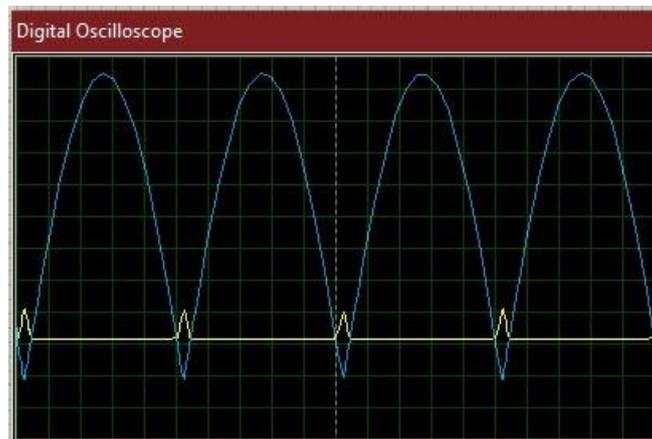


Gambar 4. 5 Proses Pengujian Pada Pin Modul *Zero Crossing Detector*

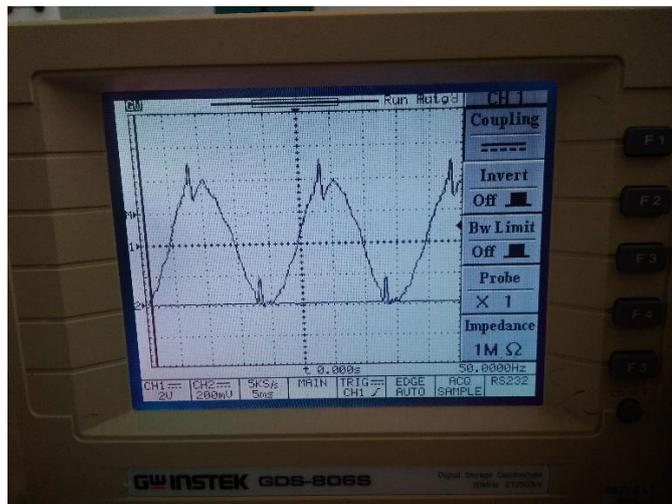


Gambar 4. 6 *Zero Crossing Detector*

Sinyal Gelombang yang dihasilkan dari simulasi *Proteus* dan pengujian secara langsung pada modul *zero cross detector*. Berikut Gambar 4.7 sinyal gelombang dari *Proteus* dan Gambar 4.8 sinyal gelombang pengujian langsung menggunakan osiloscope.



Gambar 4. 7 Sinyal Gelombang *Zero Crossing* dari Simulasi *Proteus*



Gambar 4. 8 Sinyal Gelombang *Zero Crossing* Pada Osiloscope

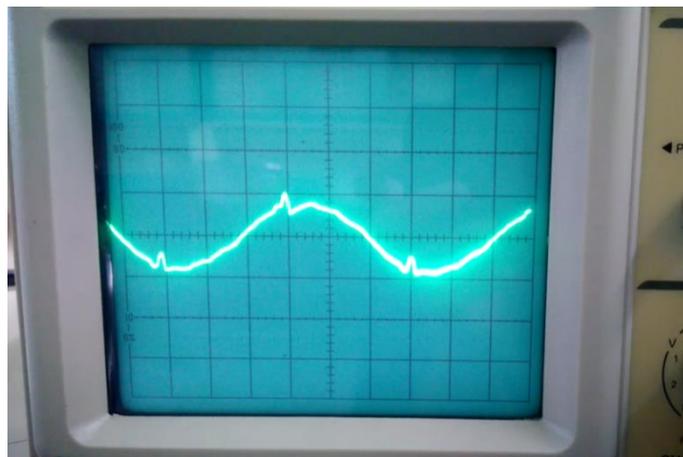
Berdasarkan data hasil sinyal yang diproses oleh rangkaian *zero crossing detector* yaitu terdapat perbedaan dari bentuk gelombangnya. Jika diperhatikan sinyal yang berdasarkan simulasi *proteus* merupakan sinyal yang keluar berdasarkan prinsip kerjanya. Sinyal yang berwarna kuning merupakan sinyal deteksi sudut nol pada sinyal sinusoidal, kemudian sinyal tadi akan diterima oleh arduino untuk dijadikan sebagai acuan sudut picu pada komponen triac.

Rangkaian *zero crossing detector* dibuat dengan menggunakan dua komponen utama yaitu, dioda dan optocoupler. Prinsip kerjanya, sinyal AC (*Alternating Current*) akan disearahkan oleh rangkaian dioda jembatan, penyearah menggunakan penyearah gelombang penuh. Kemudian optocoupler digunakan untuk mendeteksi titik nol. Ketika gelombang mencapai titik nol maka keluarannya akan bernilai 1 (*high*), karena ketika terjadi *zero crossing* optocoupler dalam keadaan tidak aktif atau dalam keadaan transistor pada optocoupler terbuka, sehingga resistor yang mendapatkan sumber 5VDC akan mengalirkan arus langsung menuju *output*. Sedangkan ketika keadaan optocoupler aktif atau kondisi amplitudo lebih dari 0 maka led di dalam optocoupler akan menyala sehingga mengakibatkan transistor yang berada di dalam optocoupler akan tertutup dan arusnya akan mengalir dari kolektor ke emitor lalu menuju *ground*. Sehingga *ouput* yang akan diterima oleh arduino bernilai 0 (*low*).

4.3 Pengujian Sinyal Keluaran PWM

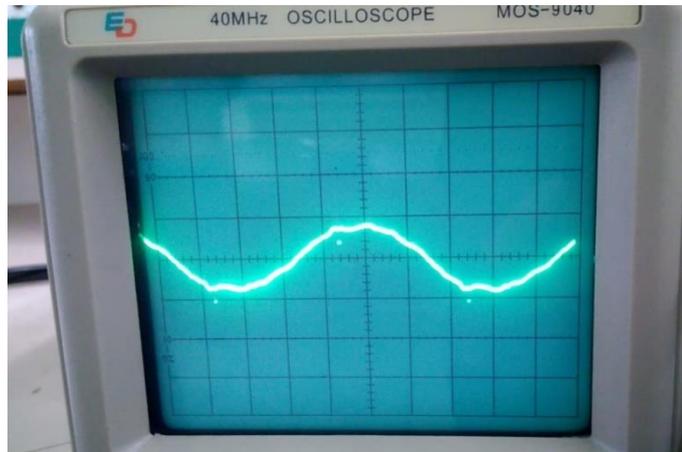
Sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*) diketahui memanipulasi keluaran digital sehingga menghasilkan keluaran berupa sinyal analog. Mikrokontroler arduino uno mengatur *output* digital menjadi *low* dan juga *high* secara bergantian dengan waktu tertentu untuk setiap nilai keluarannya.

Untuk pengujian ini menggunakan sensor potensiometer untuk melihat sinyal dari kondisi minimum sampai kondisi maksimum. Pin yang dijadikan sebagai *output* PWM yaitu pin D3 pada Arduino Uno. Pengujian menggunakan alat osiloscope untuk mengetahui bentuk sinyal PWM yang akan dijadikan sebagai waktu tunda penyulutan triac.



Gambar 4. 9 Sinyal PWM Saat Minimum

Gambar 4.9 merupakan sinyal pwm yang keluar melalui komponen arduino, tepatnya pada pin D3 Arduino Uno. Sinyal ini dalam kondisi sensor potensiometer diputar ke posisi minimum atau keadaan saat arduino menghasilkan sinyal acuan selama $75\mu\text{s}$. Sinyal ini persis sama dengan sinyal keluaran yang diproses oleh rangkaian *Zero Crossing Detector* yang ditampilkan oleh osiloscope.



Gambar 4. 10 Sinyal PWM Saat Maksimum

Sedangkan gambar 4.10 merupakan sinyal PWM yang terdeteksi oleh oscilloscope pada saat sensor potensiometer diputar keposisi maksimum atau keadaan saat arduino menghasilkan sinyal acuan selama 10ms. Berikut tabel pengukuran pada pin D3 arduino, untuk mengetahui perubahan tegangan pada PWM-nya.

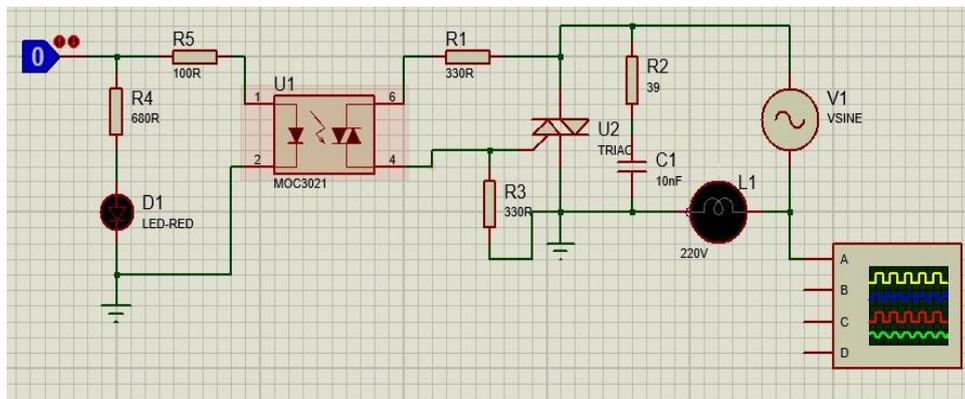
Tabel 4. 1 Data Hasil Pengukuran Tegangan PWM Pada Pin D3 Arduino

| PWM | TEGANGAN (VDC) |
|------------|---------------------------|
| 0% | 0 |
| 10% | 0,5 |
| 20% | 0,98 |
| 30% | 1,47 |
| 40% | 1,98 |
| 50% | 2,47 |
| 60% | 2,48 |
| 70% | 3,49 |
| 80% | 3,98 |
| 90% | 4,48 |
| 100% | 4,96 |

Berdasarkan tabel 4.1 dapat dianalisa bahwa tegangan DC yang terukur berbanding lurus dengan setiap kenaikan PWM yang diatur menggunakan potensiometer dengan maksimum tegangan ketika PWM 100% adalah 4,96VDC.

4.4 Pengujian Rangkaian Solid State Relay dan TRIAC BTA16-600B

Tujuan pengujian rangkaian ini adalah untuk mengetahui bagaimana kerja dari komponen setelah terhubung dengan sumber tegangan dan mengetahui bagaimana bentuk gelombang yang terjadi setelah diberikan penyulutan terhadap TRIAC BTA16-600B. Bentuk rangkaiannya seperti gambar 4.11 di bawah ini.



Gambar 4. 11 Rangkaian *Solid State Relay* dan TRIAC BTA16-600B

Sebagai pembatas antara rangkaian kontrol dengan rangkaian daya terdapat rangkaian pemisah yang komponen utamanya menggunakan optocoupler MOC3021, rangkaian ini menjadi isolasi untuk melindungi rangkaian kontrol dari rangkaian daya yang bertegangan 220V yang komponen utamanya yaitu TRIAC BTA16-600B.

Hasil dari pengukuran rangkaian *Solid State Relay* dan TRIAC BTA16-600B menggunakan alat ukur *Power Quality Analyzer* dengan beban yang digunakan yaitu lampu bohlam 16 Watt adalah sebagai berikut.



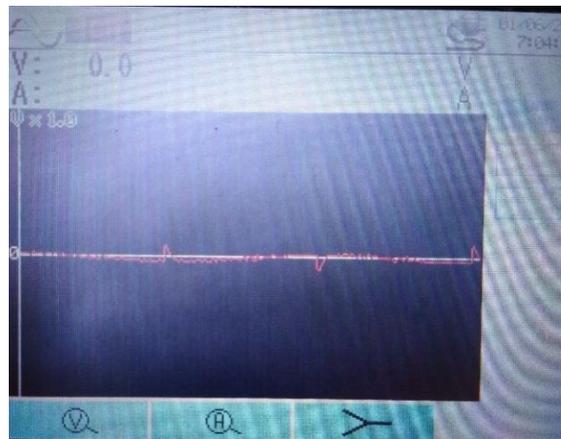
Gambar 4. 12 Proses Pengujian Rangkaian SSR dan TRIAC BTA16-600B

Tabel 4. 2 Tabel Hasil Pengukuran Menggunakan Alat Ukur *Power Quality Analyzer*

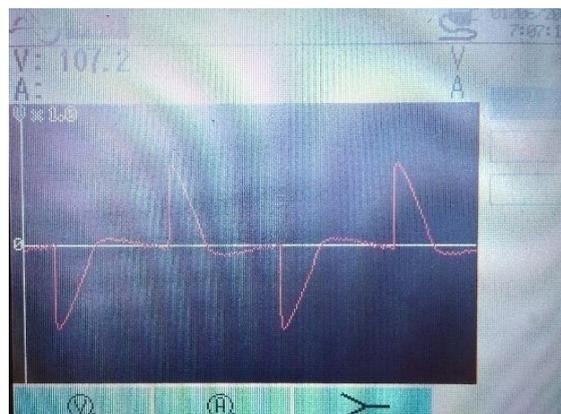
| PWM (%) | Tegangan (V) | Arus (A) | Daya (kW) | Frekuensi (Hz) |
|----------------|---------------------|-----------------|------------------|-----------------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 50.26 |
| 10 | 33 | 0 | 0 | 49.98 |
| 20 | 68.5 | 0.055 | - | 50.05 |
| 30 | 108.0 | 0.052 | - | 50.05 |
| 40 | 144.0 | 0.058 | - | 50.05 |
| 50 | 174.5 | 0.067 | 0.003 | 50.05 |
| 60 | 199.8 | 0.070 | 0.011 | 50.02 |
| 70 | 216.8 | 0.074 | 0.015 | 50.00 |
| 80 | 225.9 | 0.075 | 0.015 | 49.98 |
| 90 | 228.7 | 0.076 | 0.016 | 50.02 |
| 100 | 229.3 | 0.077 | 0.016 | 49.98 |

Berdasarkan tabel 4.2 hasil pengukuran, dapat dianalisa bahwa rangkain *solid state relay* dan komponen triac dapat bekerja sebagaimana mestinya. Setiap kenaikan PWM, maka tegangan, arus, dan dayanya pun akan ikut naik. Artinya keluaran yang dihasilkan berbanding lurus dengan *input* PWM yang diberikan. Rangkaian isolasi sebagai pelindung bagi rangkaian kontrol juga berfungsi dengan baik, sehingga hasil ini sudah cukup untuk nanti diterapkan pada motor induksi satu fasa.

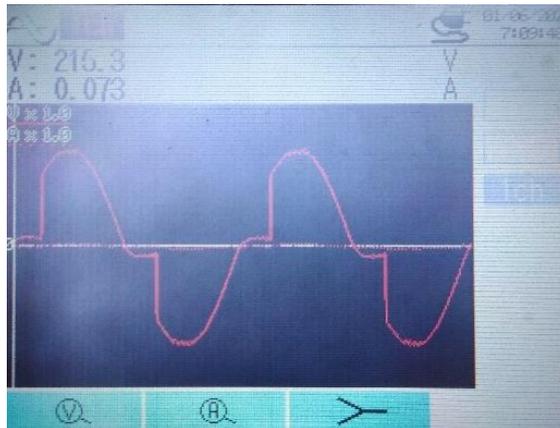
Berikut gambar bentuk gelombang yang dideteksi oleh alat ukur *power quality analyzer*.



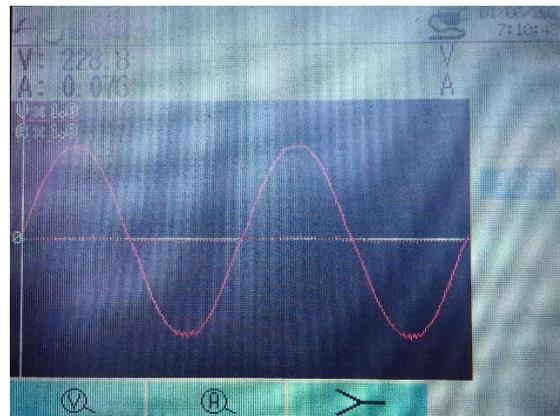
(a)



(b)



(c)



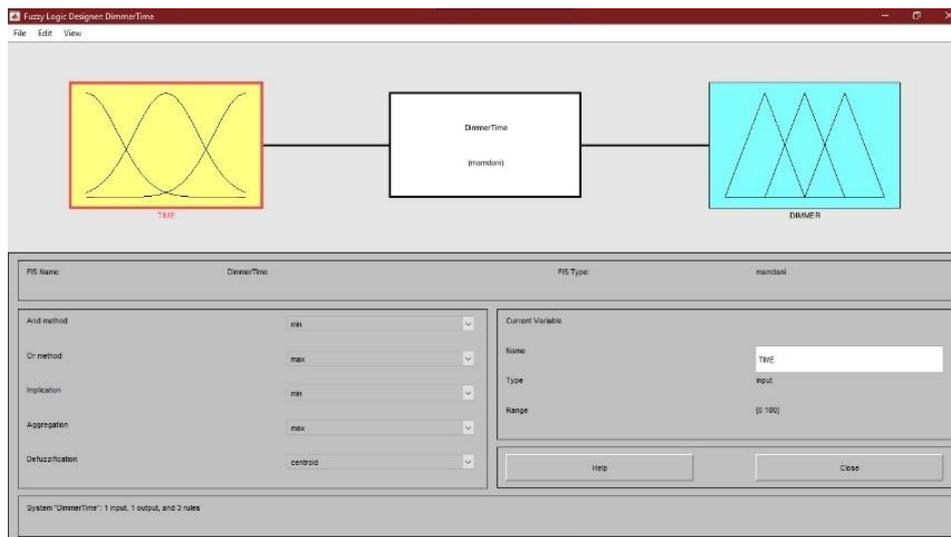
(d)

Gambar 4. 13 Gelombang Hasil Pengukuran Menggunakan *Power Quality Analyzer*

Pada gambar 4.13(a) bentuk gelombang yang ditampilkan oleh alat ukur *power quality analyzer*. Kondisi ini ketika PWM 0% atau pada waktu tunda 10 milidetik. Terlihat gelombang sinus sudah mengalami perpotongan, ini menandakan bahwa waktu penyalan yang diberikan oleh rangkaian kontrol sudah mulai bekerja pada komponen TRIAC BTA16-600B. Pada gambar 4.13(b) bentuk gelombang yang ditampilkan oleh alat ukur *power quality analyzer* ketika kondisi PWM 30% atau pada waktu tunda 7 milidetik. Pada gambar 4.13(c) bentuk gelombang yang ditampilkan oleh alat ukur *power quality analyzer* ketika kondisi PWM 70% atau pada waktu tunda 3 milidetik. Terakhir, pada gambar 4.13(d)

bentuk gelombang yang ditampilkan oleh alat ukur *power quality analyzer* ketika kondisi PWM 100% atau pada waktu tunda 0 milidetik, dengan bentuk sinyal sinusoidal sempurna tanpa ada perpotongan.

4.5 Pengujian Desain Kontrol Fuzzy Logic



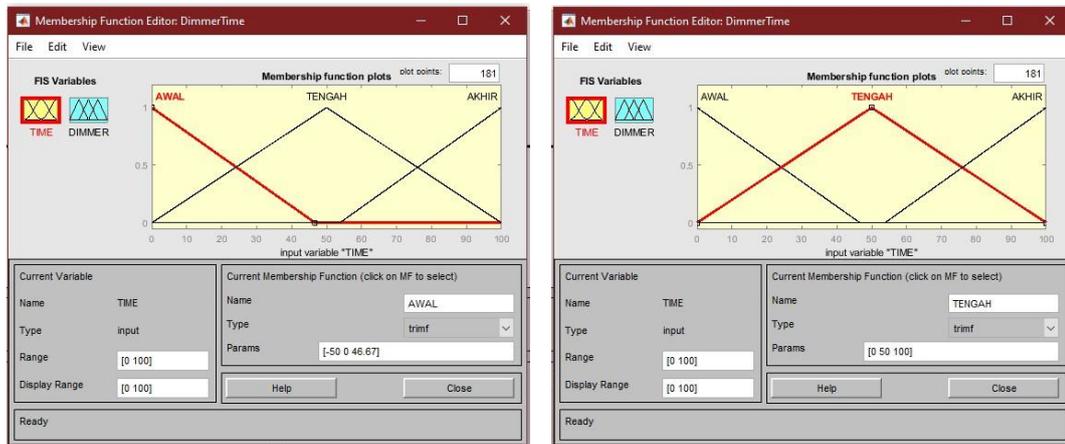
Gambar 4. 14 *Fuzzy Logic Designer* Pada Aplikasi *Matlab*

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah kontrol *fuzzy logic* yang terprogram pada arduino memiliki keluaran nilai yang sama jika dibandingkan pada simulasi kontrol *fuzzy logic* menggunakan aplikasi *Matlab*. Hal ini dilakukan agar mengetahui bahwa nantinya arduino akan memproses nilai keluaran yang sama sesuai desain kontrol *fuzzy* yang telah dibuat.

Logika *fuzzy* merupakan sebuah logika yang memiliki derajat keanggotaan diantara 0 dan 1, berbeda dengan logika klasik *Boolean* yang memiliki nilai 0 dan 1 saja. Tahapan yang terjadi di dalam FLC secara garis besar adalah sebagai berikut:

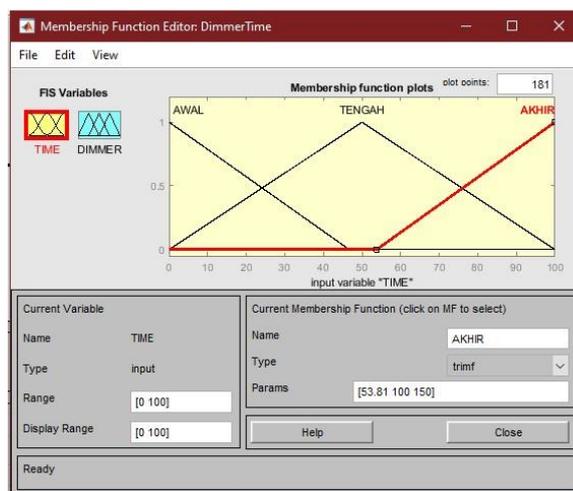
1. Fuzzifikasi, yaitu langkah *input crisp* menjadi *set input fuzzy*.
2. Inferensi atau implikasi, yaitu menentukan tingkat kecocokan dengan aturan-aturan *fuzzy* dan menghasilkan *set output fuzzy*.
3. Defuzzifikasi, yaitu mengubah *set output fuzzy* menjadi nilai *output crisp*.

Proses dalam penyusunan sistem FLC, pertama menentukan fungsi keanggotaan *input* dan *output*-nya yang disusun sebagai berikut.



(a)

(b)



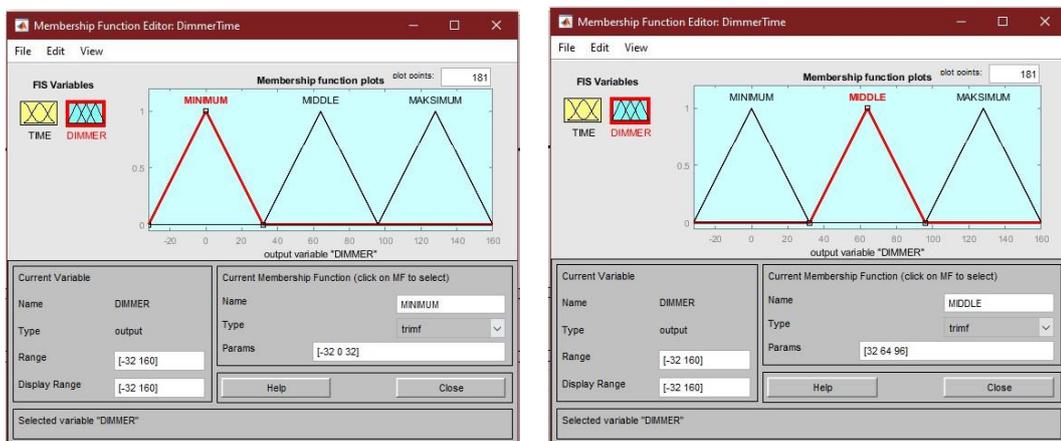
(c)

Gambar 4. 15 Membeship Function Dari Input “Time”

Fungsi keanggotaan untuk *input*-nya dinamakan “Time”. Fungsi keanggotaan ini nantinya digunakan sebagai pengatur waktu lamanya proses *soft starting* pada motor induksi. Nilai yang dimasukkan ke dalam variabel *fuzzy-set input* diatur menggunakan program *for-looping*, dengan nilai yang dimasukkan rentangnya sama dengan fungsi keanggotaan “Time”. Rentang fungsi

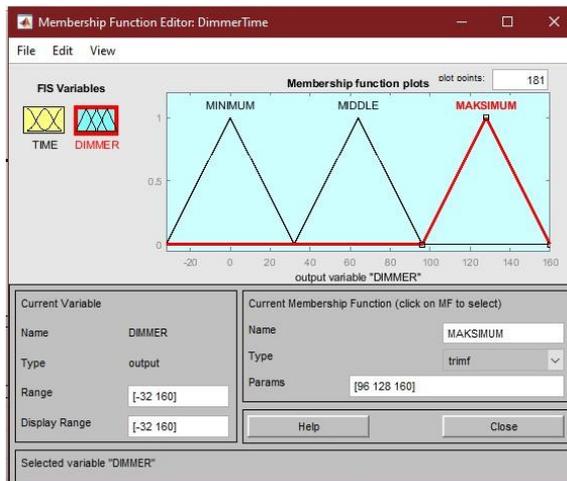
keanggotaannya dimulai dari 0 sampai 100 dan dengan 3 fungsi anggota yaitu, AWAL, TENGAH, dan AKHIR.

Skala fungsi keanggotaan *input* "Time" ini akan disesuaikan pada penentuan waktu tunda (*delay*) pada program *for-loop* arduino. Misalkan *delay* terprogram pada 10 mili-detik, maka setiap angka pada fungsi keanggotaan *input* akan dikalikan 10 mili-detik, sehingga rentang waktu yang dibutuhkan jika dikalikan dengan 10 mili-detik yaitu menjadi 1000 mili-detik. Begitu juga seterusnya jika diberikan *delay*(waktu tunda) dengan nilai yang berbeda.



(a)

(b)

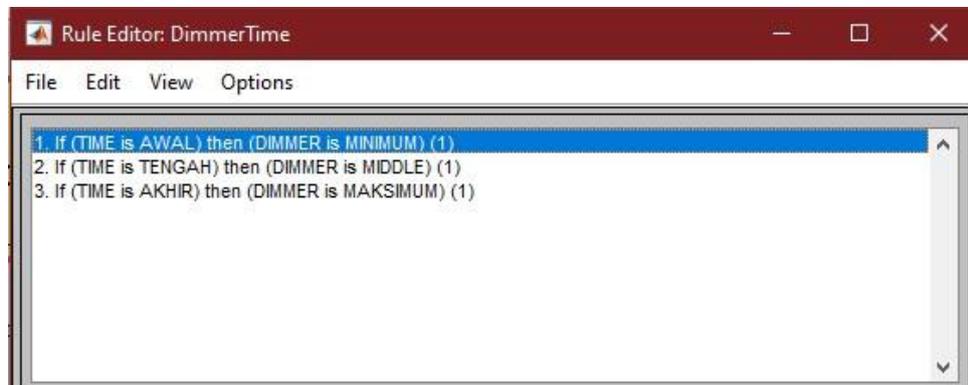


(c)

Gambar 4. 16 Membership Function Dari Output "Dimmer"

Fungsi keanggotaan untuk *output*-nya dinamakan “*Dimmer*”. Fungsi keanggotaan ini akan menjadi keluaran waktu tunda pemicuan triac yang satuan dari fungsi keanggotaan ini adalah waktu pada frekuensi gelombang sinus, dengan variabel pada program arduino bernama “*Freqstep*”. Rentang fungsi keanggotaan ini dimulai dari 0 sampai 128 dan dengan 3 fungsi anggota yaitu, *MINIMUM*, *MIDDLE*, dan *MAKSIMUM*.

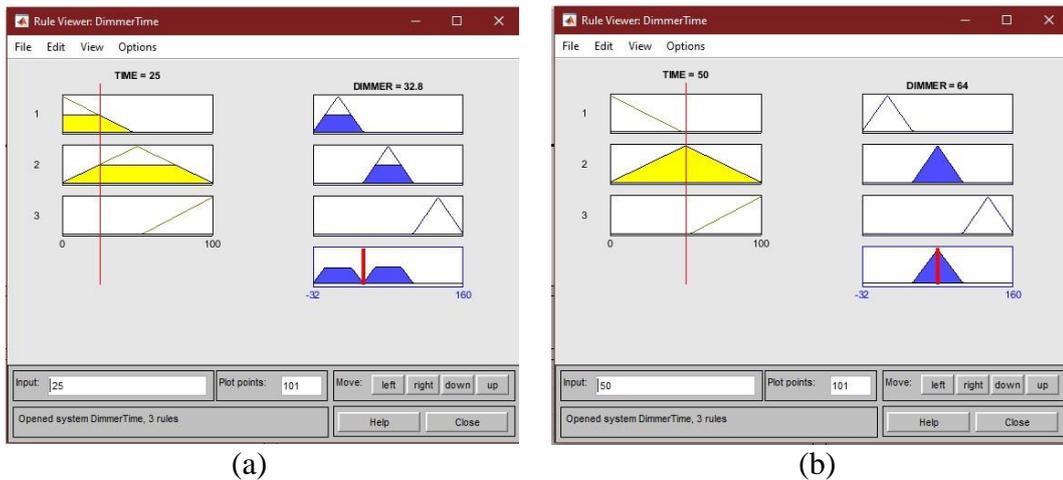
Kemudian aturan *fuzzy*-nya dapat dilihat pada gambar 4.17 yang dibuat pada aplikasi *Matlab*.



Gambar 4. 17 Aturan *Fuzzy* Pada Aplikasi *Matlab*

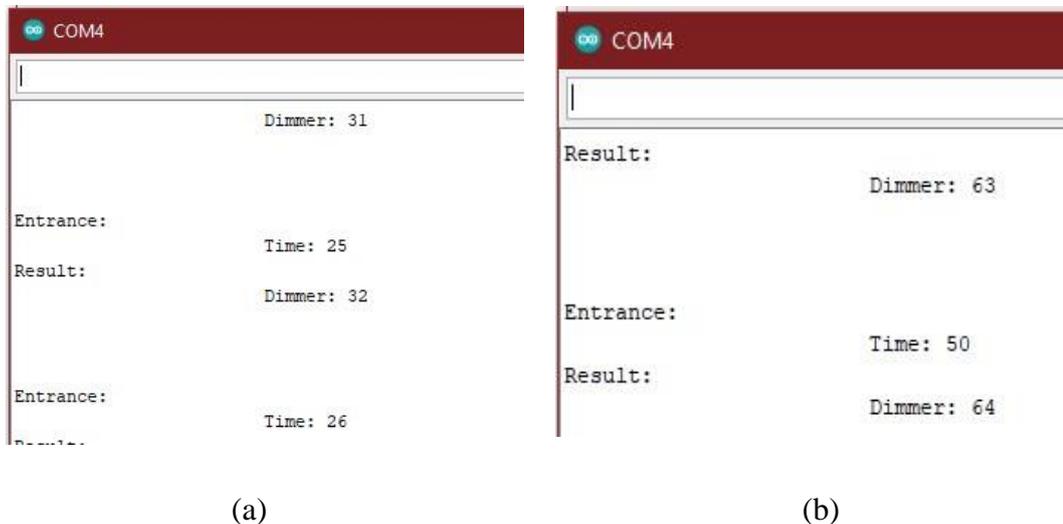
Proses inferensi atau implikasi pada kontrol fuzzy ini ditetapkan tiga aturan *fuzzy*, yaitu jika *time* adalah awal maka *dimmer* adalah minimum. Jika *time* adalah tengah maka *dimmer* adalah *middle*, sedangkan jika *time* adalah akhir maka *dimmer* adalah maksimum.

Tahap selanjutnya yaitu proses defuzzifikasi. Proses defuzzifikasi menggunakan metode Mamdani. Hal ini dikarenakan metode Mamdani lebih spesifik, artinya lebih memperhatikan kondisi yang terjadi pada setiap daerah *fuzzy*-nya sehingga menghasilkan nilai keluaran yang lebih akurat. Adapun hasil dari defuzzifikasinya dapat dilihat pada *rule viewer* seperti gambar 4.18 berikut.



Gambar 4. 18 *Fuzzy Rule Viewer*

Setelah melakukan tahapan pembuatan desain *fuzzy*-nya pada aplikasi *Matlab*. Kemudian hasil *output* yang dihasilkan berdasarkan pengolahan dari aplikasi *Matlab* dibandingkan dengan hasil *output* yang dihasilkan oleh alat kontrol arduino yang dilihat pada serial monitor Arduino IDE.



Gambar 4. 19 *Output Fuzzy* yang Diproses Oleh Arduino

Jika dibandingkan antara *fuzzy rule viewer* dengan *serial monitor* pada arduino, didapatkan bahwa nilai “*dimmer*” yang dihasilkan memiliki nilai keluaran yang sama ketika diberikan nilai *input* “*time*” yang sama. Hal ini menandakan bahwa arduino sudah sesuai dalam memberikan nilai *output*-nya,

sehingga nantinya nilai ini akan menjadi nilai waktu tunda bagi pemicuan komponen TRIAC BTA16-600B.

4.6 Pengujian Sistem Keseluruhan Alat Soft Starting

Setelah melakukan beberapa pengujian pada masing-masing bagian dari Alat *Soft Starting*, maka terakhir adalah melakukan pengujian keseluruhan alat. Pada pengujian ini akan diuji mengenai sistem kerja secara keseluruhan. Sekaligus nantinya untuk mengetahui bagaimana karakteristik tegangan dan arus motor yang diasut dengan alat yang telah dibuat juga melihat respon motor pada saat pengasutan awal. Percobaan ini menggunakan motor induksi yang dilengkapi dengan kapasitor didalamnya dengan spesifikasi sebagai berikut.

| | |
|-----------|------------|
| Tegangan | = 222,3V |
| Arus | = 1,359A |
| Daya | = 102 Watt |
| Kecepatan | = 2984 rpm |



Gambar 4. 20 Motor Induksi Satu Fasa

Pengukuran dilakukan menggunakan dua alat ukur, yaitu alat *Power Quality Analyzer* dan sensor Pzem-004t. *Power quality analyzer* digunakan untuk mengetahui tegangan dan arus yang masuk ke motor secara bertahap. Sedangkan

untuk sensor pzem-004t digunakan untuk mengetahui perubahan tegangan dan arus selama 20 detik pada saat motor dihidupkan tanpa menggunakan alat *soft starting* serta untuk mengetahui seberapa cepat alat *soft starting* melakukan pengasutan pada motor untuk mendapat tegangan dan arus konstan pada kondisi pengaturan *delay soft starting* pada program arduino diatur selama 1 milidetik.

Sebelum menggunakan sensor pzem-004t untuk dilakukannya pengukuran tegangan dan arus. Sensor terlebih dahulu harus melewati tahap kalibrasi agar diketahui bahwa pembacaan sensor sudah benar dan memenuhi nilai yang sesuai. Kalibrasi sensor menggunakan alat ukur *power quality analyzer* sebagai pembanding, serta menggunakan beban lampu 16 watt dan motor induksi.



(a)



(b)

Gambar 4. 21 (a) Lampu 16W dan (b) Motor Induksi

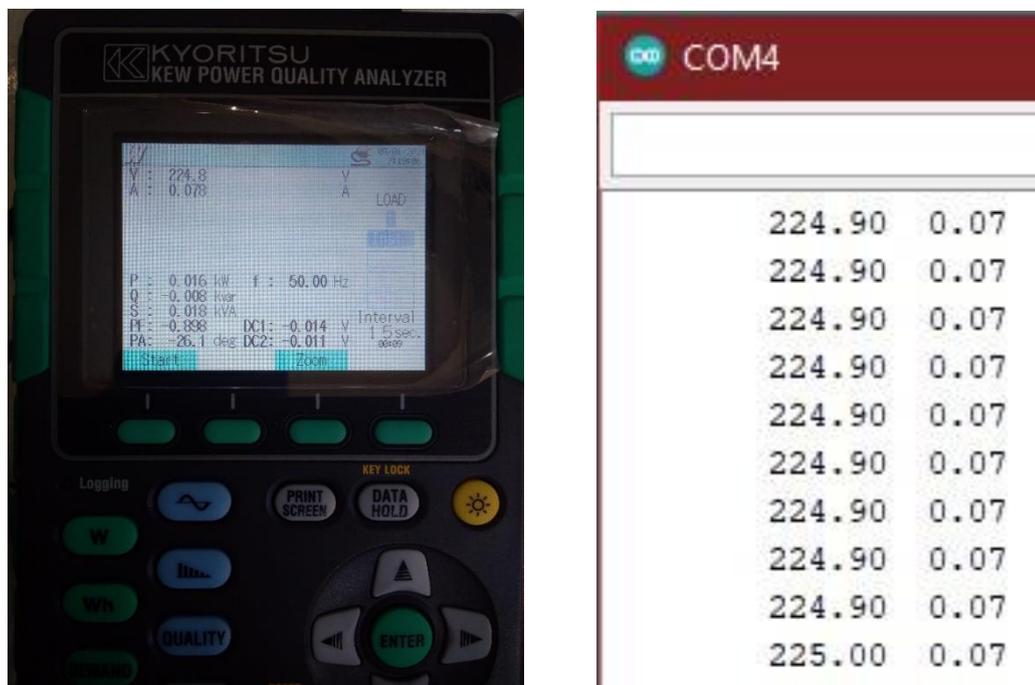
Tabel 4. 3 Hasil Pengukuran Menggunakan Sensor Pzem-004t

| BEBAN | TEGANGAN (V) | ARUS (A) |
|---------------|-----------------|-------------|
| LAMPU 16W | 224,9 | 0,07 |
| MOTOR INDUKSI | 223,4 | 1,37 |

Tabel 4. 4 Hasil Pengukuran Menggunakan *Power Quality Analyzer*

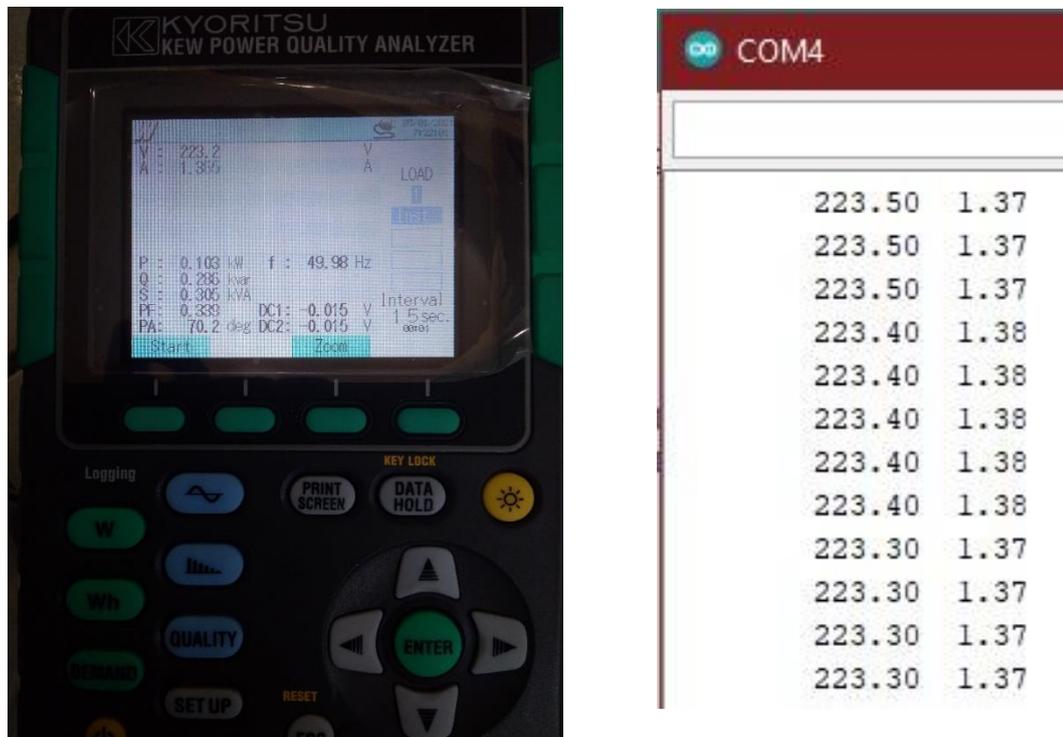
| BEBAN | TEGANGAN (V) | ARUS (A) |
|---------------|-----------------|-------------|
| LAMPU 16W | 224,8 | 0,078 |
| MOTOR INDUKSI | 223,2 | 1,365 |

Gambar 4.21 di bawah ini merupakan gambar perbandingan hasil pengukuran antara alat *power quality analyzer* dan pembacaan sensor pzem-004t pada serial monitor Arduino IDE dengan beban lampu 16 Watt.



Gambar 4. 22 Perbandingan Pengukuran dengan Beban Lampu 16W

Gambar 4.23 di bawah ini merupakan gambar perbandingan hasil pengukuran antara alat *power quality analyzer* dan pembacaan sensor pzem-004t pada serial monitor Arduino IDE dengan beban motor induksi.



Gambar 4. 23 Perbandingan Pengukuran dengan Beban Motor Induksi

Setelah dilakukannya proses pengukuran antara kedua alat ukur dan membandingkannya. Berdasarkan data pada tabel 4.3 dan 4.4, kalibrasi sensor pzem-004t hasilnya sensor memiliki persentase *error* yang berbeda antara pembacaan arus dan tegangannya. Pada beban lampu 16 watt persentase *error*-nya sebesar 0,045% untuk pembacaan tegangannya dengan selisih 0,1 dan persentase *error* 10,25% untuk pembacaan arusnya dengan selisih 0,008. Sedangkan pada beban motor induksi persentase *error*-nya sebesar 0,089% untuk pembacaan tegangannya dengan selisih 0,2 dan persentase *error* 0,36% untuk pembacaan arusnya dengan selisih 0,005. Jika berdasarkan perhitungan menggunakan rumus persentase *error* ditambahkan sebagai berikut.

- Pada beban lampu 16 Watt.

$$\begin{aligned} \%error \text{ Tegangan} &= \left| \frac{\text{Pengukuran Sensor} - \text{Pengukuran Alat Ukur}}{\text{Pengukuran Alat Ukur}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{224,9 - 224,8}{224,8} \right| \times 100\% = 0,045\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%error \text{ Arus} &= \left| \frac{\text{Pengukuran Sensor} - \text{Pengukuran Alat Ukur}}{\text{Pengukuran Alat Ukur}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{0,07 - 0,078}{0,078} \right| \times 100\% = 10,25\% \end{aligned}$$

- Pada beban Motor Induksi.

$$\begin{aligned} \%error \text{ Tegangan} &= \left| \frac{\text{Pengukuran Sensor} - \text{Pengukuran Alat Ukur}}{\text{Pengukuran Alat Ukur}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{223,4 - 223,2}{223,2} \right| \times 100\% = 0,089\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%error \text{ Arus} &= \left| \frac{\text{Pengukuran Sensor} - \text{Pengukuran Alat Ukur}}{\text{Pengukuran Alat Ukur}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{1,37 - 1,365}{1,365} \right| \times 100\% = 0,36\% \end{aligned}$$

Setelah melewati tahap kalibrasi dan hasilnya memiliki persentase *error* yang kecil, maka sensor dapat dijadikan sebagai alat ukur untuk mengambil data pengasutan motor induksi tanpa menggunakan alat *soft starting*.



Gambar 4. 24 Pengukuran Menggunakan *Power Quality Analyzer*



Gambar 4. 25 Pengukuran Menggunakan Sensor Pzem-004t

Pengujian dan pengukuran dibagi menjadi dua. Pertama pengujian dan pengukuran sistem keseluruhan alat *soft starting* dengan menerapkan metode kontrol *fuzzy logic*. Kedua pengujian dan pengukuran sistem keseluruhan alat *soft starting* dengan tanpa menerapkan metode kontrol *fuzzy logic*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan antara sistem alat dengan menggunakan kontrol *fuzzy* dan tanpa menggunakan kontrol *fuzzy*.

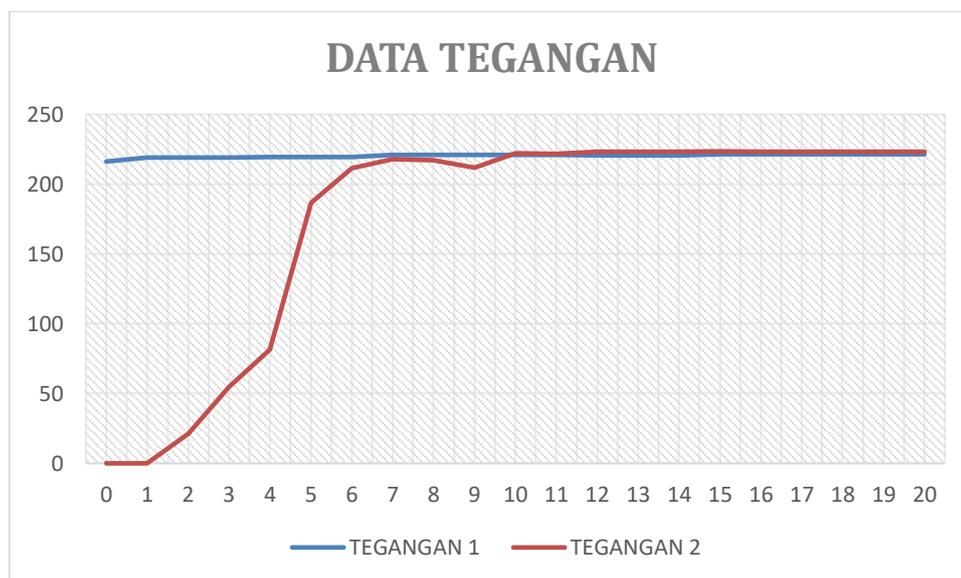
4.6.1 Pengujian dan Pengukuran Alat Soft Starting Dengan Menerapkan Metode Fuzzy Logic

Pengukuran dilakukan menggunakan *power quality analyzer* dengan pengaturan *soft starting* motor diperlambat hingga 10 sampai 15 detik. Hal ini dilakukan untuk mengetahui tahapan tegangan dan arus yang mengalir ke motor induksi setiap detiknya. Berikut ditampilkan tabel dan grafik hasil pengukurannya.

Tabel 4. 5 Data Hasil Pengukuran Tegangan Dengan Penerapan *Fuzzy Logic*

| TEGANGAN 1 | TEGANGAN 2 | WAKTU |
|------------|------------|-------|
| (V) | (V) | (s) |
| 216,2 | 0 | 0 |
| 219,2 | 0 | 1 |

| | | |
|-------|-------|----|
| 219,2 | 21,3 | 2 |
| 219,2 | 54,9 | 3 |
| 219,6 | 81,3 | 4 |
| 219,6 | 186,8 | 5 |
| 219,6 | 211,5 | 6 |
| 220,8 | 218 | 7 |
| 220,8 | 217 | 8 |
| 220,8 | 211,7 | 9 |
| 220,8 | 222 | 10 |
| 220,8 | 221,8 | 11 |
| 220,4 | 223,4 | 12 |
| 220,4 | 223,4 | 13 |
| 220,4 | 223,3 | 14 |
| 221,4 | 223,5 | 15 |
| 221,4 | 223,4 | 16 |
| 221,4 | 223,4 | 17 |
| 221,4 | 223,2 | 18 |
| 221,4 | 223,4 | 19 |
| 221,4 | 223,3 | 20 |



Gambar 4. 26 Grafik Data Hasil Pengukuran Tegangan Dengan Penerapan *Fuzzy Logic*

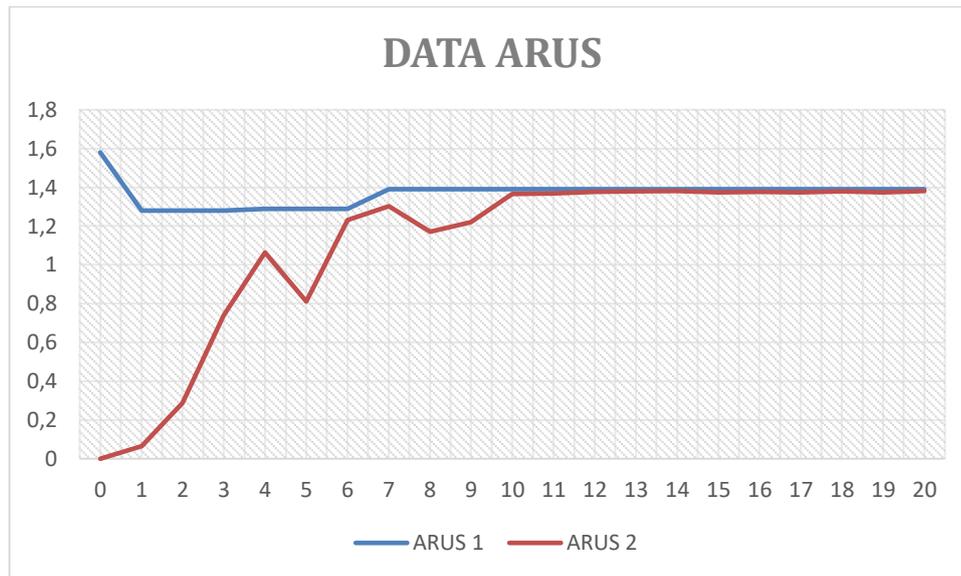
Berdasarkan tabel 4.5 dan gambar 4.26 grafik hasil pengukuran, untuk “Tegangan 1” merupakan tegangan motor induksi yang dijalankan tanpa menggunakan alat *soft starting*. Data ini diambil menggunakan sensor pzem-004t

selama 20 detik. Sedangkan “Tegangan 2” merupakan data tegangan motor induksi yang diukur menggunakan *power quality analyzer* dengan motor induksi dijalankan menggunakan alat *soft starting*.

Berdasarkan hasil pengukurannya diketahui bahwa proses pengasutan awal dengan mencacah tegangan masukannya telah terpenuhi. Pada grafik, tegangan mengalami kenaikan setiap detiknya dan mencapai tegangan konstan pada waktu 10 detik. Untuk *rise time* berada pada waktu 6,2 detik, *settling time* berada pada detik ke-12. Kemudian pada grafik tidak ditemukan terjadinya *overshoot*. Namun, terjadi penurunan tegangan pada detik ke-9.

Tabel 4. 6 Data Hasil Pengukuran Arus Dengan Penerapan *Fuzzy Logic*

| ARUS 1 (A) | ARUS 2 (A) | WAKTU (s) |
|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| 1,58 | 0 | 0 |
| 1,28 | 0,065 | 1 |
| 1,28 | 0,286 | 2 |
| 1,28 | 0,739 | 3 |
| 1,29 | 1,064 | 4 |
| 1,29 | 0,811 | 5 |
| 1,29 | 1,23 | 6 |
| 1,39 | 1,303 | 7 |
| 1,39 | 1,171 | 8 |
| 1,39 | 1,219 | 9 |
| 1,39 | 1,366 | 10 |
| 1,39 | 1,368 | 11 |
| 1,39 | 1,377 | 12 |
| 1,39 | 1,38 | 13 |
| 1,39 | 1,381 | 14 |
| 1,39 | 1,373 | 15 |
| 1,39 | 1,377 | 16 |
| 1,39 | 1,374 | 17 |
| 1,39 | 1,379 | 18 |
| 1,39 | 1,373 | 19 |
| 1,39 | 1,381 | 20 |



Gambar 4. 27 Grafik Data Hasil Pengukuran Arus Dengan Penerapan *Fuzzy Logic*

Berdasarkan tabel 4.6 dan gambar 4.27 grafik hasil pengukuran arus. Untuk “Arus 1” merupakan arus motor induksi yang dijalankan tanpa menggunakan alat *soft starting*. Data ini diambil menggunakan sensor pzem-004t selama 20 detik. Sedangkan “Arus 2” merupakan data arus motor induksi yang diukur menggunakan *power quality analyzer* dengan motor induksi dijalankan menggunakan alat *soft starting*.

Untuk arus pengasutan, jika berdasarkan grafik hasilnya sudah mencapai tujuan yang diinginkan untuk dapat mengurangi *inrush current* pada motor induksi yang terjadi sebesar 1,58A menjadi 0,065A, dan juga sudah bisa untuk mencacah arus masukannya. Namun, untuk mendapatkan pengasutan arus yang lebih linier belum terpenuhi, dilihat dari grafik hasil pengukuran terdapat penurunan arus pada detik ke-5 dan detik ke-8.

Pada grafik, arus mengalami kenaikan dan mencapai arus konstan pada detik ke-12. Hal ini terjadi karena pengaruh beban motor induksi yang merupakan beban induktif, sehingga dibandingkan dengan tahanan, arus sedikit lebih lama untuk mencapai arus konstan. Kemudian untuk *rise time* terjadi pada detik ke-4, *settling time* terjadi pada detik ke-12 dan tanpa terjadi *overshoot*.

Kemudian untuk data kecepatan motor didapatkan dengan mengukur putaran motor menggunakan alat tachometer.



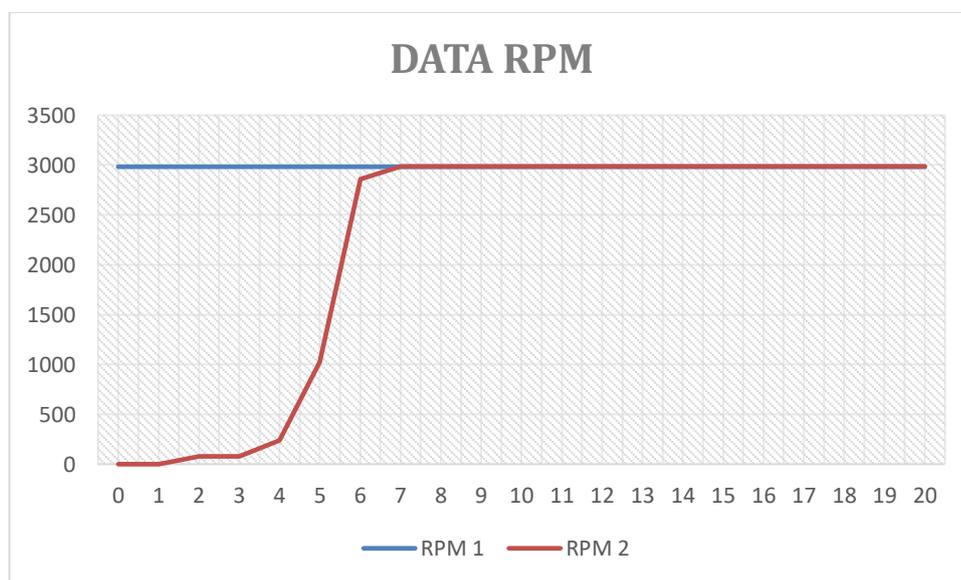
Gambar 4. 28 Pengukuran Kecepatan Motor Menggunakan Tachometer

Tujuan diambilnya data kecepatan motor, untuk mengetahui bagaimana respon motor terhadap alat *soft starting* berdasarkan nilai rpm-nya. Pengukuran dilakukan menggunakan tachometer dengan pengaturan *soft starting* motor diperlambat hingga 10 sampai 15 detik. Data hasil pengukurannya sebagai berikut.

Tabel 4. 7 Data Hasil Pengukuran Kecepatan Putaran Motor Menggunakan Tachometer

| RPM 1 | RPM 2 | WAKTU |
|-------|-------|-------|
| 2983 | 0 | 0 |
| 2983 | 0 | 1 |
| 2983 | 77,5 | 2 |
| 2983 | 77,5 | 3 |
| 2983 | 236,1 | 4 |
| 2983 | 1024 | 5 |
| 2983 | 2857 | 6 |
| 2983 | 2986 | 7 |
| 2983 | 2986 | 8 |
| 2983 | 2986 | 9 |
| 2983 | 2986 | 10 |

| | | |
|------|------|----|
| 2983 | 2984 | 11 |
| 2983 | 2984 | 12 |
| 2983 | 2984 | 13 |
| 2983 | 2984 | 14 |
| 2983 | 2984 | 15 |
| 2983 | 2984 | 16 |
| 2983 | 2984 | 17 |
| 2983 | 2984 | 18 |
| 2983 | 2984 | 19 |
| 2983 | 2984 | 20 |



Gambar 4. 29 Grafik Data Hasil Pengukuran Kecepatan Putaran Motor Menggunakan Tachometer

Berdasarkan tabel 4.7 dan gambar 4.29 grafik hasil pengukuran kecepatan motor. Untuk “RPM 1” merupakan kecepatan motor induksi yang dijalankan tanpa menggunakan alat *soft starting*. Data ini diambil menggunakan tachometer selama 20 detik. Sedangkan “RPM 2” merupakan data kecepatan motor induksi yang yang dijalankan menggunakan alat *soft starting* dan diukur menggunakan tachometer.

Berdasarkan grafik hasil pengukuran kecepatan motor, alat *soft starting* sudah bisa dikatakan mampu untuk menghasilkan respon motor dengan putaran yang lebih halus, dengan proses mencapai kondisi konstan dalam waktu 7 detik.

dikarenakan pembacaan sensor pzem-004t yang ditampilkan pada *serial monitor* selalu berubah-ubah setiap kali melakukan percobaan, permasalahan ini terjadi bisa jadi disebabkan oleh kerja sensor yang kurang cepat dalam melakukan pengukuran. Namun, bisa diketahui rata-rata hasil yang ditampilkan tidak jauh berbeda seperti gambar 4.30. Dengan waktu untuk mencapai tegangan arus konstannya berkisar antara 0,6 detik sampai 1,7 detik.

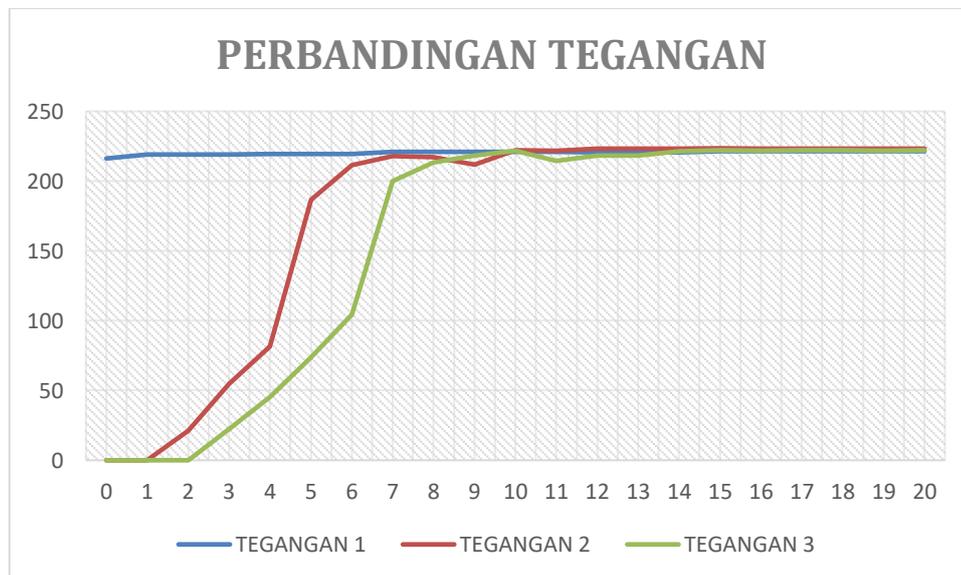
4.6.2 Pengujian dan Pengukuran Alat Soft Starting Dengan Tanpa Menerapkan Metode Fuzzy Logic

Pada pengujian ini, metode yang dilakukan sama dengan pengujian sebelumnya. Pengukuran dilakukan menggunakan *power quality analyzer* dengan pengaturan *soft starting* motor dilamakan hingga 10 sampai 15 detik. Hal ini dilakukan untuk mengetahui tahapan tegangan dan arus yang mengalir ke motor induksi setiap detiknya. Berikut ditampilkan tabel dan grafik hasil perbandingan antara sistem *soft starting* menggunakan *fuzzy logic* dengan tanpa menggunakan *fuzzy logic*.

Tabel 4. 8 Data Hasil Perbandingan dan Pengukuran Tegangan Tanpa Penerapan *Fuzzy Logic*

| TEGANGAN 1 | TEGANGAN 2 | TEGANGAN 3 | WAKTU |
|------------|------------|------------|-------|
| (V) | (V) | (V) | (s) |
| 216,2 | 0 | 0 | 0 |
| 219,2 | 0 | 0 | 1 |
| 219,2 | 21,3 | 0 | 2 |
| 219,2 | 54,9 | 22,4 | 3 |
| 219,6 | 81,3 | 45,2 | 4 |
| 219,6 | 186,8 | 73,8 | 5 |
| 219,6 | 211,5 | 104,3 | 6 |
| 220,8 | 218 | 199,8 | 7 |
| 220,8 | 217 | 213,3 | 8 |
| 220,8 | 211,7 | 218,4 | 9 |
| 220,8 | 222 | 221,9 | 10 |
| 220,8 | 221,8 | 214,3 | 11 |

| | | | |
|-------|-------|-------|----|
| 220,4 | 223,4 | 218,3 | 12 |
| 220,4 | 223,4 | 218,1 | 13 |
| 220,4 | 223,3 | 221,5 | 14 |
| 221,4 | 223,5 | 222,1 | 15 |
| 221,4 | 223,4 | 221,9 | 16 |
| 221,4 | 223,4 | 222 | 17 |
| 221,4 | 223,2 | 222 | 18 |
| 221,4 | 223,4 | 221,9 | 19 |
| 221,4 | 223,3 | 222 | 20 |

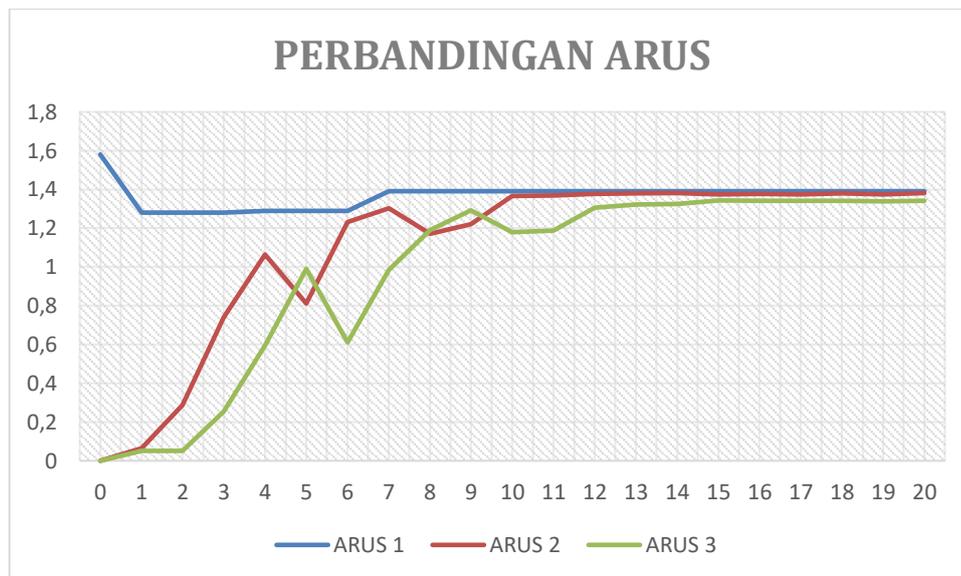


Gambar 4. 31 Grafik Data Hasil Perbandingan dan Pengukuran Tegangan Tanpa Penerapan *Fuzzy Logic*

Tabel 4. 9 Data Hasil Perbandingan dan Pengukuran Arus Tanpa Penerapan *Fuzzy Logic*

| ARUS 1 (A) | ARUS 2 (A) | ARUS 3 (A) | WAKTU (s) |
|---------------|---------------|---------------|--------------|
| 1,58 | 0 | 0 | 0 |
| 1,28 | 0,065 | 0,05 | 1 |
| 1,28 | 0,286 | 0,05 | 2 |
| 1,28 | 0,739 | 0,254 | 3 |
| 1,29 | 1,064 | 0,595 | 4 |
| 1,29 | 0,811 | 0,99 | 5 |
| 1,29 | 1,23 | 0,612 | 6 |

| | | | |
|------|-------|-------|----|
| 1,39 | 1,303 | 0,984 | 7 |
| 1,39 | 1,171 | 1,189 | 8 |
| 1,39 | 1,219 | 1,293 | 9 |
| 1,39 | 1,366 | 1,18 | 10 |
| 1,39 | 1,368 | 1,188 | 11 |
| 1,39 | 1,377 | 1,305 | 12 |
| 1,39 | 1,38 | 1,323 | 13 |
| 1,39 | 1,381 | 1,325 | 14 |
| 1,39 | 1,373 | 1,343 | 15 |
| 1,39 | 1,377 | 1,342 | 16 |
| 1,39 | 1,374 | 1,341 | 17 |
| 1,39 | 1,379 | 1,341 | 18 |
| 1,39 | 1,373 | 1,339 | 19 |
| 1,39 | 1,381 | 1,341 | 20 |



Gambar 4. 32 Grafik Data Hasil Perbandingan dan Pengukuran Arus Tanpa Penerapan *Fuzzy Logic*

Berdasarkan tabel 4.8 dan tabel 4.9 serta gambar 4.31 dan gambar 4.32 grafik hasil perbandingan dan pengukuran tegangan serta arus. Untuk “Tegangan 1” dan “Arus 1” merupakan tegangan dan arus motor induksi yang dijalankan tanpa menggunakan alat *soft starting*. Data ini ambil menggunakan sensor pzem-004t selama 20 detik. Untuk “Tegangan 2” dan “Arus 2” merupakan data tegangan dan arus motor induksi yang diukur menggunakan *power quality*

analyzer dengan motor induksi dijalankan menggunakan alat *soft starting* dengan kontrol *fuzzy logic*. Sedangkan “Tegangan 3” dan “Arus 3” merupakan data *soft starting* tanpa kontrol *fuzzy logic*.

Pada tabel dan grafik hasil pengukuran dan perbandingannya, diketahui bahwa secara bentuk grafik antara menggunakan kontrol *fuzzy* dengan tanpa menggunakan kontrol *fuzzy* memiliki bentuk grafik yang indentik. Perbedaannya terletak pada waktu untuk menuju ke tegangan dan arus konstannya serta nilai *rise time* dan *settling time*-nya yang sedikit lebih lama kurang lebih 1 sampai 2 detik pada *soft starting* tanpa menggunakan kontrol *fuzzy logic*.

4.6.3 Data Soft Starting Dengan Rentang Pengukuran Selama 10 detik

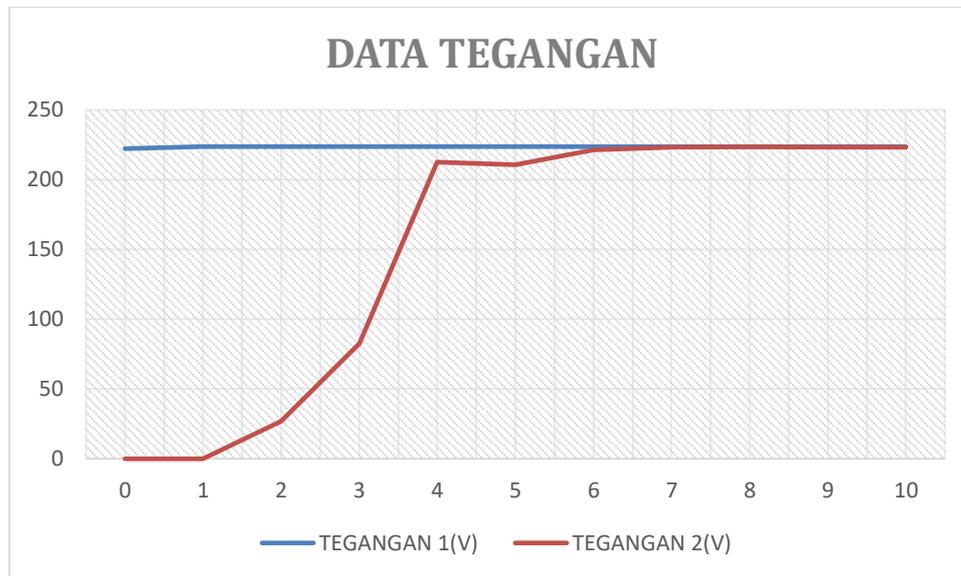
Pengambilan data *soft starting* ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana karakteristik tegangan, arus, dan kecepatan putar motor saat dilakukannya pengasutan motor induksi satu fasa dengan menggunakan alat *soft starting* dengan skala waktu pengambilan data yang lebih pendek yakni diambil rentang 5 sampai 10 detik.

Data tegangan dan arus diambil dengan melakukan pengukuran menggunakan alat *power quality analyzer* dan sensor *pzem-004t*, serta menerapkan kontrol *fuzzy* pada alat *soft starting*. Berikut tabel dan grafik hasil pengukurannya.

Tabel 4. 10 Data Hasil Pengukuran Tegangan Dengan Penerapan *Fuzzy Logic*

| TEGANGAN 1 (V) | TEGANGAN 2 (V) | WAKTU (s) |
|-------------------|-------------------|--------------|
| 222,2 | 0 | 0 |
| 223,7 | 0 | 1 |
| 223,7 | 26,8 | 2 |
| 223,7 | 82,6 | 3 |
| 223,7 | 212,6 | 4 |
| 223,7 | 210,7 | 5 |
| 223,5 | 221,4 | 6 |
| 223,5 | 223,3 | 7 |

| | | |
|-------|-------|----|
| 223,5 | 223,5 | 8 |
| 223,5 | 223,3 | 9 |
| 223,5 | 223,3 | 10 |



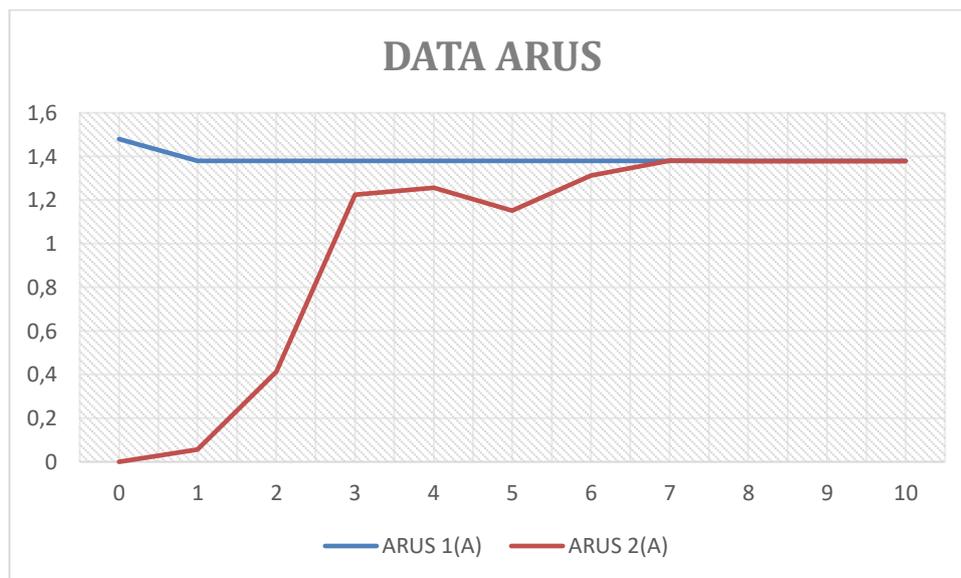
Gambar 4. 33 Grafik Data Hasil Pengukuran Tegangan Dengan Penerapan *Fuzzy Logic*

Berdasarkan tabel 4.10 dan gambar 4.33 grafik hasil pengukuran tegangan. Untuk “Tegangan 1” merupakan tegangan motor induksi yang dijalankan tanpa menggunakan alat *soft starting*. Data ini diambil menggunakan sensor pzem-004t selama 10 detik. Sedangkan “Tegangan 2” merupakan data tegangan motor induksi yang diukur menggunakan *power quality analyzer* dengan motor induksi dijalankan menggunakan alat *soft starting*.

Berdasarkan hasil pengukurannya diketahui bahwa proses pengasutan awal dengan mencacah tegangan masukannya telah terpenuhi. Pada grafik, tegangan mengalami kenaikan setiap detiknya dan mencapai tegangan konstan pada waktu 6 detik. Untuk *rise time* berada pada waktu 3,5 detik, *settling time* berada pada detik ke-7. Kemudian pada grafik tidak ditemukan terjadinya *overshoot*. Namun, terjadi penurunan tegangan pada detik ke-5.

Tabel 4. 11 Data Hasil Pengukuran Arus Dengan Penerapan *Fuzzy Logic*

| ARUS 1 (A) | ARUS 2 (A) | WAKTU (s) |
|---------------|---------------|--------------|
| 1,48 | 0 | 0 |
| 1,38 | 0,056 | 1 |
| 1,38 | 0,412 | 2 |
| 1,38 | 1,226 | 3 |
| 1,38 | 1,257 | 4 |
| 1,38 | 1,152 | 5 |
| 1,38 | 1,312 | 6 |
| 1,38 | 1,381 | 7 |
| 1,38 | 1,379 | 8 |
| 1,38 | 1,378 | 9 |
| 1,38 | 1,379 | 10 |



Gambar 4. 34 Grafik Data Hasil Pengukuran Arus Dengan Penerapan *Fuzzy Logic*

Berdasarkan tabel 4.11 dan gambar 4.34 grafik hasil pengukuran arus. Untuk “Arus 1” merupakan arus motor induksi yang dijalankan tanpa menggunakan alat *soft starting*. Data ini diambil menggunakan sensor pzem-004t selama 10 detik. Sedangkan “Arus 2” merupakan data arus motor induksi yang diukur menggunakan *power quality analyzer* dengan motor induksi dijalankan menggunakan alat *soft starting*.

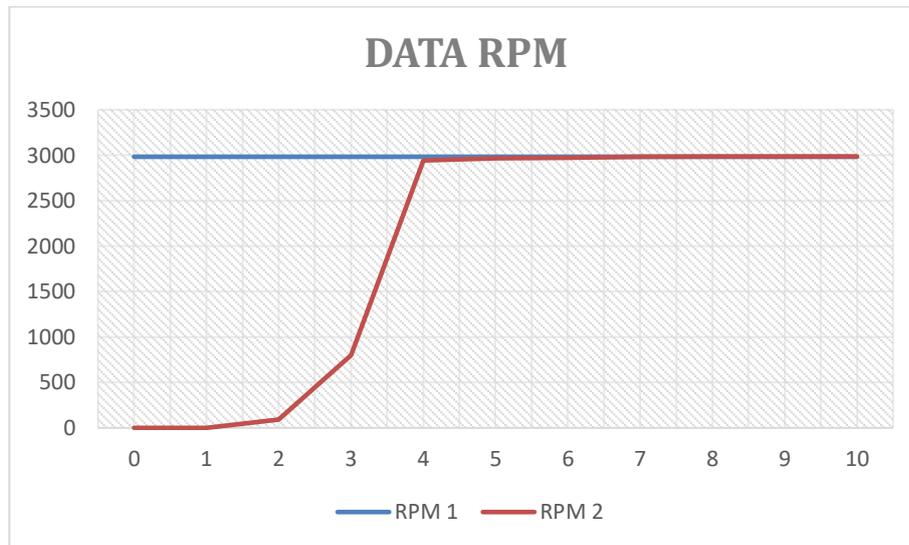
Untuk arus pengasutan, jika berdasarkan grafik hasilnya sudah mencapai tujuan yang diinginkan untuk dapat mengurangi *inrush current* pada motor induksi yang terjadi sebesar 1,48A menjadi 0,056A, dan juga sudah bisa untuk mencacah arus masukannya. Namun, untuk mendapatkan pengasutan arus yang secara linier belum terpenuhi, dilihat dari grafik hasil pengukuran terdapat penurunan arus pada detik ke-5.

Pada grafik, arus mengalami kenaikan dan mencapai arus konstan pada detik ke-7. Karena pengaruh beban motor induksi yang merupakan beban induktif, sehingga jika dibandingkan dengan tahanan, arus sedikit lebih lama untuk mencapai arus konstan. Sedangkan untuk *rise time* terjadi pada detik ke-3, *settling time* terjadi pada detik ke-8 dan tanpa terjadi *overshoot*.

Kemudian untuk data kecepatan motor didapatkan dengan mengukur putaran motor menggunakan alat tachometer. Berikut tabel dan grafik hasil pengukurannya.

Tabel 4. 12 Data Hasil Pengukuran Kecepatan Putaran Motor Menggunakan Tachometer

| RPM 1 | RPM 2 | WAKTU |
|--------------|--------------|--------------|
| 2983 | 0 | 0 |
| 2983 | 0 | 1 |
| 2983 | 91,6 | 2 |
| 2983 | 800,7 | 3 |
| 2983 | 2940 | 4 |
| 2983 | 2966 | 5 |
| 2983 | 2970 | 6 |
| 2983 | 2983 | 7 |
| 2983 | 2986 | 8 |
| 2983 | 2986 | 9 |
| 2983 | 2986 | 10 |



Gambar 4. 35 Grafik Data Hasil Pengukuran Kecepatan Putaran Motor Menggunakan Tachometer

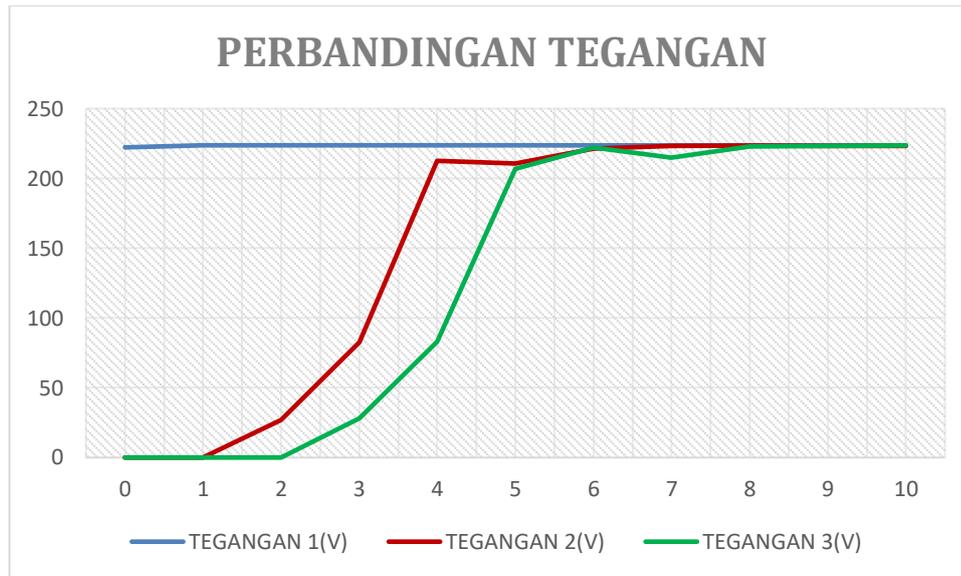
Berdasarkan tabel 4.12 dan gambar 4.35 grafik hasil pengukuran kecepatan motor. untuk “RPM 1” merupakan kecepatan motor induksi yang dijalankan tanpa menggunakan alat *soft starting*. Data ini diambil menggunakan tachometer selama 10 detik. Sedangkan “RPM 2” merupakan data kecepatan motor induksi yang yang dijalankan menggunakan alat *soft starting* dan diukur menggunakan tachometer. Pada grafik, kecepatan motor sampai pada kondisi *rise time* pada detik ke-4. Kemudian *settling time*-nya pada detik ke-7 dan tanpa terjadi *overshoot*.

Kemudian berikut ini data perbandingan antara *soft starting* yang menerapkan kontrol *fuzzy logic* dengan tanpa menerapkan kontrol *fuzzy logic*.

Tabel 4. 13 Data Hasil Perbandingan dan Pengukuran Tegangan Tanpa Penerapan *Fuzzy Logic*

| TEGANGAN 1 (V) | TEGANGAN 2 (V) | TEGANGAN 3 (V) | WAKTU (s) |
|-------------------|-------------------|-------------------|--------------|
| 222,2 | 0 | 0 | 0 |
| 223,7 | 0 | 0 | 1 |
| 223,7 | 26,8 | 0 | 2 |
| 223,7 | 82,6 | 27,9 | 3 |
| 223,7 | 212,6 | 82,8 | 4 |

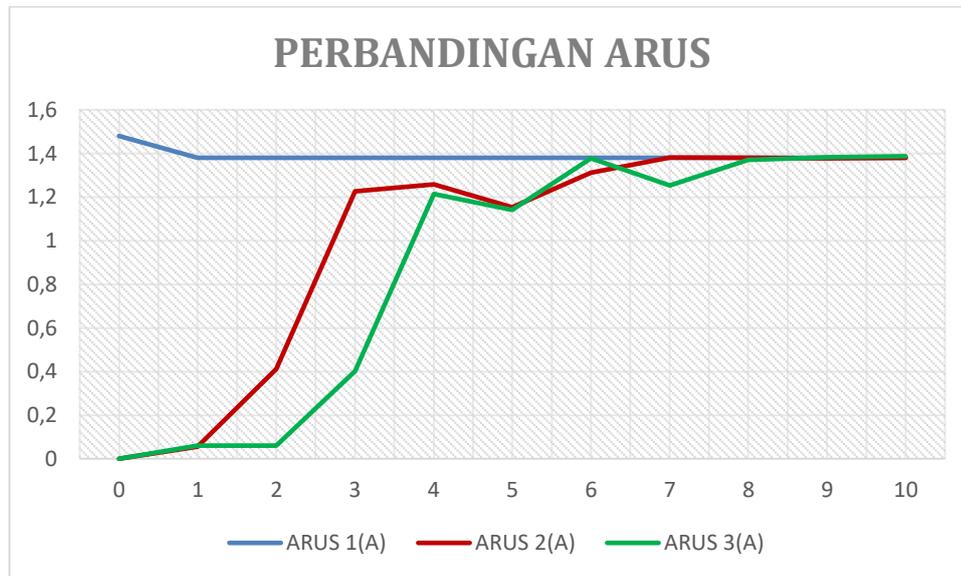
| | | | |
|-------|-------|-------|----|
| 223,7 | 210,7 | 207 | 5 |
| 223,5 | 221,4 | 222 | 6 |
| 223,5 | 223,3 | 214,8 | 7 |
| 223,5 | 223,5 | 222,7 | 8 |
| 223,5 | 223,3 | 223,4 | 9 |
| 223,5 | 223,3 | 223,6 | 10 |



Gambar 4. 36 Grafik Data Hasil Perbandingan dan Pengukuran Tegangan Tanpa Penerapan *Fuzzy Logic*

Tabel 4. 14 Data Hasil Perbandingan dan Pengukuran Arus Tanpa Penerapan *Fuzzy Logic*

| ARUS 1 (A) | ARUS 2 (A) | ARUS 3 (A) | WAKTU (s) |
|---------------|---------------|---------------|--------------|
| 1,48 | 0 | 0 | 0 |
| 1,38 | 0,056 | 0,06 | 1 |
| 1,38 | 0,412 | 0,059 | 2 |
| 1,38 | 1,226 | 0,401 | 3 |
| 1,38 | 1,257 | 1,214 | 4 |
| 1,38 | 1,152 | 1,14 | 5 |
| 1,38 | 1,312 | 1,378 | 6 |
| 1,38 | 1,381 | 1,254 | 7 |
| 1,38 | 1,379 | 1,371 | 8 |
| 1,38 | 1,378 | 1,383 | 9 |
| 1,38 | 1,379 | 1,387 | 10 |



Gambar 4. 37 Grafik Data Hasil Perbandingan dan Pengukuran Arus Tanpa Penerapan *Fuzzy Logic*

Berdasarkan tabel 4.13 dan tabel 4.14 serta gambar 4.36 dan gambar 4.37 grafik hasil perbandingan dan pengukuran tegangan serta arus. Untuk “Tegangan 1” dan “Arus 1” merupakan tegangan dan arus motor induksi yang dijalankan tanpa menggunakan alat *soft starting*. Data ini ambil menggunakan sensor pzem-004t selama 10 detik. Untuk “Tegangan 2” dan “Arus 2” merupakan data tegangan dan arus motor induksi yang diukur menggunakan *power quality analyzer* dengan motor induksi dijalankan menggunakan alat *soft starting* dengan kontrol *fuzzy logic*. Sedangkan “Tegangan 3” dan “Arus 3” merupakan data *soft starting* tanpa kontrol *fuzzy logic*.

Pada tabel dan grafik hasil pengukuran dan perbandingannya, diketahui bahwa secara bentuk grafik antara menggunakan kontrol *fuzzy* dengan tanpa menggunakan kontrol *fuzzy* memiliki bentuk grafik yang indentik. Perbedaannya terletak pada waktu untuk menuju ke tegangan dan arus konstannya serta nilai *rise time* dan *settling time*-nya yang sedikit lebih lama kurang lebih 1 sampai 2 detik pada *soft starting* tanpa menggunakan kontrol *fuzzy logic*.

Jadi, penerapan kontrol *fuzzy logic* pada alat *soft starting* mempengaruhi waktu bagi tegangan dan arus untuk mencapai nilai konstan, yang berdasarkan hasil pengujian jika menggunakan kontrol *fuzzy logic* dalam melakukan *soft starting* akan mempercepat tahapan proses mengalirkan tegangan dan arus ke motor untuk menuju ke nilai konstan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab penutup ini berisi kesimpulan yang didapatkan selama proses pembuatan proyek akhir yang berjudul “Perancangan *Soft Starting* pada Motor Induksi Satu Fasa” serta pemberian saran untuk pengembangan alat ini kedepannya.

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian pada proyek akhir ini, maka diperoleh beberapa kesimpulan yaitu:

1. Rangkaian *Solid State Relay* dan komponen TRIAC sudah baik dalam menjalankan fungsinya. Sehingga rangkaian kontrol dapat aman dari tegangan sumber 220V dan juga TRIAC sebagai komponen utama dalam melakukan *soft starting* dapat berjalan dengan baik pada motor induksi.
2. Sesuai dengan fungsinya, alat *soft starting* ini dapat menjalankan putaran awal motor yang terkendali dan secara linier. Juga alat mampu mengalirkan tegangan dan arus ke motor induksi secara bertahap sehingga dapat mengurangi masalah *inrush current* pada saat starting awal motor induksi.
3. Arduino Uno dalam fungsinya sebagai kontrol bagi komponen TRIAC sudah baik dalam menjalankan metode *fuzzy logic*. Sehingga tidak ada kekeliruan dalam menghasilkan sinyal keluarannya.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat kami usulkan untuk mengembangkan proyek akhir ini adalah.

1. Jika menggunakan alat *soft starting* dalam jangka waktu yang lama ketika menjalankan motor induksi, sangat disarankan untuk mengalihkan kerja alat ke *relay* atau kontak yang sejenisnya. Supaya komponen TRIAC tidak

mengalami panas yang berlebih karena difungsikan dalam jangka waktu yang lama.

2. Desain pada kontrol *fuzzy logic* dapat diperbaiki kembali untuk mendapatkan grafik *surface fuzzy* yang lebih baik dan linier.
3. Penggunaan *box* panel dapat diganti menggunakan tempat yang lebih minimalis dan dengan desain yang lebih kreatif untuk menambah kesan yang lebih menarik pada alat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yoki Rizal Fauzi, *PERANCANGAN SOFT STARTING PADA MOTOR INDUKSI 3 FASA MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER ATMEGA328*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
- [2] Agung Sugiharto B, *SOFT STARTING DAN DYNAMIC BRAKING PADA MOTOR INDUKSI TIGA FASA MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER AT89S51*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- [3] Soeprapto,Wijono Ardhito Primatama, "Perancangan Soft Starter Motor Induksi Satu Fasa dengan Metode Closed Loop Menggunakan Mikrokontroler Arduino," vol. 1, no. 2, 2013.
- [4] Syukriyadin,Mahdi Syukri Agus Saputra, "Perancangan Rangkaian Pengasutan Soft Starting Pada Motor Induksi 3 Fasa Berbasis Arduino Nano ," *KITEKTRO: Jurnal Online Teknik Elektro*, vol. 2, no. 4, pp. 45-51, 2017.
- [5] Tirta Wisesa, *PERANCANGAN PENGATURAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI SATU FASA DENGAN PWM MENGGUNAKAN PENGENDALI PID BERBASIS ARDUINO*. Bengkulu, Indonesia: Universitas Bengkulu, 2014.
- [6] Stephen J Chapman, *ELECTRIC MACHINERY FUNDAMENTALS*. McGraw Hill, New York, 2005.
- [7] Syed A Nasar Ion Boldea, *The Induction Machine Handbook: Electric Power Engineering Series*. Boca Raton: CRC Press, 2010.
- [8] Darwison Darwison, Budi Rahmadya, Derisma Derisma Dhanny Jufril, "IMPLEMENTASI MESIN PENETAS TELUR AYAM OTOMATIS

MENGGUNAKAN METODA FUZZY LOGIC CONTROL," *PROSIDING: Seminar Nasional Sains dan Teknologi*, 2015.

- [9] Onny Setyawati, Hadi Suyono Helmy Mukti Himawan, "Pemodelan Fuzzy Logic Control untuk Pengendali PWM pada Buck Converter," *JNTETI: Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknolog Informasi*, vol. 5, no. 1, 2016.
- [10] Hari Purnomo Sri Kusumadewi, *Aplikasi Logika Fuzzy untuk pendukung keputusan*. Jakarta, Indonesia: Graha Ilmu, 2004.
- [11] T A Folger G J Klir, *Fuzzy sets, uncertainty, and information.*: Englewood Cliffs, N.J. : Prentice Hall, 1988.

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1
DAFTAR RIWAYAT HIDUP

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

1. Data Pribadi

Nama : Muhammad Zaki
Tempat Tanggal Lahir : Sungailiat, 30 November 1998
Alamat : Jl. Depati Barin Srimenanti
No. 11 A
Email : mzakky372@gmail.com
Status : Mahasiswa
Hp : 087766081419
Jenis Kelamin : Laki-laki
Agama : Islam



2. Riwayat Pendidikan

| | | |
|-----------------------------|-------|------|
| SDN 2 Sungailiat | Lulus | 2011 |
| SMP Muhammadiyah Sungailiat | Lulus | 2014 |
| SMAN 1 Pemali | Lulus | 2017 |

3. Pendidikan Non Formal

Sungailiat, 10 Maret 2021



Muhammad Zaki

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

1. Data Pribadi

Nama : Nurhazizah
Tempat Tanggal Lahir : Sungailiat, 04 Juli 1998
Alamat : Jl. Hotel Parai Indah,
Lingkungan Matras RT.06
Email : hazizahn55@gmail.com
Status : Mahasiswa
Hp : 085273792552 / 081440076398
Jenis Kelamin : Perempuan
Agama : Islam



2. Riwayat Pendidikan

| | |
|-------------------|------------|
| SDN 20 Sungailiat | Lulus 2010 |
| SMPN 1 Sungailiat | Lulus 2013 |
| SMAN 1 Sungailiat | Lulus 2016 |

3. Pendidikan Non Formal

Sungailiat, 10 Maret 2021

Nurhazizah

LAMPIRAN 2
PROGRAM

```

#include <Fuzzy.h>

#include <TimerOne.h>

volatile int i=0;

volatile boolean zero_cross=0;

int AC_pin = 3;

float dim = 128;

int inc=1;

int freqStep = 75;

// Instantiating a Fuzzy object
Fuzzy *fuzzy = new Fuzzy();

void setup()
{
  Serial.begin(9600);

  // Set a random seed

  pinMode(AC_pin, OUTPUT);

  attachInterrupt(0, zero_cross_detect, RISING);

  Timer1.initialize(freqStep);

  Timer1.attachInterrupt(dim_check, freqStep);

  FuzzyInput *time = new FuzzyInput(1);

  FuzzySet *awal = new FuzzySet(-50, 0, 0, 46.67);

  time->addFuzzySet(awal);

  FuzzySet *tengah = new FuzzySet(0, 50, 50, 100);

  time->addFuzzySet(tengah);

```

```
FuzzySet *akhir = new FuzzySet(53.81, 100, 100, 150);
```

```
time->addFuzzySet(akhir);
```

```
fuzzy->addFuzzyInput(time);
```

```
FuzzyOutput *dimmer = new FuzzyOutput(1);
```

```
FuzzySet *minimum = new FuzzySet(-32, 0, 0, 32);
```

```
dimmer->addFuzzySet(minimum);
```

```
FuzzySet *middle = new FuzzySet(32, 64, 64, 96);
```

```
dimmer->addFuzzySet(middle);
```

```
FuzzySet *maksimum = new FuzzySet(96, 128, 128, 160);
```

```
dimmer->addFuzzySet(maksimum);
```

```
fuzzy->addFuzzyOutput(dimmer);
```

```
FuzzyRuleAntecedent *ifTimeAwal = new FuzzyRuleAntecedent();
```

```
ifTimeAwal->joinSingle(awal);
```

```
FuzzyRuleConsequent *thenDimmerMinimum = new FuzzyRuleConsequent();
```

```
thenDimmerMinimum->addOutput(minimum);
```

```
FuzzyRule *fuzzyRule01 = new FuzzyRule(1, ifTimeAwal,  
thenDimmerMinimum);
```

```
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule01);
```

```
FuzzyRuleAntecedent *ifTimeTengah = new FuzzyRuleAntecedent();
```

```
ifTimeTengah->joinSingle(tengah);
```

```
FuzzyRuleConsequent *thenDimmerMiddle = new FuzzyRuleConsequent();
```

```
thenDimmerMiddle->addOutput(middle);
```

```

    FuzzyRule *fuzzyRule02 = new FuzzyRule(2, ifTimeTengah,
thenDimmerMiddle);

    fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule02);

    FuzzyRuleAntecedent *ifTimeAkhir = new FuzzyRuleAntecedent();
    ifTimeAkhir->joinSingle(akhir);

    FuzzyRuleConsequent *thenDimmerMaksimum = new FuzzyRuleConsequent();
    thenDimmerMaksimum->addOutput(maksimum);

    FuzzyRule *fuzzyRule03 = new FuzzyRule(3, ifTimeAkhir,
thenDimmerMaksimum);
    fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule03);

    delay(1000);
}

void zero_cross_detect() {
    zero_cross = true;
    i=0;
    digitalWrite(AC_pin, LOW);
}

void dim_check() {
    if(zero_cross == true) {
        if(i>=dim) {
            digitalWrite(AC_pin, HIGH);
            i=0;
            zero_cross = false;
        }
    }
}

```

```

else {
    i++;
}
}
}
int j=101;
void loop()
{
if(j==101){
    for(j; j>=0; j--){
        int input = j;
        fuzzy->setInput(1, input);
        fuzzy->fuzzify();
        float output = fuzzy->defuzzify(1);
        dim = output;
        Serial.println(dim);
        delay(50);
    }
}
dim = 0;
delay(1);
}

```