

# Identifikasi Model *Plant* Suhu Pada Proses Distilasi Vakum Bioetanol

Tery Nando Wisnu Wardana, Pembimbing 1: Goegoes Dwi N., Pembimbing 2: Bambang Siswoyo.

**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 ARMAX orde 4.

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) dan sinyal *step*.

Dari pengujian yang telah dilakukan didapatkan hasil validasi model Akaike's FPE = 0.03826 dan 0.0007611, serta *bestfit* = 94.61% dan 98.84%

**Kata Kunci:** Bioetanol, Distilasi Vakum, ARMAX, 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.

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

Bambang Siswoyo, Ir., MT., adalah Dosen Pembimbing II Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (email: bsiswoyo@ub.ac.id).

Tery Nando Wisnu Wardana adalah Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (phone: 0856-4807-1030; email terywardanas@gmail.com)

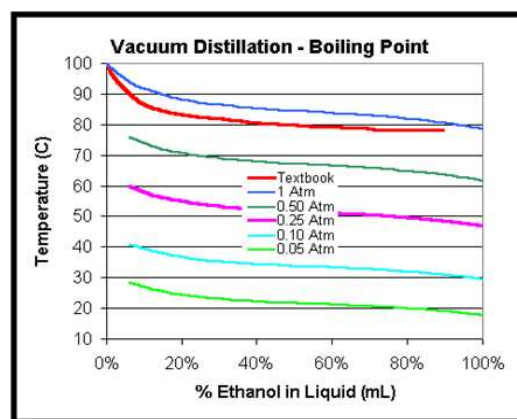
Untuk tahap awal, proses identifikasi sistem dilakukan pada *plant* suhu berupa tabung evaporator.

Salah satu metode yang dapat digunakan adalah algoritma *Recursive Least Square* (RLS) dengan struktur model ARMAX. Keunggulannya terletak pada kesederhanaan untuk memodelkan sistem tanpa memperhatikan keidealannya setiap komponen sistem

## 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

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

### B. Elemen Pemanas

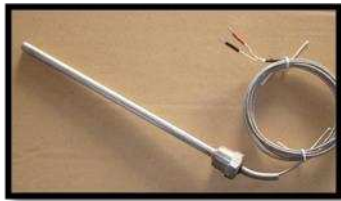
Elemen pemanas merupakan sejenis alat yang mengubah energi listrik menjadi energi panas melalui proses *Joule Heating*. Prinsip kerja elemen pemanas adalah adanya arus listrik yang mengalir pada resistansi elemen sehingga menghasilkan panas. Contoh elemen pemanas dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Elemen Pemanas

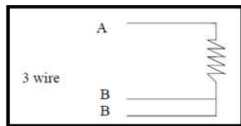
C. Sensor Suhu

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

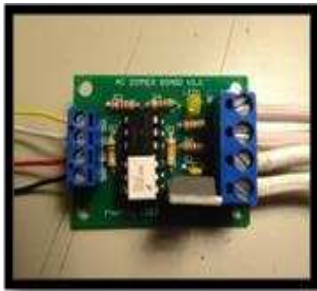
RTD PT100 merupakan resistor yang nilai resistansinya berubah-ubah sesuai dengan kenaikan suhu. Kabel RTD PT100 berjumlah 3 buah yang terdiri dari 2 jenis yaitu, A dan B. Kabel B memiliki dua cabang yang memiliki fungsi sama, karena ujungnya dipararel seperti dalam Gambar 4.



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 pemucian 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

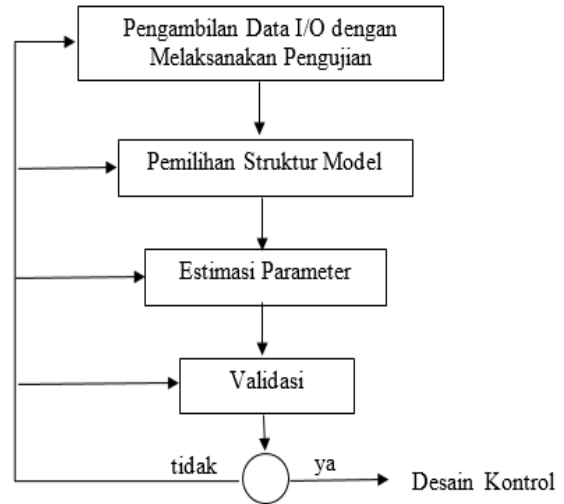
Identifikasi sistem adalah suatu pemodelan matematika terhadap suatu sistem atau proses, berdasarkan data-data hasil percobaan yang dilakukan.

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.

- Estimasi parameter : permasalahan optimasi dapat diselesaikan dengan perhitungan matematis dari parameter model
- Validasi model : menguji coba model untuk mengetahui kekurangan-kekurangan

Secara umum proses identifikasi ditunjukkan oleh gambar berikut



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.

Struktur model ARMAX ditunjukkan oleh persamaan dan gambar 6 [3] berikut

$$A(q)y(t) = B(q)u(t) + C(q)e(t) \quad \dots(1)$$

dengan

$$A(q) = 1 + a_1q^{-1} + \dots + a_{na}q^{-na}$$

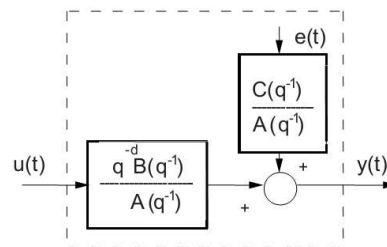
$$B(q) = b_1q^{-1} + \dots + b_{nb}q^{-nb}$$

$$C(q) = 1 + c_1q^{-1} + \dots + c_{nc}q^{-nc}$$

y(t) = keluaran

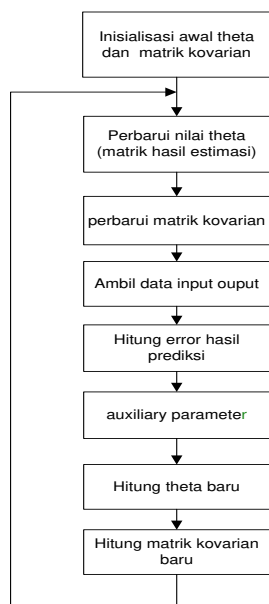
u(t) = masukan

e(t) = gangguan



Gambar 7. Struktur Model ARMAX

Langkah selanjutnya dalam mengidentifikasi sistem adalah dengan mengestimasi parameter.

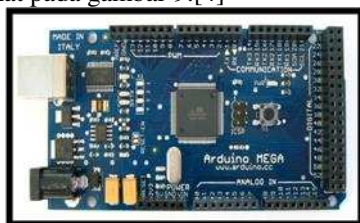


Gambar 8. Bagan Estimasi Paramater

Setelah estimasi parameter selesai, maka validasi model perlu dilakukan. Validasi model dapat dilakukan dengan cara uji keakurasian. Keakurasian model diuji dengan cara membandingkan respon model dengan respon sistem yang sebenarnya terhadap sinyal masukan tertentu seperti step dan PRBS. Angka keakurasian ini dinyatakan dalam prosentase, semakin besar nilainya (maksimal 100%) berarti keluaran model sudah mendekati keluaran sistem yang sesungguhnya.

#### 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.[4]

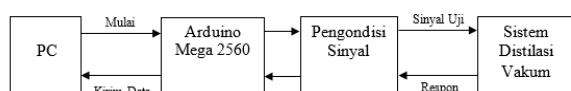


Gambar 9. Tampak Atas Arduino Mega

### III. PERANCANGAN ALAT DAN KONTROLER

#### A. Diagram Blok Sistem

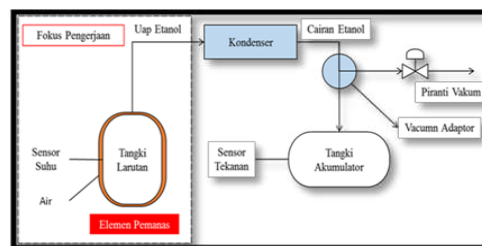
Diagram blok sistem yang dirancang ditunjukkan dalam Gambar 10.



Gambar 10. Blok Diagram Sistem

#### B. Perancangan Alat Vakum Distiler

Perancangan alat dapat dilihat pada gambar 11.

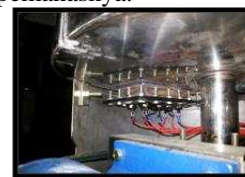


Gambar 11. Perancangan Vakum Distilasi

1. Tabung evaporator tempat larutan bahan baku bioetanol yang diselimuti 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.

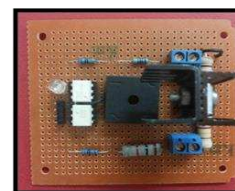


Gambar 12. Pemasangan Elemen Pemanas

#### 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 pemucuan dari *gate TRIAC*.

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

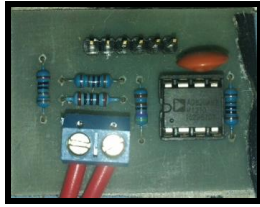


Gambar 13. AC Dimmer Module yang Dirangkai Sendiri

#### 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.

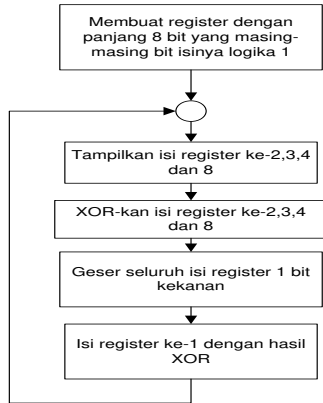
Modul rangkaian pengondisi sinyal PT100 ditunjukkan pada gambar 14.



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

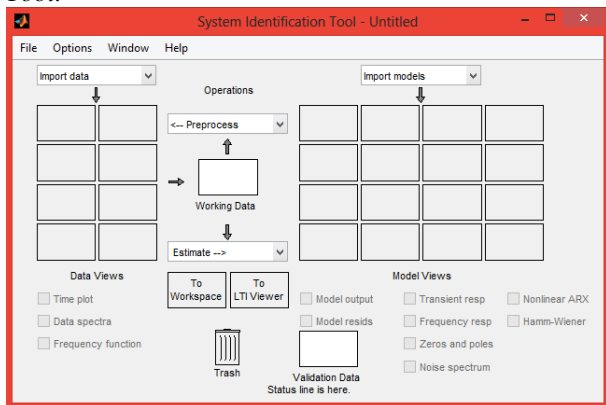


Gambar 15. Diagram Alir Pembangkitan Sinyal PRBS 8 bit

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 identifikasi selanjutnya berturut-turut adalah pemilihan struktur model, estimasi parameter dan validasi model

Ketiga langkah tersebut akan diprogramkan pada *software* MATLAB menggunakan *System Identification Tool*.



Gambar 16. *System Identification Tool* pada MATLAB

G. Perancangan Perangkat Lunak

Pada penelitian ini pemrograman pembangkitan sinyal masukan dan pencatatan respon keluaran sistem menggunakan *software* Arduino ERW V1.0.5. sedangkan proses identifikasi menggunakan *System Identification Toolbox* pada *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 2.

Tabel 2. 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:

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

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

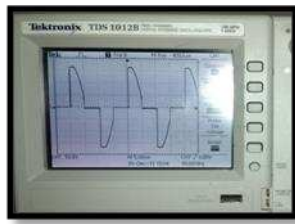
- Perhitungan *error* setelah kalibrasi: 0.24%

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



### B. Pengujian Penyulutan TRIAC

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



Gambar 17. Bentuk Gelombang Keluaran TRIAC dengan Sudut Penyalan 90°

TRIAC sesuai dengan sudut penyalannya. Contoh hasil keluaran gelombang untuk sudut penyalan 90° atau dengan *dimming* 64 ditunjukkan pada Gambar 17. Hasil pengujian keseluruhan ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Keseluruhan

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

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

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

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 4.

Tabel 4. Perhitungan Error Keseluruhan TRIAC

Sudut Penyalan (°)	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 penyalan yang sesuai dengan yang diberikan.

### C. Pengujian Dimmer Circuit

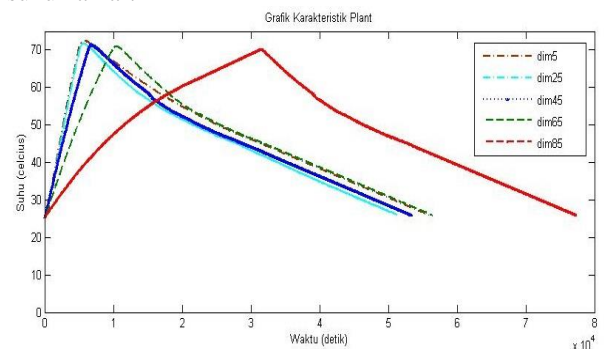
Dari hasil pengujian *dimmer circuit* didapatkan hasil berupa nilai tegangan yang berbeda-beda sesuai dengan nilai *dimming* yang diberikan. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. 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.



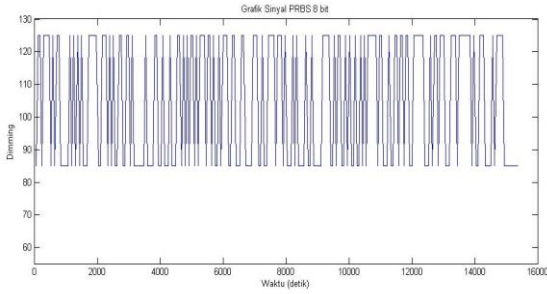
Gambar 18. Uji Karakteristik Plant

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

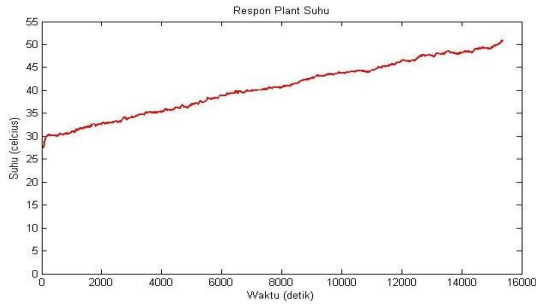
### E. Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

#### 1. Pengambilan Data Input Output

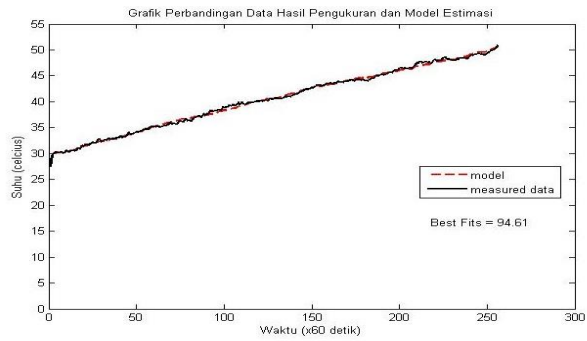
Proses pengambilan data dimulai dengan membangkitkan sinyal uji PRBS 8bit seperti yang ditunjukkan pada gambar 19.



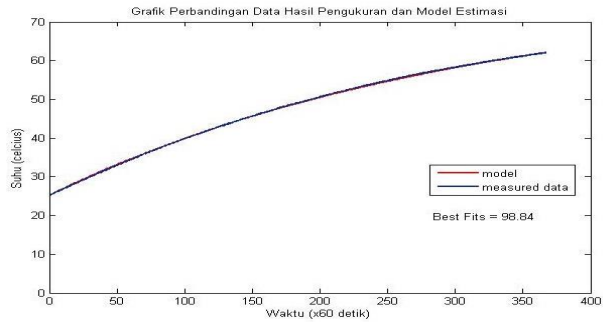
Gambar 19. Sinyal Uji PRBS 8 bit



Gambar 20. Respon Plant Suhu Hasil dari Sinyal Uji PRBS 8 bit



Gambar 21. Best Fits Sinyal Uji PRBS Sebesar 94.61%



Gambar 22. Best Fits Sinyal Uji Step Sebesar 98.84%

2. Estimasi Parameter

Tabel 6. Nilai Estimasi Parameter

Parameter	Sinyal Uji	
	PRBS dim=85	Step dim = 85
A1	-1.086	-1.471
A2	-0.7584	1.082
A3	0.9005	-0.2211
A4	-0.05554	-0.3849
B1	-0.003292	0.001137
B2	0.000775	0.001137
B3	0.002655	0.001137
B4	3.537e-05	0.001137
C1	-0.5797	-1.222
C2	-0.8199	1.112
C3	0.4966	-0.1529
C4	-0.08158	-0.1446

3. Validasi

Validasi ini dibedakan menjadi dua macam berdasarkan sinyal uji yang diberikan terhadap *plant*. Yang pertama diberi input berupa sinyal PRBS sedangkan yang lain berupa sinyal *step*. Kedua sinyal ini akan diuji dengan Akaike's FPE dan *fitness test*.

3.1 Akaike's FPE Test

Berdasarkan uji Akaike's FPE yang telah dilakukan, diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 7. Nilai Final Prediction Error

Sinyal Uji	Nilai FPE
PRBS dim=85	0.03826
Step dim=85	0.0007611

3.2 Fitness Test

Angka keakurasian ini dinyatakan dalam prosentase, semakin besar nilainya (maksimal 100%) berarti keluaran model sudah mendekati keluaran sistem yang sesungguhnya.

V. KESIMPULAN DAN PROSPEK

Pada penelitian ini telah dirancang identifikasi *plant* suhu pada proses distilasi vakum bioetanol. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, diperoleh hasil validasi model menggunakan Akaike's FPE sudah mendekati 0 yaitu 0.03826 dan 0.0007611, dan hasil pengujian keakurasian (*Best Fits*) dengan sinyal uji PRBS dan *step* berturut-turut adalah 94.61% dan 98.84%.

Pada penelitian selanjutnya disarankan agar proses identifikasi sistem dilakukan secara real-time dengan algoritma identifikasi lain seperti ELS, RML, OOEPM, dll dan pemilihan struktur model yang lain seperti AR, ARX, ARMA, OE, dll.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Aklad, Toni. (2012). *Home Distillation of Alcohol*  
 [2] <http://wiki.dxarts.washington.edu/groups/general/wiki/4dd69/> diakses pada tanggal 25 November 2013  
 [3] Landau, Ioan dan Gianluca Zito. 2006. *Digital Control Systems Design, Identification and Implementation*. Germany: Springer-Verlag London Limited  
 [4] <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>



**Tery Nando W. W.**, lahir di Sidoarjo, Jawa Timur pada 25 April 1991. Pendidikan dasara ditempuh di SDN Sumpat 1 Kab. Gresik tahun 1997-2003, untuk sekolah menengah di SMPN 1 Driyorejo Kab. Gresik (2003-2006) dan SMAN 1 Krian Kab. Sidoarjo (2006-2009). Sekarang, penulis sedang menempuh pendidikan sarjana di Universitas Brawijaya Jurusan Teknik Elektro.

Penulis baru memiliki sedikit pengalaman dalam dunia kerja. Diantaranya, pernah mengikuti Praktek Kerja Lapangan (PKL) di PT KPJB Jepara selama 1 bulan pada tanggal 1 - 30 Oktober 2012.

Penulis sangat berharap bila hasil karyanya dapat menginspirasi para pembaca untuk mengembangkan inovasi atas karya penulis.