

## ABSTRAK

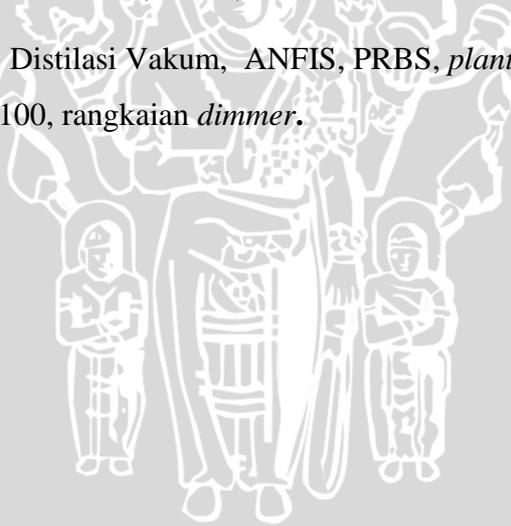
**A.Zaky Balya Anggara**, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Agustus 2014, *Identifikasi Model Fuzzy Pada Proses Distilasi Vakum Bioetanol*, Dosen Pembimbing: M.Aziz Muslim ST.,MT.,PhD. dan Goegoes Dwi Nusantoro. ST., MT

*Abstrak*—Bioetanol merupakan bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar fosil. Pada penelitian ini dikembangkan pembuatan bioetanol dengan distilasi vakum pada suhu dan tekanan tertentu. Awal pengembangan yang dilakukan adalah mengidentifikasi *plant* suhu pada proses distilasi vakum. Struktur model yang digunakan untuk identifikasi sistem adalah ANFIS (*Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*).

Penelitian ini menggunakan sensor suhu PT100 untuk mendeteksi suhu bahan baku. Data dari sensor diproses dan diakuisis menggunakan mikrokontroler Arduino Mega. Data terkontrol dikirim ke rangkaian *dimmer* sebagai *driver* aktuator elemen pemanas. Sinyal uji yang digunakan sebagai masukan sistem adalah *Pseudo Random Binary Sequence* (PRBS).

Dari pengujian yang telah dilakukan didapatkan hasil pelatihan data dengan *Root Mean Squared Error* (RMSE) = 0.22527 dan pengecekan data dengan *Root Mean Squared Error* (RMSE) = 0.2253.

**Kata Kunci** : Bioetanol, Distilasi Vakum, ANFIS, PRBS, *plant* suhu, Arduino Mega, PT100, rangkaian *dimmer*.



## KATA PENGANTAR

Assalamualaikum wr.wb. Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik dari jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan, bimbingan serta dorongan dari semua pihak penyelesaian skripsi ini tidak mungkin bisa terwujud. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar – besarnya kepada :

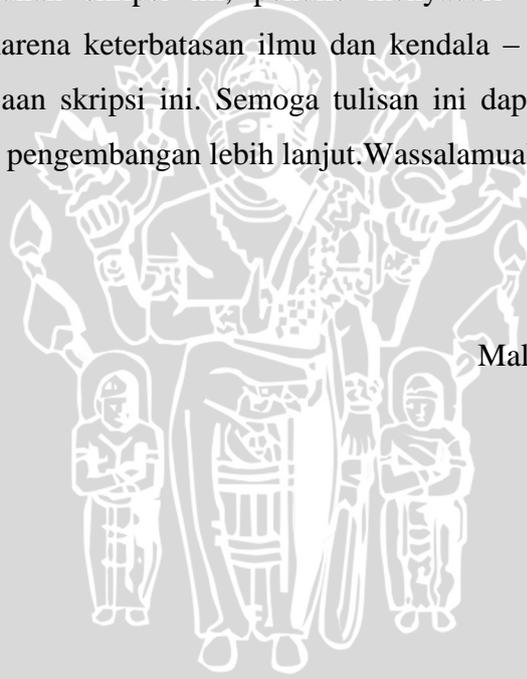
1. Allah SWT yang telah memberikan kelancaran, kemudahan dan hidayahNya.
2. Ayah dan Ibu tercinta, serta adik yang telah banyak memberikan kasih sayang, dukungan, doa serta semangat.
3. Bapak M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D. selaku ketua jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang dan dosen pembimbing skripsi yang telah banyak memberikan pengarahan, bimbingan dalam penyelesaian ini serta atas segala bentuk bantuan, saran dan motivasinya yang membangun..
4. Bapak Hadi Suyono ST., MT., Ph.D selaku Sekretaris jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
5. Bapak Ir. Purwanto, MT. selaku KKDK Sistem Kontrol.
6. Goegoes Dwi Nusantoro ST., MT. selaku dosen pembimbing skripsi yang telah banyak memberikan pengarahan, bimbingan dalam penyelesaian ini serta atas segala bentuk bantuan, saran dan motivasinya yang membangun.
7. Bapak, Ibu dosen serta segenap staf dan karyawan Jurusan Teknik Elektro baik secara langsung maupun tidak langsung yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.
8. Rekan – rekan Asisten Laboratorium Sistem Kontrol.
9. Rekan – rekan mahasiswa Teknik Elektro Brawijaya, keluarga Ampere '09 serta sahabat – sahabatku terima kasih untuk semuanya.

10. Salmi, Akhbar dan Terry terima kasih telah menjadi tim terbaik sepanjang masa.
11. Koko Ari, ayah Yoyok, Gindho91, Adam Lalana yang telah sudi meluangkan waktu untuk bercanda dan bercengkerama bersama selama tinggal di rumah.
12. Para anggota Hamzah Crew yang telah memberikan semangat untuk mengerjakan skripsi ini.
13. Barisan para mantan dan kekasih yang tertunda yang telah memberi motivasi dalam mengerjakan skripsi ini.
14. Semua pihak yang telah memberikan bantuan serta dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung atas penyusunan skripsi ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa skripsi ini belumlah sempurna, karena keterbatasan ilmu dan kendala – kendala lain yang terjadi selama pengerjaan skripsi ini. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat dan dapat digunakan untuk pengembangan lebih lanjut. Wassalamualaikum wr.wb.

Malang, Agustus 2014

Penulis



DAFTAR ISI

**ABSTRAK** ..... i

**KATA PENGANTAR**..... ii

**DAFTAR ISI**..... iv

**DAFTAR GAMBAR**..... vii

**DAFTAR TABEL** ..... ix

**PENDAHULUAN**..... 1

    1.1 Latar Belakang ..... 1

    1.2 Rumusan Masalah ..... 2

    1.3 Batasan Masalah ..... 3

    1.4 Tujuan ..... 3

    1.5 Manfaat ..... 3

    1.6 Sistematika Pembahasan ..... 3

**TINJAUAN PUSTAKA**..... 5

    2.1 Bioetanol ..... 5

    2.2 Distilasi ..... 5

    2.3 Sensor Suhu..... 8

    2.4 Elemen Pemanas (*Heater*) ..... 8

    2.5 Rangkaian *Dimmer* ..... 10

        2.5.1 Rangkaian TRIAC..... 10

        2.5.2 Rangkaian Zero Cross Detector ..... 10

    2.6 Arduino Mega ..... 11

    2.7 Dasar Identifikasi Sistem ..... 12

        2.7.1 Perancangan Percobaan..... 13

        2.7.2 Penentuan Struktur Model..... 16

        2.5.3 Validasi ANFIS ..... 19

        2.5.4 Pengecekan Data ANFIS..... 19

**METODE PENELITIAN** ..... 20

    3.1 Penentuan Spesifikasi Alat..... 20

    3.2 Perancangan Sistem ..... 20

    3.3 Realisasi Pembuatan Sistem..... 21

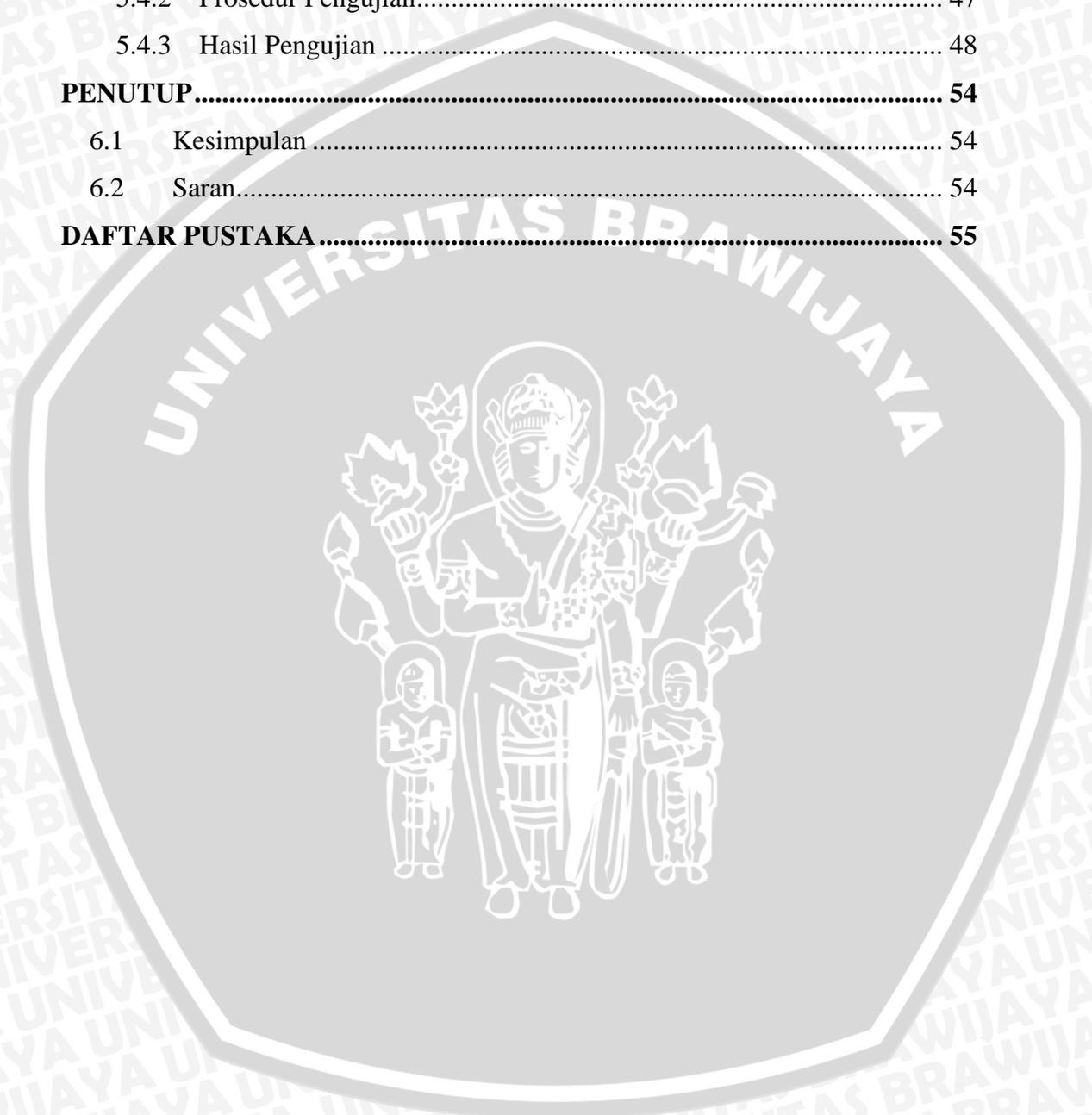
    3.4 Pengujian dan Analisa Data ..... 21



3.5	Pengambilan Kesimpulan .....	22
<b>PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT .....</b>		<b>23</b>
4.1	Perancangan Sistem .....	23
4.2	Diagram Blok Sistem .....	23
4.3	Perancangan Perangkat Keras .....	24
4.3.1	Pemilihan Elemen Pemanas .....	24
4.3.2	Rangkaian <i>Dimmer</i> .....	25
4.3.3	Perancangan Rangkaian Sensor Suhu PT100 .....	26
4.3.3.1	Rangkaian Jembatan Wheatstone .....	26
4.3.3.2	Penguat Instrumentasi .....	27
4.4	Perancangan Identifikasi <i>Plant</i> .....	28
4.4.1	Pengambilan Data <i>Input-Output</i> .....	28
4.4.2	Menentukan Struktur Model .....	29
4.4.3	Menentukan <i>Input</i> .....	30
4.4.4	Menentukan Fungsi Keanggotaan .....	31
4.4.5	Pelatihan Data FIS ( <i>Training</i> ) .....	34
4.4.6	Validasi .....	34
4.5	Modul Arduino Mega 2560 .....	34
4.6	Perancangan Perangkat Lunak .....	36
4.6.1	Perangkat Lunak Pengambilan Data <i>Input-Output</i> .....	36
4.6.2	Perangkat Lunak MATLAB .....	37
<b>PENGUJIAN DAN ANALISIS SISTEM .....</b>		<b>38</b>
5.1	Pengujian Sensor .....	38
5.1.1	Peralatan yang digunakan .....	38
5.1.2	Prosedur Pengujian .....	38
5.1.3	Hasil Pengujian .....	39
5.2	Pengujian Penyulutan TRIAC .....	40
5.2.1	Peralatan yang digunakan .....	41
5.2.2	Prosedur Pengujian .....	41
5.2.3	Hasil Pengujian .....	41
5.3	Pengujian Rangkaian <i>Dimmer</i> .....	45
5.3.1	Peralatan yang Digunakan .....	45



5.3.2	Prosedur Pengujian.....	45
5.3.3	Hasil Pengujian .....	45
5.4	Pengujian Keseluruhan Sistem.....	46
5.4.1	Peralatan yang Digunakan.....	47
5.4.2	Prosedur Pengujian.....	47
5.4.3	Hasil Pengujian .....	48
<b>PENUTUP.....</b>		<b>54</b>
6.1	Kesimpulan .....	54
6.2	Saran.....	54
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>55</b>



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Dasar Pembuatan Bioetanol. .... 5

Gambar 2.2 Titik Didih Campuran Etanol-Air pada Tekanan 1 Atmosfer.... 6

Gambar 2.3 Distilasi Alkohol pada Tekanan di Bawah 1 Atmosfer ..... 7

Gambar 2.4 Proses Pembuatan Bioetanol dengan Distilasi Vakum ..... 7

Gambar 2.5 Sensor Suhu PT 100..... 8

Gambar 2.6. Elemen Pemanas Listrik Keramik Spiral (a), Elemen Pemanas Listrik Silika Berbagai Bentuk (b) ..... 9

Gambar 2.7 Elemen Pemanas Listrik Berlapis Pipa (a), Elemen Pemanas Listrik Berlapis Logam..... 9

Gambar 2.8 AC Dimmer Module Lite (v1.1)..... 10

Gambar 2.9 Tampak Depan Arduino Mega..... 11

Gambar 2.10 Bagan Prosedur Identifikasi ..... 13

Gambar 2.11 Register Geser 5 Bit dengan Umpan Balik..... 15

Gambar 3.1 Komponen Sistem Keseluruhan ..... 21

Gambar 4.1 Diagram Blok Pengambilan Data..... 23

Gambar 4.2 Elemen Pemanas yang Menempel pada Jaket ..... 25

Gambar 4.3 Skema Rangkaian Dimmer ..... 25

Gambar 4.4 Modul Rangkaian Dimmer ..... 25

Gambar 4.5 Diagram Blok Perancangan Sensor Suhu PT100 ..... 26

Gambar 4.6 Skema Rancangan Rangkaian Pengondisi Sensor Suhu PT100 27

Gambar 4.9 (a) Seleksi *input* pertama, (b) Seleksi *input* kedua, (c) Seleksi *input* ketiga. .... 31

Gambar 4.9 Fungsi keanggotaan *Input* ANFIS pertama, (b) fungsi keanggotaan *Input* ANFIS kedua, (c) fungsi keanggotaan *input* ketiga..... 32

Gambar 4.10 Rule dari ANFIS ..... 33

Gambar 4.11 Output dari ANFIS..... 33

Gambar 4.12 Modul Arduino Mega 2560 ..... 35

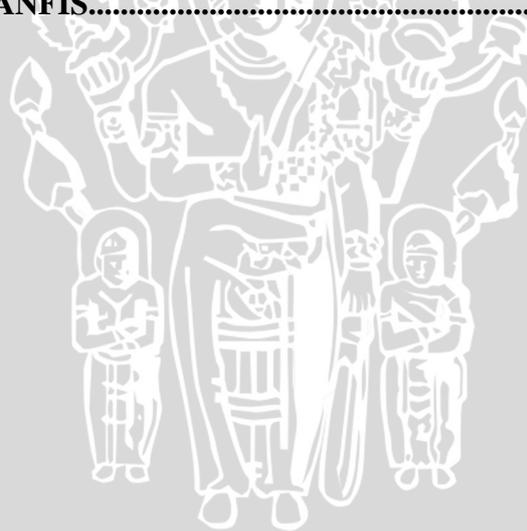
Gambar 4.13 Diagram Alir Pengambilan Data *Input-Output*..... 37

Gambar 4.13 Diagram Alir Estimasi dan Validasi Model pada SID MATLAB ..... 38

Gambar 5.1 Rangkaian Pengujian Sensor Suhu PT100..... 39



<b>Gambar 5.2</b>	<b>Rangkaian Pengujian Sudut Penyalaan TRIAC .....</b>	<b>41</b>
<b>Gambar 5.3</b>	<b>Bentuk Gelombang Keluaran Arduino (a), Bentuk gelombang Keluaran TRIAC (b), Bentuk Gelombang Keluaran Arduino dan TRIAC (c) dengan sudut penyalaan 90° .....</b>	<b>42</b>
<b>Gambar 5.4</b>	<b>Rangkaian Pengujian Keseluruhan .....</b>	<b>47</b>
<b>Gambar 5.5</b>	<b>Grafik Uji Karakteristik <i>Plant</i> Suhu .....</b>	<b>48</b>
<b>Gambar 5.6</b>	<b>Grafik Sinyal PRBS 8 bit .....</b>	<b>48</b>
<b>Gambar 5.7</b>	<b>Grafik Respon <i>Plant</i> Suhu dengan Sinyal Uji PRBS 8 bit.....</b>	<b>49</b>
<b>Gambar 5.8</b>	<b>Grafik nilai <math>u(k)</math> dan <math>y(k)</math>.....</b>	<b>49</b>
<b>Gambar 5.9</b>	<b>Grafik Pemilihan <i>Input</i> .....</b>	<b>50</b>
<b>Gambar 5.10</b>	<b>Grafik Pelatihan dan Pengecekan Data.....</b>	<b>51</b>
<b>Gambar 5.11</b>	<b>Grafik Fungsi Keanggotaan Pelatihan Input 1.....</b>	<b>52</b>
<b>Gambar 5.12</b>	<b>Grafik Fungsi Keanggotaan Pelatihan Input 2.....</b>	<b>52</b>
<b>Gambar 5.13</b>	<b>Grafik Fungsi Keanggotaan Pelatihan Input 3.....</b>	<b>52</b>
<b>Gambar 5.14</b>	<b>Ouput ANFIS.....</b>	<b>53</b>



**DAFTAR TABEL**

**Tabel 2.1 Tabel Variasi Panjang Seekuensial PRBS ..... 14**

**Tabel 4.1. Periode Sampling Berdasarkan Jenis Plant..... 28**

**Tabel 4.2 Penggunaan Pin Pada Arduino Mega ..... 35**

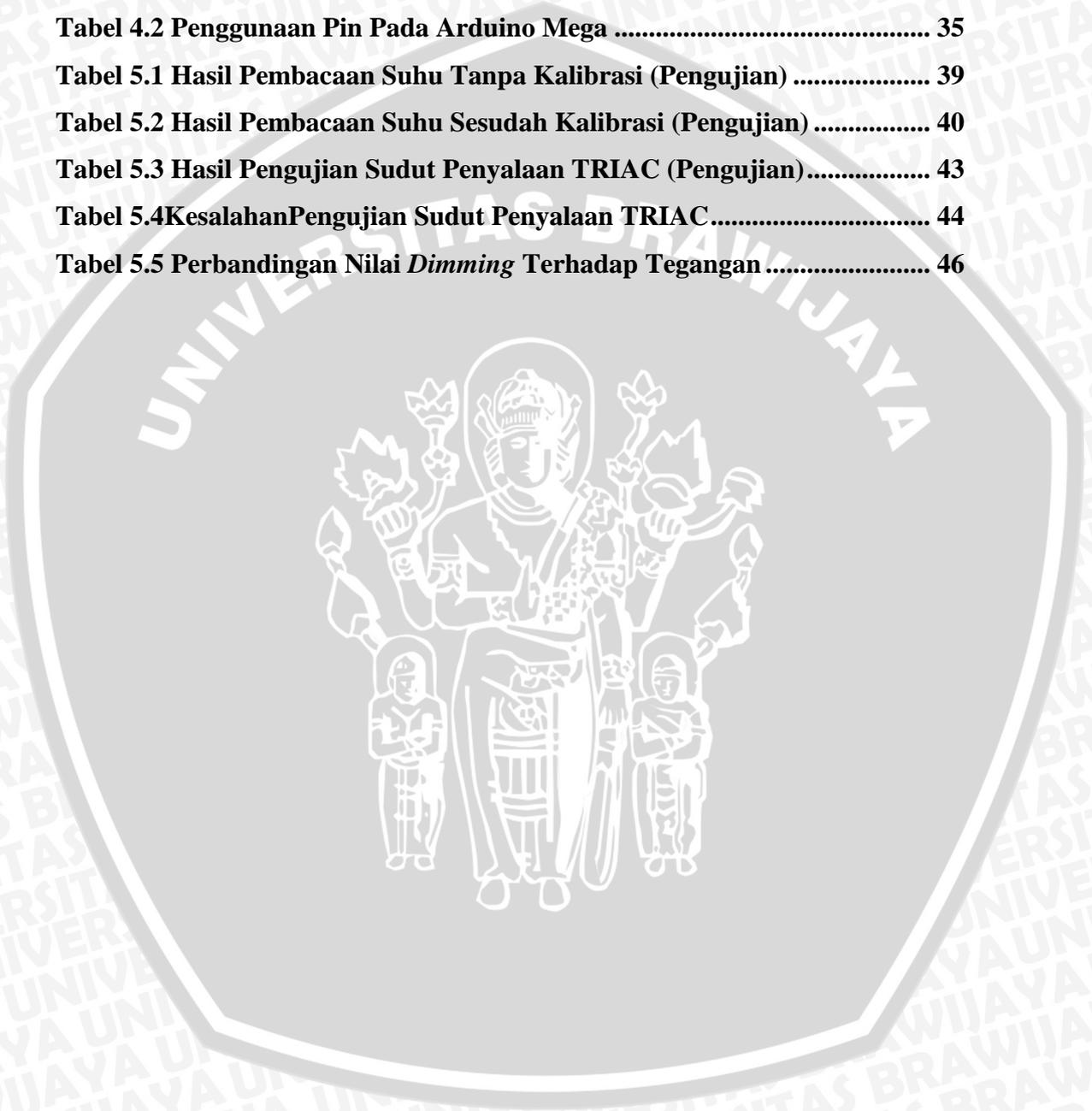
**Tabel 5.1 Hasil Pembacaan Suhu Tanpa Kalibrasi (Pengujian) ..... 39**

**Tabel 5.2 Hasil Pembacaan Suhu Sesudah Kalibrasi (Pengujian) ..... 40**

**Tabel 5.3 Hasil Pengujian Sudut Penyalaan TRIAC (Pengujian)..... 43**

**Tabel 5.4 Kesalahan Pengujian Sudut Penyalaan TRIAC..... 44**

**Tabel 5.5 Perbandingan Nilai *Dimming* Terhadap Tegangan ..... 46**



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dengan berkembangnya zaman, kebutuhan akan energi semakin tinggi. Menurut proyeksi dari *International Energy Agency* (IEA), permintaan energi rata-rata akan mengalami peningkatan sebesar 1,6% per tahun. Sekitar 80% kebutuhan energi dunia tersebut dipasok dari bahan bakar fosil. Di sisi lain, menurut para ahli minyak bumi, bahan bakar fosil diperkirakan akan habis 30 tahun lagi. Untuk menanggulangi masalah tersebut, diperlukan sumber bahan bakar alternatif sebagai pengganti bahan bakar fosil.

Kendaraan bermotor adalah salah satu contoh pengonsumsi bahan bakar fosil dalam jumlah besar, utamanya adalah untuk jenis bensin. Dengan dasar ini, telah dilakukan pencarian alternatif untuk mengganti bahan bakar tersebut. Akhirnya ditemukan Bioetanol yang merupakan bahan bakar pengganti bensin yang cukup menjanjikan. Bioetanol didapatkan dari proses fermentasi bahan-bahan nabati yang memiliki kandungan gula. Bahan-bahan tersebut dapat berupa tebu, singkong, kentang, kayu, rumput dan sebagainya (Wyman, C.E., (1996)).

Adapun proses pembuatan bioetanol diawali dengan ekstraksi gula dari bahan nabati. Selanjutnya dilakukan fermentasi dengan menggunakan bahan-bahan kimiawi. Dari proses ini dihasilkan bioetanol dengan prosentase rendah, sekitar 7%-10%. Proses dilanjutkan dengan melakukan distilasi yang umumnya mampu menghasilkan alkohol dengan prosentase sekitar 70%. Hasil distilasi dapat ditingkatkan hingga mencapai 95% dengan menggunakan teknik *reflux*. Secara teori proses distilasi tidak akan dapat menghasilkan bioetanol dengan kadar di atas 95%. Hal ini dikarenakan fenomena terbentuknya azeotrope dari air dan etanol. Untuk meningkatkan kadar alkohol 99.5% biasanya dilakukan dengan penambahan zat pengabsorpsi air. Proses absorpsi ini memakan waktu 2-3 hari. Cara lain untuk mengatasi lamanya waktu pengabsorpsi ini adalah dengan mengatur tekanan sampai mendekati kondisi vakum. Maka dari itu dibutuhkan pengendalian suhu dan tekanan untuk proses distilasi, sehingga suhu dan tekanan yang diinginkan bisa terjaga sesuai dengan yang diinginkan.

Untuk membangun sebuah model dari suatu sistem fisik seperti di atas dapat dilakukan dengan 2 cara, yaitu melalui pendekatan analisis dan eksperimen. Untuk metode dengan pendekatan analisis, sistem yang nyata diwakili oleh sebuah gabungan elemen-elemen pembentuk yang dianggap ideal. Kelemahan dari metode ini terletak pada pengidealan komponen pembentuk yang tentunya akan mempengaruhi ketepatan model yang akan diperoleh, selain itu kompleksitas persamaan matematis dari hukum fisika maupun kimia yang harus diselesaikan akan melibatkan persamaan matematis yang semakin banyak dan semakin rumit. Ketidaksiediaan informasi mengenai komponen-komponen yang ada di dalam sistem tersebut juga akan mempersulit dalam melakukan pemodelan. Oleh karena itu, digunakanlah metode yang kedua yaitu dengan metode melalui pendekatan eksperimen.

Metode dengan pendekatan secara eksperimen biasa disebut dengan metode identifikasi. Pembentukan model matematis dibentuk berdasarkan data observasi yang diperoleh dari sistem fisik yang akan dimodelkan, maksudnya setiap data masukan dan keluaran dari sistem tersebut akan dicatat yang kemudian pasangan-pasangan data tersebut akan dikalkulasi menggunakan suatu algoritma identifikasi. Metode identifikasi memiliki kelebihan utama dibanding metode analisis yaitu sistem fisik yang akan dimodelkan dianggap sebagai suatu *black box* atau kotak hitam yang apapun jenis komponen yang terdapat di dalamnya tidak perlu dipermasalahkan.

Berdasar pada uraian latar belakang yang telah disebutkan, pada skripsi ini akan dikembangkan suatu identifikasi sistem pengendalian suhu pada proses distilasi berbasis model ANFIS yang terhubung dengan suatu perangkat komputer. Hasil dari identifikasi kedepannya akan sangat berguna dalam perancangan strategi kontrol.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang masalah di atas, dibuat rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang dan membuat sistem pengendalian suhu pada proses *distilasi* bioetanol menggunakan ANFIS?
2. Bagaimana merancang hardware dan software sistem pengendalian suhu pada proses *distilasi* bioetanol menggunakan Identifikasi ANFIS?

### 1.3 Batasan Masalah

Dalam perancangan, masalah-masalah yang dibatasi adalah sebagai berikut :

1. *Vacuum Distiller* yang digunakan adalah *prototype* dengan desain sendiri.
2. Mekanisme terjadinya Bioetanol tidak dibahas secara mendalam
3. Pembahasan ditekankan pada proses identifikasi pengendalian suhu pada sistem.
4. Sensor yang digunakan adalah sensor suhu jenis PT100.
5. Pengendalian suhu diatur melalui pengaturan elemen pemanas.
6. Pengaturan tekanan diatur secara manual.
7. Kinerja driver dan elektronika tidak dibahas mendalam
8. Bahan baku yang digunakan untuk fermentasi sebanyak 15 liter tetes tebu

### 1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari skripsi ini adalah untuk merancang identifikasi model *fuzzy* pada proses distilasi vakum bioethanol.

### 1.5 Manfaat

Perancangan sistem *hardware* dan *software* untuk pemodelan menggunakan struktur model *fuzzy* diharapkan dapat membantu dalam mengidentifikasi plant suhu pada proses distilasi vakum bioetanol dengan melakukan pelatihan dan pengecekan data sehingga hasilnya nanti akan sangat berguna dalam penentuan pemilihan kontroler dan strategi kontrol untuk menyelesaikan permasalahan kontrol.

### 1.6 Sistematika Pembahasan

#### **BAB I** Pendahuluan

Bab ini berisi tentang uraian latar belakang, tujuan, batasan masalah, rumusan masalah, manfaat serta sistematika penulisan.

#### **BAB II** Tinjauan Pustaka

Tinjauan Pustaka berisi dasar teori penunjang penelitian. Pustaka yang diambil adalah pustaka yang relevan dan sesuai serta mendukung penelitian, seperti buku-buku teori bioetanol, distilasi vakum, sensor suhu PT100, identifikasi sistem, Arduino dan lain-lain. Selain dari buku pustaka juga akan diambil dari jurnal, internet, dan sumber pengetahuan yang lain.

### **BAB III Metodologi Penelitian**

Bab ini berisi tentang metode yang digunakan dalam pengerjaan alat seperti perancangan dan pembuatan rangkaian *interface*, pengujian alat, pengambilan data dan analisis data yang digunakan dalam skripsi ini.

### **BAB IV Perancangan dan Pembuatan Modul Identifikasi Sistem**

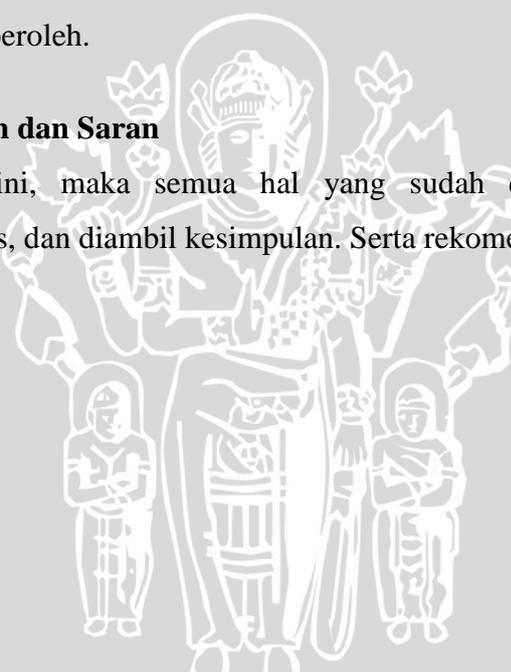
Bab ini menjelaskan tentang perancangan dan pembuatan alat yang meliputi prinsip kerja alat, perancang perangkat keras dan perangkat lunak.

### **BAB V Pengujian dan Analisis Sistem**

Bab ini berisi tentang hasil pengujian sistem yang sudah dibuat, serta analisis hasil yang diperoleh.

### **BAB VI Kesimpulan dan Saran**

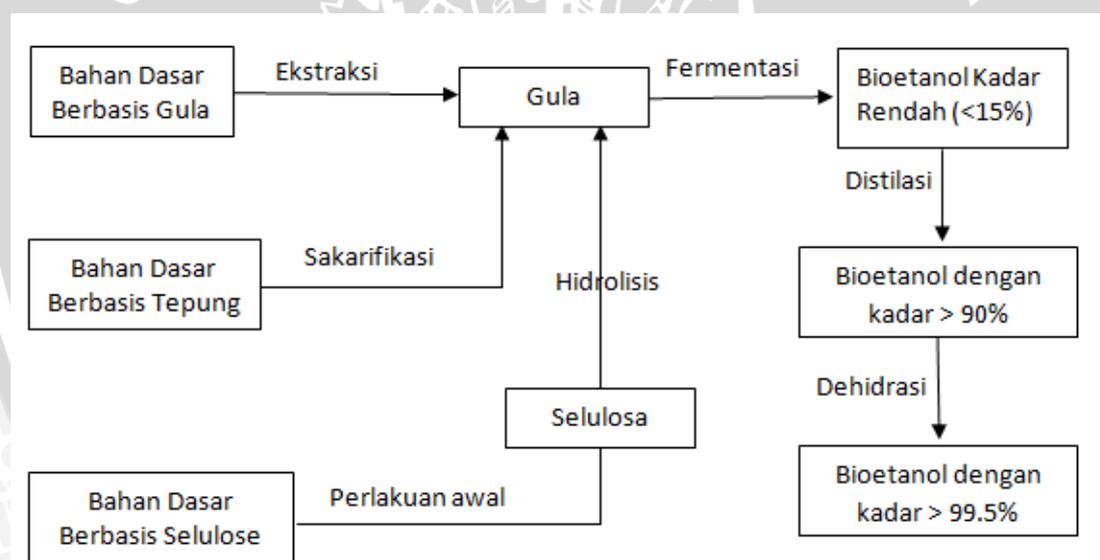
Dalam bab ini, maka semua hal yang sudah dikerjakan pada bab sebelumnya, dianalisis, dan diambil kesimpulan. Serta rekomendasi dan saran untuk pengembangan alat.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Bioetanol

Bioetanol dapat diproduksi dari bahan-bahan nabati yang memiliki kandungan gula. Gambar 2.1 memperlihatkan 3 bahan dasar untuk memproduksi bioetanol. Bahan dasar yang pertama adalah bahan dasar yang berbasis gula. Masuk dalam kategori ini adalah tebu dan *sweet sorghum*. Selain tebu itu sendiri, hasil sampingan dari proses produksi gula, yaitu tetes tebu (*molase*) dan *bagasse*. Bahan dasar yang kedua adalah berbasis tepung. Pada umumnya bahan makanan pokok manusia (jagung, kentang, singkong dsb) masuk dalam kategori ini. Bahan dasar yang ketiga berbasis selulosa. Masuk dalam kategori ini adalah kayu, rumput dan sisa hasil panen. Dari ketiga bahan dasar tersebut, setelah terbentuknya gula akan menjalani proses yang sama untuk menjadi bioetanol, yaitu fermentasi dan distilasi.



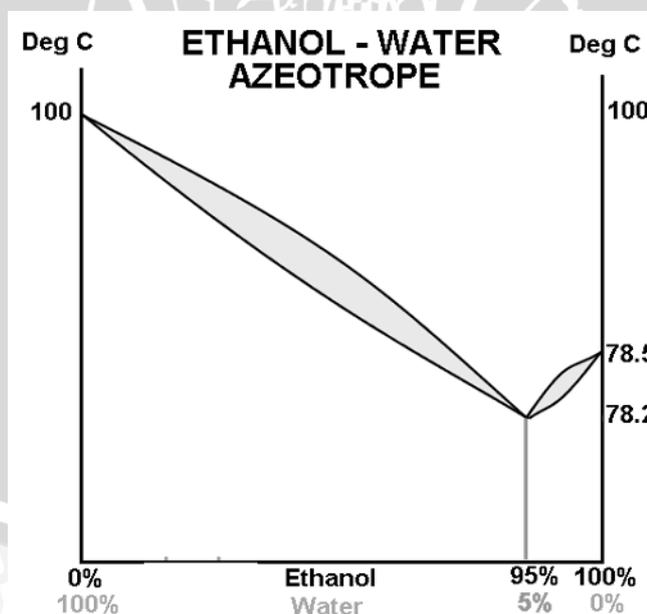
**Gambar 2.1** Proses Dasar Pembuatan Bioetanol.

### 2.2 Distilasi

Secara umum, distilasi atau penyulingan adalah suatu metode pemisahan bahan kimia berdasarkan perbedaan kecepatan atau kemudahan menguap (volatilitas) bahan. Pada proses penyulingan, campuran zat dididihkan sampaimenguap dan uap ini kemudian didinginkan kembali dalam bentuk cairan. Zat yang memiliki titik didih lebih rendah akan menguap lebih dulu.

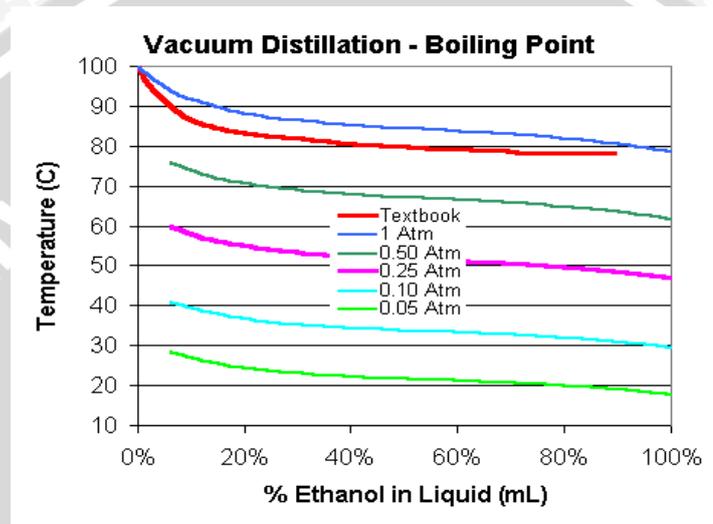
Distilasi dibedakan menjadi tiga jenis berdasarkan suhu operasi yang digunakan, yaitu distilasi vakum, distilasi atmosferik, dan distilasi suhu tinggi (lebih dari 1atm). Distilasi vakum biasanya digunakan jika senyawa yang ingin didistilasi tidak stabil, dengan pengertian dapat mengalami proses dekomposisi sebelum atau ketika mendekati titik didihnya atau campuran yang memiliki titik didih di atas 150°C. Distilasi vakum memisahkan dua komponen yang titik didihnya sangat tinggi, metode yang digunakan adalah dengan menurunkan suhu permukaan lebih rendah dari 1atm, sehingga titik didihnya juga menjadi rendah, dalam prosesnya suhu yang digunakan untuk mendistilasinya tidak perlu terlalu tinggi. Sedangkan distilasi atmosfer adalah proses pemisahan dua komponen berdasarkan perbedaan titik didihnya pada suhu atmosfer.

Secara teori proses distilasi tidak akan dapat menghasilkan bioetanol dengan kadar diatas 95%.Hal ini dikarenakan fenomena terbentuknya azeotrope dari air dan etanol.Azeotrop dapat diartikan sebagai suatu kondisi dimana konsentrasi antara air dan etanol tidak dapat dibedakan.Pada tekanan 1 atm, azeotrop terjadi pada suhu 78.5°C.Campuran ini memiliki titik didih yang lebih rendah dari titik uap air murni (100°C pada tekanan 1 atmosfer) dan titik didih etanol murni (78,5 °C pada tekanan 1 atmosfer).



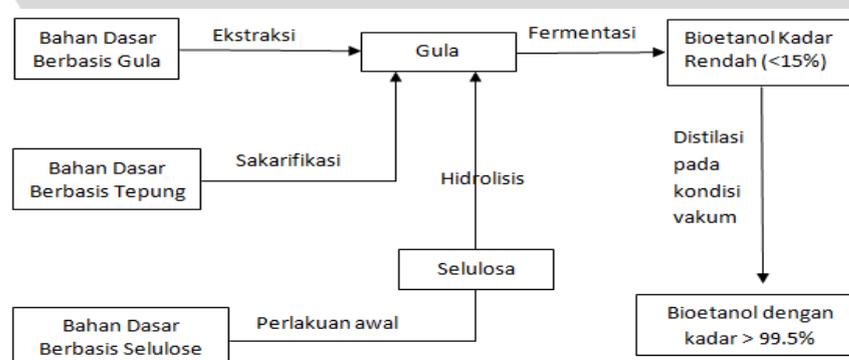
**Gambar 2.2** Titik Didih Campuran Etanol-Air pada Tekanan 1 Atmosfer (Sumber: Nixon dan Gaw, 2001)

Untuk menghasilkan bioetanol dengan kadar sampai 100%, pada umumnya dilakukan dengan proses dehidrasi menggunakan zat pengabsorpsi air, seperti zeolit dan garam, namun proses ini akan memakan waktu 2 sampai 3 hari. Proses distilasi pada tekanan dibawah 1 atmosfer memberikan hasil konsentrasi bioetanol yang berbeda. Gambar 2.3. mengilustrasikan hal ini. Pada tekanan kurang dari 1 Atm, titik didih air murni dan alkohol akan turun dari kondisi normalnya. Pada Gambar 2.3 diperlihatkan bahwa pada tekanan 0.1 Atm Etanol murni (100%) akan didapatkan pada suhu sekitar 30°C (T. Ackland, 2012).



Gambar 2.3 Distilasi Alkohol pada Tekanan di Bawah 1 Atmosfer (Sumber: T. Ackland, 2012)

Penelitian ini akan fokus pada proses distilasi dari hasil hasil fermentasi, yaitu distilasi atas bioetanol dengan kadar rendah (<15%). Proses distilasi akan dilakukan pada kondisi yang mendekati vakum (Gambar 2.4.), sehingga proses dehidrasi alkohol tidak diperlukan lagi. Keuntungan dari sistem ini adalah efisiensi dari sisi waktu (menghemat waktu dehidrasi selama 2-3 hari) dan perbaikan kualitas etanol yang dihasilkan (persentase bioetanol mendekati 100%).



Gambar 2.4 Proses Pembuatan Bioetanol dengan Distilasi Vakum

### 2.3 Sensor Suhu

Untuk mengetahui perubahan temperatur yang terjadi di dalam tangki larutan diperlukan penggunaan suatu sensor suhu. PT100 (Gambar 2.5) merupakan salah satu jenis sensor suhu yang terkenal dengan keakurasiannya. PT100 termasuk golongan RTD (*Resistive Temperature Detector*) dengan koefisien suhu positif, yang berarti nilai resistansinya naik seiring dengan naiknya suhu. PT100 terbuat dari logam platinum. Oleh karenanya namanya diawali dengan 'PT'. Disebut PT100 karena sensor ini dikalibrasi pada suhu 0°C pada nilai resistansi 100 ohm. Ada juga PT1000 yang dikalibrasi pada nilai resistansi 1000 ohm pada suhu 0°C.



**Gambar 2.5** Sensor Suhu PT 100

(<http://www.intertronic.com.ve/equipos-e-instrumentos-de-medicion/pt100-rtd-autonics-twrpt/>)

Menurut keakurasiannya, terdapat dua jenis PT100, yakni Class-A dan Class-B. PT100 Class-A memiliki akurasi  $\pm 0,06$  ohm dan PT100 Class-B memiliki akurasi  $\pm 0,12$  ohm. Keakurasiannya ini menurun seiring dengan naiknya suhu. Akurasi PT100 Class-A bisa menurun hingga  $\pm 0,43$  ohm ( $\pm 1,45^{\circ}\text{C}$ ) pada suhu  $600^{\circ}\text{C}$ , dan PT100 Class-B bisa menurun hingga  $\pm 1,06$  ohm ( $\pm 3,3^{\circ}\text{C}$ ) pada suhu  $600^{\circ}\text{C}$ .

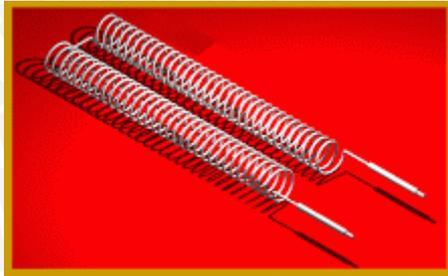
### 2.4 Elemen Pemanas (*Heater*)

Elemen pemanas merupakan piranti yang mengubah energi listrik menjadi energi panas. Prinsip kerja elemen panas adalah arus listrik yang mengalir pada elemen menjumpai resistansinya, sehingga menghasilkan panas pada elemen.

Panas yang dihasilkan oleh elemen pemanas listrik ini bersumber dari kawat ataupun pita bertahanan listrik tinggi (*Resistance Wire*) biasanya bahan yang digunakan adalah niklin yang dialiri arus listrik pada kedua ujungnya dan dilapisi oleh isolator listrik yang mampu meneruskan panas dengan baik hingga aman jika digunakan.

Ada 2 jenis utama pada elemen pemanas listrik ini yaitu :

- Elemen Pemanas Listrik bentuk dasar (Gambar 2.6) yaitu elemen pemanas dimana *Resistance Wire* hanya dilapisi oleh isolator listrik, macam-macam elemen pemanas bentuk ini adalah : *Ceramic Heater, Silica and Quartz Heater, Bank Channel heater, Black Body Ceramic Heater.*



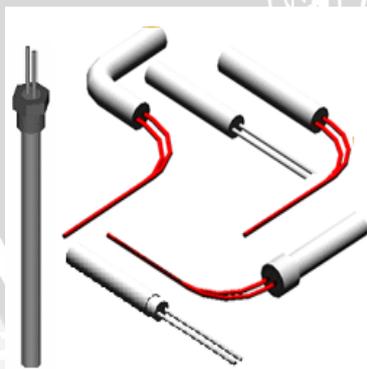
(a)



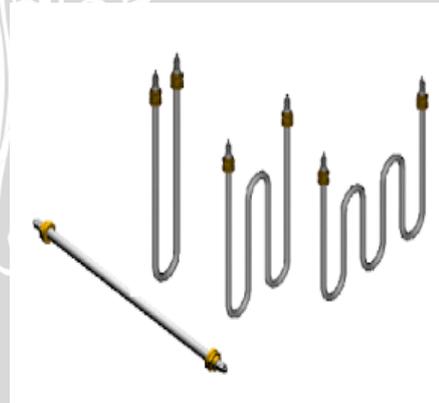
(b)

**Gambar 2.6.** Elemen Pemanas Listrik Keramik Spiral (a), Elemen Pemanas Listrik Silika Berbagai Bentuk (b)  
([www.elemenpemanas.co.id/](http://www.elemenpemanas.co.id/))

- Elemen pemanas listrik bentuk lanjut (Gambar 2.7) merupakan elemen pemanas dari bentuk dasar yang dilapisi oleh pipa atau lembaran plat logam untuk maksud sebagai penyesuaian terhadap penggunaan dari elemen pemanas tersebut. Bahan logam yang biasa digunakan adalah : *Mild Steel, Stainless Steel, tembaga dan kuningan.*



(a)



(b)

**Gambar 2.7** Elemen Pemanas Listrik Berlapis Pipa (a), Elemen Pemanas Listrik Berlapis Logam (b)  
([www.elemenpemanas.co.id/](http://www.elemenpemanas.co.id/))

## 2.5 Rangkaian Dimmer

Diperlukan sebuah rangkaian yang bisa digunakan untuk melakukan pengendalian AC, rangkaian tersebut rangkaian *dimmer* yang di dalamnya terdiri dari rangkaian TRIAC dan rangkaian *Zero Cross Detector*.



Gambar 2.8 AC Dimmer Module Lite (v1.1)

### 2.5.1 Rangkaian TRIAC

TRIAC atau *Triode for Alternating Current* (Trioda untuk arus bolak-balik) adalah komponen yang tersusun atas dua buah *thyristor* antiparalel dengan terminal *gate* yang sama. Nama resmi untuk TRIAC adalah *Bidirectional Triode Thyristor*. Ini menunjukkan sakelar dwiarah yang dapat mengalirkan arus listrik ke kedua arah ketika dipicu (dihidupkan). Konfigurasi tersebut membuat TRIAC merupakan komponen yang digunakan untuk mengatur tegangan AC sehingga pemicuan dari *gate* TRIAC juga dapat dilakukan dengan pulsa negatif atau pulsa positif (sesuai tegangan AC) (Ardhito, 2013).

Dalam penggunaannya dibutuhkan DIAC sebagai *driver* dari TRIAC. Selain itu dibutuhkan juga komponen yang mampu berfungsi sebagai isolator antara tegangan 220V dan 5V untuk melindungi mikrokontroler dari tegangan balik. Sehingga komponen yang sesuai dengan spesifikasi di atas adalah *optocoupler*. Optocoupler yang komponen utamanya berupa DIAC adalah MOC3021.

### 2.5.2 Rangkaian Zero Cross Detector

*Zero crossing detector* adalah rangkaian yang digunakan untuk mendeteksi gelombang sinus AC 220 volt saat melewati titik tegangan nol. Seberangan titik nol yang dideteksi adalah peralihan dari positif menuju negatif dan peralihan dari negatif menuju positif.

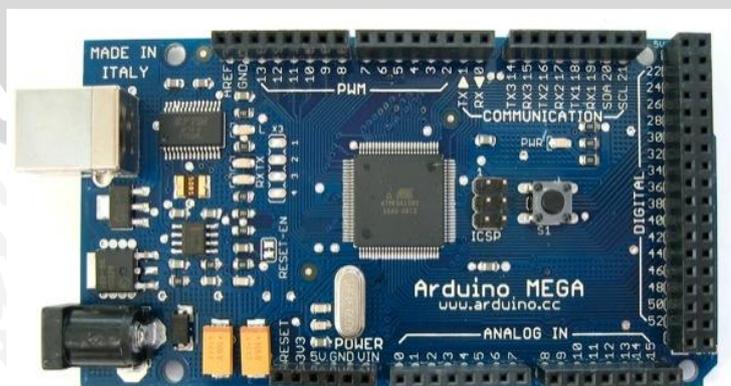
Pada rangkaian *zero cross detector* dibutuhkan rangkaian yang bisa mendeteksi persimpangan antara gelombang tegangan bolak-balik dengan titik nol

agar pengaturan fasa dapat dilakukan pada titik nol gelombang tegangan bolak-balik. Metode ini berfungsi untuk menentukan frekuensi suatu gelombang dengan cara mendeteksi banyaknya *zero point* pada suatu rentang waktu. *Zero crossing detector* berfungsi untuk mendeteksi perpotongan gelombang sinus pada tegangan AC dengan *zero point* tegangan AC tersebut, sehingga dapat memberikan sinyal acuan saat dimulainya pemicuan sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM). Dengan rangkaian *zero crossing detector*, bisa dilakukan pendeteksian *zero point* sekaligus mengubah suatu sinyal sinusoidal menjadi sinyal kotak. Sinyal keluaran rangkaian *zero cross detector* ini akan dimasukkan ke mikrokontroler, oleh karena itu dibutuhkan juga komponen yang mampu memisahkan tegangan 5V dan 220V. Untuk rangkaian ini digunakan komponen optocoupler 4N25.

## 2.6 Arduino Mega

Arduino Mega adalah papan rangkaian mikrokontroler berbasis ATmega2560. Memiliki 54 pin *input* dan *output* digital, dengan 14 pin diantara pin tersebut dapat digunakan sebagai *output Pulse Width Modulation* (PWM) dan 16 pin *analog input*, 16 MHz osilator kristal, koneksi *Universal Serial Bus* (USB), *jack power*, *In-circuit Serial Programming* (ICSP) header, dan tombol reset. Untuk mendukung mikrokontroler agar dapat digunakan, cukup hanya menghubungkan *board* Arduino Mega ke komputer dengan menggunakan kabel USB atau dengan adaptor AC-DC untuk menjalankannya.

Secara fisik, ukuran Arduino Mega hampir kurang lebih dua kali lebih besar dari Arduino Uno, ini untuk mengakomodasi lebih banyaknya pin Digital dan Analog pada board Arduino Mega tersebut. Tampilan Arduino Mega dapat dilihat pada Gambar 2.9.



**Gambar 2.9** Tampak Depan Arduino Mega (<http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega>)

## 2.7 Dasar Identifikasi Sistem

Identifikasi sistem adalah suatu pemodelan matematika terhadap suatu sistem atau proses, berdasarkan data-data hasil percobaan yang dilakukan. Dengan kata lain identifikasi sistem dapat diartikan sebagai pendekatan secara eksperimental terhadap proses pemodelan. Secara teknis, identifikasi sistem didefinisikan oleh Zadeh (1962) sebagai penentuan *input* dan *output* pada suatu sistem yang spesifik, yang ekuivalen dengan sistem yang diujikan.

Berdasarkan definisi di atas, terdapat tiga kesatuan dasar yang harus ada pada suatu identifikasi sistem: data, sekumpulan model dan suatu *rule* atau kriteria untuk estimasi model.

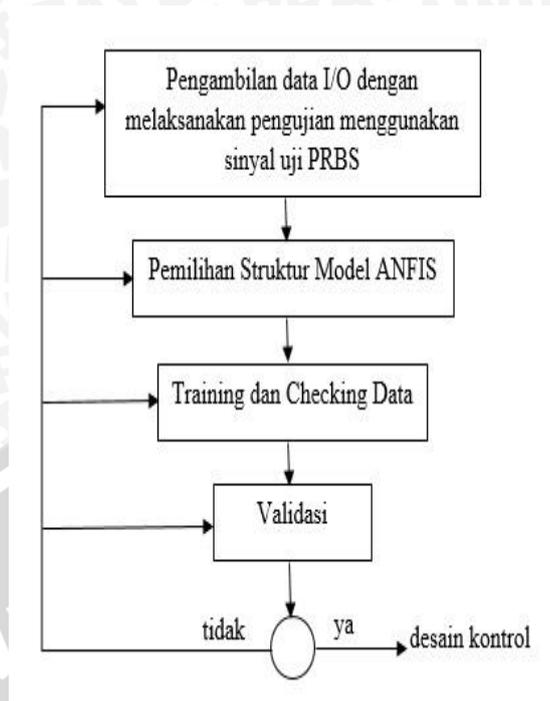
Data *input-output* biasanya diperoleh dari uji identifikasi yang dirancang untuk menghasilkan data yang akan diukur dapat memberikan informasi secara maksimal tentang karakteristik dari sistem yang diinginkan.

Sekumpulan kandidat model yang akan digunakan akan dipilih secara lebih spesifik lagi berdasarkan karakteristik umumnya untuk mendapatkan model yang tepat.

Estimasi parameter dari model juga diperlukan karena hal ini berhubungan dengan kriteria kesalahan (*loss function*). Jika identifikasi telah selesai, maka proses validasi akan dilakukan untuk mengetahui seberapa cocok estimasi model dengan model yang sebenarnya.

Di dalam suatu identifikasi sistem terdapat langkah-langkah sebagai berikut:

- Perancangan percobaan (*Eksperiment design*) : tujuannya untuk mendapatkan data-data percobaan yang bagus termasuk pemilihan variable terukur dan karakter dari sinyal masukan
- Pemilihan struktur model : suatu struktur model yang tepat dipilih secara *trial and error*
- Pelatihan dan pengecekan data : himpunan data yang terdiri dari pasangan *input-output* yang diinginkan sering disebut *Training data* dan *checking data*.
- Validasi model : menguji coba model untuk mengetahui kekurangan-kekurangan.



Gambar 2.10 Bagan Prosedur Identifikasi

Pada saat pemilihan model untuk pertama kali besar kemungkinan bahwa model tersebut tidak akan berhasil pada tahap validasi model. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa hal sebagai berikut:

- Data kurang informatif akibat dari perancangan percobaan yang buruk
- Model yang dipilih tidak merepresentasikan sistem
- Gagalnya prosedur perhitungan untuk memperoleh model terbaik yang sesuai dengan kriteria

### 2.7.1 Perancangan Percobaan

Langkah awal dalam melakukan proses identifikasi sistem adalah dengan melakukan perancangan percobaan melalui pengambilan data *input-output*. Pengujian ini tentu memerlukan sinyal uji tertentu yang akan diberikan kepada sistem fisik yang akan diidentifikasi. Agar diperoleh model yang tepat maka dalam pemilihan sinyal uji tidak boleh sembarangan. Syarat pemilihannya adalah suatu sinyal uji harus memiliki cakupan frekuensi yang lebar dan standard yang digunakan adalah *Pseudo Random Binary Sequences* (PRBS). (Landau, 2006)

PRBS adalah sinyal kotak yang termodulasi pada lebarnya dan berlangsung secara sekuensial. Sinyal ini biasanya dibangkitkan menggunakan *Linear Feedback Shift Register* (LFSR). Pada LFSR memiliki dua parameter dasar yang menentukan sifat sekuensial yang dihasilkan, yaitu: panjang dari *shift register* dan susunan umpanbalik. PRBS memiliki variasi panjang sekuensialnya, tergantung dari panjangnya *shift register* seperti ditunjukkan Tabel 2.1

**Tabel 2.1** Tabel Variasi Panjang Sekuensial PRBS

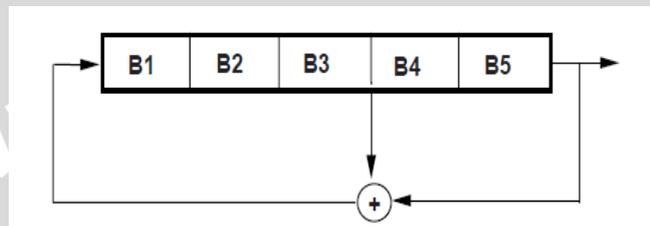
Panjang Register (N)	Panjang Sekuensial $L=2^N-1$	Posisi Tap Umpan Balik
2	3	1 dan 2
3	7	1 dan 3
4	15	3 dan 4
5	31	3 dan 5
6	63	5 dan 6
7	127	4 dan 7
8	255	2, 3, 4, dan 8
9	511	5 dan 9
10	1023	7 dan 10

Panjang dari *shift register* menentukan periode maksimum yang dapat dihasilkan dari sekuensial PRBS yang tidak berulang dan dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$L_{PRBS}=2^n-1 \dots\dots\dots (2.1)$$

dengan n adalah panjang dari register LFSR (jumlah bit). Panjang maksimum dari PRBS disebut *M-sequence*.

Panjang maksimum yang dapat dihasilkan PRBS untuk panjang tertentu dari *shift register* dapat dicapai dengan mempersiapkan konfigurasi dari *feedback*. Pada dasarnya ada 2 kemungkinan untuk realisasi LFSR, yaitu: Fibonacci (*many to one*) dan Galois (*one to many*). Keduanya dapat didasarkan pada gerbang XOR atau XNOR menggunakan bermacam-macam angka dan kombinasi dari *feedback-taps-keluaran* dari *shift register* khusus. Dengan mengubah konfigurasi umpanbalik (jumlah tap dan posisinya) memungkinkan untuk menemukan *M-sequence* yang berbeda untuk panjang tertentu dari *shift register*.



**Gambar 2.11** Register Geser 5 Bit dengan Umpan Balik  
(Sumber: Landau, 2006)

Prinsip pengujian proses dengan sinyal PRBS adalah membuat perubahan *input* kecil secara acak untuk membangkitkan gangguan (*perturbation*) yang kontinyu pada variabel *output*. Salah satu keuntungan penggunaan dari pendekatan ini adalah amplitudo perubahan *input* yang diperlukan dapat lebih kecil jika dibandingkan dengan perubahan *step* pada *step testing*. Selain itu, proses pengujian dapat dilakukan tanpa harus menunggu proses mencapai keadaan tunak (*steadystate*). Jika pengujian dengan sinyal PRBS dilakukan, sinyal *input* secara teori disebut *white* (tidak berkorelasi) dan akan menghasilkan parameter model estimasi yang lebih baik. Frekuensi pada PRBS dapat dipilih untuk putaran cepat (*fast*) atau lambat (*slow*). Pemilihan frekuensi ini dapat menentukan jenis informasi terbaik yang akan didapat, misalnya untuk *fast* akan memberikan informasi yang akurat mengenai *deadtime*, *slow* akan memberikan informasi *steady state gain* yang tepat sedangkan medium memberikan informasi *time constant* yang lebih baik.

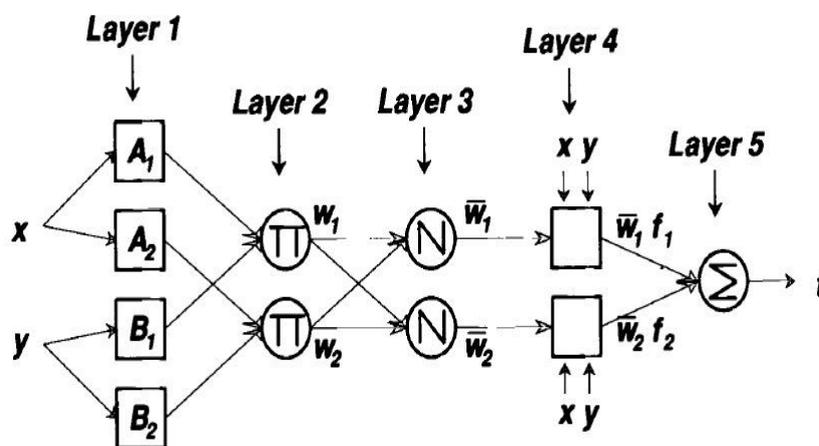
### 2.7.2 Penentuan Struktur Model

ANFIS adalah gabungan dari dua sistem yaitu sistem logika *fuzzy* dan jaringan syaraf tiruan. Sistem ANFIS berdasar pada sistem inferensi *fuzzy* yang dilatih menggunakan algoritma pembelajaran *backpropogation* yang diturunkan dari sistem jaringan syaraf tiruan dengan algoritma pembelajaran.

Algoritma *backpropagation* merupakan algoritma pembelajaran yang terawasi dan biasanya digunakan oleh *perceptron* dengan banyak lapisan untuk mengubah bobot – bobot yang terhubung dengan simpul yang ada pada lapisan tersembunyinya. Algoritma *backpropagation* menggunakan *error output* untuk mengubah nilai bobot – bobotnya dalam arah mundur (*backward*). Untuk mendapatkan *error* ini, tahap perambatan maju (*forward propagation*) harus dikerjakan terlebih dahulu.

Model *fuzzy* dapat digunakan sebagai pengganti dari *perceptron* dengan banyak lapisan. Dalam hal ini, sistem dapat dibagi menjadi 2 grup, yaitu satu grup berupa jaringan syaraf dengan bobot-bobot *fuzzy* dan fungsi aktivasi *fuzzy*, dan grup lainnya berupa jaringan syaraf tersebut tidak difuzzykan. *Neuro fuzzy* termasuk kelompok yang kedua (osowski, 2004)

Arsitektur ANFIS yang secara fungsional sama dengan fuzzy rule base model sugeno. Arsitektur ANFIS juga sama dengan jaringan syaraf dengan fungsi radial dengan sedikit batasan tertentu. Bisa dikatakan bahwa ANFIS adalah suatu metode yang mana dalam melakukan penyetelan aturan digunakan algoritma pembelajaran terhadap sekumpulan data. Pada ANFIS juga memungkinkan aturan-aturan untuk beradaptasi.



Gambar 2.12 Struktur ANFIS

Pada Gambar 2.12 terlihat sistem *neuro-fuzzy* terdiri atas lima lapisan dengan fungsi yang berbeda untuk tiap lapisannya. Tiap lapisan terdiri atas beberapa simpul yang dilambangkan dengan kotak atau lingkaran. Lambang kotak menyatakan simpul adaptif artinya nilai parameternya bisa berubah dengan pembelajaran dan lambang lingkaran menyatakan simpul nonadaptif yang nilainya tetap.

**a) Lapisan 1.**

Semua simpul pada lapisan ini adalah simpul adaptif (parameter dapat berubah) dengan fungsi simpul :

$$O_{1,i} = \mu_{A_i}(x) \text{ untuk } i= 1,2 \text{ atau} \dots \dots \dots (2.2)$$

$$O_{1,i} = \mu_{B_{i-2}}(y) \quad i = 3,4 \dots \dots \dots (2.3)$$

dengan x dan y adalah masukan pada simpul i,  $A_i$  (atau  $B_{i-2}$ ) adalah fungsi keanggotaan masing-masing simpul. Simpul  $O_{1,i}$  berfungsi untuk menyatakan derajat keanggotaan tiap masukan terhadap himpunan *fuzzy* A dan B. Fungsi keanggotaan yang dipakai adalah jenis *generalized bell* (gbell). Parameter a, b, c, pada fungsi keanggotaan gbell dinamakan parameter premis yang adaptif

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - c}{a} \right|^2} \dots \dots \dots (2.4)$$

**b) Lapisan 2.**

Semua simpul pada lapisan ini adalah nonadaptif (parameter tetap). Fungsi simpul ini adalah mengalikan setiap sinyal masukan yang datang. Tiap simpul pada lapisan kedua berupa simpul tetap yang keluarannya adalah hasil dari masukan. Fungsi perkalian yang digunakan adalah operator AND. Tiap-tiap node merepresentasikan  $\alpha$  predikat dari aturan ke-i.

$$O_{2,i} = W_i = \mu_{A_i}(x) \cdot \mu_{B_i}(y), \quad i=1,2 \dots \dots \dots (2.5)$$

Tiap keluaran simpul menyatakan derajat pengaktifan (*firing strength*) tiap aturan *fuzzy*. Fungsi ini dapat diperluas apabila bagian premis memiliki lebih dari dua himpunan *fuzzy*. Banyaknya simpul pada lapisan ini menunjukkan banyaknya aturan yang dibentuk..

**c) Lapisan 3.**

Lapisan Setiap simpul pada lapisan ini adalah simpul nonadaptif yang menampilkan fungsi derajat pengaktifan ternormalisasi (*normalized firing strength*) yaitu rasio keluaran simpul ke-i pada lapisan sebelumnya terhadap seluruh keluaran lapisan sebelumnya, dengan bentuk fungsi simpul: Tiap-tiap simpul pada lapisan ke tiga berupa node tetap yang merupakan hasil perhitungan dari rasio  $\alpha$  predikat (W),

$$O_{3,i} = \overline{W}_i = \frac{W_i}{W_1 + W_2}, \quad i = 1,2, \dots \dots \dots (2.6)$$

Apabila dibentuk lebih dari dua aturan, fungsi dapat diperluas dengan membagi  $w_i$  dengan jumlah total  $w$  untuk semua aturan.

**d) Lapisan 4.**

Setiap simpul pada lapisan ini adalah simpul adaptif dengan fungsi simpul sebagai berikut :

$$O_{4,i} = W_{if_i} = W_i (p\bar{x} + q\bar{y} + r_i) \dots \dots \dots (2.7)$$

dengan adalah derajat perngaktifan ternormalisasi dari lapisan 3 dan parameter  $p, q, r$  menyatakan parameter konsekuen yang adaptif.

**e) Lapisan 5.**

Pada lapisan ini hanya ada satu simpul tetap yang fungsinya untuk menjumlahkan semua masukan. Fungsi simpul sebagai berikut:

$$O_{5,i} = \overline{W}_{if_i} = \frac{\sum W_{if_i}}{\sum W_i} \dots \dots \dots (2.8)$$

Jaringan adaptif dengan lima lapisan tersebut ekuivalen dengan sistem inferensi *fuzzy* TSK

### 2.5.3 Validasi ANFIS

Hasil pelatihan data dari ANFIS dapat dievaluasi dengan eksperimen validasi. Eksperimen validasi dapat berupa pengecekan data pada jaringan yang telah dilatih sebelumnya. Dengan menentukan besar *error* tertentu maka akan diketahui apakah ANFIS yang telah disusun valid atau tidak. Jika *error* RMSE (*Root Mean Square Error*) maka ANFIS berhasil mengidentifikasi kerusakan komponen. Nilai RMSE merupakan ukuran performa untuk melihat kemampuan dari jaringan untuk menggeneralisasi informasi yang didapatkan.

Setelah dilakukan eksperimen validasi, maka langkah selanjutnya adalah melakukan pengecekan dengan memasukkan data baru terhadap ANFIS yang telah disusun. Pada tahap ini akan dapat diketahui apakah ANFIS yang telah disusun dapat digunakan untuk memprediksi sinyal PRBS.

### 2.5.4 Pengecekan Data ANFIS

Setelah dilakukan eksperimen validasi, maka langkah selanjutnya adalah melakukan pengecekan dengan memasukkan data baru terhadap ANFIS yang telah disusun. Pada tahap ini akan dapat diketahui apakah ANFIS yang telah disusun dapat digunakan untuk memprediksi sinyal PRBS efektif dari suatu komponen mekanikal atau tidak.

### BAB III

## METODE PENELITIAN

Untuk merealisasikan alat yang telah dirancang, langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

### 3.1 Penentuan Spesifikasi Alat

Adapun spesifikasi alat sebagai berikut:

1. Tangki larutan, merupakan tempat berlangsungnya proses pemanasan dan penguapan larutan bahan baku bioetanol.
2. Kondenser disini disambungkan dengan hasil penguapan di tangki larutan.
3. Piranti vakum dipasang pada tangki akumulator.
4. Sensor suhu PT100 dipasang di dalam tangki, sehingga bisa bersentuhan langsung dengan cairan bahan baku.
5. Elemen pemanas dengan total daya sebesar 1200W tersambung dengan badan jaket yang sudah terisi air.
6. Perangkat kontrol untuk akuisisi data yang digunakan adalah Arduino Mega 2560.

### 3.2 Perancangan Sistem

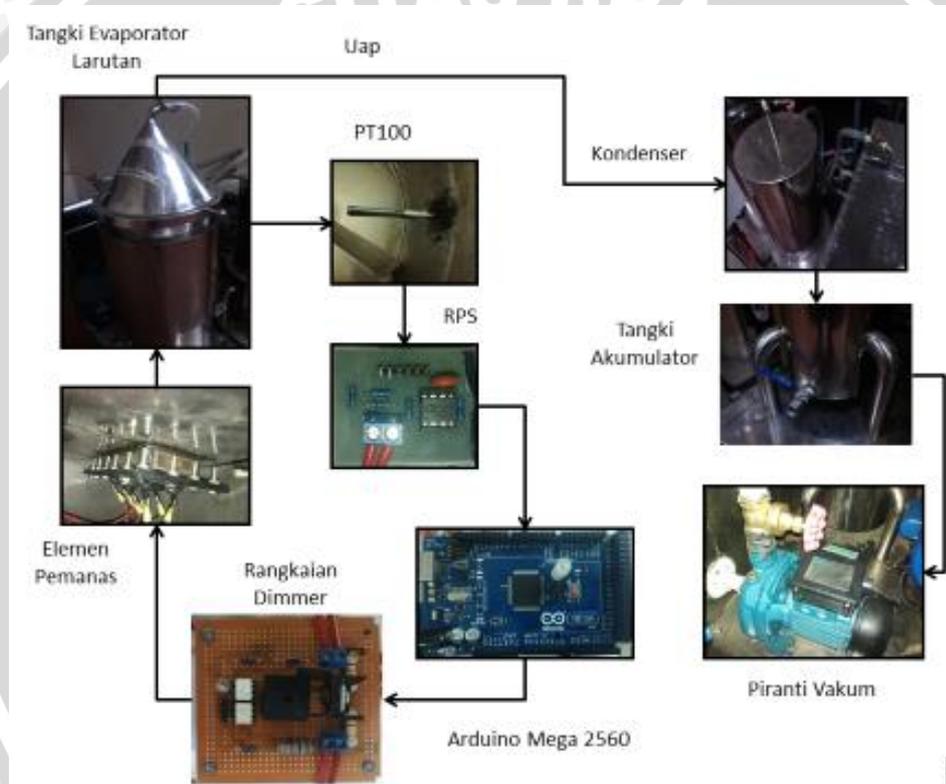
Perancangan sistem dilakukan sebagai langkah awal sebelum terbentuknya suatu sistem beserta rangkaian elektronik serta pemrogramannya, hal ini dimaksudkan agar proses pengidentifikasian sistem *plant* suhu pada proses distilasi vakum bioetanol menggunakan model *fuzzy* dapat berjalan sesuai deskripsi awal yang telah direncanakan. Perancangan sistem yang dilakukan meliputi:

- Penentuan dimensi dan bahan yang digunakan dalam *vacuum destiller*.
- Perancangan sistem identifikasi..
- Perancangan program pada perangkat Arduino Mega sebagai media akuisisi data untuk proses identifikasi.
- Blok diagram sistem identifikasi

### 3.3 Realisasi Pembuatan Sistem

Untuk merealisasikan alat atau sistem yang telah dirancang secara keseluruhan seperti pada Gambar 3.1 sebelumnya, maka perlu diperhatikan beberapa hal dalam pembuatan alat tersebut, diantaranya yaitu :

- Pembuatan mekanik *vacuum destiller* secara keseluruhan yang meliputi pemilihan *heater*, sensor, pompadan komponen lainnya serta pemilihan material purwarupa *vacuum destiller*
- Pembuatan rangkaian elektronik
- Pengisian program yang telah dirancang sebelumnya pada perangkat Arduino Mega.



Gambar 3.1 Komponen Sistem Keseluruhan  
(Sumber: Perancangan)

### 3.4 Pengujian dan Analisa Data

Setelah semua komponen pada alat sudah terhubung sesuai dengan diagram blok sistem yang telah dirancang dan perangkat lunak untuk mendukung sistem telah dibuat, maka diadakan pengujian dan analisa alat. Pengujian dilakukan secara per blok terlebih dahulu kemudian dilanjutkan secara keseluruhan sistem

### 3.5 Pengambilan Kesimpulan

Kesimpulan diambil berdasarkan data yang diperoleh dari pengujian sistem secara keseluruhan. Jika hasil yang didapatkan telah sesuai dengan yang direncanakan sebelumnya, maka proses tersebut telah berhasil memenuhi harapan dan tentunya memerlukan pengembangan lebih lanjut untuk penyempurnaan.



## BAB IV

### PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

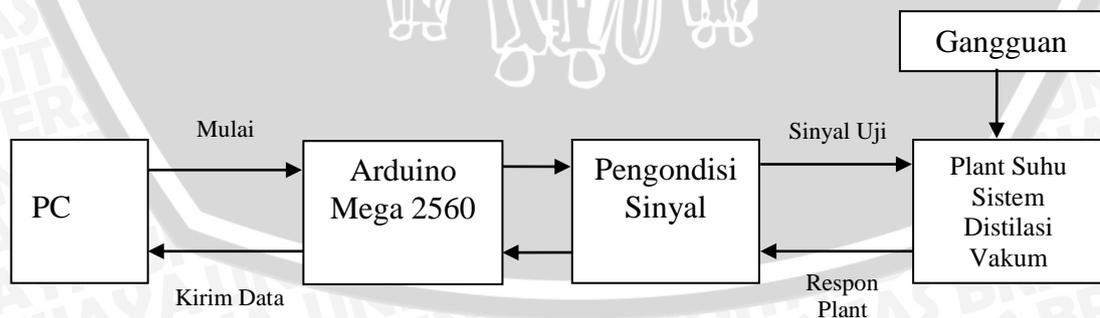
#### 4.1 Perancangan Sistem

Perancangan dan pembuatan alat ini terdiri dari dua bagian, yaitu perancangan dan pembuatan perangkat keras serta perancangan dan pembuatan perangkat lunak. Perancangan dan pembuatan alat dilakukan secara bertahap untuk memudahkan analisis sistem. Beberapa aspek yang perlu dijelaskan dalam bab ini meliputi:

1. Cara kerja alat.
2. Spesifikasi alat.
3. Perancangan perangkat keras (mekanik *Vacuum Distiller*, rangkaian pengondisi sinyal sensor suhu PT100, elemen pemanas, rangkaian *dimmer*)
4. Perancangan perangkat lunak (perancangan algoritma pembangkitan sinyal uji pada *software Arduino ERW 1.0.5* dan algoritma identifikasi *plant* pada Matlab R2013a)

#### 4.2 Diagram Blok Sistem

Secara umum diagram blok dari identifikasi sistem berupa diagram blok untuk pembangkitan sinyal *input* dan pencatatan sinyal *output*. Pengambilan data *input/output* sistem dilaksanakan dengan mengondisikan sistem dengan rangkaian *loop* terbuka, seperti ditunjukkan Gambar 4.1



**Gambar 4.1** Diagram Blok Pengambilan Data  
(Sumber: Perancangan)

Keterangan dari blok diagram sistem di atas dapat dideskripsikan sebagai prinsip kerja sebagai berikut:

1. *Personal Computer* (PC) digunakan sebagai piranti untuk menulis kode-kode program untuk membangkitkan sinyal uji dan mencatat respon keluaran dari *plant*. PC memberikan catu daya 12 V untuk mencatu Arduino melalui kabel *Universal Serial Bus* (USB).
2. Arduino Mega 2560 bertugas sebagai mikrokontroler.
3. Blok pengondisi sinyal meliputi dua macam rangkaian, yakni rangkaian *dimmer* dan rangkaian pengondisi sensor suhu. Rangkaian *dimmer* digunakan untuk mengatur besarnya tegangan untuk mencatu elemen pemanas sebagai sinyal *input* sedangkan pengondisi sensor suhu untuk mengkonversi pembacaan resistansi PT100 menjadi tegangan tertentu yang mewakili respon *output plant*.
4. Gangguan yang mempengaruhi *plant* adalah proses pengontrolan tekanan yang masih dilakukan secara manual. Suhu dan tekanan akan saling mempengaruhi satu sama lain.

#### 4.3 Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras terbagi beberapa bagian, diantaranya:

1. Pemilihan elemen pemanas.
2. Perancangan rangkaian *dimmer*.
3. Perancangan rangkaian sensor suhu PT100.

##### 4.3.1 Pemilihan Elemen Pemanas

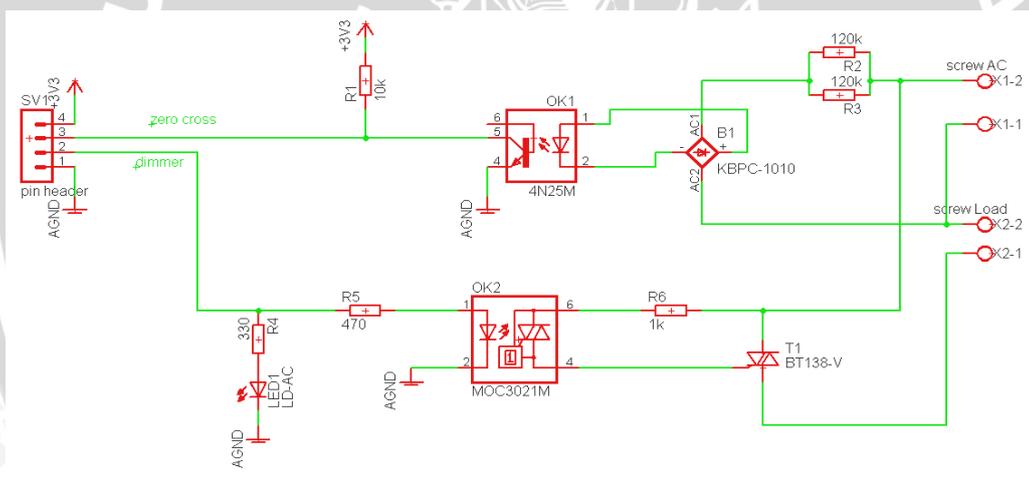
Sistem pemanasan yang digunakan adalah elemen pemanas berdaya 300W untuk setiap elemen pemanasnya, pemasangan elemen pemanas diletakkan tidak langsung di dalam tangki melainkan menempel pada dinding jaket yang berisi air sebagai media pemanasnya seperti pada Gambar 4.2. Elemen pemanas ditempatkan secara merata dengan jumlah yang sama, yaitu dua (2) buah di kanan dan dua (2) buah di sebelah kiri.



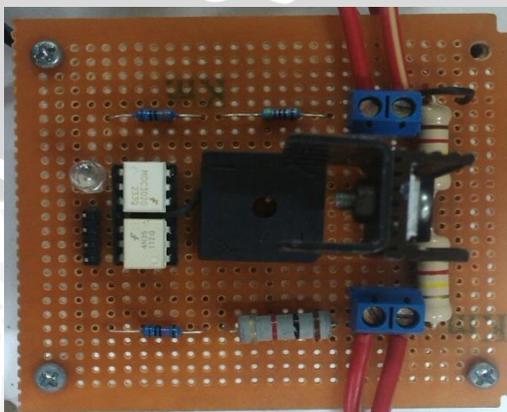
**Gambar 4.2** Elemen Pemanas yang Menempel pada Jacket  
(Sumber:Perancangan)

### 4.3.2 Rangkaian Dimmer

Elemen pemanas yang digunakan adalah elemen pemanas dengan catu daya AC. Untuk mengendalikan besarnya arus yang melewati elemen pemanas digunakan rangkaian *dimmer* yang di dalamnya juga terdapat beberapa bagian, diantaranya adalah rangkaian pemicuan *gate* TRIAC dan rangkaian *Zero Cross Detector*.



**Gambar 4.3** Skema Rangkaian Dimmer  
(Sumber: Perancangan)



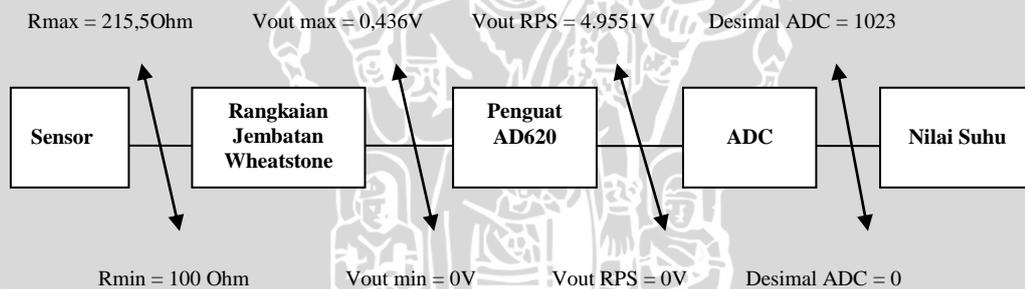
**Gambar 4.4** Modul Rangkaian Dimmer  
(Sumber: Perancangan)

### 4.3.3 Perancangan Rangkaian Sensor Suhu PT100

Komponen rangkaian sensor suhu terdiri dari sensor suhu PT 100, rangkaian jembatan wheatstone, penguat instrumentasi, rangkaian *low-pass* filter, dan ADC 10 bit.

#### 4.3.3.1 Rangkaian Jembatan Wheatstone

PT100 adalah salah satu *Resistance Temperature Detector* (RTD), yang mendeteksi perubahan suhu dengan perubahan besar resistansinya. Oleh karenanya dibutuhkan rangkaian yang mengubah besar resistansi PT100 menjadi tegangan sehingga perubahan suhu yang dideteksi dapat dideteksi pada perubahan level tegangan. Rangkaian yang dibutuhkan PT 100 tersebut adalah rangkaian jembatan Wheatstone. Diagram blok perancangan rangkaian pengondisi sinyal untuk pembacaan suhu yang memanfaatkan rangkaian jembatan Wheatstone ditunjukkan oleh Gambar 4.5



**Gambar 4.5** Diagram Blok Perancangan Sensor Suhu PT100  
(Sumber: Perancangan)

Gambar 4.5 menjelaskan tentang proses konversi pembacaan resistansi oleh PT100 menjadi tegangan dari 0 V sampai 0.436 V melalui rangkaian jembatan Wheatstone. Nilai tegangan tersebut dikuatkan oleh AD620 dengan *range* 0 V - 5 V supaya bisa dibaca oleh Arduino hingga pada akhirnya pembacaan resistansi bisa menjadi pembacaan nilai suhu.

PT100 yang dirancang berikut dibuat agar mampu mengukur suhu dari 0 °C hingga 300 °C. Apabila dikonversikan didapatkan *range* resistansi sebesar 100 ohm hingga 215.5 ohm. Berdasarkan perhitungan pembagian tegangan pada jembatan Wheatstone didapatkan nilai  $V_B$  (tegangan pada simpul B) selalu tetap yaitu 0.4545

V dan nilai maksimal  $V_A$  (tegangan pada simpul A) yaitu 0.886 V maka didapatkan range  $\Delta V$  yaitu  $V_A$  dikurangi  $V_B$  adalah 0 – 0.436V.

#### 4.3.3.2 Penguat Instrumentasi

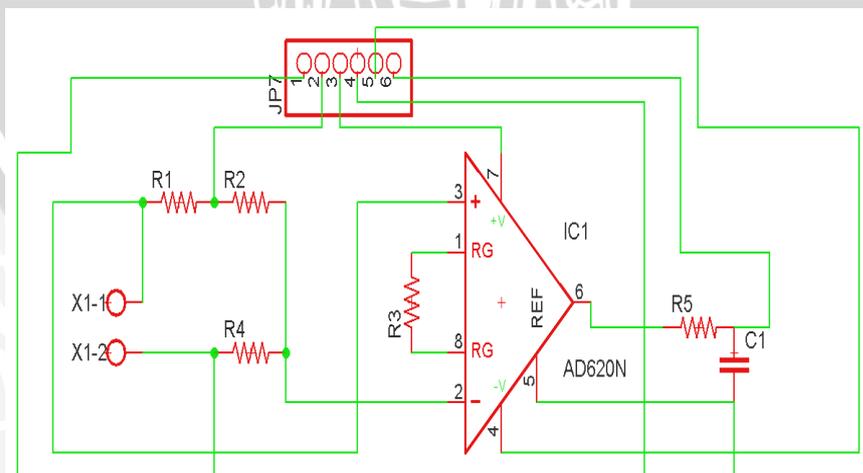
Dengan dasar ADC bertegangan referensi 5V dan hanya bisa menerima maksimal 4.9951 V, maka dibutuhkan rangkaian penguat yang bisa mengubah besar level tegangan 0 - 0.436 V menjadi 0 - 4.9951 V.

$$G = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{R_g} + 1 \dots\dots\dots (4.1)$$

Persamaan (4.2) adalah persamaan penguat instrumentasi AD620 yang digunakan dalam perancangan ini. Dari perhitungan nilai  $R_g$  didapatkan hasil yaitu  $R_g = 4766.081742 \Omega$ . Resistansi tersebut kemudian dibulatkan menjadi 4700  $\Omega$  menyesuaikan dengan nilai yang terdapat pada pasaran.

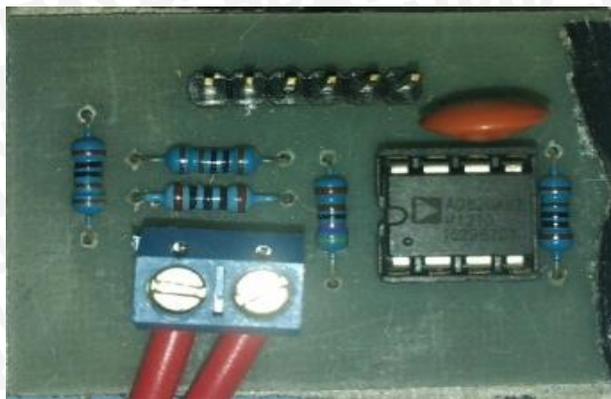
Keluaran penguat instrumentasi kemudian dimasukkan pada rangkaian *low pass filter* untuk meredam *noise*. Rangkaian *low pass filter* dibuat dengan komponen yang terdiri dari R dan C yang masing – masing bernilai 1000 ohm dan 220 nF agar dapat meredam frekuensi diatas 723,7985 Hz.

Skema rangkaian yang melibatkan penggunaan penguat instrumentasi AD620 dan rangkaian *low-pass filter* ditunjukkan oleh Gambar 4.6, sedangkan Gambar 4.7 menunjukkan modul rangkaian pengondisi sensor suhu yang telah selesai dibuat.



**Gambar 4.6** Skema Rancangan Rangkaian Pengondisi Sensor Suhu PT100

(Sumber: Perancangan)



Gambar 4.7 Modul Rangkaian Pengondisi Sensor Suhu PT100

(Sumber: Perancangan)

#### 4.4 Perancangan Identifikasi Plant

##### 4.4.1 Pengambilan Data *Input-Output*

Pada skripsi ini sinyal uji yang digunakan adalah jenis *Pseudo Random Binary Sequence* (PRBS) dengan jumlah bit 8. Sinyal uji ini akan dibangkitkan oleh mikrokontroler. Karena digunakan panjang register 8 bit maka sesuai dengan Tabel 2.1, panjang sekuensial yang akan dihasilkan adalah 255 bit untuk 1 kali proses generasi sinyal uji PRBS.

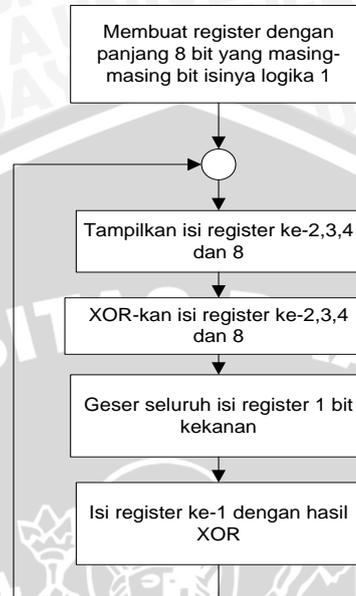
Periode sampling pengambilan data mikrokontroler ditentukan berdasarkan Tabel 4.1

Tabel 4.1. Periode Sampling Berdasarkan Jenis Plant

Jenis Plant	Periode Sampling (s)
Tingkat Aliran	1-3
Level	5-10
Tekanan	1-5
Suhu	10-180
Distilasi	10-180
Mekanisme servo	0.001-0.05
Katalis reactor	10-45
Proses semen	20-45
Pengering	20-45

Berdasarkan Tabel 4.1 untuk pembangkitan sinyal uji PRBS pada *plant* suhu proses distilasi vakum bioetanol, periode *sampling* yang dipilih adalah 60 detik.

Proses pembentukan sinyal PRBS ditunjukkan oleh Gambar 4.8



Gambar 4.8 Diagram Alir Pembentukan Sinyal PRBS

#### 4.4.2 Menentukan Struktur Model

Dalam skripsi ini struktur model yang digunakan adalah ANFIS (*Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*), yang dapat dinyatakan sebagai persamaan (2.3)

Permodelan ANFIS yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan ANFIS yang diprogram menggunakan matlab. Adapun tahapan yang digunakan sebagai berikut :

1. Melakukan pemilihan *input*
2. Menentukan fungsi keanggotaan yang akan digunakan pada *fuzzy*.
3. Mengevaluasi *rule* yang telah digunakan
4. Melakukan pelatihan dan pengecekan data

#### 4.4.3 Menentukan *Input*

Dalam menentukan *input* dilakukan penyeleksian *input* untuk diambil yang terbaik. Dalam skripsi ini ada 10 kandidat *input* dan akan diseleksi menjadi 3 *input* yang terbaik. Penyeleksiannya dengan menggunakan pelatihan dan pengecekan data. Dan hasil yang didapat seperti pada Gambar 4.9

Seleksi *input* yang pertama didapat model ANFIS  $y(k-1)$  dan *input* kedua didapat model ANFIS  $y(k-2)$  dan *input* ketiga didapat model ANFIS  $y(k-6)$

```
Selecting input 1 ...
ANFIS model 1: u(k-1) --> trn=2.6283, chk=8.4651
ANFIS model 2: u(k-2) --> trn=2.6275, chk=8.4720
ANFIS model 3: u(k-3) --> trn=2.6284, chk=8.4665
ANFIS model 4: u(k-4) --> trn=2.6283, chk=8.4673
ANFIS model 5: y(k-1) --> trn=0.2495, chk=0.1900
ANFIS model 6: y(k-2) --> trn=0.2574, chk=0.2013
ANFIS model 7: y(k-3) --> trn=0.2726, chk=0.2562
ANFIS model 8: y(k-4) --> trn=0.2611, chk=0.4461
ANFIS model 9: y(k-5) --> trn=0.2892, chk=0.4480
ANFIS model 10: y(k-6) --> trn=0.3398, chk=0.3316
Currently selected inputs: y(k-1)
```

(a)

```
Selecting input 2 ...
ANFIS model 11: y(k-1) u(k-1) --> trn=0.2441, chk=0.2193
ANFIS model 12: y(k-1) u(k-2) --> trn=0.2466, chk=0.1939
ANFIS model 13: y(k-1) u(k-3) --> trn=0.2457, chk=0.2359
ANFIS model 14: y(k-1) u(k-4) --> trn=0.2488, chk=0.2303
ANFIS model 15: y(k-1) y(k-2) --> trn=0.2190, chk=0.5323
ANFIS model 16: y(k-1) y(k-3) --> trn=0.2188, chk=0.7078
ANFIS model 17: y(k-1) y(k-4) --> trn=0.2116, chk=0.6138
ANFIS model 18: y(k-1) y(k-5) --> trn=0.2282, chk=0.7631
ANFIS model 19: y(k-1) y(k-6) --> trn=0.2253, chk=0.6224
Currently selected inputs: y(k-1) y(k-4)
```

(b)

```

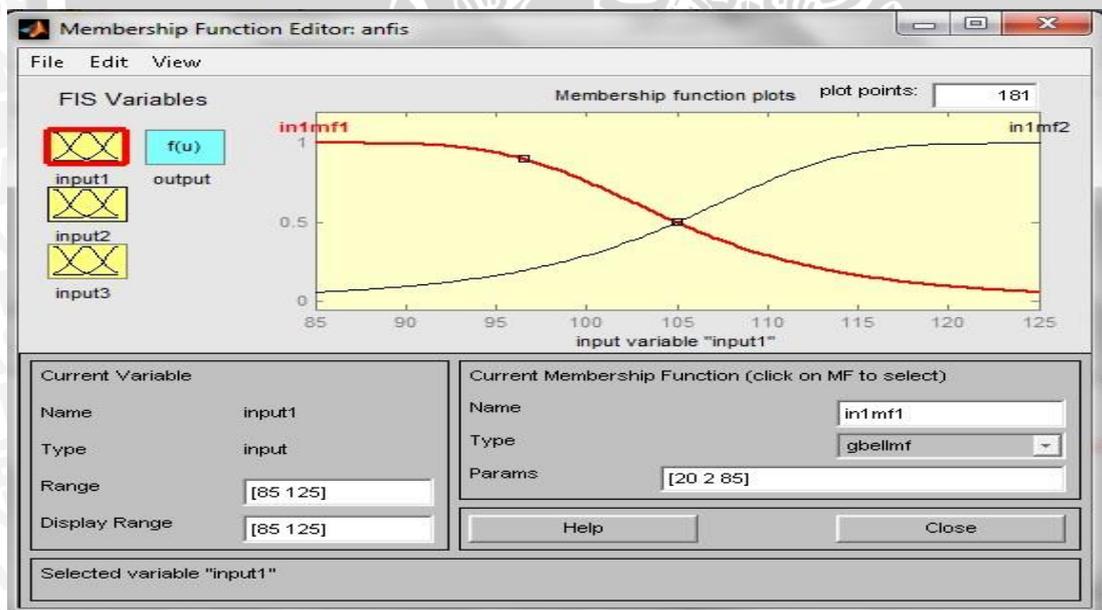
Selecting input 3 ...
ANFIS model 20: y(k-1) y(k-4) u(k-1) --> trn=0.1952, chk=1.2268
ANFIS model 21: y(k-1) y(k-4) u(k-2) --> trn=0.1970, chk=0.7155
ANFIS model 22: y(k-1) y(k-4) u(k-3) --> trn=0.2068, chk=1.1384
ANFIS model 23: y(k-1) y(k-4) u(k-4) --> trn=0.1937, chk=1.0827
ANFIS model 24: y(k-1) y(k-4) y(k-2) --> trn=0.1894, chk=1.6991
ANFIS model 25: y(k-1) y(k-4) y(k-3) --> trn=0.1895, chk=1.1265
ANFIS model 26: y(k-1) y(k-4) y(k-5) --> trn=0.1938, chk=1.6782
ANFIS model 27: y(k-1) y(k-4) y(k-6) --> trn=0.1885, chk=2.6732
Currently selected inputs: y(k-1) y(k-4) y(k-6)
    
```

(c)

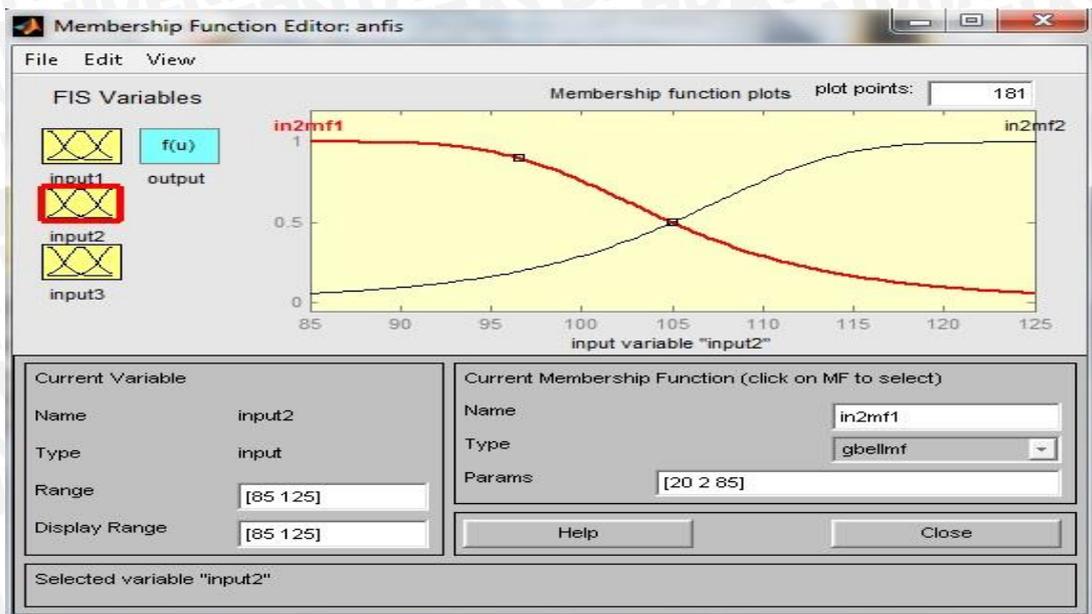
Gambar 4.9 (a)Seleksi input pertama, (b)Seleksi input kedua, (c)Seleksi input ketiga.

#### 4.4.4 Menentukan Fungsi Keanggotaan

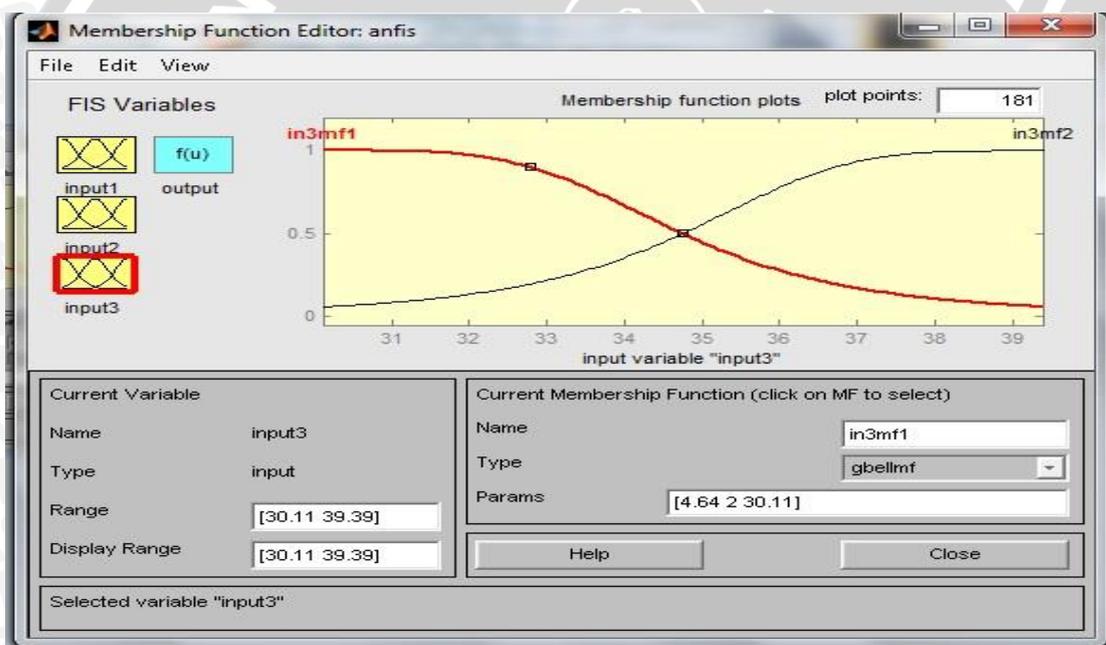
Untuk penentuan membership function awal menggunakan tipe fungsi keanggotaan *gbell* dengan input sinyal PRBS, dan menentukan rule yang diinginkan maka akan didapatkan kurva *membership function* seperti pada Gambar 4.10



(a)



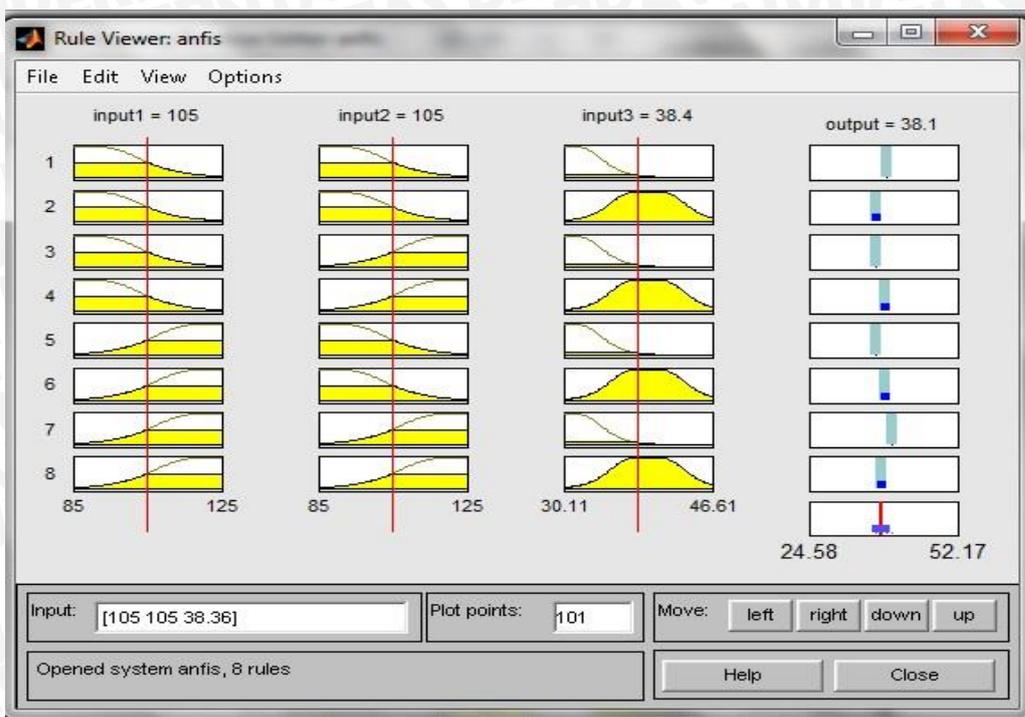
(b)



(c)

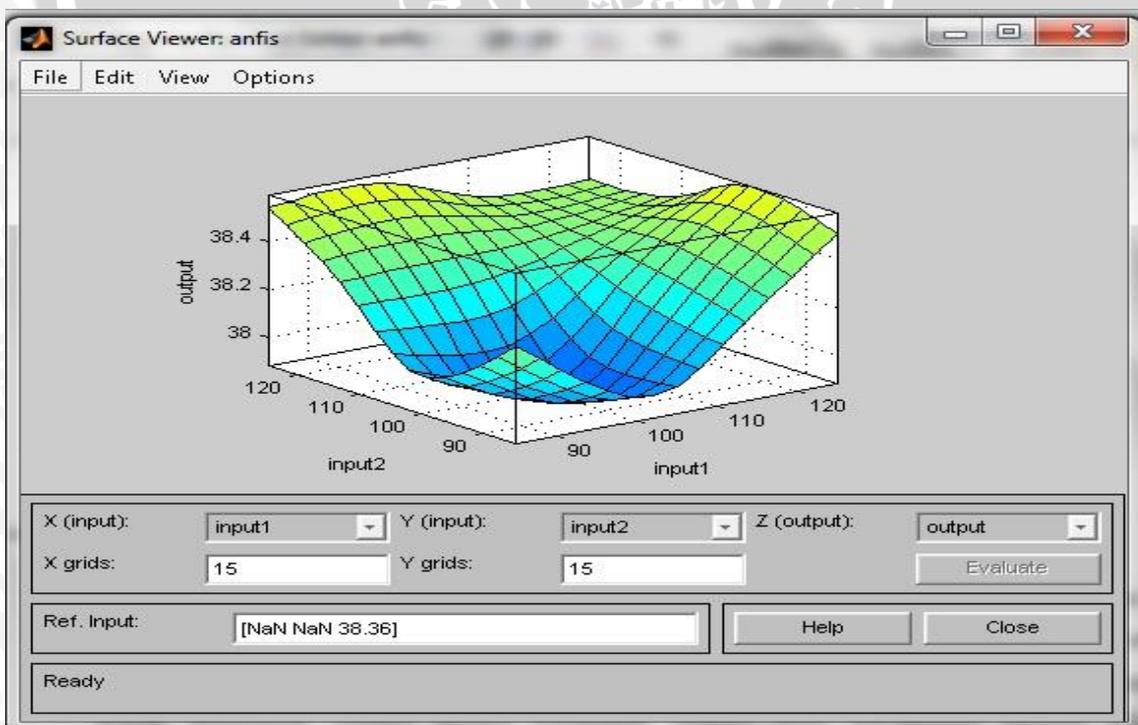
**Gambar 4.9** Fungsi keanggotaan *Input* ANFIS pertama, (b) fungsi keanggotaan *Input* ANFIS kedua, (c) fungsi keanggotaan *input* ketiga

Setelah menentukan *input*, proses selanjutnya adalah merancang *rule fuzzy* (aturan fuzzy) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.10



Gambar 4.10 Rule dari ANFIS

Setelah menentukan rule pada *input* Fuzzy, didapat nilai dan *mesh* plot pada *output* seperti pada Gambar 4.11



Gambar 4.11 Output dari ANFIS

#### 4.4.5 Pelatihan Data FIS (*Training*)

Pada tahap ini akan dipilih proses pelatihan untuk FIS yang telah dibuat.. Pelatihan data digunakan untuk menentukan *error* toleransi dan maksimum iterasi yang diinginkan. Maksimum iterasi menunjukkan jumlah iterasi maksimum yang boleh dilakukan selama proses pelatihan. Iterasi akan dihentikan apabila nilai iterasi melebihi maksimum iterasi yang ditetapkan.

*Error* yang ingin dicapai mengindikasikan sampai sejauh mana proses pelatihan berhasil. Setelah parameter telah ditetapkan, maka dilakukan proses pelatihan dan akan menghasilkan *error* tertentu. Proses pelatihandinyatakan berhasil jika *error* yang terjadi mendekati nilai sebenarnya.

#### 4.4.6 Validasi

. Struktur ANFIS ini merupakan struktur FIS sugeno yang telah mengalami proses pelatihan data. Karena pada saat proses belajar (*training*) terjadi perubahan-perubahan parameter pada fungsi keanggotaannya.

Hasil pelatihan data dari ANFIS dapat dievaluasi dengan eksperimen validasi. Eksperimen validasi (*checking*) dapat berupa testing pada jaringan yang telah ditraining sebelumnya. Dengan menentukan besar *error* tertentu maka akan diketahui apakah ANFIS yang telah disusun valid atau tidak. Jika *error* RMSE (*Root Mean Square Error*) maka ANFIS berhasil memprediksi. Nilai RMSE merupakan ukuran performa untuk melihat kemampuan dari jaringan untuk memproses informasi yang didapatkan.

Untuk mengetahui apakah struktur ANFIS yang disusun telah dapat digunakan untuk memprediksi sinyal PRBS yang telah didapat, maka perlu dilakukan *testing*. Proses validasi hasil identifikasi yang akan digunakan adalah menguji coba model untuk mengetahui kekurangan-kekurangan

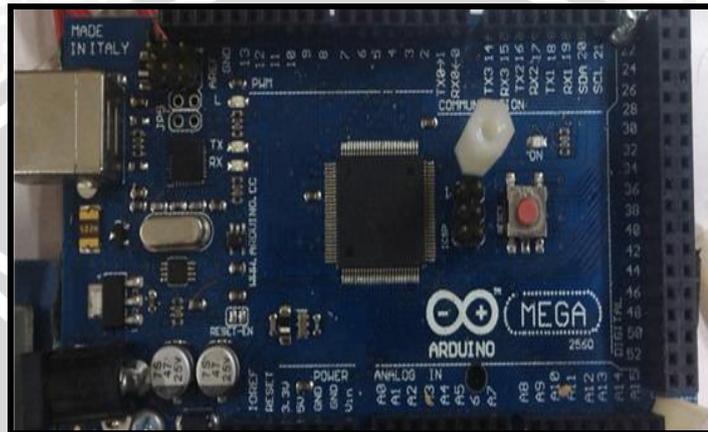
#### 4.5 Modul Arduino Mega 2560

Pada sistem pengendalian suhu ini digunakan Arduino Mega 2560 sebagai pengolah data dalam proses pengendalian elemen pemanas.

Arduino Mega adalah *board* mikrokontroler berbasis ATmega1280. Memiliki 54 pin *input* dan *output* digital, dimana 14 pin tersebut dapat digunakan sebagai *output* PWM dan 16 pin *input* analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, *jack power*, ICSP *header*, dan tombol reset. Untuk mendukung

mikrokontroler agar dapat digunakan, cukup hanya menghubungkan *board* Arduino Mega ke komputer dengan menggunakan kabel USB atau dengan adaptor AC-DC untuk menjalankannya.

Secara fisik, ukuran Arduino Mega hampir kurang lebih 2 kali lebih besar dari Arduino Uno, ini untuk mengakomodasi lebih banyaknya pin Digital dan Analog pada board Arduino Mega tersebut. Tampilan Arduino Mega dapat dilihat pada Gambar 4.12



Gambar 4.12 Modul Arduino Mega 2560

Tabel 4.2 Penggunaan Pin Pada Arduino Mega

No	Pin	Fungsi
1	31	LCD pin
2	35	LCD pin
3	39	LCD pin
4	43	LCD pin
5	47	LCD pin
6	51	LCD pin
7	5V	Jalur masukan catu daya 5 V
8	GND	Jalur masukan ground
9	2	Jalur masukan Zero Cross Interrupt
10	9	Jalur keluaran untuk rangkaian <i>dimmer</i>
11	A3	Jalur masukan RPS dari PT100

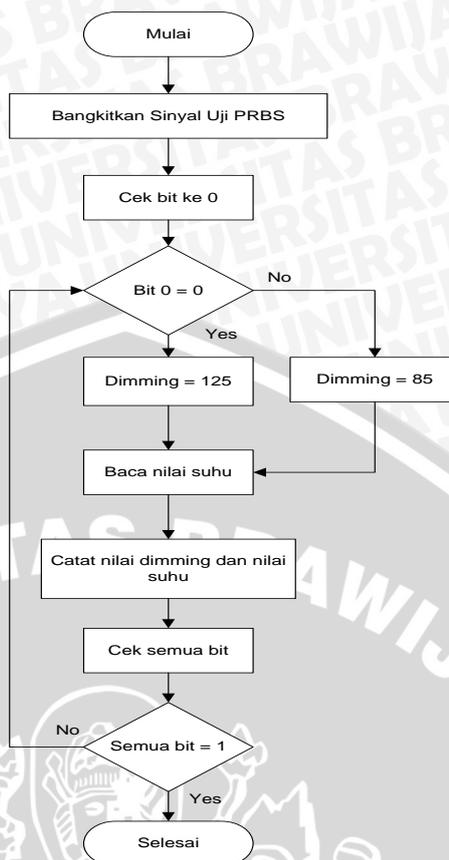
#### 4.6. Perancangan Perangkat Lunak

Pada bagian ini ada 2 bagian perangkat lunak, yaitu perangkat lunak untuk pengambilan data *input-output* dan validasi model menggunakan *software pada* MATLAB.

##### 4.6.1 Perangkat Lunak Pengambilan Data *Input-Output*

Perangkat lunak pengambilan data *input-output* ini bertugas membangkitkan sinyal uji PRBS, mengambil data respon *plant*, dan mengirimkan balik ke komputer. Agar dapat melaksanakan tugas-tugas tersebut maka perlu diatur waktu kerja dari mikrokontroler (MK). Pertama yang dilakukan MK adalah menyiapkan register sebanyak 8 bit untuk proses pembangkitan sinyal PRBS. Setelah 8 bit register siap maka MK akan memulai membangkitkan sinyal PRBS, namun keseluruhan sekuensial sinyal PRBS tidak langsung terbentuk sekali proses selesai melainkan secara bertahap tiap bit. Setelah isi logika bit ke-8 dari register dikeluarkan disalabsatu pin MK selanjutnya MK akan melakukan proses PRBS selanjutnya, namun di antara proses itu MK diberi tugas mengambil data respon *plant* dari ADC dan mengirimkan kekomputer (proses ambil data dan kirim data dilakukan beberapa kali sesuai *delay* waktu yang diinginkan).

Setelah rutin ambil data dan kirim data selesai MK akan melanjutkan proses PRBS. Proses ini akan berulang terus. *Flowchart* ditunjukkan oleh Gambar 4.13

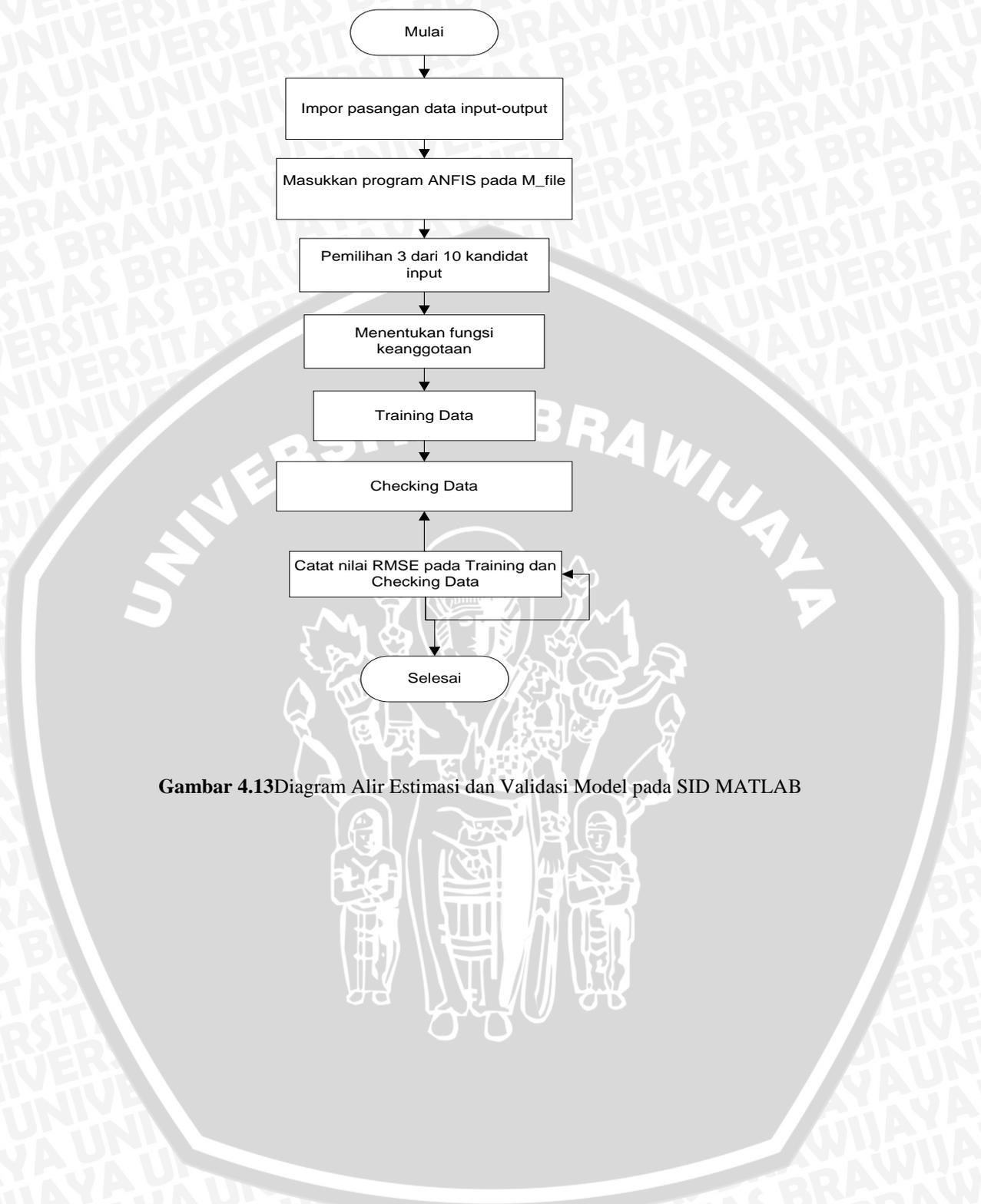


Gambar 4.13 Diagram Alir Pengambilan Data *Input-Output*

#### 4.6.2 Perangkat Lunak MATLAB

Setelah proses pengambilan data *input-output* selesai, maka tahapan berikutnya yakni pemilihan struktur model, estimasi parameter dan validasi model akan diprogramkan pada software MATLAB.

Diagram alir untuk estimasi parameter dan validasi model ditunjukkan oleh Gambar 4.13



**Gambar 4.13** Diagram Alir Estimasi dan Validasi Model pada SID MATLAB

## BAB V

### PENGUJIAN DAN ANALISIS SISTEM

Tujuan pengujian sistem ini adalah untuk menentukan apakah alat yang telah dibuat berfungsi dengan baik dan sesuai dengan perancangan. Pengujian pada sistem ini meliputi pengujian setiap blok maupun pengujian secara keseluruhan. Pengujian setiap blok ini dilakukan untuk menemukan letak kesalahan dan mempermudah analisis pada sistem apabila alat tidak bekerja sesuai dengan perancangan. Pengujian pada sistem ini dibagi menjadi empat bagian, yaitu:

- Pengujian sensor suhu PT100
- Pengujian penyulutan TRIAC
- Pengujian rangkaian *dimmer*
- Pengujian sistem keseluruhan

#### 5.1 Pengujian Sensor

Pengujian sensor suhu ditujukan untuk mengetahui penyimpangan yang terjadi dalam beberapa kali pengukuran.

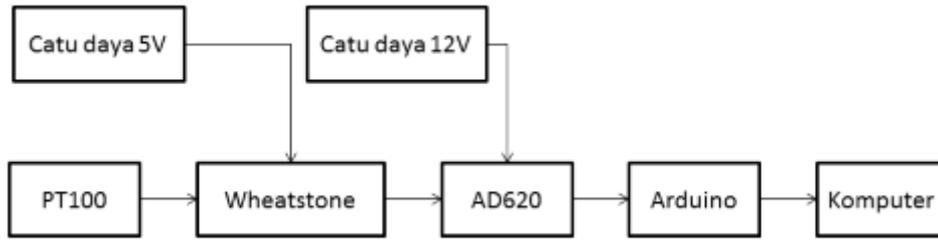
##### 5.1.1 Peralatan yang digunakan

1. Sumber tegangan DC 5 V dan 12 V.
2. Arduino Mega 2560.
3. Rangkaian Sensor Suhu PT100.
4. Komputer

##### 5.1.2 Prosedur Pengujian

1. Merangkai peralatan seperti blok diagram pada Gambar 5.1.
2. Mengunduh program pembacaan sensor suhu pada arduino.
3. Mengamati dan mencatat nilai pada tampilan serial monitor.





Gambar 5.1 Rangkaian Pengujian Sensor Suhu PT100

### 5.1.3 Hasil Pengujian

Tabel 5.1 Hasil Pembacaan Suhu Tanpa Kalibrasi (Pengujian)

No	Suhu Termometer	Suhu Pembacaan Serial Monitor
1	20	20.4
2	25	25.43
3	30	30.19
4	35	35.2
5	40	40.19
6	45	45.23
7	50	49.94
8	55	55.28
9	60	60.08
10	65	65.6
11	70	70.24
12	75	75.35
13	80	80.1
14	85	84.46

Kalibrasi dengan metode regresi linier:

$$\sum n a_0 + \sum x_i a_1 = \sum y_i \dots \dots \dots (5.1)$$

$$\sum x_i a_0 + \sum x_i^2 a_1 = \sum x_i y_i \dots \dots \dots (5.2)$$

$$f = a_0 + a_1 x \dots \dots \dots (5.3)$$

Mendapatkan hasil sebagai berikut:

$$f = -0,468847111 + 1,005251338x \dots \dots \dots (5.4)$$

Dari hasil 5.4 dilakukan pengambilan data ulang dan didapatkan data sebagai berikut

Tabel 5.2 Hasil Pembacaan Suhu Sesudah Kalibrasi (Pengujian)

NO	Suhu Termometer	Suhu Pembacaan Serial Monitor Sesudah Regresi
1	20	20.05
2	25	25.22
3	30	30.14
4	35	35.35
5	40	40.31
6	45	45.28
7	50	50.27
8	55	54.72
9	60	59.74
10	65	64.77
11	70	70.11
12	75	75.47
13	80	80.27
14	85	85.1

Perhitungan kesalahan sebelum regresi:

$$\% \text{ kesalahan} = \frac{(\sum \text{Hasil Pengukuran} - \sum \text{Referensi})}{\sum \text{Referensi}} \times 100\%$$

$$\% \text{ kesalahan} = \frac{(737.69 - 735)}{735} \times 100\% = 0.36\%$$

Perhitungan kesalahan sesudah regresi:

$$\% \text{ kesalahan} = \frac{(736.8 - 735)}{735} \times 100\% = 0.24\%$$

Dari perhitungan kesalahan di atas, dapat disimpulkan hasil dari metode regresi linier dapat digunakan sebagai kalibrasi sensor karena mampu memperkecil kesalahan dari pembacaan sensor.

## 5.2 Pengujian Penyulutan TRIAC

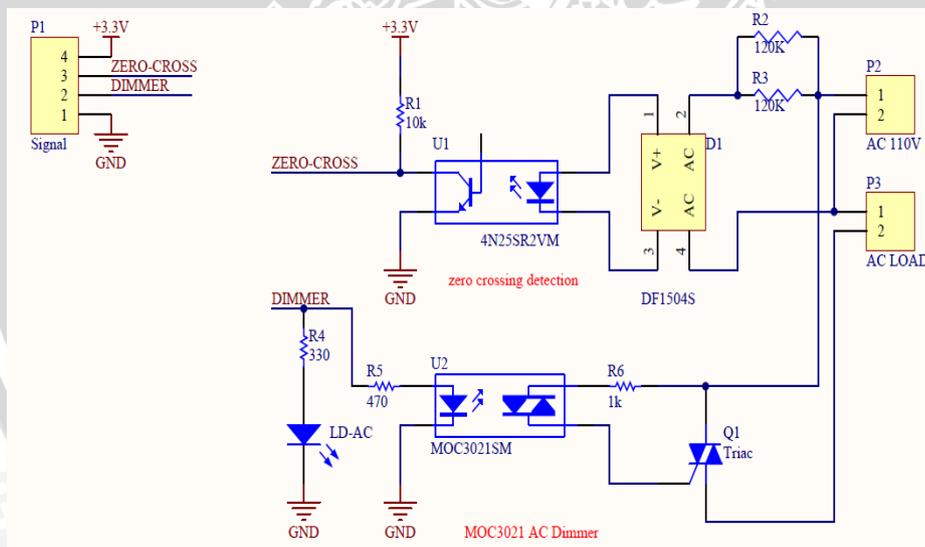
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah rangkaian yang telah dirancang bisa mengatur gelombang sinusoida tegangan AC.

### 5.2.1 Peralatan yang digunakan

1. Sumber Tegangan AC.
2. Arduino Mega 2560.
3. Rangkaian *Zero Cross Detector*.
4. Rangkaian TRIAC dan MOC 3021.
5. Oscilloscope.
6. Multimeter.
7. Komputer.

### 5.2.2 Prosedur Pengujian

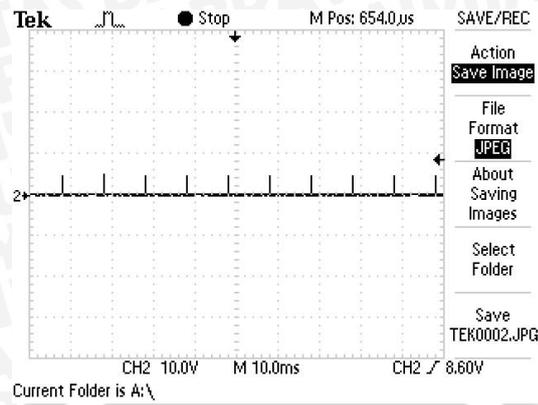
1. Membuat rangkaian seperti Gambar 5.5.
2. Menghubungkan sumber tegangan 5V ke Arduino dan ke optocoupler 4N25.
3. Menghubungkan rangkaian ke sumber tegangan AC.
4. Menghubungkan keluaran optocoupler 4N25 ke pin *interrupt* Arduino.
5. Menghubungkan salah satu pin digital I/O dari arduino ke MOC3021.
6. Menghubungkan *probe* 1 oscilloscope ke keluaran arduino dan *probe* 2 ke tegangan keluaran TRIAC.



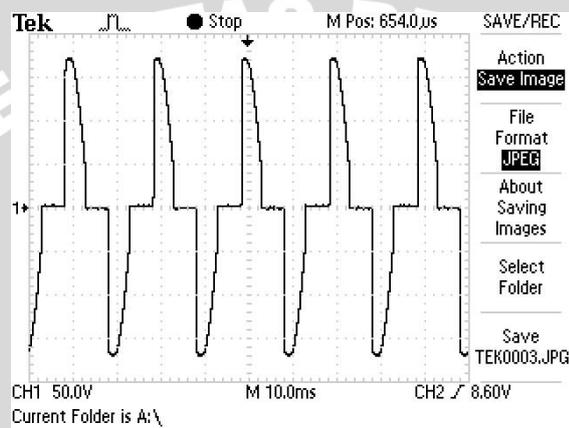
Gambar 5.2 Rangkaian Pengujian Sudut Penyalaan TRIAC

### 5.2.3 Hasil Pengujian

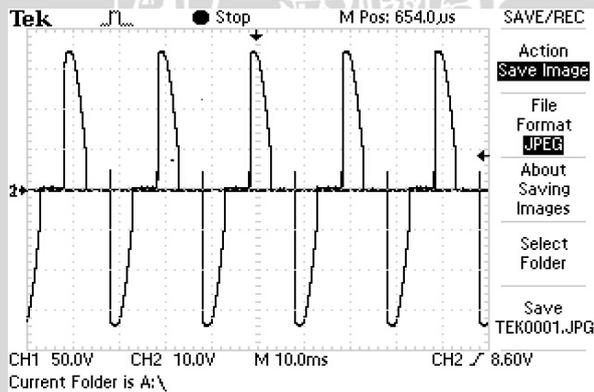
Dari pengujian penyalaan TRIAC didapatkan hasil pengujian berupa bentuk gelombang keluaran TRIAC sesuai dengan sudut penyalannya. Contoh hasil keluaran gelombang untuk sudut penyalan  $90^\circ$  atau dengan *dimming* 64 ditunjukkan pada Gambar 5.6.



(a)



(b)



(c)

**Gambar 5.3** Bentuk Gelombang Keluaran Arduino (a), Bentuk gelombang Keluaran TRIAC (b), Bentuk Gelombang Keluaran Arduino dan TRIAC (c) dengan sudut penyalaaan 90° (Penguujian)

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Sudut Penyalaan TRIAC (Pengujian)

Sudut Penyalaan (°)	dimming	Perhitungan waktu tunda (ms)	Pengujian waktu tunda (ms)
90	64,00	5,00	5,4
105	74,67	5,83	6,2
120	85,33	6,67	7
135	96,00	7,50	7,6
150	106,67	8,33	8,2
165	117,33	9,17	9

Berdasarkan data hasil pengujian sudut penyalaan TRIAC yang didapatkan pada Tabel 5.3 terjadi penyimpangan waktu tunda dengan data hasil perhitungan. Contoh perhitungan pengujian dengan sampel data ke-2:

$$\begin{aligned} \text{Waktu tunda (ms)} &= \frac{\text{Sudut Penyalaan}}{180^\circ} \times 10 \\ &= \frac{105^\circ}{180^\circ} \times 10 \\ &= 5,83 \text{ ms} \end{aligned}$$

Nilai kesalahan yang didapat dari selisih *absolute* perhitungan dan pengujian sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Kesalahan (ms)} &= |\text{Perhitungan} - \text{Pengujian}| \\ &= |5,83 - 6,2| = 0,37 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kesalahan (\%)} &= \frac{\text{Kesalahan}}{\text{Data Perhitungan}} \times 100\% \\ &= \frac{0,37}{5,83} \times 100\% \\ &= 6,29\% \end{aligned}$$

Contoh perhitungan pengujian dengan sampel data ke-4:

$$\begin{aligned} \text{Waktu tunda (ms)} &= \frac{\text{Sudut Penyalaan}}{180^\circ} \times 10 \\ &= \frac{135^\circ}{180^\circ} \times 10 \\ &= 7,5 \text{ ms} \end{aligned}$$

Nilai kesalahan yang didapat dari selisih *absolute* perhitungan dan pengujian sebesar

$$\begin{aligned} \text{Kesalahan (ms)} &= |\text{Perhitungan} - \text{Pengujian}| \\ &= |7,5 - 7,6| = 0,1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kesalahan (\%)} &= \frac{\text{Kesalahan}}{\text{Data Perhitungan}} \times 100\% \end{aligned}$$

$$= \frac{0.1}{7,5} \times 100\%$$

$$= 1.33\%$$

Contoh perhitungan pengujian dengan sampel data ke-6 :

$$\text{Waktu tunda (ms)} = \frac{\text{SudutPenyalaaan}}{180^\circ} \times 10$$

$$= \frac{165^\circ}{180^\circ} \times 10$$

$$= 9,17 \text{ ms}$$

Nilai kesalahan yang didapat dari selisih *absolute* perhitungan dan pengujian sebesar:

$$\text{Kesalahan (ms)} = |\text{Perhitungan} - \text{Pengujian}|$$

$$= |9,17 - 9| = 0,17$$

$$\text{Kesalahan (\%)} = \frac{\text{Kesalahan}}{\text{DataPerhitungan}} \times 100\%$$

$$= \frac{0,17}{9,17} \times 100\%$$

$$= 1,82\%$$

Hasil perhitungan kesalahan pengujian secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 5.4

Tabel 5.4 Kesalahan Pengujian Sudut Penyalaaan TRIAC

Sudut Penyalaaan (°)	Perhitungan waktu tunda (ms)	Pengujian waktu tunda (ms)	Kesalahan (ms)	Kesalahan (%)
90	5,00	5,4	0,40	8,00%
105	5,83	6,2	0,37	6,29%
120	6,67	7	0,33	5,00%
135	7,50	7,6	0,10	1,33%
150	8,33	8,2	0,13	1,60%
165	9,17	9	0,17	1,82%
Rata Rata Kesalahan (%)				4,01%

Dari hasil perhitungan kesalahan pengujian secara keseluruhan didapatkan nilai rata-rata kesalahan keseluruhan sebesar 4.01%. Kesalahan ini dikarenakan adanya proses perhitungan dan pembulatan angka oleh mikrokontroler dan sumber



AC yang tidak ideal baik dari frekuensi dan bentuk gelombang tegangan, sehingga menyebabkan adanya selisih antara perhitungan dan pengukuran. Berdasarkan analisis di atas bisa disimpulkan bahwa mikrokontroler mampu menghasilkan sudut penyalan yang sesuai dengan yang diberikan.

### 5.3 Pengujian Rangkaian *Dimmer*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah rangkaian *dimmer* dapat digunakan sebagai *driver* untuk elemen pemanas.

#### 5.3.1 Peralatan yang Digunakan

1. Sumber Tegangan AC.
2. Arduino Mega 2560.
3. Rangkaian *Dimmer*.
4. Multimeter.
5. Komputer.

#### 5.3.2 Prosedur Pengujian

1. Menghubungkan rangkaian *dimmer* dengan arduino.
2. Menghubungkan rangkaian *dimmer* dengan sumber AC.
3. Menghubungkan Arduino dengan komputer.
4. Memberikan beban lampu pada rangkaian *dimmer*.
5. Memberikan nilai *dimming* pada rangkaian *dimmer* melalui arduino.
6. Mengukur tegangan yang dikeluarkan rangkaian *dimmer* kepada beban.

#### 5.3.3 Hasil Pengujian

Dari hasil pengujian rangkaian *dimmer* didapatkan hasil berupa nilai tegangan yang berbeda-beda sesuai dengan nilai *dimming* yang diberikan. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.5.

**Tabel 5.5** Perbandingan Nilai *Dimming* Terhadap Tegangan

No.	Dimming	Tegangan (VAC)
1	125	11.28
2	115	28.12
3	105	53.7
4	95	81.9
5	85	111.1
6	75	139
7	65	160.8
8	55	183.61
9	45	198.5
10	35	209.2
11	25	215.8
12	15	218.2
13	5	218.8

Dari Tabel 5.5 dapat disimpulkan bahwa rangkaian *dimmer* dapat berfungsi dengan baik dan dapat digunakan sebagai *driver* aktuator (elemen pemanas), ditandai dengan adanya perubahan tegangan akibat perubahan nilai *dimming* yang diberikan.

#### 5.4 Pengujian Keseluruhan Sistem

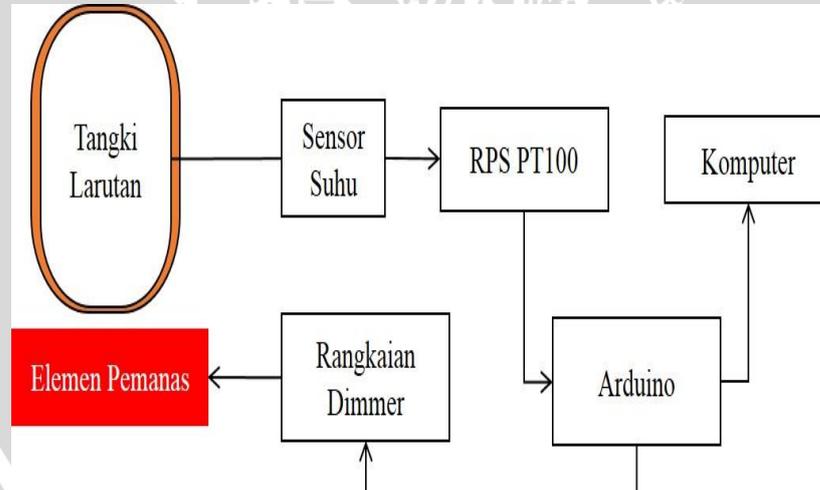
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimanakah karakteristik dari plant suhu apabila diberi nilai *dimming* yang berbeda-beda. Kemudian dari karakteristik tersebut dipilih suatu nilai *dimming* untuk pembangkitan sinyal uji sehingga didapat pasangan data *input-output* untuk selanjutnya diolah menggunakan *software* MATLAB.

#### 5.4.1 Peralatan yang Digunakan

1. *Vacuum Distiller*.
2. Sensor suhu RTD (PT100).
3. Rangkaian pengondisi sinyal sensor suhu PT100.
4. Rangkaian *Dimmer*.
5. Arduino Mega 2560.
6. Sumber tegangan AC.
7. Komputer

#### 5.4.2 Prosedur Pengujian

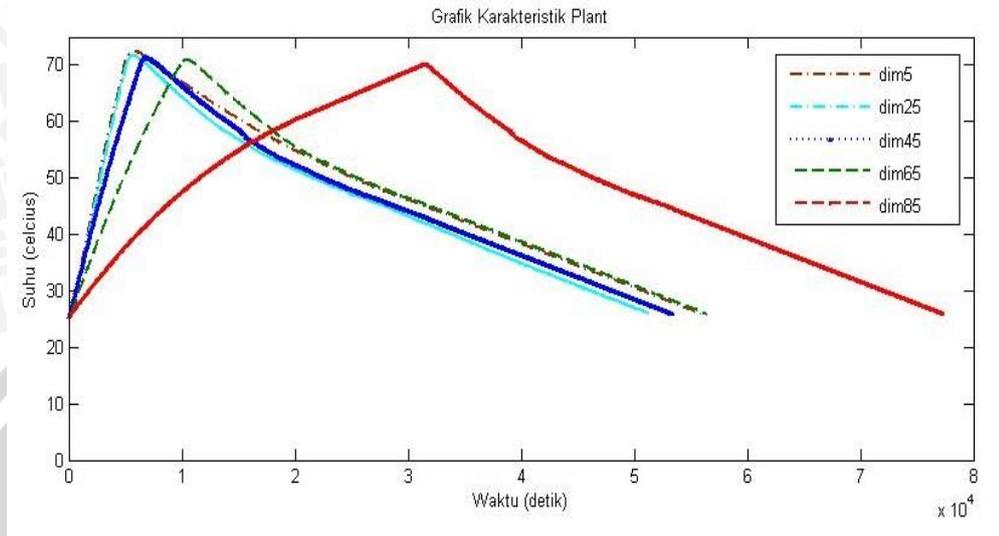
1. Menghubungkan rangkaian seperti Gambar 5.4.
2. Mengunduh program pembangkit sinyal fungsi *step* dan sinyal PRBS sesuai dengan nilai *dimming* tertentu melalui *software* Arduino ERW 1.0.5.
3. Menampilkan dan merekam nilai suhu tabung *evaporator* pada serial monitor *software* Arduino ERW 1.0.5.
4. Membuat grafik dari data yang didapat
5. Mengolah data-data yang didapat menggunakan *software* MATLAB R2013a



Gambar 5.4 Rangkaian Pengujian Keseluruhan

### 5.4.3 Hasil Pengujian

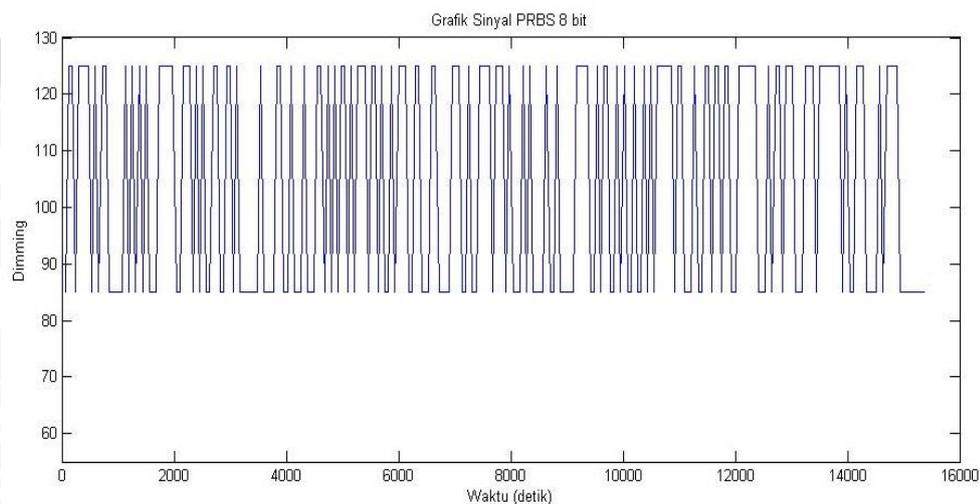
Setelah melakukan prosedur pengujian, didapatkan hasil respon keluaran dengan memberikan nilai *dimming* berbeda-beda yakni 5, 25, 45, 65 dan 85. Grafik hasil pengujian karakteristik *plant* bisa dilihat pada Gambar 5.5.



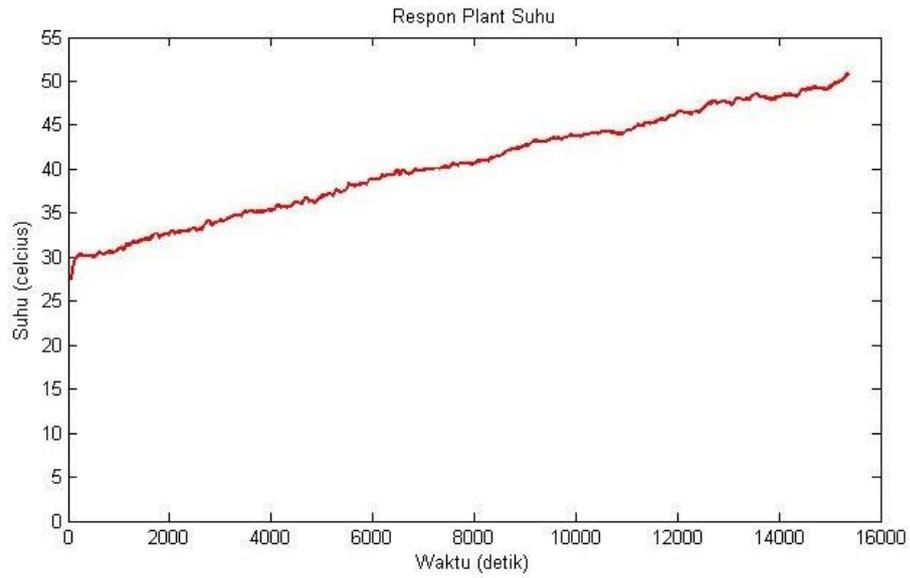
Gambar 5.5 Grafik Uji Karakteristik *Plant* Suhu

Berdasarkan Gambar 5.5 terlihat bahwa pada nilai *dimming* sebesar 85, respon *plant* tidak mengalami *lagging* suhu, maka pada pengujian sistem akan menggunakan nilai *dimming* ini.

Setelah didapatkan hasil dari pengujian karakteristik *plant*, nilai *dimming* 85 ini dipakai sebagai nilai untuk pembangkitan sinyal PRBS 8 bit. Grafik sinyal uji PRBS 8 bit dan respon *plant* ditunjukkan oleh Gambar 5.6 dan Gambar 5.7

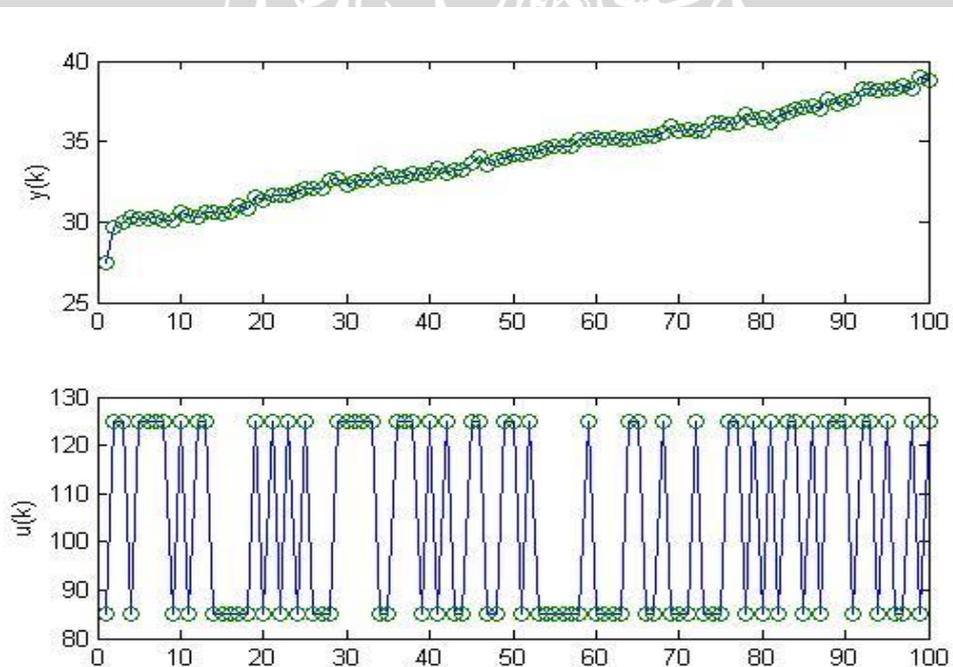


Gambar 5.6 Grafik Sinyal PRBS 8 bit



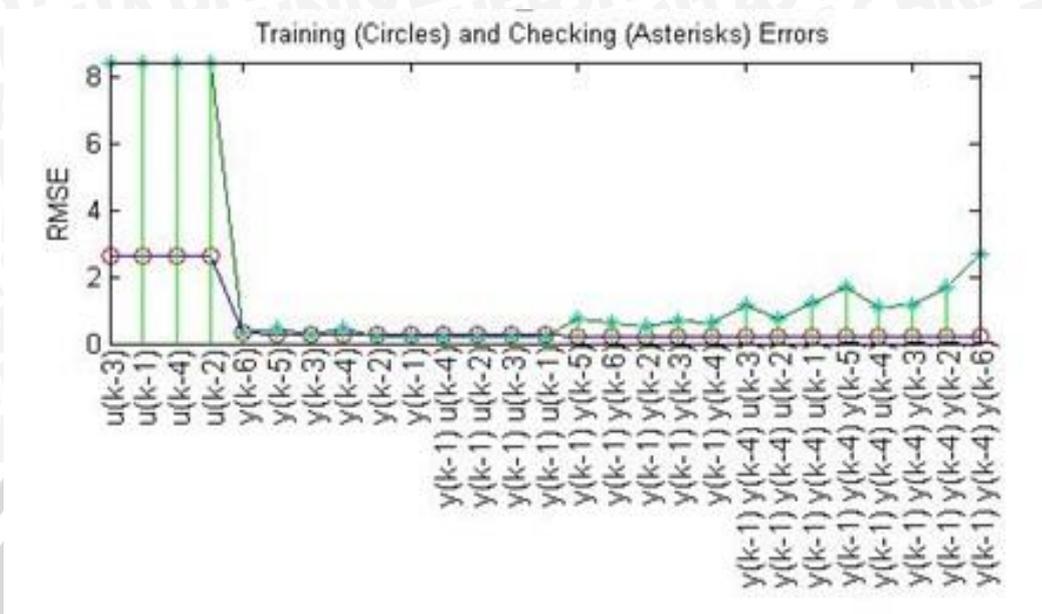
**Gambar 5.7** Grafik Respon Plant Suhu dengan Sinyal Uji PRBS 8 bit

Setelah mendapatkan nilai prbs dan nilai suhu, nilai PRBS dan nilai suhu dikelola ke program Matlab dan dijadikan variabe  $u(k)$  untuk nilai dari dimming PRBS dan  $y(k)$  nilai dari suhu seperti pada Gambar 5.8



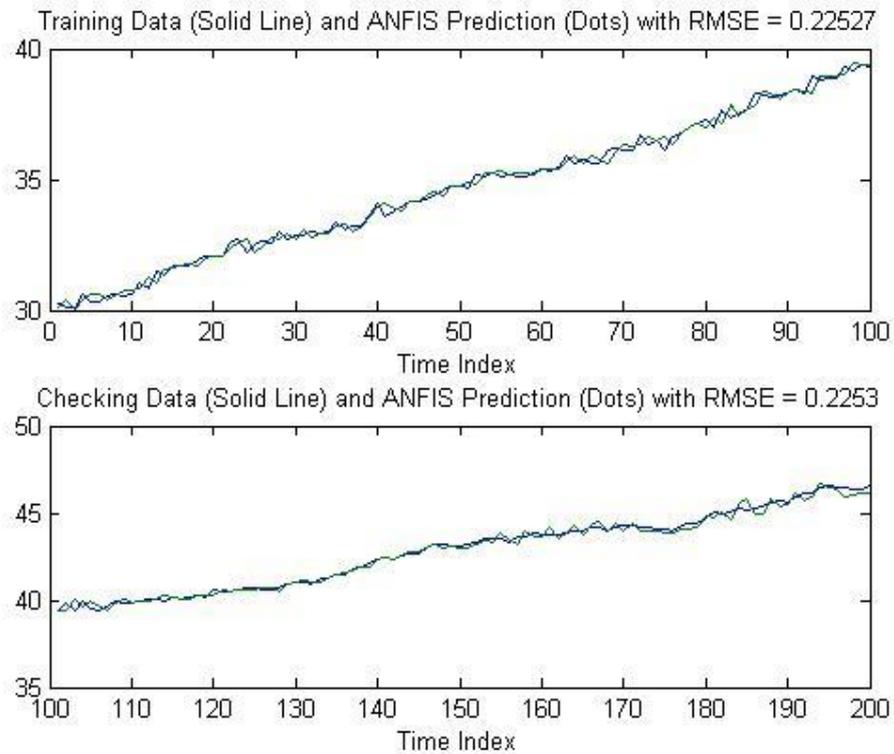
**Gambar 5.8** Grafik nilai  $u(k)$  dan  $y(k)$

Sedangkan grafik pemilihan 3 dari 10 kandidat *input* pada ANFIS. Dan *input* yang dipilih adalah  $y(k-1)$   $y(k-4)$   $y(k-6)$  Gambar 5.9 dan Gambar 5.10 adalah grafik respon nilai suhu



Gambar 5.9 Grafik Pemilihan Input

Setelah didapatkan pasangan data *input-output* baik dari sinyal uji PRBS 8 bit, maka data-data tersebut perlu diolah pada MATLAB untuk melakukan pelatihan dan pengecekan data maka akan didapat nilai RMSE (*Root Mean Squared Error*). Hasil pelatihan dan pengecekan data ditunjukkan oleh Gambar 5.11



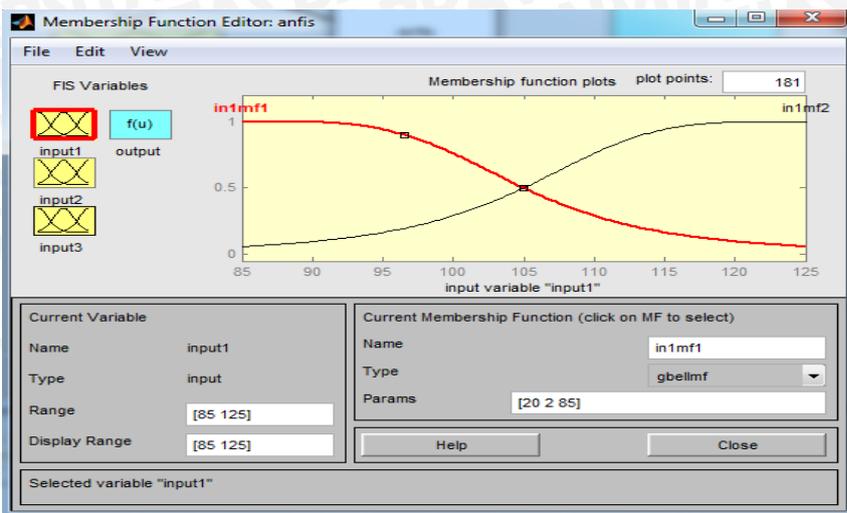
**Gambar 5.10** Grafik Pelatihan dan Pengecekan Data

Berdasarkan prosedur identifikasi sistem, langkah selanjutnya setelah estimasi parameter adalah validasi model. Validasi model dapat dilakukan dengan uji keakurasian. Hasil uji keakurasian yang diperoleh dapat ditunjukkan oleh Gambar 5.10

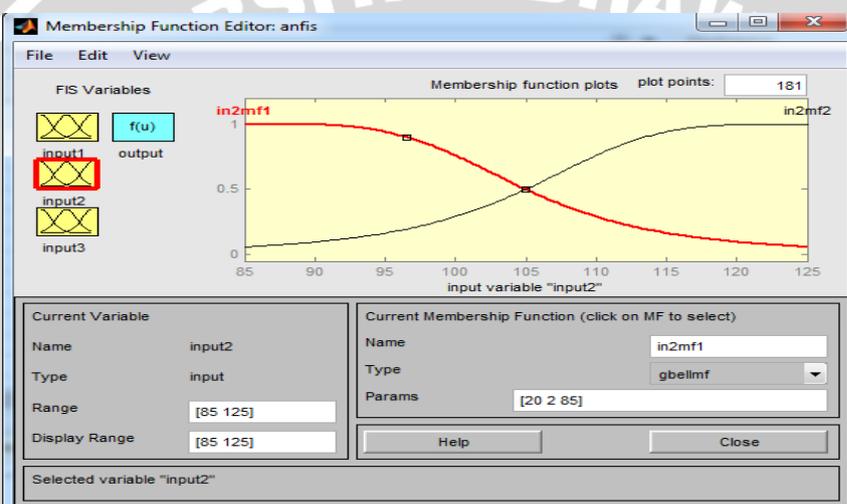
Nilai *Root Mean Squared error (RMSE)* model untuk sinyal uji PRBS 8 bit *dimming* = 85 pada pelatihan data (*training*) ANFIS = 0.22527 dan pengecekan data (*checking*) ANFIS = 0.2253.

Dari hasil uji pelatihan dan pengecekan data pada ANFIS didapat bahwa nilai RMSE sudah mendekati nol. Semakin kecil nilai RMSE (menuju nilai nol), maka semakin bagus model tersebut mewakili suatu sistem yang dimodelkan.

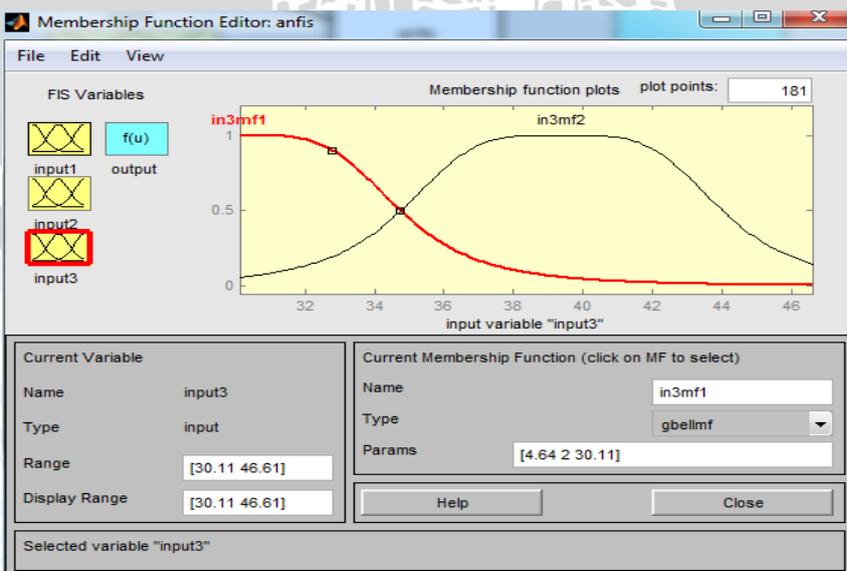
Dari hasil uji pelatihan (*training*) *input* diperoleh fungsi keanggotaan yaitu *input 1* pada Gambar 5.11, *input 2* pada gambar 5.12 dan *input 3* pada Gambar 5.13



Gambar 5.11 Grafik fungsi keanggotaan input 1

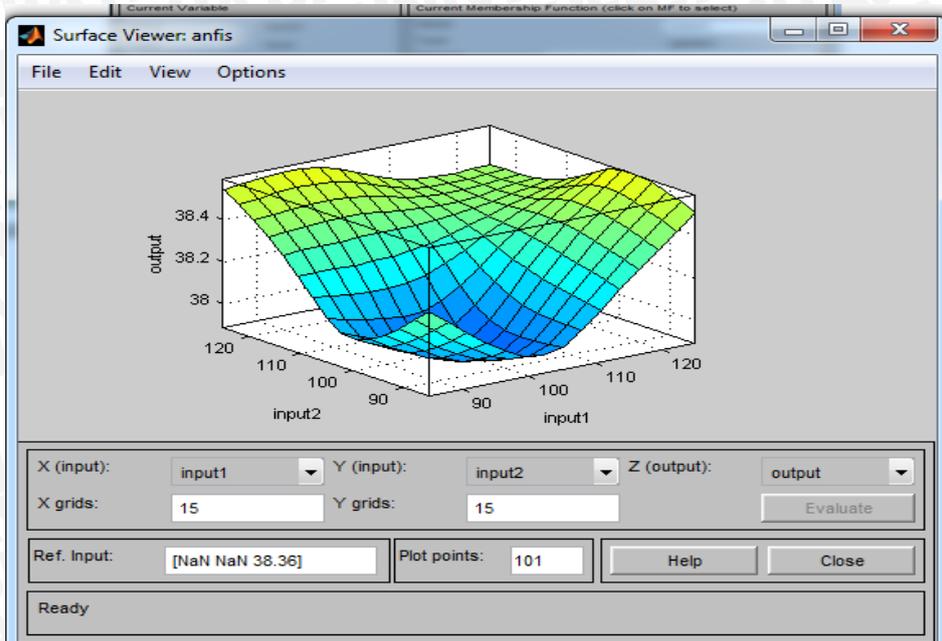


Gambar 5.12 Grafik fungsi keanggotaan input 2

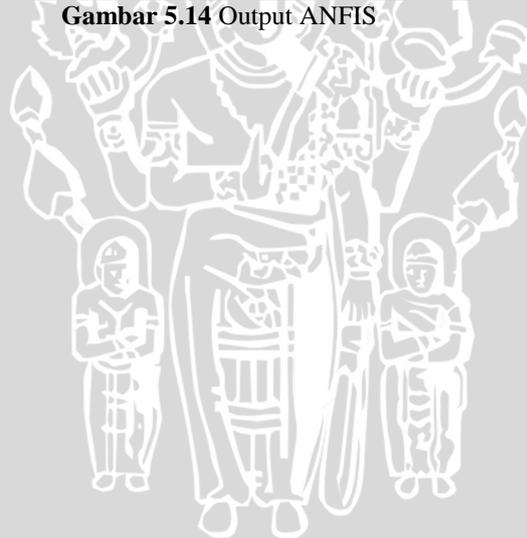


Gambar 5.13 Grafik fungsi keanggotaan input 3

Setelah melakukan *training* model ANFIS maka didapatkan *mesh* plot pada *output* seperti pada Gambar 5.14



Gambar 5.14 Output ANFIS



## BAB VI PENUTUP

### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan baik pengujian perblok rangkaian maupun pengujian sistem secara keseluruhan diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa dengan pemilihan model ANFIS dapat mewakili plant suhu yang sebenarnya. Hal ini didasarkan pada nilai RMSE yang mendekati nol dimana nilai RMSE pada pelatihan data sebesar 0.22527 dan nilai RMSE pada pengecekan data 0.2253
2. Keseluruhan *hardware* dan *software* dapat berfungsi dengan baik yaitu data dari *plant* dapat diterima oleh komputer dan kemudian proses identifikasi dapat berlangsung.

### 6.2 Saran

Meskipun alat ini sudah dapat bekerja sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan, namun ada beberapa hal yang dapat dikembangkan dari alat ini di kemudian hari, antara lain:

1. Disarankan untuk pengembangan lebih lanjut untuk validasi secara *online*.
2. Untuk membandingkan pengaruh hasil identifikasi terhadap struktur model dan metode identifikasi disarankan untuk mencoba struktur model lain seperti ANN.



## DAFTAR PUSTAKA

- Ackland, T. 2012. *Home Distillation of Alcohol*, Diakses dari <http://homedistiller.org>.
- Agustanto, 2012. *www.elemenpemanas.co.id*. 5 November 2013.
- Bobál V, J. Böhm, J. Fessl dan J. Macháček. 2005. *Digital Self-tuning Controllers Algorithms, Implementation and Applications*. Germany: Springer-Verlag London Limited.
- Kusmadewi, Sri dan Sri Hartati. 2010. *Neuro-fuzzy: Integrasi Sistem Fuzzy dan Jaringan Syaraf*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Landau, Ioan dan Gianluca Zito. 2006. *Digital Control Systems Design, Identification and Implementation*. Germany: Springer-Verlag London Limited.
- Ljung, Lennart. 1999. *System Identification Theory For The User second edition*. New Jersey: Prentice Hall.
- Nixon, M., Mc. Gaw, 2001. *The Compleat Distiller*, Auckland, The Amphora Society
- Primatama, A. 2013. *Perancangan Soft Starter Motor Induksi Satu Fasa Dengan Metode Closed Loop Menggunakan Mikrokontroler Arduino*. Skripsi Program Sarjana. Universitas Brawijaya.
- Wyman, C.E., 1996. *Handbook on Bioethanol: Production and Utilization*, Washington, DC, Taylor & Francis.