

Identifikasi Model *Fuzzy* Pada Proses Distilasi Vakum Bioetanol

A.Zaky Balya Anggara, Pembimbing 1: M.Aziz Muslim, Pembimbing 2: Goegoes Dwi N.

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.

Penelitian ini menggunakan sensor suhu PT100 untuk mendeteksi suhu bahan baku. Data dari sensor diproses dan diakuisisi menggunakan mikrokontroler Arduino Mega. Data terkontrol dikirim ke *dimmer circuit* 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 ANFIS dengan RMSE 0.22527 dan pengecekan ANFIS dengan RMSE 0.2253.

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

I. PENDAHULUAN

Dengan berkembangnya zaman menyebabkan semakin tingginya kebutuhan energi. Sebagian besar kebutuhan energi dunia dipasok dari bahan bakar fosil. Bahan bakar fosil tergolong sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui, yang mungkin akan habis dalam beberapa puluh tahun lagi. Oleh karena itu dibutuhkan bahan bakar alternatif yaitu bioetanol. Proses pembuatannya meliputi ekstraksi gula dari bahan nabati, fermentasi menggunakan bahan-bahan kimiawi, distilasi dan absorpsi. Dalam penelitian ini dilakukan distilasi mendekati kondisi vakum dan pada suhu tertentu sebagai pengganti dari proses absorpsi yang dapat memakan waktu 2-3 hari.

Sebelum menentukan strategi kontrol yang tepat untuk mengendalikan *plant* tersebut, perlu dilakukan proses identifikasi sistem. Mengidentifikasi sistem digunakan untuk mendapatkan model matematis dari sebuah sistem fisik melalui pendekatan eksperimen.

Jurnal ini dibuat untuk memenuhi syarat seminar hasil Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.

M.Aziz Muslim, ST., MT., adalah Dosen Pembimbing I Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (phone: 085815170109; email: muhAzism2@gmail.com).

Goegoes Dwi N., ST., MT., adalah Dosen Pembimbing II Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (phone: 0813-2819-9511; email: nisways@gmail.com).

A.Zaky Balya Anggara adalah Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (phone: 0857-4977-0077; email zaky.anggara77@gmail.com)

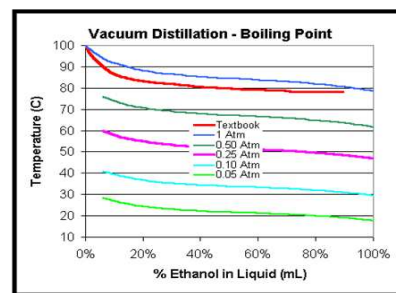
Untuk tahap awal, proses identifikasi sistem dilakukan pada *plant* suhu berupa tabung evaporator.

Salah satu metode yang dapat digunakan adalah identifikasi dengan model ANFIS. Diharapkan dengan model ANFIS prediksi kesalahan lebih kecil dari metode lainnya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Distilasi Vakum

Pada prinsipnya, distilasi merupakan suatu metode pemisahan bahan kimia berdasarkan perbedaan kemudahan menguap (volatilitas) suatu bahan. Dalam proses distilasi, campuran zat dididihkan sehingga menguap dan uap ini kemudian didinginkan kembali dalam bentuk cairan. Zat yang menguap terlebih dahulu adalah zat yang memiliki titik didih lebih rendah.



Gambar 1. Distilasi Alkohol pada Tekanan di Bawah 1 atm [1]

Gambar 1 diatas, mengilustrasikan proses distilasi pada tekanan dibawah 1 atm yang mana akan memberikan hasil konsentrasi berbeda pada suhu tertentu pula.

B. Elemen Pemanas

Elemen pemanas merupakan sejenis alat yang mengubah energi listrik menjadi energi panas melalui proses *Joule Heating*. Prinsip kerja elemen pemanas adalah adanya arus listrik yang mengalir pada resistansi elemen sehingga menghasilkan panas. Contoh elemen pemanas dapat dilihat pada Gambar 2.

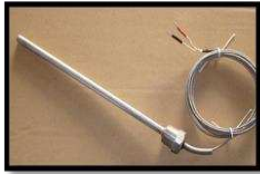


Gambar 2. Elemen Pemanas

C. Sensor Suhu

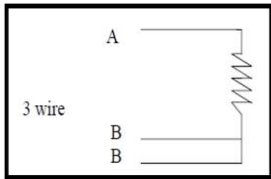
Sensor suhu yang dipasang dalam tabung evaporator adalah PT100 seperti pada Gambar 3. Dinamakan PT100 karena terbuat dari logam platinum (PT) dan

dikalibrasi pada suhu 0°C dengan nilai resistansi 100 ohm.



Gambar 3. Sensor Suhu PT100

RTD PT100 merupakan resistor yang nilai resistansinya berubah-ubah sesuai dengan kenaikan suhu. Kabel RTD PT100 berjumlah 3 buah yang terdiri dari 2 jenis yaitu, A dan B. Kabel B memiliki dua cabang yang memiliki fungsi sama, karena ujungnya dipararel seperti dalam Gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian Dasar Sensor Suhu PT100

D. Modul Dimmer Circuit

Untuk mengendalikan besarnya arus yang melewati elemen pemanas yang dicatu sumber tegangan AC digunakan *dimmer circuit* yang mana di dalamnya terdapat rangkaian untuk pemucuan gate TRIAC dan rangkaian *Zero Cross Detector*. Modul *Dimmer Circuit* dapat dilihat pada Gambar 5 [2].



Gambar 5. AC Dimmer Module Lite (v1.1)

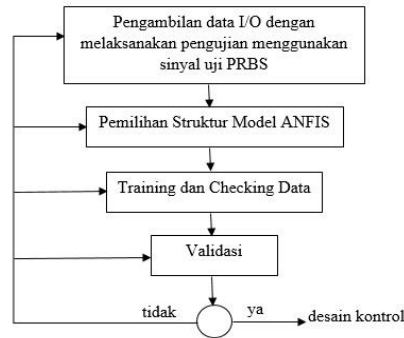
E. Dasar Identifikasi Sistem

Identifikasi sistem adalah suatu pemodelan matematika terhadap suatu sistem atau proses, berdasarkan data-data hasil percobaan yang dilakukan.

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

- Perancangan percobaan : mendapatkan data-data percobaan berupa sinyal masukan dan data keluaran.
- Pemilihan struktur model : suatu struktur model yang tepat dipilih secara *trial and error*
- Pemilihan *criterion to fit* : memilih *cost-function* yang sesuai.
- *Training dan checking 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

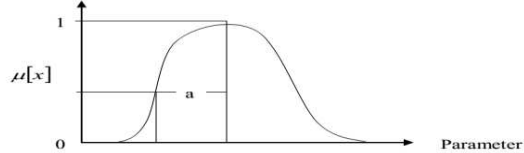
Secara umum proses identifikasi ditunjukkan oleh Gambar 6.



Gambar 6. Bagan Proses Identifikasi Sistem

Pengambilan data masukan dan keluaran didapat dengan cara memberikan suatu sinyal uji terhadap sistem kemudian mencatat respon dari sistem tersebut. Sinyal uji yang digunakan adalah *Pseudo Random Binary Sequence* (PRBS). PRBS merupakan sinyal kotak yang termodulasi pada lebarnya dan berlangsung secara sekuensial.

Fungsi keanggotaan pada ANFIS ini menggunakan Gbellmf seperti pada Gambar 7.



Parameter [a b c]

Fungsi keanggotaan :

$$f(x; a, b, c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}}$$

Bila diberikan suatu aturan *Fuzzy TSK* sebagai berikut :

Aturan I :

IF x is A₁ and y is B₁, then f₁ = pX₁ + qY₂ + r₁

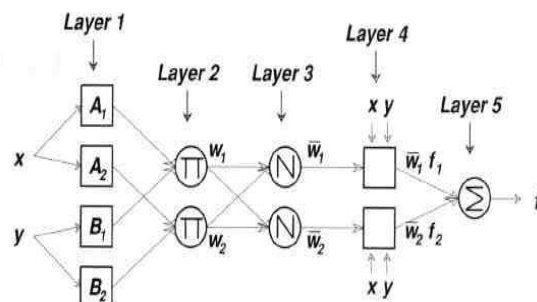
Aturan II :

IF x is A₂ and y is B₂, then f₂ = pX₂ + qY₂ + r₂

Maka keputusan akhir diberikan oleh :

$$F = \frac{W_1 f_1 + W_2 f_2}{W_1 + W_2}$$

Bentuk aturan *fuzzy* tersebut dapat digambarkan dalam struktur model ANFIS sebagaimana pada Gambar 7.



Gambar 8. Struktur Model ANFIS

Gambar 8 dapat dijelaskan sebagai berikut:

Lapis I : setiap node i adalah node adaptif. Parameter dalam lapis ini adalah parameter premis.

Lapis II : setiap node dalam lapis ini adalah node tetap berlabel dua, yang keluarannya adalah produk dari semua sinyal masukan. Setiap keluaran node merepresentasikan kuat penyulutan dari sebuah aturan.

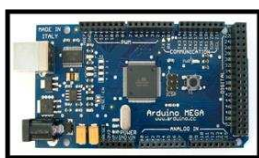
Lapis III : setiap node dalam lapis ini adalah node tetap berlabel N . Node ke- i mengkalkulasi rasio kuat penyulutan semua aturan yang disebut kuat penyulutan ternormalisasi.

Lapis IV : setiap node i dalam lapis ini adalah node adaptif. Parameter dalam lapis ini adalah parameter konsekuensi.

Lapis V : Node tunggal dalam lapis ini adalah node tetap berlabel Σ , yang menghitung keseluruhan keluaran sebagai penjumlahan dari semua sinyal masuk.

F. Arduino

Arduino Mega adalah board mikrokontroler berbasis ATmega2560 [3]. Memiliki 54 pin *input* dan *output* digital, dimana 14 pin diantara 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. Arduino Mega dapat dilihat pada Gambar 9.

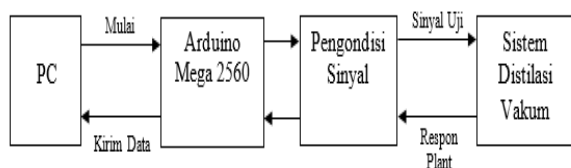


Gambar 9. Tampak Atas Arduino Mega

III. PERANCANGAN ALAT DAN KONTROLER

A. Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem yang dirancang ditunjukkan dalam Gambar 10.



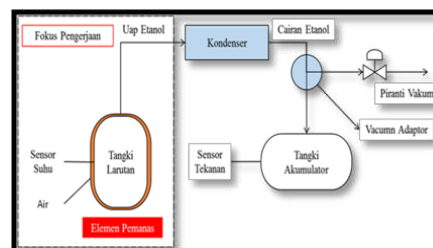
Gambar 10. Blok Diagram Sistem

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.

B. Perancangan Alat Vakum Distiler

Perancangan alat vakum distiler dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Perancangan Vakum Distilasi

1. Tabung evaporator tempat larutan bahan baku bioetanol yang diselubungi jaket berisi air.
2. Kondenser yang terhubung dengan saluran yang dilewati oleh uap dari tabung evaporator.
3. Piranti vakum dipasang pada tangki akumulator.
4. Sensor Suhu PT100 dipasang pada tabung evaporator.
5. Elemen pemanas terpasang pada jaket.
6. Perangkat kontrol Arduino Mega 2560.

C. Pemilihan Elemen Pemanas

Sistem pemanasan dilakukan dengan menggunakan 4 buah elemen pemanas dengan total daya 1200W, pemasangan elemen pemanas diletakkan tidak langsung di dalam tangki melainkan di dalam jaket yang berisi air sebagai media pemanasnya seperti pada Gambar 12.

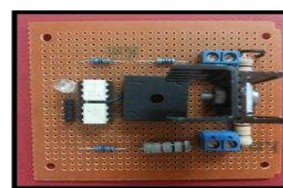


Gambar 12. Pemasangan Elemen Pemanas

D. Perancangan Modul Dimmer Circuit

Modul pengendali tegangan yang digunakan adalah *AC dimmer module lite (v1.1)*. Secara garis besar modul ini berfungsi untuk mendeteksi gelombang sinus AC 220 volt saat melewati titik tegangan nol dan mengatur tegangan AC melalui pemicuan dari *gate TRIAC*.

AC dimmer module lite (v1.1) yang dirangkai sendiri dapat dilihat pada Gambar 13.

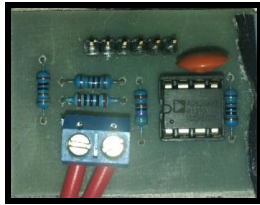


Gambar 13. AC Dimmer Module yang Dirangkai Sendiri

E. Perancangan Rangkaian Pengondisi Sinyal Sensor Suhu PT100

PT 100 adalah sensor suhu yang mengindera perubahan suhu dengan cara mengubah besar resistansinya. Karena itu dibutuhkan suatu rangkaian untuk mengubah besar resistansi PT 100 ke dalam tegangan agar dapat dibaca oleh mikrokontroler.

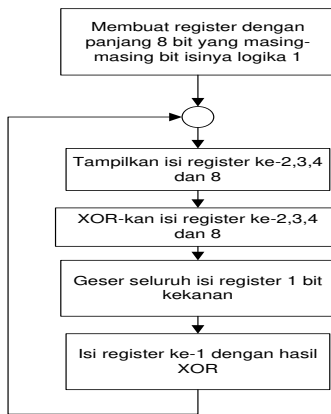
Modul rangkaian pengkondisi sinyal PT100 ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Modul Rangkaian Pengondisi Sinyal PT100

F. Perancangan Identifikasi Sistem

Perancangan identifikasi sistem diawali dengan memberikan sinyal uji terhadap sistem. Sinyal uji yang digunakan adalah PRBS 8 bit dimana posisi umpan balik terdapat pada register ke-2,3,4 dan 8. Diagram alir pembangkitan sinyal PRBS ditunjukkan oleh Gambar 15.



Gambar 15. Diagram Alir Pembangkitan Sinyal PRBS 8 bit

Respon dari *plant* berupa pembacaan suhu. Data sinyal masukan dan respon keluaran sistem akan diakuisisi oleh perangkat Arduino dan hasilnya disimpan untuk digunakan pada langkah identifikasi lebih lanjut.

Langkah-langkah identifikasi akan diprogramkan pada *software* MATLAB menggunakan perintah ANFIS.

G. Perancangan Perangkat Lunak

Pada penelitian ini pemrograman pembangkitan sinyal masukan dan pencatatan respon keluaran sistem menggunakan *software* Arduino ERW VI.0.5. sedangkan proses identifikasi menggunakan *software* MATLAB.

IV. PENGUJIAN DAN ANALISA DATA

Pengujian ini meliputi kalibrasi sensor suhu PT100, pengujian penyulutan TRIAC, pengujian *dimmer circuit* dan pengujian sistem keseluruhan.

A. Kalibrasi Sensor Suhu (PT100)

Kalibrasi sensor suhu PT100 dilakukan untuk melihat bagaimana penyimpangan yang dilakukan sensor suhu dalam beberapa kali pengukuran. Kalibrasi sensor suhu PT100 dilakukan dengan menggunakan metode regresi linear. Dengan rumus sebagai berikut :

$$\sum n a_0 + \sum x_i a_1 = \sum y_i \tag{2}$$

$$\sum x_i a_0 + \sum x_i^2 a_1 = \sum x_i y_i \tag{3}$$

$$f = a_0 + a_1 x \tag{4}$$

Keterangan:

- n = banyak data.
- a_0 = intercept.
- a_1 = slope.
- x_i = independent.
- y_i = dependent variable.

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan metode regresi linear, didapatkan hasil :

$$f = -0,468847111 + 1,005251338x$$

Hasil dari fungsi diataslah yang digunakan sebagai nilai kalibrasi dalam program. Hasil pengujian sensor suhu sebelum dan sesudah kalibrasi, dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Kalibrasi Sensor Suhu

No	Suhu Termometer	Suhu Pembacaan Serial Monitor Sebelum Kalibrasi	Suhu Pembacaan Serial Monitor Sesudah Kalibrasi
1	20	20.4	20.05
2	25	25.43	25.22
3	30	30.19	30.14
4	35	35.2	35.35
5	40	40.19	40.31
6	45	45.23	45.28
7	50	49.94	50.27
8	55	55.28	54.72
9	60	60.08	59.74
10	65	65.6	64.77
11	70	70.24	70.11
12	75	75.35	75.47
13	80	80.1	80.27
14	85	84.46	85.1

Dari hasil pengujian didapatkan perubahan nilai *error* sebagai berikut :

- Perhitungan *error* sebelum kalibrasi:

$$\% error = \frac{(\sum \text{Hasil Pengukuran} - \sum \text{Reference})}{\sum \text{Reference}} \times 100\% \tag{5}$$

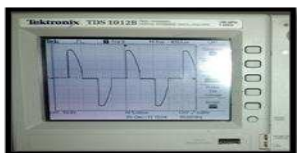
$$\% error = \frac{(737.69 - 735)}{735} \times 100\% = 0.36\%$$

- Perhitungan *error* setelah kalibrasi: 0.24%

Dari perhitungan *error* diatas dapat disimpulkan hasil regresi dapat digunakan sebagai kalibrasi karena dapat memperkecil *error* pembacaan sensor.

B. Pengujian Penyulutan TRIAC

Dari pengujian penyalaan TRIAC didapatkan hasil pengujian berupa bentuk gelombang keluaran.



Gambar 16. Bentuk Gelombang Keluaran TRIAC dengan Sudut Penyalaaan 90°

TRIAC sesuai dengan sudut penyalaaannya. Contoh hasil keluaran gelombang untuk sudut penyalaaan 90° atau dengan *dimming* 64 ditunjukkan pada Gambar 16. Hasil pengujian keseluruhan ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Keseluruhan

Sudut Penyalaaan (°)	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 penyalaaan TRIAC yang didapatkan pada Tabel 3 terjadi penyimpangan waktu tunda dengan data hasil perhitungan. Contoh perhitungan pengujian dengan sampel data ke-2 :

$$\text{Waktu tunda (ms)} = \frac{\text{Sudut Penyalaaan}}{180^\circ} \times 10 \quad (6)$$

$$= \frac{105^\circ}{180^\circ} \times 10 = 5,83 \text{ ms}$$

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

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

$$= |5,83 - 6,2| = 0,37$$

$$\text{Error (\%)} = \frac{\text{Error}}{\text{Data Perhitungan}} \times 100\% \quad (7)$$

$$= \frac{0,37}{5,83} \times 100\%$$

$$= 6,29\%$$

Hasil perhitungan *error* pengujian secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan *Error* Keseluruhan TRIAC

Sudut Penyalaaan (°)	Perhitungan waktu tunda (ms)	Pengujian waktu tunda (ms)	error (ms)	error (%)
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 Error (%)				4,01%

Dari hasil perhitungan *error* pengujian secara keseluruhan didapatkan nilai rata-rata *error* keseluruhan

sebesar 4.01% dikarenakan adanya proses perhitungan dan pembulatan angka oleh mikrokontroler dan sumber AC yang tidak ideal sehingga menyebabkan adanya selisih antara perhitungan dan pengukuran. Berdasarkan analisis di atas bisa disimpulkan bahwa Mikrokontroler mampu menghasilkan sudut penyalaaan yang sesuai dengan yang diberikan.

C. Pengujian Dimmer Circuit

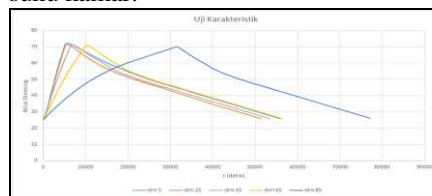
Dari hasil pengujian *dimmer circuit* didapatkan hasil berupa nilai tegangan yang berbeda-beda sesuai dengan nilai *dimming* yang diberikan. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan Nilai *Dimming* Terhadap Tegangan

No.	Dimming	Tegangan (VAC)
1	128	3.1
2	125	11.28
3	115	28.12
4	105	53.7
5	95	81.9
6	85	111.1
7	75	139
8	65	160.8
9	55	183.61
10	45	198.5
11	35	209.2
12	25	215.8
13	15	218.2
14	5	218.8
15	3	218

D. Pengujian Karakteristik Plant

Menguji karakteristik plant dilakukan dengan cara memberikan nilai *dimming* yang berbeda-beda pada plant dimulai dari suhu ruang (sekitar 25°C) sampai menuju suhu maksimal (70°C) kemudian kembali ke suhu kamar.



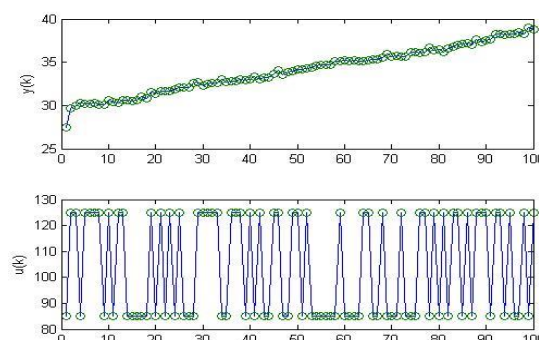
Gambar 17. Uji Karakteristik Plant

Berdasarkan Gambar 17 terlihat bahwa pada nilai *dimming* sebesar 85, respon *plant* tidak mengalami *lagging* suhu, maka pada pengujian sistem akan menggunakan nilai *dimming* ini.

E. Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

1. Pengambilan Data Input Output

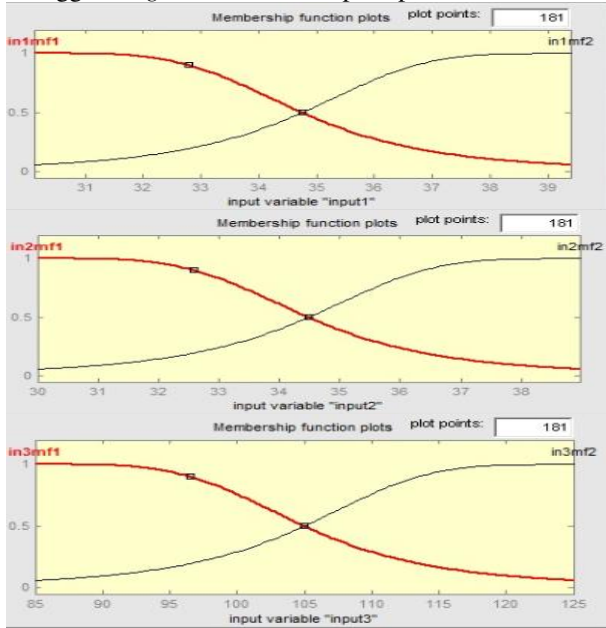
Proses pengambilan data dimulai dengan membangkitkan sinyal uji PRBS 8bit seperti yang ditunjukkan pada Gambar 18.



Gambar 18. Respon plan suhu dari Sinyal Uji PRBS 8 bit

2. Fungsi Keanggotaan

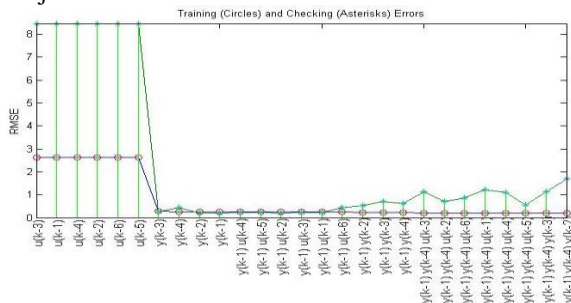
Fungsi keanggotaan pada input *fuzzy* adalah tipe fungsi keanggotaan *generalized-bell* seperti pada Gambar 19.



Gambar 19. Fungsi keanggotaan input

3. Pemilihan Input

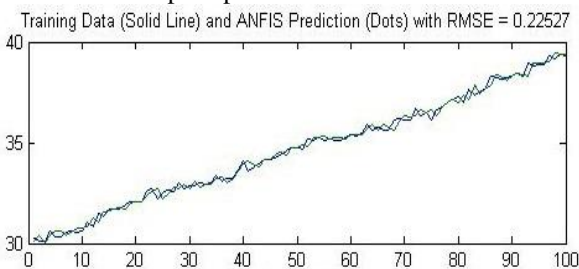
Pemilihan 3 input dari 11 kandidat input ditunjukkan oleh Gambar 20.



Gambar 21. Pemilihan Input

3. Pelatihan ANFIS

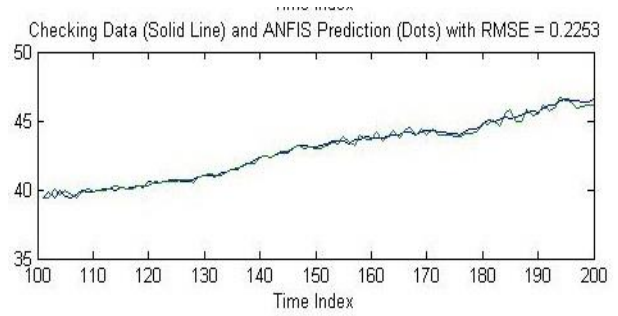
Berdasarkan uji ANFIS yang telah dilakukan, diperoleh hasil pelatihan ANFIS dengan nilai RMSE sebesar 0.22527 seperti pada Gambar 21.



Gambar 22. Pelatihan ANFIS

4. Pengecekan ANFIS

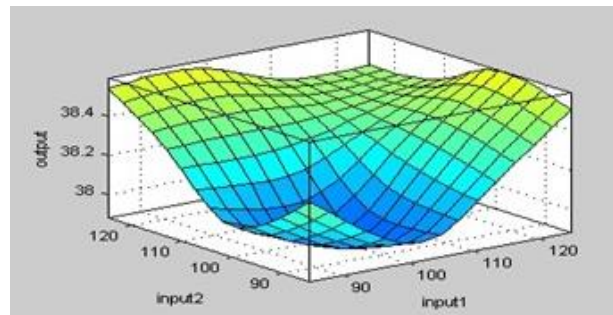
Pengecekan ANFIS bisa disebut juga sebagai validasi. Hasil validasi yang diperoleh ditunjukkan pada Gambar 22 dengan nilai RMSE sebesar 0.2253.



Gambar 22. Pengecekan ANFIS

5. Hasil ANFIS

Setelah melakukan *training* model ANFIS maka didapatkan *mesh* plot pada *output* yang ditunjukkan oleh Gambar 23.



Gambar 23. Hasil keluaran ANFIS

V. Kesimpulan

Pada penelitian ini telah dirancang identifikasi *plant* suhu pada proses distilasi vakum bioetanol. Berdasarkan 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 training data sebesar 0.22527 dan nilai RMSE pada checking data 0.2253.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Akland, Toni. (2012). *Home Distillation of Alcohol*
 [2] Kuswadi, Son. (2007). *Kendali Cerdas, Teori dan Aplikasi Praktisnya*.
 [3] <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>

