

# TEKNOIN

JURNAL TEKNOLOGI INDUSTRI

ISSN 0853-8697

Volume 15, Nomor 3, Desember 2009

---

Pembuatan Asam Phospat dari Limbah Tulang Sapi dengan Proses Basah  
**Siti Salamah**

---

Adsorption and Desorption of Nox Over PT/ $\Gamma$ -AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Catalyst in The Presence  
of Excess Oxygen  
**Arif Hidayat**

---

Color Image Restoration Via Total Variation Regularization  
**Agung Alfiansyah**

---

Pengendalian dan Monitoring Suhu Pemanas Udara Berbasis Scada  
Menggunakan Pengendali PID  
**Medilla Kusriyanto, Dwi Ana Ratna Wati, Dedi Kurniawan**

---

Akuisisi dan Identifikasi Sistem Sel Surya Menggunakan NI-DAQ USB-6009  
**Wahyudi Budi Pramono, Dwi Ana Ratna Wati, Fajar Rahman Waisa**

---

Implementasi Pengukur Frekuensi dan Beda Fase Tegangan dan Arus Jala-Jala  
Listrik Berbasis Mikrokontroler AVR  
**Freddy Kurniawan**

---

Menentukan Usulan Model Sistem Antrian untuk Meminimasi Waktu Tunggu  
Menggunakan Simulasi  
**Winda Nur Cahyo**

---

ISSN 0853-8697



Teknoin

Volume 15

Nomor 3

Hlm.075-122

Yogyakarta  
Desember 2009

ISSN:  
0853-8697

# **TEKNOIN**

Jurnal Teknologi Industri

---

Jurnal Teknologi Industri TEKNOIN adalah jurnal yang mengkaji masalah yang berhubungan dengan teknologi industri. Penelitian yang dilaporkan dapat berupa penelitian untuk pengembangan keilmuan atau terapan.

Jurnal ini terbit empat kali dalam setahun,  
setiap bulan Maret, Juni, September, dan Desember

Pelindung  
**Fathul Wahid**

Pemimpin Umum  
**Agus Taufiq**

Pemimpin Redaksi  
**Farham H.M. Saleh**

Sekretaris Redaksi  
**Agung Nugroho Adi**

Dewan Redaksi  
**R. Chairul Saleh**  
**Hari Purnomo**  
**Asmanto Subagyo**  
**Sri Kusumadewi**  
**Mauridy Heri Purnomo**  
**Agung Alfiansyah**  
**Waziz Wildan**

Administrasi  
**Pangesti Rahman**  
**Sarjudi**

Alamat Redaksi  
**Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia**  
**Jl. Kaliurang Km. 14,5 Yogyakarta 55501**  
**Telp. (0274) 895287, Faks. (0274) 895007**  
**E-mail: [teknoin@fti.uii.ac.id](mailto:teknoin@fti.uii.ac.id)**

## DAFTAR ISI

- 75-79      **PEMBUATAN ASAM PHOSPAT DARI LIMBAH TULANG SAPI DENGAN PROSES BASAH**  
Siti Salamah
- 80-84      **ADSORPTION AND DESORPTION OF NOX OVER PT/ $\gamma$ -AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> CATALYST IN THE PRESENCE OF EXCESS OXYGEN**  
Arif Hidayat
- 85-93      **COLOR IMAGE RESTORATION VIA TOTAL VARIATION REGULARIZATION**  
Agung Alfiansyah
- 94-103     **PENGENDALIAN DAN MONITORING SUHU PEMANAS UDARA BERBASIS SCADA MENGGUNAKAN PENGENDALI PID**  
Medilla Kusriyanto, Dwi Ana Ratna Wati, Dedi Kurniawan
- 104-110    **AKUISISI DAN IDENTIFIKASI SISTEM SEL SURYA MENGGUNAKAN NI-DAQ USB-6009**  
Wahyudi Budi Pramono, Dwi Ana Ratna Wati, Fajar Rahman Waisa
- 111-116    **IMPLEMENTASI PENGUKUR FREKUENSI DAN BEDA FASE TEGANGAN DAN ARUS JALA-JALA LISTRIK BERBASIS MIKROKONTROLER AVR**  
Freddy Kurniawan
- 117-122    **MENENTUKAN USULAN MODEL SISTEM ANTRIAN UNTUK MEMINIMASI WAKTU TUNGGU MENGGUNAKAN SIMULASI**  
Winda Nur Cahyo

*Redaksi menerima tulisan yang belum pernah diterbitkan atau dalam proses penerbitan dari kalangan akademisi dan peneliti. Redaksi berhak mengubah tulisan tanpa mengurangi atau mengubah maksudnya. Pedoman penulisan tercantum pada bagian akhir Jurnal ini.*



## PEMBUATAN ASAM PHOSPAT DARI LIMBAH TULANG SAPI DENGAN PROSES BASAH

Siti Salamah

Program Studi Teknik Kimia FTI  
Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta  
e-mail: salamah1995@yahoo.com

### ABSTRACT

*Beef bone is one of the wasted from a farm or business activity commonly referred to as livestock waste, waste utilization until now, beef bones are still very limited for such purposes as decoration, a comb, comb weight, so it is still a lot of beef bones wasted away. Waste bone has chemical properties that are dominated by proteins as well as minerals (calcium and phosphate). The amount of phosphate content in bones to make bone can be used as raw materials for manufacture of phosphoric acid, phosphoric acid is widely used in various industries is to make the phosphate compounds, especially phosphate salts are used as crop fertilizer. Also used in food industry, pharmaceutical and textile industries. in this research beef bones waste from slaughterhouses will be made of acid phosphate.*

*This research was done by washing, drying beef bone, then grinded with size of 100 mesh., Then the analysis of water content and ash content. Manufacture of acid phosphate weight done with beef bone powder and 5 grams of weight is inserted into three neck flasks, added with a volume of 100 ml of  $H_2SO_4$  so the reflux. The reflux with heating takes place at 100 °C with a time of one hour, after a time of one hour is reached, the process is stopped and the mixture is filtered to separate the existing liquids and solids are left. 500 ml distillate made for filtered for analysis  $P_2O_5$  content. How to work above was repeated with 10 grams of weight material and variations in reaction time 2 hours, 3 hours and 4 hours. For variable volume of solvent performed as above with the workings of variation volume of solvent ( $H_2SO_4$ ) 80 ml, 100 ml and 120. Every time it processes the results were phosphate contents analyzed by volumetric method.*

*From the results of research in have the results that beef bone powder have water content = 8.5% and ash content = 53.91%. Beef bone powder can be made into acid phosphate with 0.1 N sulfuric acid reagents. The optimum phosphate bone powder weighing 10 grams on the reaction time of 3 hours with a yield of 84.13% and the solvent volume of 120 ml with the results of  $P_2O_5$  45.89 ml with a yield of 85.17%.*

*Keywords: Phosphate, Beef bone, Wet process*

### 1. PENDAHULUAN

Tulang sapi adalah salah satu sisa buangan dari suatu kegiatan usaha peternakan atau yang biasa disebut sebagai limbah ternak (Sihombing, 2000). Limbah tulang ini memiliki sifat kimiawi yang didominasi oleh protein (hologen) disamping mineral (kalsium dan fosfat). Besarnya kandungan fosfat dalam tulang menjadikan tulang dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan asam fosfat, dengan memanfaatkan tulang yang merupakan salah satu limbah ternak dapat membantu menciptakan lingkungan sehat, aman dan nyaman (Austin, 1996). Sampai saat ini pemanfaatan limbah tulang sapi masih sangat terbatas antara lain sebagai hiasan, sisir, penggaruk badan, sehingga masih banyak tulang sapi yang terbuang begitu saja. Oleh karena itu tulang sapi dapat dijadikan bahan dasar pembuatan asam fosfat sebab asam fosfat banyak digunakan dalam berbagai

industri yaitu untuk membuat senyawa-senyawa fosfat terutama garam-garam fosfat seperti *superphospat double* dan *tripelsuperphospat*, yang dipakai sebagai pupuk tanaman. Senyawa fosfat banyak dipakai dalam industri bahan makanan digunakan sebagai bahan pengawet dan pemberi rasa minuman, sedangkan garamnya (Natrium Hidrofosfat dan Natrium Karbonat) digunakan sebagai penjernih pada pabrik gula atau soda kue pada pembuatan kue agar adonannya mengembang. Pada industri tekstil asam fosfat dipakai sebagai pemberi warna cerah dan memperbaiki sistem ikatan benang pital (Kirk and Other, 1996). Pada industri gelas asam fosfat dipakai sebagai pembuat bening. Pada industri plastik encer organik asam fosfat atau plastizer, juga untuk Sumber Sel bahan bakar (Anonim, 1999).

Beberapa penelitian pembuatan asam fosfat telah dilakukan antara lain pembuatan Asam fosfat dari batuan fosfat. Penelitian

ini dilakukan dengan memvariasi konsentrasi  $H_2SO_4$  dan temperatur. Haekal (2009) juga telah meneliti pemanfaatan tulang keong untuk produksi Asam fosfat optimasi menggunakan *response Surface methodology*.

Dalam penelitian ini akan dilakukan pembuatan asam fosfat dengan cara basah dengan variabel waktu reaksi dan volume pereaksi. Pada prinsipnya pembuatan asam fosfat dibedakan menjadi dua cara, yaitu pertama pengusiran yang sering disebut proses basah, yang kedua dengan cara reduksi dan oksidasi yang sering disebut proses kering. Pembuatan asam fosfat dengan proses basah paling banyak dibuat dari bahan fosfat dengan pereaksi asam sulfat. Digunakannya Asam sulfat karena  $H_2SO_4$  merupakan asam an organik yang agak kuat, juga murah, selain itu asam sulfat merupakan pengoksidasi yang baik terhadap senyawa organik. Asam kuat (93–99%) biasanya digunakan untuk sintesis phenol, alkilasi butana dan pembuatan asam fosfat (Austin, 1996).

## 2. TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kadar asam fosfat yang terbentuk dari pengolahan tulang sapi dengan asam sulfat.

## 3. HIPOTESIS

1. Asam fosfat dapat dibuat dari limbah tulang sapi.
2. Semakin lama waktu reaksi dan semakin banyak volume  $H_2SO_4$  maka fosfat yang diperoleh akan semakin banyak.

## 4. TINJAUAN PUSTAKA

### 4.1 Tulang sapi

Limbah peternakan banyak sekali jenisnya dan masih mengandung nutrisi atau zat padat yang potensial untuk dimanfaatkan. Limbah ternak yang kaya akan nutrisi (zat makanan), seperti protein, lemak, vitamin, mineral dan zat-zat yang lain (Sihombing, 2000). Menurut (Retnaningtyas, 2003), dengan mengetahui sifat kimia dan fisiknya dapat diperkirakan berbagai produk yang mungkin dihasilkan. Tulang sebagai salah satu limbah ternak mengandung trikalsium fosfat yang merupakan bahan baku pembuatan bahan kimia fosfat. Komposisi tulang umumnya bervariasi

tergantung pada unsur hewan dan statis kondisi makanannya, tetapi tulang yang normal mengandung substansi-substansi dengan persentase seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Prosentase substansi tulang

Substansi	Bahan Segar (%)	Bahan kering bebas lemak (%)
Air	45	-
Lemak	10	-
Protein	20	45
Abu	25	55

Sumber: Agra, B.I., 1984.

## 4.2 Fosfat

Fosfat adalah senyawa fosfor yang anionnya mempunyai atom fosfor yang dikelilingi oleh 4 atom oksigen pada sudut-sudut tetrahedronnya. Tulang yang telah dicuci dan dibersihkan dari lemak-lemaknya kemudian digiling lalu diolah melalui proses basah dengan menggunakan pereaksi asam sulfat encer sehingga menghasilkan asam fosfat (Austin, 1996).

Senyawa fosfat antara lain terdapat di dalam tulang dan batuan fosfat. Batuan fosfat mengandung fosfat sebanyak 40% dan tulang mengandung fosfat sekitar 53%. Berdasarkan hasil analisis, tulang mengandung senyawa fosfat yang cukup besar seperti yang tampak dalam Tabel 2. Atas dasar analisis tersebut maka tulang dapat dijadikan sebagai bahan dasar pembuatan asam fosfat, karena asam fosfat banyak digunakan dalam berbagai industri.

Tabel 2. Analisa kering serbuk tulang sapi

No	Unsur	Kandungan %
1	$SiO_2$	7,42
2	$CaO$	27,85
3	$P_2O_5$	53,88
4	$H_2O$	2,85

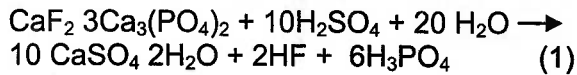
Sumber: Agra, B.I., 1984.

Pada umumnya setiap bahan yang mengandung fosfat cukup besar dapat dijadikan sebagai bahan dasar industri fosfat. Bahan-bahan yang mengandung fosfat antara lain:

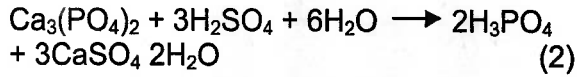
1. Batuan apatit (batuan fosfat): 40,9–40,2%
2. Kotoran burung: 41,8%
3. Tanaman (gandum, kapas, jagung): 21,2%
4. Binatang (otak, tulang, darah): 53,1%

Asam fosfat saat ini paling banyak dibuat dari bahan apatit dengan cara basah menggunakan pereaksi  $H_2SO_4$  (Patnaik, 2002).

Reaksi utama yang terjadi pada pembuatan asam fosfat proses basah dengan menggunakan asam sulfat adalah:



Atau secara lebih sederhana



Faktor-faktor yang berpengaruh pada proses pembuatan asam fosfat antara lain (Agra, B.I., 1984):

#### 1. Waktu Reaksi

Semakin lama waktu reaksi berarti semakin besar pula konversinya, hal ini disebabkan karena kesempatan zat pereaksi untuk saling bertumbukan semakin luas.

#### 2. Konsentrasi Asam Sulfat

Bila digunakan konsentrasi asam sulfat semakin tinggi maka konstanta kecepatan reaksi semakin besar dan diperoleh hasil yang besar.

#### 3. Kecepatan Pengadukan

Kecepatan pengadukan diperlukan untuk memperbanyak kesempatan berkontak antara pereaksi dengan memperbesar tumbukan yang terjadi sehingga diperoleh hasil yang semakin besar.

#### 4. Suhu

Suhu sangat berpengaruh terhadap konstanta kecepatan reaksi yang ditunjukkan pada persamaan  $K = A \cdot e^{-E/RT}$ . Semakin tinggi suhu semakin cepat pula reaksi berlangsung karena memperbesar pula kadar fosfat. Pada proses basah biasanya dijalankan pada titik didih normalnya.

#### 5. Volume pelarut

Semakin besar volume pelarut akan mempercepat terjadinya reaksi antara  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dengan  $\text{P}_2\text{O}_5$  karena perbandingan mol antara  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dengan  $\text{P}_2\text{O}_5$  semakin besar.

### 5. METODE PENELITIAN

#### 5.1 Bahan dan Analisisnya

Tulang sapi diperoleh dari Rumah Potong Hewan. Sebelum digunakan

tulang tersebut dikeringkan dan dihaluskan terlebih dahulu dengan ukuran 100 mesh, kemudian di analisis kadar air dan kandungan abunya (Sudarmaji dkk., 1997).

#### 5.2 Pembuatan asam fosfat

##### 1. Variabel waktu reaksi

Serbuk tulang sapi dengan ukuran butiran 100 mesh dan berat 5 gram dimasukkan kedalam labu leher tiga, ditambah  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dengan volume 100 ml kemudian pemanas dan pengaduk dimasukkan serta pendingin bolak balik dihidupkan. Pemanasan berlangsung pada suhu  $100^\circ\text{C}$  dengan waktu 1 jam, setelah waktu 1 jam tercapai, proses dihentikan dan campuran yang ada disaring untuk memisahkan cairan dan padatan yang tersisa. Hasil saringan dibuat 500 ml untuk difiltrasi untuk dianalisa kadar  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

Cara kerja di atas diulang dengan berat bahan 10 gram dan variasi waktu 2 jam, 3 jam dan 3,5 jam.

##### 2. Variabel volume pelarut

Serbuk tulang sapi dengan ukuran butiran 100 mesh dan berat 5 gram dimasukkan kedalam labu leher tiga, ditambah  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dengan variasi volume 80 ml, kemudian pemanas dan pengaduk dimasukkan serta pendingin balik dihidupkan. Pemanasan berlangsung pada suhu  $100^\circ\text{C}$  selama 3 jam. Setelah waktu tercapai proses dihentikan dan volume campuran yang ada di dalam labu leher tiga disaring dibuat 500 ml untuk difiltrasi untuk dianalisa kadar  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

Diulang dengan cara sama seperti diatas dengan variasi volume asam sulfat sebanyak 100 ml dan 120 ml.

#### 5.3 Analisis Hasil

##### 1. Analisis kadar $\text{P}_2\text{O}_5$

Cairan yang diperoleh dianalisa kadar  $\text{P}_2\text{O}_5$  secara volumetrik sebagai berikut:

5 ml cairan hasil ditambahkan 20 ml larutan ammonium molibdat, diaduk dengan pengaduk listrik selama 15 menit sehingga terbentuk endapan warna kuning. Endapan kemudian disaring dengan kertas saring, endapan hasil dimasukkan Erlenmeyer dan dilarutkan dengan  $\text{NaOH}$  0,1N. Kelebihan  $\text{NaOH}$  dititrasi kembali

dengan larutan  $\text{HNO}_3$  dan digunakan indicator phenolptyalin. Dari banyaknya  $\text{NaOH}$  yang bereaksi dapat dihitung jumlahnya  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

$$\%P_2O_5 = \frac{N(\text{HNO}_3) \cdot v(\text{HNO}_3) \cdot 1/5 \text{BM}(\text{P}_2\text{O}_5) \cdot a/b}{c} \times 100\% \quad (3)$$

dengan:

a = Jumlah larutan induk (ml)

b = Jumlah larutan yang dianalisa (ml)

c = Berat serbuk tulang sapi (mg)

N = Normalitas  $\text{HNO}_3$  (greek/liter)

V = Volume  $\text{HNO}_3$  (ml)

BM = Berat molekul  $\text{P}_2\text{O}_5$  (gram/gmol)

Setelah diketahui jumlah  $\text{P}_2\text{O}_5$  dapat dihitung Yield  $\text{P}_2\text{O}_5$  yang menjadi  $\text{H}_3\text{PO}_4$ .

$$\text{Yield}(XA) = \frac{\%P_2O_5}{P_2O_5 \text{ bahan}} \times 100\% \quad (4)$$

## 6. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### 6.1 Kadar air dan kadar abu

Dari penelitian ini diperoleh kadar air tulang sapi = 8,5%, dan kadar abu = 53,91%.

Dari hasil ini kadar air dalam tulang masih relatif tinggi menurut Agra (1984), dan Sudarmadji dkk. (1997) kadar airnya masih normal karena kurang dari 10%. Hal ini disebabkan karena waktu pengovenan yang kurang optimal.

### 6.2 Kadar phospat

#### 1. Pengaruh variabel waktu ekstraksi

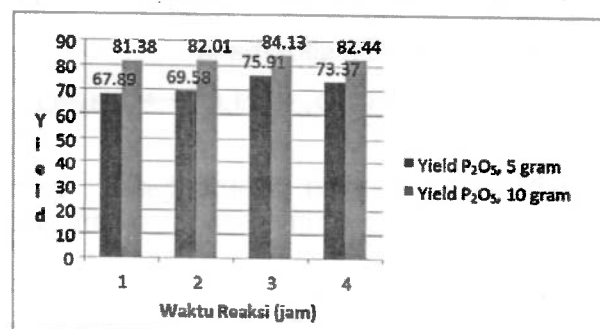
Dari penelitian terdapat hubungan antara waktu ekstraksi dengan berat serbuk tulang dan yield  $\text{P}_2\text{O}_5$ , seperti yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hubungan antara waktu ekstraksi dengan yield

Waktu (jam)	Kadar $\text{P}_2\text{O}_5$		Yield $\text{P}_2\text{O}_5$ dalam berat serbuk tulang	
	5 gram	10 gram	5 gram	10 gram
1	36,58	43,85	67,89	81,38
2	37,49	44,19	69,58	82,01
3	40,90	45,33	75,91	84,13
4	39,53	44,42	73,37	82,44

Dalam penelitian ini proses ekstraksi dilakukan untuk mengekstrak atau mengambil kandungan fosfor dalam serbuk tulang sapi dalam bentuk  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (asam phospat) dengan pelarut  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (asam sulfat), yang kemudian

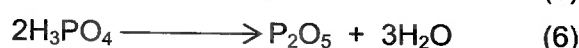
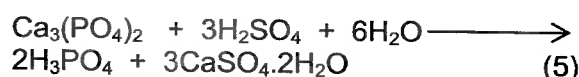
$\text{H}_3\text{PO}_4$  terurai menjadi  $\text{P}_2\text{O}_5$  dan air. Dari penelitian ini diperoleh hasil bahwa semakin banyak bahan yang digunakan maka kadar  $\text{P}_2\text{O}_5$  dalam tulang sapi semakin besar, demikian juga dengan yield hasil  $\text{P}_2\text{O}_5$ .



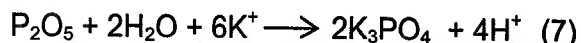
Gambar 1. Grafik hubungan antara waktu ekstraksi dengan yield  $\text{P}_2\text{O}_5$

Dari Gambar 1 dapat diketahui bahwa yield  $\text{P}_2\text{O}_5$  baik dari bahan baku sebesar 5 gram maupun 10 gram mencapai titik optimum pada waktu reaksi 3 jam, sedangkan pada waktu reaksi 4 jam yield hasil cenderung menurun. Hal ini disebabkan karena asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) yang merupakan asam kuat perlu waktu yang relatif lebih lama (waktu yang optimum) untuk mengekstraksi serbuk tulang karena bahan baku tulang itu sendiri banyak mengandung berbagai macam mineral atau nutrient. Asam sulfat bereaksi terlebih dahulu dengan unsur lain, sehingga bukan hanya phosphor saja yang terbentuk melainkan juga  $\text{CaSO}_4$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  sebagai hasil sampingnya. Hal inilah yang menjadi salah satu penghambat proses ekstraksi sebelum mencapai waktu optimum, khususnya ketika ekstraksi baru berlangsung 1 maupun 2 jam.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  yang bereaksi dengan  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  akan membentuk  $\text{CaSO}_4$  terlebih dahulu daripada  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (kereaktifan Ca (kalsium) lebih besar daripada P (pospor), Ca golongan IIA dan P golongan VA). Sedangkan setelah waktu optimum tercapai (t reaksi = 4 jam) yield hasil cenderung menurun karena  $\text{H}_3\text{PO}_4$  yang telah terbentuk maksimal akan terurai dan bereaksi dengan senyawa atau unsur yang lain. Hal ini dipercepat dengan pengadukan sehingga memungkinkan  $\text{P}_2\text{O}_5$  bereaksi membentuk senyawa lain misalnya  $\text{K}_3\text{PO}_4$ , hal inilah yang mengurangi jumlah  $\text{P}_2\text{O}_5$  yang terbentuk.

Sesuai persamaan reaksi sebagai berikut (Vogel, 1952):







Ion Ca dan K salah unsur yang terkandung dalam tulang.

2. Hubungan antara variabel volume pelarut dengan kandungan  $P_2O_5$  dan yield  $P_2O_5$ , hasilnya dapat dilihat dalam Tabel 4.

Tabel 4. Hubungan antara volume pelarut dengan kandungan  $P_2O_5$  dan yield  $P_2O_5$

Volume Pelarut (ml)	Kandungan $P_2O_5$ (%)	Yiel hasil $P_2O_5$ (%)
80	44,87	83,28
100	45,33	84,13
120	45,89	85,17

Dari Tabel 4 tampak bahwa semakin besar volume pelarut yang digunakan, maka yield hasil yang didapat semakin besar, hal ini disebabkan karena semakin besar volume pelarut maka kontak antara bahan dengan pelarut semakin besar, semakin besar volume pelarut maka akan mempercepat terjadinya reaksi antara  $H_2SO_4$  dengan  $P_2O_5$ , sehingga yield  $P_2O_5$ -nya juga semakin besar.

## 7. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Serbuk tulang sapi dapat dibuat menjadi asam fosfat dengan pereaksi asam sulfat 0,1N .
2. Hasil fosfat yang optimum didapat dengan berat serbuk tulang 10 gram pada waktu reaksi 3 jam dengan yield hasil 84,13% dan volume pelarut 120 ml dengan hasil  $P_2O_5$  45,89 ml dengan yield 85,17%.

## DAFTAR PUSTAKA

Anonim. (1999). Sumber Sel bahan bakar dari asam Phospat hingga methanol, *Republika*, 7 November 1999.

Austin, G.T. (1996). *Shreves's chemical Process industri*, 5<sup>th</sup> Ed., Mc Graw-Hill, Washington State University. alih bahasa Proses Industri Kimia.

Agra, B.I. (1984). *Forum Teknik*, jilid 14, hal 106, UGM, Yogyakarta.

Haekal. (2009). *Pemanfaatan tulang keong untuk produksi Asam phospat*, Laporan Penelitian, Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik UNDIP Semarang.

Kirk, R.E., and D.F Other. (1996). *Encyplodia of Chemical Technology*, Vol. VII, The Interscience Encyclopedia, inc, New York.

Patnaik, D. (2002). *Hand book of Inorganic Chemistry*, Mc Graw-Hill, New York.

Pramono, E. *Pembuatan asam phospat dari batuan Phospat*, Laporan penelitian, Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Retnaningtyas, D. (2003). *Mengelola Lingkungan Lewat UKM Berbasis Limbah*, Pusat Penelitian Lingkungan Hidup, Lembaga Penelitian IPB.

Sihombing, D.T.H. (2000). *Teknik Pengolahan Limbah, Kegiatan atau Usaha Peternakan*, Pusat Penelitian Lingkungan Hidup, Lembaga Penelitian IPB.

Sudarmadji, S., Haryono, B., Suhardi. (1997). *Prosedur Analisa Untuk Bahan Makanan dan Pertanian*, Edisi keempat, hal 99-100, Penerbit Liberty, Yogyakarta.

Vogel, W.I. (1952). *A Text Book of Quantitative in Organic analysis*, 2<sup>nd</sup> Editions, p. 449-554, Lonh Mans Green and Co., London.

Wagsman, W.H.H. (1952). *Phosporic Acid, Fosfat Fertilizer*, 2<sup>nd</sup> Ed., p. 323-328, 330-334, Rein Hild Pubi Corp, New York.

## ADSORPTION AND DESORPTION OF NOX OVER $\text{Pt}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ CATALYST IN THE PRESENCE OF EXCESS OXYGEN

Arif Hidayat

Chemical Engineering Department, Faculty of Industrial Technology  
University of Islam Indonesia

Jalan Kaliurang km 14,5 Ngemplak Sleman Yogyakarta 55584

Telp: +62 274 895387; Fax: +62 274 895469

e-mail: arhidayat@fti.uii.ac.id

### ABSTRAKSI

Sejak tahun 1997, hampir seluruh Negara telah meratifikasi protokol Tokyo, dimana telah disepakati bahwa emisi gas rumah kaca (utamanya adalah  $\text{CO}_2$ ) baik yang berasal dari kendaraan bermotor maupun industri akan terus dikurangi. Salah satu cara untuk mengurangi emisi gas  $\text{CO}_2$  dari kendaraan bermotor adalah dengan sedapat mungkin mesin dapat bekerja dengan perbandingan campuran bahan bakar dan udara yang tinggi (mesin irit bahan bakar). Dengan kondisi mesin irit bahan bakar maka catalytic converter yang konvensional tidak dapat lagi feasible untuk dapat mengurangi emisi gas buang, karena pada kondisi irit bahan bakar konversi  $\text{NO}_x$  menjadi gas yang tidak berbahaya rendah. Berdasarkan hal tersebut dikembangkan jenis katalis baru yang dapat bekerja pada mesin irit bahan bakar.

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan katalis  $\text{NO}_x$  Storage and Reduction (NSR) berbentuk monolith (honeycomb structure) yang dilapisi dengan  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  dan diimpregnasi dengan logam Platinum (Pt) sebagai active component. Uji aktivitas dilakukan dengan menempatkan katalis pada reaktor alir pipa yang dilengkapi dengan pemanas dan alat kontrol suhu. Pengamatan dilakukan pada keadaan transient dengan mengalirkan gas  $\text{NO}$ ,  $\text{O}_2$  dan Ar secara bersamaan. Konsentrasi gas keluar diamati dengan  $\text{NO}_x$  detector.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa katalis memiliki aktivitas tertinggi pada suhu  $200^\circ\text{C}$ , hal ini terlihat dari kemampuan adsorpsi katalis terhadap  $\text{NO}_x$  sebesar 1005 selama 2 menit. Jenis  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  yang digunakan juga mempengaruhi aktivitas katalis, di mana pemakaian  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  berbentuk serbuk (finely grain) akan memberikan aktivitas tertinggi. Dari analisis gas terlihat bahwa katalis dapat diregenerasi selama fase reduksi.

Kata kunci:  $\text{NO}_x$  Storage-Reduction catalyst, adsorption, desorption.

### 1. INTRODUCTION

The growing knowledge of the impact of automotive emissions on the environment and human health and the increasing environmental awareness of the public led to the introduction of emission control standards for motor vehicles starting in the 1960's in the US. In Europe, the first passenger car emissions directive was enacted in 1970. Since then the introduction of exhaust catalyst for vehicles has led to an overall reduction of emissions of the order of 90% for carbon monoxide (CO), unburned hydrocarbons (HC) and nitrogen oxides ( $\text{NO}_x$ ).

To reduce the emissions into the atmosphere, a catalytic converter, which treats the exhaust before it leaves the car and removes a lot of the pollution, have been developed. The use of catalytic converter to clean car-exhaust gases started in the US in 1976 with the oxidising catalyst, which was able to oxidise hydrocarbons and carbon

monoxide. However, the  $\text{NO}_x$  emissions could not be handled by this catalyst, and in 1979, the three-way catalyst was commercialised. The three-way catalyst oxidises CO and HC to  $\text{CO}_2$  and  $\text{H}_2\text{O}$  as well as reduces the  $\text{NO}_x$  to harmless  $\text{N}_2$ .

In 1997, many industrialized countries have adopted the Kyoto protocol, which aims at the reduction of greenhouse gas production. Carbon dioxide, which to a large extent is produced by vehicles, was particularly concerned. This has resulted in that many automakers have to reduce the fuel consumption of the vehicles. In order to attain this objective, the automotive industry has developed gasoline engines working in lean mixture (i.e. with an excess of oxygen). They consume less fuel than the current engine functioning at stoichiometry (air-to-fuel (A/F) ratio close to 1). However, the depollution of the exhaust gas from lean burn engines is a difficult problem. Whereas at stoichiometric

conditions, a three way catalyst simultaneously converts carbon monoxide (CO), unburned hydrocarbons (HC) and nitrogen oxides (NOx). In lean gas mixture the three way catalyst is not able to effectively remove NOx.

A promising approach to NOx removal under lean conditions is the NOx storage-reduction (NSR) concept. NSR catalyst systems are operated alternatively under lean and rich conditions. Under lean conditions the NOx is stored in the catalyst under lean conditions, and subsequently converted to nitrogen by unburned hydrocarbons under rich conditions. Another approach is the selective catalytic reduction SCR of NOx by hydrocarbons HC-SCR or ammonia NH<sub>3</sub>-SCR which have been extensively studied.

The NOx storage-reduction is based on mixed lean operation, where the air to fuel ratio altered between lean mixtures (oxygen excess) and rich mixtures (fuel excess). The concept of the NSR catalyst is to store NOx under lean conditions after which it is regenerated during short periods of rich conditions, where NOx is released and subsequently reduced with hydrocarbons, H<sub>2</sub> and CO to form N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub>. This described in Figure 1.

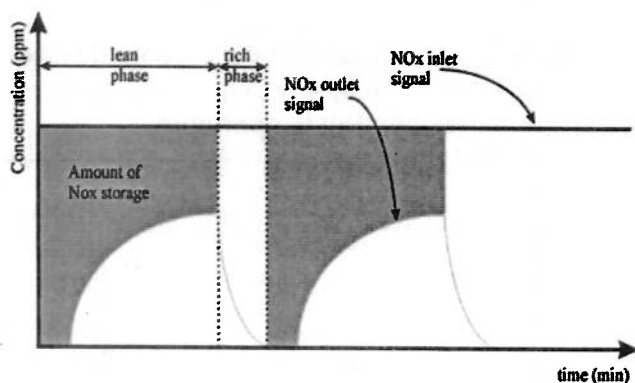


Figure 1. The mixed lean-rich operation

Basically the NOx storage catalyst comprises noble metals (such as: Pt, Pd and Rh) to promote oxidation and reduction during mixed lean-rich operations. Pt is the most active component for continuous reduction by hydrocarbons in oxidizing atmosphere. NO oxidation on supported platinum has been investigated previously, in experiment with only NO and O<sub>2</sub> as reactants (Olsson et al., 1999 and Lee et al. 1998), in experiments with SO<sub>2</sub> added to feed (Xue et al., 2001), and in experiments under lean-burn conditions in the presence of hydrocarbons (Jayat et al., 1999 and Denton et al. 2000).

When the dispersion is decreased, giving larger particles, the oxidation capacity platinum increases. This was found for Pt supported both on SiO<sub>2</sub> and on Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Lee et al., 1998; Xue et al., 2001, and Denton et al. 2000). Kobayashi et al. (1997) investigated the influence of the choice of noble metal on the NOx storage catalyst. They tested three different combinations of noble metal and ranked them as follows: Pt/Rh>Pd/Rh>Rh. Amberntsson et al. (2003) reported that from the experiments, it was concluded that a combination of platinum and rhodium is required to achieve good NOx storage and reduction. The NOx storage capacity was, however, found higher for catalyst containing only platinum compared to catalyst containing rhodium. A comparison between Pt and Pd in NOx storage catalysts was investigated by Salasc et al. (2002). They found that at 300°C, the Pd/BaO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sample shows a higher NOx storage capacity than Pt/BaO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, whereas the reverse was true at 400°C. They also observed that NOx oxidation was larger on Platinum than on Palladium. Dawody et al. (2005) investigated the influence of the platinum precursor on the catalytic performance of Pt/BaCO<sub>3</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> NOx storage catalyst. They compared four different platinum precursors, and found that the catalyst prepared by platinum nitrate shows the highest activity for continuous lean NOx reduction, NOx storage and reduction and NO<sub>2</sub> dissociation.

## 2. EXPERIMENTAL METHOD

### 2.1 Catalyst Preparation

The monolith samples were first washcoated with  $\gamma$ -alumina until the desired amount of washcoat had been applied. Pt was deposited on the samples by incipient wetness impregnation of the  $\gamma$ -alumina support with aqueous solutions of platinum nitrate (Pt(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>).

### 2.2 Experimental Set-ups

The experiments were performed in a plug flow reactor consisting mainly of a horizontal quartz tube equipped with a heating coil, a gas mixer, devices for outlet gas analysis, temperature controller to monitor the gas phase temperature and computers to monitor and display the signals. Reactant and product gases are analyzed on line with respect to NO

content (CLD chemiluminescence detector, Tecan),  $\text{NO}_2$  and  $\text{NH}_3$  content (Bio-Rad FTS6000 spectrometer) and  $\text{N}_2\text{O}$  content (UNOR 6102 IR detector, Maihak). The space velocity is kept constant at about 3500 mL/minute.

For the  $\text{NO}_x$  storage experiments, the catalysts are cycled between lean (240 s) and rich periods (60 s). The concentrations in the respective periods are as follows. Lean periods: 300 ppm  $\text{NO}$  and 8%  $\text{O}_2$  in Ar. Rich periods: 300 ppm  $\text{NO}$  and 8000 ppm  $\text{H}_2$  in Ar. The experiments are conducted at three different temperatures, 200, 300, and 400°C.

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

The  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_x$  ( $\text{NO} + \text{NO}_2$ ), and  $\text{NH}_3$  outlet concentrations during adsorption of  $\text{NO}_x$  over  $\text{Pt}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  catalyst with coarse  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  slurry at 200°C are shown in Figure 1. The data were collected during lean ( $t = 4$  minutes) and rich phase ( $t = 1$  minute).  $\text{NO}$  was measured with chemiluminescence,  $\text{NO}_2$  and  $\text{NH}_3$  were measured with FTIR.

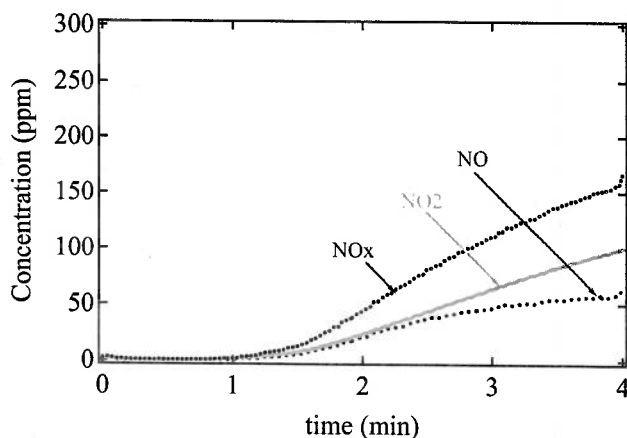


Figure 2. Adsorption of  $\text{NO}_x$  over  $\text{Pt}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  catalyst with coarse  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  slurry at 200°C

In the figure it can be observed that the  $\text{NO}_x$  signal is zero during the first minute of the lean period. This means that all  $\text{NO}_x$  that enters the catalyst during this period is trapped. After the complete capture of  $\text{NO}_x$  a slow increase of the concentration during the lean period can be observed, which implies that the  $\text{NO}_x$  storage capability decreases due to saturation of the storage sites. During the lean period it can also be seen that  $\text{NO}$  is oxidized to  $\text{NO}_2$  on Pt.

In this work, two different catalysts which were prepared by different  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  slurry were

studied. The storage of  $\text{NO}_x$  has been investigated in a wide temperature range for each catalyst, extending from 200 to 400°C. The measured  $\text{NO}_x$  outlet concentrations for each catalyst are shown in Figure 3 and 4.

From figure 3 and 4, it can be observed that a small amount of  $\text{NO}_x$  can be adsorb at 400°C which is manifested by the rapid increase of the  $\text{NO}$  and  $\text{NO}_2$  outlet concentrations. The best amount of  $\text{NO}_x$  adsorption was found at 200°C. Both of  $\text{Pt}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  catalyst with coarse and fine  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  slurry catalysts shows a long period of total uptake of  $\text{NO}_x$  compared with another temperature. A long period of total uptake of  $\text{NO}_x$  indicates a large  $\text{NO}_x$  storage capacity.

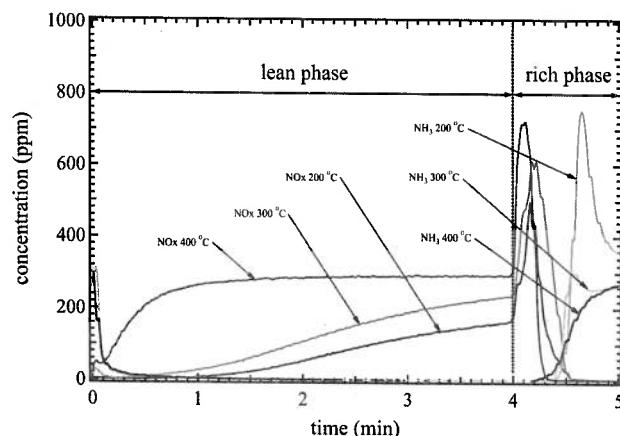


Figure 3. Adsorption and desorption of  $\text{NO}_x$  over  $\text{Pt}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  catalyst with fine  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  slurry at different temperature

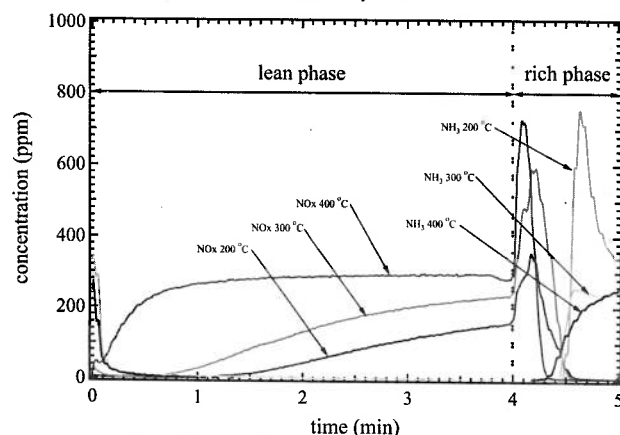


Figure 4. Adsorption and desorption of  $\text{NO}_x$  over  $\text{Pt}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  catalyst with coarse  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  slurry at different temperature

It has been suggested that the first step in the storage mechanism is the oxidation of  $\text{NO}$  to  $\text{NO}_2$ . At low temperature oxidation is slow, in which the oxidation of  $\text{NO}$  is kinetically limited. At lower temperatures, the  $\text{NO}_x$  storage on

Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> becomes significant. Westerberg and Fridell (2000) have shown nitrate formation on  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> when exposed to NO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> at low temperature. They concluded that the NO<sub>x</sub> storage on  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sites becomes important at low temperatures. Their observations indicate that the presence of Pt mainly influences the stability of the nitrates on  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

During the rich phase, all NO<sub>x</sub> are being effectively reduced by the H<sub>2</sub>. The NO<sub>x</sub> stored in the catalyst during the lean phase is released and reduced. There is a NO<sub>x</sub> breakthrough peak when switching from rich to lean conditions for all samples. The breakthrough peak mainly consists of NO. Salasc et al. (2002) suggested that this peak originated from desorption of NO adsorbed on Pt during the rich phase. Bogner et al. (1995) found that the NO<sub>x</sub> breakthrough peak when switching from lean to rich phase in terms of a relatively slow reduction of noble metal sites compared with the decomposition of the barium nitrate, giving a sudden increase in the surface coverage of NO<sub>x</sub>. Fridell et al. (1999) suggested that the peak is caused by a rapid reduction of noble metal sites. In this process, the adsorption properties of NO<sub>x</sub> on the noble metal surface change radically. Therefore, the rate-limiting step during the rich phase is the decomposition of the barium nitrate. At temperature 200°C, it can be observed the highest NO<sub>x</sub> breakthrough peak compare to the other temperatures.

It can be observed from the results, the choice of type  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> slurry affected the NO<sub>x</sub> storage capacity. The catalysts with fine  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> slurry show more NO<sub>x</sub> storage capacity compare to the catalysts whose washcoating with coarse  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> slurry.

#### 4. CONCLUSIONS

It can be concluded that a small amount of NO<sub>x</sub> can be adsorb at 400°C which is manifested by the rapid increase of the NO and NO<sub>2</sub> outlet concentrations. The best amount of NO<sub>x</sub> adsorption was found at 200°C. Both of Pt/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalyst with coarse and fine  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> slurry catalysts shows a long period of total uptake of NO<sub>x</sub> compared with another temperatur.

#### REFERENCES

- Abdulhamid, H., Fridell, E., and Skoglundh, M. (2004). *Influence of the Type of Reducing Agent (H<sub>2</sub>, CO, C<sub>3</sub>H<sub>6</sub> and C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) on the Reduction of Stored NO<sub>x</sub> in a Pt/BaO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Model Catalyst*, Topics in Catalysis, 30/31, 161-168.
- Amberntsson, A., Persson, H., Engstrom, P., and Kasemo B. (2001). *NO<sub>x</sub> Release from a Noble Metal/BaO Catalyst: Dependence on Gas Composition*, Appl. Catal. B., 31, 27-38.
- Amberntsson, A., Skoglundh, M., and Fridell, E. (2003). *Influence of Platinum and Rhodium Composition on the NO<sub>x</sub> Storage and Sulphur Tolerance of a Barium Based NO<sub>x</sub> Storage Catalyst*, Appl. Catal. B: Environ., 46, 429-439.
- Fridell, E., Persson H., Westerberg, B., Olsson, L., and Skoglundh, M. (2000). *The Mechanism for NO<sub>x</sub> Storage*, Catal. Lett., 66, 71-74.
- Fridell, E., Persson H., Olsson, L., Westerberg, B., Amberntsson, A., and Skoglundh, M. (2001). *Model Studies of NO<sub>x</sub> Storage and Sulphur Deactivation of NO<sub>x</sub> Storage Catalysts*, Topics in Catalysis, 16/17, 133-137.
- Fridell, E., Skoglundh, M., Johansson, S., Westerberg, B., Troncrona, A., and Smedler, G. (1998). *Investigations of NO<sub>x</sub> Storage Catalysts*, Stud. Surf. Sci., 116, 537-543.
- Fridell, E., Skoglundh, M., Westerberg, B., Johansson, S., and Smedler, G., J Catal. (1999). *NO<sub>x</sub> Storage in Barium-Containing Catalysts*, 183, 196-209.
- Li, X., Meng, M., Lin, P., Fu, Y., Hu, T., Xie, Y., and Zhang, J. (2003). *A Study on the Properties and Mechanisms for NO<sub>x</sub> Storage Over Pt/BaAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Catalyst*, Topics in Catalysis, 22, 1/2, 111-115.
- Lietti, L., Forzatti, P., Nova, I., and Tronconi, E. (2001). *NO<sub>x</sub> Storage Reduction over Pt-Ba/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Catalyst*, J. Catal., 204, 175-191.
- Miyoshi, N., Matsumoto, S., Katoh, K., Tanaka, T., Harada J., Takahashi, N., Yokota, K., Sugiura, M., and Kasahara, K. (1995). SAE Technical paper series, No. 950809.

- Nova, I., Castoldi, L., Lietti, L., Tronconi, E., and Forzatti, P. (2002). *On the Dynamic Behavior of NO<sub>x</sub>-Storage/Reduction Pt-Ba/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Catalyst*, Catal. Today, 75, 431-437.
- Olsson, L., Westerberg, B., Persson, H., Fridell, E., Skoglundh, M., and Anderson, B. (1999). *Kinetic Study of Oxygen Adsorption/Desorption and NO Oxidation over Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Catalysts*, J. Phys. Chem. B. 103, 10433-10439.
- Olsson, L., Westerberg, B., Persson, H., Fridell, E., Skoglundh, M., and Anderson, B. (2001). *Kinetic Study of NO Oxidation and NO<sub>x</sub> Storage on Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Pt/BaO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>*, J. Phys. Chem. B., 105, 6895-6906.
- Olsson, L. (2002). *Fundamental Studies of Catalytic NO<sub>x</sub> Removal*, Thesis, Department of Chemical Reaction Engineering, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.
- Salasc, S., Skoglundh, M., and Fridell, E. (2002). *A Comparison between Pt and Pd in NO<sub>x</sub> Storage Catalysts*, Appl. Catal. B: Environ., 36, 145-160.
- Takahashi, N., Shinjoh, H., Iijima, T., Suzuki, T., Yamazaki, K., Yokota, K., Suzuki, H., Miyoshi, N., Matsumoto, S., Tanizawa, T., Tanaka, T., Tateishi, S., and Kasahara, K. (1996). *The New Concept 3-Way Catalyst for Automotive Lean-burn engine: NO<sub>x</sub> Storage and Reduction Catalyst*, Catal. Today, 27, 63-69.
- Westerberg, B., and Fridell, E. (2001). *A Transient FTIR Study of Species Formed during NO<sub>x</sub> Storage in the Pt/BaO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> System*, J. Molec. Catal. A.: Chem., 165, 249-263.

## COLOR IMAGE RESTORATION VIA TOTAL VARIATION REGULARIZATION

Agung Alfiansyah

Biomedical Engineering Studies Program  
Postgraduate Program of University of Indonesia,  
University of Indonesia  
e-mail: agung.alfiansyah@gmail.com

### ABSTRACT

Makalah ini menawarkan kerangka kerja untuk peningkatan kualitas dan restorasi citra dengan menggunakan pendekatan variasional. Metode yang digunakan didasarkan pada regularisasi "total variation" (TV) untuk aplikasi-aplikasi penghilangan derau, "deconvolution" dan penghapusan gravity. Beberapa model derau dievaluasi dalam penelitian ini, seperti: penambahan derau putih Gaussian derau ( $L^1$ ), impulsive ( $L^2$ ) yang meliputi derau "salt and paper" dan distribusi Poisson. Metode Split Bergman ditawarkan untuk optimasi efisiensi energi dalam proses pengolahan citra-citra tersebut. Makalah ini berfokus pada pengolahan citra berwarna, namun metode yang ditawarkan dapat digunakan untuk berbagai jenis data citra lain, seperti citra keabuan dan citra multispectral lainnya.

Keywords: Denoising, Deconvolution, Inpainting, Segmentation, Total Variation regularization.

### 1. INTRODUCTION

Image restoration is a classical problem in computer vision as a pre-processing step to enhance the image quality or recover from the degradation due to the noises prior to automatic analysis using computer. Since early decades, it was required because of low images quality from the image acquisition instruments employed at those days. We still need this method nowadays, because some degradation could not be avoided during acquisition (object movement, wrong parameter setting, low contrast ...), the nature of the imaging method itself which is noisy (radar, sonar, ultrasound imaging,...) or other external factors during acquisition. After restoration, we expect to obtain image having better quality and easier to be analyzed using automatic segmentation method. This paper focuses on the application of variational method regularization for image restoration, including: denoising, deconvolution and inpainting. This approach is chosen to enhance the classical method that usually very sensitive to the high noise and less adaptive facing the different degradation. Total variation method also allows multi-channel image and multi-valued data processing can be simultaneously. This approach is very useful in color image handling, or vector/tensor based data, such as in functional MRI.

*Image denoising* aims to reduce or remove the noises present in the image while

preserving the pertinent information. The problem can be formulated as, given a noisy image  $f: \Omega \rightarrow \mathcal{R}$ , to estimate the clean underlying image  $u$  which can be considered as unnoisy original image. In the present of white noise of Gaussian noise, the image degradation due to noise can be estimated as:

$$f = u + \eta$$

where  $\eta$  denotes a Gaussian distributed noise.

*Image deblurring (deconvolution)* problem is to recover  $u$  from a given blurry and noisy image  $f$ . For Gaussian noise, the image degradation in the blurry image can be modeled as:

$$f = K \cdot u + \eta$$

where  $K$  denotes a blur operator estimation. This work simplify the image deblurring solution limited on applying *deconvolution*, hence  $K \cdot u = \xi \otimes u$ , with  $\xi$  is point-spread function that assumed to be known exactly.

*Image inpainting* solves the problem to interpolate the unknown region  $\mathcal{D}$  in the given image  $f$  where it is only known on  $\Omega \setminus \mathcal{D}$ .

This paper is organized as follows. In Section II we present a theoretical review on the main concepts of variational method, especially total variation, for image restoration which are: image denoising, deblurring (deconvolution)

and inpainting. Some traditional noise modification proposed by considering the different cases of noise present in the image for typical applications. In Section 3 we propose a recent split Bergman approach applied to minimize the TV regularization. Section 4 discuss the result of the method and the influence of the parameters, and also which case of image processing problem the proposed method can be applied. In section 5, we draw the conclusion of this work.

## 2. TOTAL VARIATION REGULARIZATION

The problem to solve in TV regularization for image restoration can be formulated as finding an image  $u$  that minimizes this following equation [1]:

$$\min_{u \in \text{BV}(\Omega)} \int_{\Omega} |\nabla u(x)| dx + \lambda \int_{\Omega \setminus \mathcal{D}} F(Ku(x), f(x)) dx \quad (1)$$

where  $\Omega$  and  $\mathcal{D}$  are bounded subset of  $\mathbb{R}^2$ ,  $f$  is given image,  $\lambda$  is a positive parameter,  $K$  is blur operator, and  $F$  determine the type of data fidelity in the modeled for the image. Some of the  $F$  functions are:

$$F(K(u(x), f(x))) = \begin{cases} \frac{1}{2}(Ku(x) - f(x))^2 & \text{Gaussian Noise} \\ \|Ku(x) - f(x)\| & \text{Laplacian noise} \\ Ku(x) - f(x) \cdot \log Ku(x) & \text{Poisson} \end{cases}$$

where  $z = u$  for denoising and  $z = Ku$  for deconvolution, and  $\frac{1}{z}$  is the normalization factor such that densities sum to one. The original Gaussian ( $L^1$ ) model was introduced by Rudin, Osher and Fatemi [1] the Laplacian ( $L^2$ ) model was developed by Chan and Esedoglu [2], and the Poisson model was developed by Le et al. [3].

Equation 1 can be considered as basic model formulation which can be applied in image restoration. To perform image denoising, deconvolution and inpainting the  $|\nabla u(x)|$  term should be interpreted in distributional sense and function  $u(x)$  with jump discontinuities are allowed on the function.

Then, TV regularization attempts to find a function  $u: \Omega \rightarrow \mathbb{R}^2$  that minimize function 1 over all possible function of bounded variation  $\text{BV}(\Omega)$ . In discretize domain, the minimization has one dimension of freedom in each pixel of

image  $u$ . Thus, the searching space in this minimization process is impressively large. For a 256x256 pixels image, the minimisation is over 65.536 dimensions. To solve the problem, we propose in next part an optimization method to reduce the search space dimensionality.

Important properties related to the data fidelity modeling are very useful for our applications in image restoration. They are:

- For denoising with Gaussian noise model ( $f \in L^2$ ), the minimizer for  $u$  exist and is unique, stable in  $L^2$  with respect to the perturbation in function  $f$  [4].
- For denoising with Laplacian noise model ( $f \in L^1$ ), the minimizer for  $u$  are generally exist but not unique, and not continuous in the respect of  $f$  [2].
- For denoising with Poisson noise model ( $f \in L^1$ ), the minimizer for  $u$  are exist and unique when  $f$  is positive and bounded [3].
- For deblurring with Gaussian model, if  $f \in L^2$ , the exact solution is in  $\text{BV}$  and  $K: L^1 \rightarrow L^2$  is bounded, injective and satisfies  $K[1] \equiv 1$ , then minimizer  $u$  exist and unique [5].
- For inpainting with Gaussian model, if  $f \in L^2$ , if exact solution is in  $\text{BV}$  and takes value in  $[0, 1]$  then minimizer is  $u$  exist but generally not unique [6].

Following those properties, for each different application, one requires to define the different model of the noise present in the image. In next part, we present this modeling for our interested applications.

### 2.1 Multichannel data

Facing multi-channel data image processing problem, classical image processing usually handles each of them as a single data then re-integrate as single data. Using TV regularization, any number of channels can be jointly processed using the vectorial TV norm:

$$\|u\|_{\text{VTV}} = \int_{\Omega} \left( \sum_{i \in \text{channel}} |\nabla u_i(x)|^2 \right)^{\frac{1}{2}} dx$$

This vectorial TV norm allows TV regularization works naturally not only in grayscale data, but also color and other multichannel image. That formula shows that



extension of this method to higher dimension of multi-valued data is straight forward.

### 3. SPLIT BERGMAN OPTIMIZATION

To perform image restoration task, TV regularization as formulated in [1] should be minimized efficiently. Newton family optimization method which based on gradient energy to find the optimum solution is not applicable for this case. Alternatively we propose to use split Bregman method of Goldstein and Osher [7] for the reason of its performance, rapidity and ability to overcome the problems of parameters and noise model in unified approach. This following part will present the proposed optimisation method we applied for TV regularization.

Split Bregman solve the optimization problem using splitting operator first, then iterate Bregman method to minimize the energy. For equation 1, the splitting problem subject to  $|\vec{d}| = \nabla u$  and  $z = K \cdot u$  can be defined as :

$$\min_{\vec{d}, z, u} \int_{\Omega} |\vec{d}| dx + \lambda \int_{\Omega \setminus \mathcal{D}} F(z(x), f(x)) dx$$

Note the important points in this notation after the splitting: even  $\vec{d}$  and  $\nabla u$  indirectly related via the constrain  $\vec{d} = \nabla u$  and  $z = Ku$ , but first split term ( $\int |\vec{d}|$ ) depends only on  $\vec{d}$  and the second one ( $\int F(z, f)$ ) only on  $z$ .

For each iterations, Bregman solves the split problem by calculating this following problem:

$$\begin{aligned} \min_{\vec{d}, z, u} \int_{\Omega} |\vec{d}| dx + \lambda \int_{\Omega \setminus \mathcal{D}} F(z(x), f(x)) dx \\ + \frac{\gamma_1}{2} \|\vec{d} - \nabla u - \vec{b}_1\|_2^2 \\ + \frac{\gamma_2}{2} \|z - Ku - \vec{b}_2\|_2^2 \end{aligned} \quad (2)$$

where the additional quadratic term are penalties to enforce the constrains and  $b_1$  and  $b_2$  are variables related to Bregman iteration algorithm.

The minimization problem in equation 2 jointly over  $d, z, u$  can be approximated by alternatingly minimize one variable at one time. For example, at a phase fixing  $z$  and  $u$  and minimizing over  $d$ , then fixing  $\vec{d}$  and  $u$  and minimizing over  $z$ , and so on.

The alternating strategy leads to three variables sub-problem minimization:

- The  $\vec{d}$  sub-problem with  $z$  and  $u$  fixed, so :

$$\min_{\vec{d}} \int_{\Omega} |\vec{d}| dx + \frac{\gamma_1}{2} \|\vec{d} - \nabla u - \vec{b}_1\|_2^2$$

Solution for this equation decouples over  $x$  and in closed form:

$$\vec{d}(x) = \frac{\nabla u(x) + \vec{b}_1(x)}{|\nabla u(x) + \vec{b}_1(x)|} \max\{|\nabla u(x) + \vec{b}_1(x)| - 1/\gamma_1, 0\}$$

This is the key sub-problem that drives to TV minimization.

- The  $z$  sub-problem with  $\vec{d}$  and  $u$  fixed, so :

$$\min_z \lambda \int_{\Omega \setminus \mathcal{D}} F(z(x), f(x)) dx + \frac{\gamma_2}{2} \|z - Ku - \vec{b}_2\|_2^2$$

Solution for this equation decouples over  $x$  and optimum  $z$  satisfies:

$$\lambda \partial_z F(z, f) + \frac{\gamma_2}{2} \|z - Ku - \vec{b}_2\|_2^2 = 0$$

That equation should be solved by take into considerations the assumption of noise model we use. For each noise model  $F$ :

For Gaussian noise,  $F(z, f) = \frac{1}{2} (z - f)^2$ :

$$z = \frac{Ku(x) + \vec{b}_2(x) \frac{\lambda}{\gamma_2} f(x)}{1 + \frac{\lambda}{\gamma_2}} \quad \text{for } x \in \Omega \setminus \mathcal{D}$$

For Laplacian noise with  $F(z, f) = |z - f|$ :

$$z = f(s) + \frac{s(x)}{|s(x)|} \max\{|s(x)| - \frac{\lambda}{\gamma_2}, 0\} \quad \text{for } x \in \Omega \setminus \mathcal{D}$$

$$s(x) = Ku - f + b_2$$

For Poisson model with  $F(z, f) = z - f \log z$ :

$$z = \frac{s(x)}{2} + \sqrt{\left(\frac{s(x)}{2}\right)^2 + \frac{\lambda}{\gamma_2} F(x)} \quad \text{for } x \in \Omega \setminus \mathcal{D}$$

$$s(x) = Ku - \frac{\lambda}{\gamma_2} + b_2$$

For interpolation problem in *inpainting* domain, the solution in  $\mathcal{D}$  is:

$$z(x) = Ku + b_2(x)$$

The  $u$  sub-problem with  $\vec{d}$  and  $z$  fixed, so :

$$\min_u \frac{\gamma_1}{2} \|\vec{d} - \nabla u - \vec{b}_1\|_2^2 + \frac{\gamma_2}{2} \|z - Ku - \vec{b}_2\|_2^2$$

For *denoising and inpainting* problem  $K$  is an identity matrix and the optimal  $u$  satisfies:

$$\frac{\gamma_2}{\gamma_1} u - \Delta u = \frac{\gamma_2}{\gamma_1} (z - b_2) - \text{div}(\vec{d} - b_1)$$

this is a sparse, symmetric positive definite linear system. We propose to use Gauss-Sidel iteration to approximate the solution.

Generally  $K$  the optimal  $u$  satisfies:

$$\left( \frac{\gamma_2}{\gamma_1} K^*K - \Delta \right) u = \frac{\gamma_2}{\gamma_1} K^*(z - b_2) - \text{div}(\vec{d} - b_1)$$

where  $K^*$  is adjoint of  $K$ . The optimally equation is symmetric positive definite and can be solved by preconditioned conjugate gradients.

**Implementation.** The split Bregman algorithm solves the minimization the equation [1] with the following iteration:

Initialize  $u = z = \vec{b}_2 = 0$ ;  $\vec{d} = \vec{b}_1 = 0$

while "not converged"

Solve the  $u$  sub-problem

Solve the  $d$  subproblem

Solve the  $z$  subproblem

$$\vec{b}_1 = \vec{b}_1 + \nabla u - \vec{d}$$

$$b_2 = b_2 + Ku - z$$

When solving the each of sub-problems, the  $x$ -th sub problem solution is computed from the current values of all other variables and overwrites the previous value of variable  $x$ . Convergence may be checked for example by testing the maximum difference from the previous iterate, if this difference reach a certain threshold then iteration have to be stopped.:  $|u^{\text{curr}} - u^{\text{prev}}|_{\infty} < \text{tol}$

#### 4. RESULT AND DISCUSSION

In this part, we are going to present the performance of the image restoration on the real data acquired using low-end hand phone camera. Method is implemented on Matlab

without optimization, hence in some cases of image restoration process takes quite longtime to find a convergence solution.

**Denoising:** To reduce the noise present in image using TV regularization approach, its spreading model should be chosen correctly. Generally as default choice, Gaussian model is a good alternative since it is a reasonable model for many types of noise, has the best theoretical properties, and is computationally most efficient in implementation. In other hand, Laplacian and Poisson models are more effective in certain typical applications. The Laplacian model is very well adapted for images corrupted with salt-and-pepper or impulsive noise. The Poisson model describes low-light image acquisition and also is a rough approximation of multiplicative noise. For each of these cases, we demonstrate the performance of the total variation regularization using different  $\gamma$  parameters.

##### Gaussian Noise



a. noisy image using Gaussian noise  $\sigma=2.5$  )

b. denoised using  $\gamma=2$



c.  $\gamma=4$

d.  $\gamma=6$



e.  $\gamma=8$

f.  $\gamma=10$

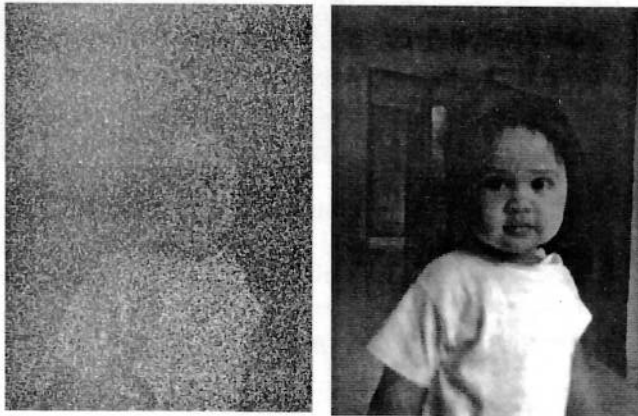
d.  $\gamma=1.2$

e.  $\gamma=1.4$

**Figure 1:** Image denoising results using different  $\gamma$  parameters.

**Figure 2:** Image denoising using TV regularization from highly degraded salt-and-paper noise (a) and its results on different  $\gamma$  parameters.

*Salt and Paper Noise*



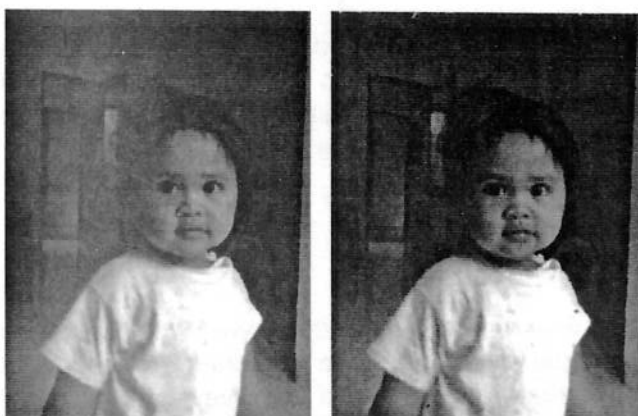
a. degrader noisy image using salt-and-paper noise

a.  $\gamma=0.6$

To reduce the salt-and-pepper noise, we choose to apply Laplacian as distribution model. This noise modeling implies the optimization strategy applied on this TV regularization.

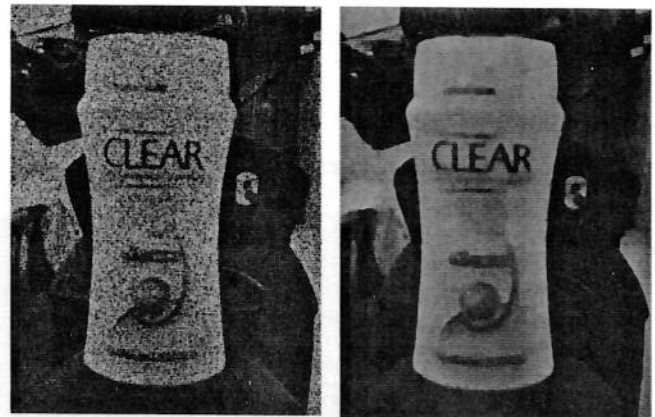
Form these images, we can take a note that  $\gamma$  parameter controls the denoising strength on the processed image, where smaller lambda implies stronger noise removal.

*Multiplicative Noise*



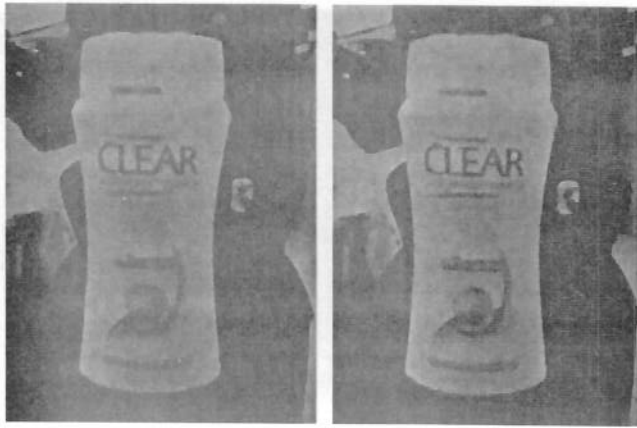
b.  $\gamma=0.8$

c.  $\gamma=1.0$



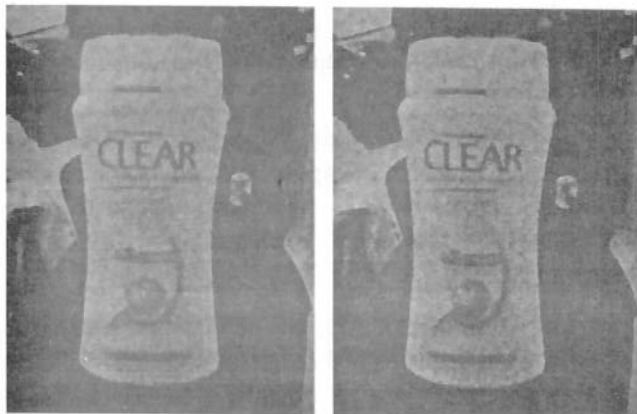
a. noisy image using multiplicative noise  $\sigma=0.75$

b.  $\gamma=2.0$



c.  $\gamma=3.0$

d.  $\gamma=4.0$



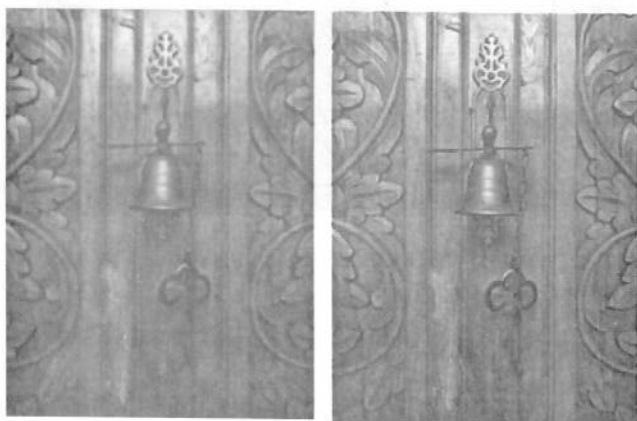
e.  $\gamma=5.0$

f.  $\gamma=6.0$

**Figure 3:** Image denoising for multiplicative noise (a) and its results on different  $\gamma$  parameters using Poisson distribution.

**Deconvolution:**

*Image restoration on unfocused image camera*



**Figure 4:** Image deconvolution: blurry image due to unfocused camera (left); restored image using deconvolution  $K$  assumed to be a Gaussian kernel with  $\sigma = 0.7$ (right).



**Figure 5:** Image restoration where combination of additive noise ( $\sigma = 0.5$ ) and Gaussian convolution (radius=7) degrade a monochromatic image. Blurry image with the noise (above); result with optimum value of  $\gamma$  (below-left); too low  $\gamma$ (below-right).

From these shown images series, we can take a conclusion that  $\gamma$  parameter controls the denoising strength on the processed image, where smaller lambda implies stronger noise removal. As mentioned previously, to optimize the restoration process the noise model should be determined carefully following the model of the noise present in the image.

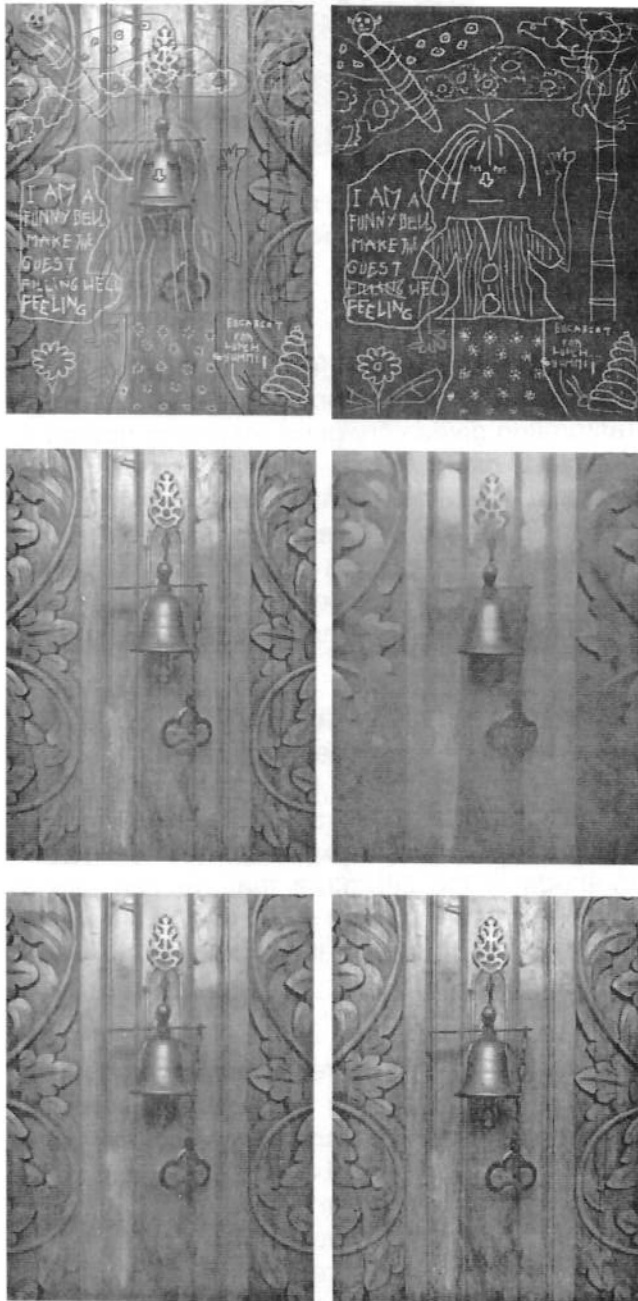
**Image inpainting:**

For image inpainting, we would like to directly describe some possible application of this restoration method to solve some practical image processing problems. Amongst of a huge number of them, we are particularly interested to: *graffiti* and *subtitle removal*, and also image editing to remove the unwanted object present in the image.

To perform image inpainting for solving such problems, we need to define the unknown

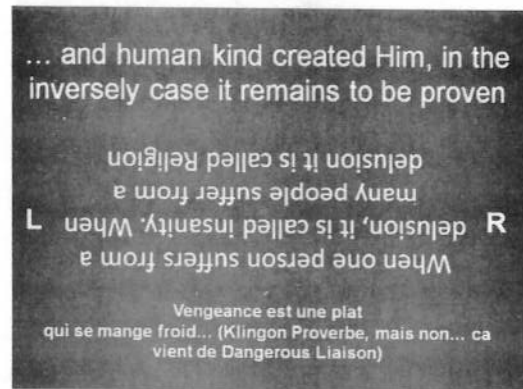
region ( $\mathcal{D}$ ) which determine which area in the image  $f(x)$  we want to interpolate. This area can be determined manually as well as automatic manner using as simple algorithm in image processing.

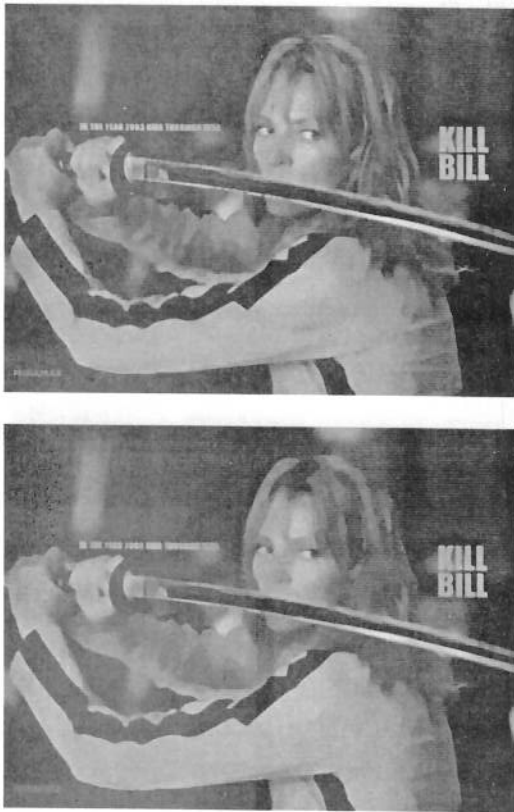
### Graffiti Removal



**Figure 6:** Image inpainting for graffiti removal application. First row: original image which is degraded by tags and graffiti (left); unknown region  $\mathcal{D}$ , wanted to be removed then interpolate (right); Others from 2<sup>nd</sup> row: inpainting result with different values of regularization parameter ( $\gamma=200; 1; 5; 500$  respectively). Once again, smaller  $\gamma$  will interpolate the image gap too much and gives the excessive smoothing effects.

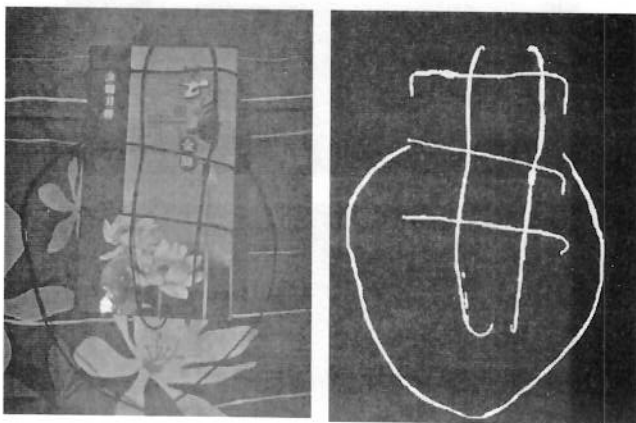
### Subtitle Removal





**Figure 7:** Subtitle removal using TV regularization. 1<sup>st</sup> row: original image with subtitle; 2<sup>nd</sup> row: unknown region  $\mathcal{D}$  which is subtitle need to be removed; Others (form 3<sup>rd</sup> until last image): image removal using different parameters of  $\gamma$  ( $\gamma=300; 200; 5; 2$  respectively).

#### Unwanted object removal



**Figure 8:** Unwanted objects removal. (a) Original image; (b) unwanted objects to be removed; (c) objects removal result.

Across all of these figures, we demonstrate qualitatively that our proposed image restoration gives very good results compared to classical method that usually process color images as 3 separated red, green, blue channels. Image denoising works better as the processing result has lower blurring effect compared to pixel averaging filter, then the small objects in the images will be preserved after noise removal.

Image deblurring has a minor inconvenient as it only applies a deconvolution method to enhance image quality. In this case convolution kernel that makes the blurry image should be estimated. There exist some estimation methods in the literature that we can use to solve this problem, but a "blind deconvolution" method might solve this problem in more elegant way.

Image inpainting is a relatively new application of image restoration which might bring a big impact on many areas such as: multimedia and computer graphic. Proposed method still has the problem as the others when interpolate an unknown region which is quite large. This is quite same problem for almost all of inpainting method recently developed and the some works to overcome this problem are still on going at nowadays. Textural images is still another problem to solve in this restoration method.

As applicable also for arbitrary multi-valued dataset, we have further expectation on this method. We hope that the method will be working also on regularizing three dimensional volumes consist of tensors data. This regularization will be useful for brain white

matter fiber tractography, blood flow visualization etc.

For whom interested for more images in color and higher resolution and also other resources (e.g. matlab source code), they are available on author's website (<http://sites.google.com/site/agungalfiansyah/>)

## 5. CONCLUSION

We presented in this paper, a total variation regularization approach for image restoration. This regularization is performed by minimizing a total variation energy using split Bregman optimization method for the performance reason. Tested on a wide variety of images and noises, we can conclude that the method work very well than conventional method usually applied in image processing. The method handles various types of images data such as grayscale and arbitrary multichannel images in a natural way. Hence the extension for application in other multichannel data type is quite straight forward.

To gain the real time performance of image processing, it is strongly possible to implement PDE based image computation methods on a very fast parallel architecture. This approach might be usefull to be utilized in industrial multimedia domain and high definition television applications which are emerged recently not only in scientific research laboratory, but also in commercial market.

## 6. REFERENCES

[1] *Nonlinear total variation based noise removal algorithms*. Rudin, L.I., Osher, S. and

Fatemi, E. 1992, *Physica D*, Vol. 60, pp. 259-268.

[2] Chan, T.F. and Esedoglu, S. *Aspects of total variation regularized L1 function approximation*. s.l. : UCLA CAM Report, 2004.

[3] *A Variational Approach to Constructing Images Corrupted by Poisson Noise*. Le, T., Chartrand, R. and Asaki, T. 3, 2007, *JMIV*, Vol. 27, pp. 257-263.

[4] A. Haddad. *Stability in a Class of Variational Methods*. Haddad, A. 2007, *Application of Computer in Harmonic Analysis*, pp. 57-73.

[5] *Image Recovery via Total Variation-Based Restoration*. Chambolle, A. and Lions, P.L. 1999, *SIAM Journal of Sci. Comp.*, pp. 1964-1977.

[6] *Euler's Elastica and Curvature-Based Inpainting*. Chan, T.F., Kang, S.H. and Shen, J. 2002, *SIAM J. Appl. Math.*, pp. 564-592.

[7] Goldstein, T. and Osher, T. *The Split Bregman Method for L1 Regularized Problems*. Los Angeles : UCLA CAM, 2008.



**Agung Alfiansyah**, graduated his Master and PhD degree from Universite de la Mediteranne (France) on Image Processing. His main interest is Medical Image Processing, Computer Assisted (Image Guided) Surgery and PDE based image processing. Beside that he is also interested in Computer Graphics, Geometric Modelization, Scientific Visualisation, Multimedia and Medical Instrumentation. He is working at this time on High Performance Computing using graphics card accelerator and Mathematical Modelling for financial applications. He was with Department of Electical Engineering of Islamic Indonesia University (Yogyakarta, Indonesia), and also LSIS Laboratory (Marseille, France), Praxim-Medivision (Grenoble, France), Department of Biomedical Imaging Faculty of Medicine University of Malaya (Kuala Lumpur, Malaysia).

## PENGENDALIAN DAN MONITORING SUHU PEMANAS UDARA BERBASIS SCADA MENGGUNAKAN PENGENDALI PID

Medilla Kusriyanto, Dwi Ana Ratna Wati, Dedi Kurniawan

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia  
Jalan Kaliurang Km.14,5 Sleman, Yogyakarta 55501  
Telp. (0274) 895007, 895287 Faks.(0274) 895007 Ext. 131

### ABSTRACT

SCADA system as Human Machine Interface in this paper used to controlling and monitoring heat process with PID algorithm. PLC LG K-120 S as basic element in SCADA system used to control the temperature of heat process. This PLC have internal PID control algorithm with manual and automatic control parameters. Set value of the heat process input gets from main windows of monitoring process which designed with CIMON D software. Present value as feedback for control algorithm is sensed with temperature sensor LM 35 that will be read with AD converter module for PLC LG K-120 S. The most important for PID algorithm is designing the value of each parameter of the PID. In this paper, the PID parameters for heat process control design are  $K_p=1000$ ,  $T_i=100$  and  $T_d=10$ . Heat process is tested with set value from  $400^{\circ}\text{C}$  to  $600^{\circ}\text{C}$ . Generally, with these PID parameter, it has results a quick rise time and settling time with maximum overshoot less then 10%.

Keywords: PLC, PID, set value, present value

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Di dunia Industri saat ini telah memiliki sistem otomasi yang berkembang sangat pesat. Hal ini dapat dilihat dari sistem kontrol dengan suatu sistem yang terprogram sehingga dapat mempermudah peran serta manusia. Keberadaan controller dalam sebuah sistem kontrol mempunyai kontribusi yang besar terhadap perilaku sistem. Salah satu sistem kontrol adalah dengan SCADA.

SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) bisa diartikan sebagai pengumpul dan pengendali data akuisisi yang merupakan sebagai antarmuka yang dapat memudahkan proses pengendalian. SCADA ini berfungsi layaknya tugas operator yaitu pemantauan, pengoperasi dan pengontrol. Seperti menghidupkan dan mematikan, mengumpulkan laporan-laporan pada jangka waktu pemakaian objek dan yang paling bermanfaat dapat langsung mengidentifikasi error atau kesalahan yang terjadi pada sistem, oleh alasan tersebut sistem SCADA ini sangat diperlukan pada pengendalian sistem-sistem kontrol entah kontrol produksi pada sebuah industri, kontrol otomatisasi irigasi, kontrol dan pemantau yang digunakan oleh perusahaan listrik dan lain-lain. Kontroler dalam optimasi industri seringkali menggunakan PLC untuk monitoring SCADA.

PLC sendiri mampu diprogram sebagai pengendali PID, dimana pengendali PID adalah gabungan dari pengontrol *Proportional*, pengontrol *Integral* dan pengontrol *Derivative*. Kontrol PID sangat populer dengan kelebihanannya yang mampu menekan error sehingga meningkatkan stabilitas sistem.

Salah satu aplikasi dari SCADA adalah untuk pengendalian suhu pemanas udara melalui komputer. Cara ini sangat efektif untuk memonitoring dan menjaga suhu pemanas udara sesuai dengan yang diinginkan. Sebagai salah satu aplikasi dari sistem ini adalah *inkubator*. *Inkubator* berfungsi untuk menjaga suhu bayi yang terlahir prematur. Bayi prematur membutuhkan *inkubator* untuk menjaga suhu badan bayi dan membuat bayi nyaman. Berdasarkan referensi, suhu bayi yang terlahir secara prematur harus dipertahankan pada suhu  $36-37^{\circ}\text{C}$ . Selain *inkubator*, aplikasi dari sistem kendali suhu ini adalah dalam mesin penghangat ruangan dan sistem kontrol suhu dalam penetasan telur di peternakan.

### 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan diatas, maka dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut: bagaimana merancang sistem kendali suhu pemanas udara dengan PLC menggunakan pengendali PID yang suhunya bisa diatur sesuai dengan keinginan.



### 1.3 Batasan Masalah

Dengan adanya permasalahan yang harus diselesaikan pada proses pengendali suhu pemanas udara (*air heater*), maka dalam penelitian ini dibatasi pada hal-hal sebagai berikut:

1. PLC yang digunakan adalah LG MASTER K -120S dengan modul ekspansi G7F-ADHA dan perangkat lunaknya menggunakan KGL-WIN 3.65 untuk pemrograman dan CIMON untuk *design* dan *monitoring*.
2. Sensor yang digunakan adalah sensor suhu LM35
3. Nilai suhu yang dapat diinputkan sebagai *set point* hanya berkisar 30°C sampai 60°C dan hanya kenaikan suhu bukan penurunan suhu.
4. Pada penelitian ini hanya sebatas sistem kendalinya saja bukan identifikasi dan pemodelan sistem.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengaplikasikan suatu teori tentang kendali PID pada pengendalian pemanas suhu udara (*air heater*), sehingga dapat diperoleh nilai *set point* yang *stabil* sesuai dengan keinginan.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Tinjauan Pustaka

Chairul Anwar (2006) telah melakukan penelitian tentang aplikasi sistem SCADA pada pengisian dan penutupan kaleng susu secara otomatis, sistem SCADA yang digunakan berbasis PLC SIEMENS S7-200 dan S7-300. Penelitian ini hanya terdapat 1 PLC sebagai *slave* dan 1 PLC sebagai *master* dimana kedua PLC tersebut menggunakan profibus sebagai *interface*. Sistem SCADA bekerja dengan memanfaatkan konektivitas dari modul ethernet yang terdapat pada PLC yang terhubung dalam suatu jaringan komputer, untuk itu tidak menutup kemungkinan jika proses pengontrolan dan pengawasan dapat dilakukan lebih dari satu PC yang masih dalam suatu jaringan dari pengujian yang dilakukan. Sistem dapat berjalan sesuai dengan yang diinginkan yaitu sistem pengendalian melalui komputer yang masih dalam satu jaringan, sedangkan keseluruhan sistem dapat dikatakan berjalan dengan baik.

Aplikasi sistem SCADA juga diteliti oleh Prestalino Detya (2007). Penelitian ini SCADA digunakan pada miniatur *water control* dengan menggunakan PLC SIEMENS S7-200 dan S7-300. Sama halnya dengan penelitian sebelumnya profibus juga digunakan sebagai *interface* kedua PLC dan ethernet juga digunakan sebagai konektivitas antara PLC dengan PC. Dari penelitian ini sistem kerja hardware bekerja dengan baik tetapi untuk animasi yang dibuat sebagai indikator dari obyek tidak bekerja dengan baik.

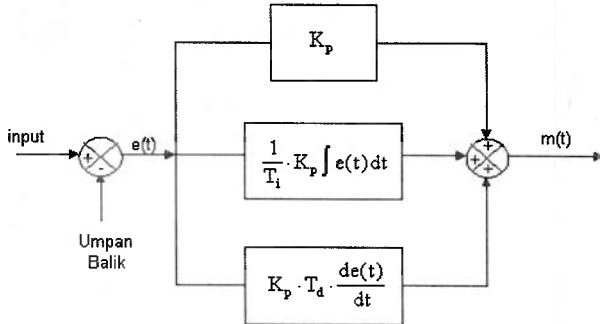
Penelitian sistem SCADA juga dilakukan oleh Binar Perdana Putra (2008). Pada penelitian ini SCADA digunakan pada pengendali beberapa plan-plan industri yang tersimulasikan dalam modul pelatihan yang berada di laboratorium LG Corner Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia yang terdiri dari *Bottle Filling Trainer*, *Bath Process Reactor Trainer* dan *Sillinder Module* dengan menggunakan PLC Master K 120 S sebagai Remote Terminal Unit (RTU) pada tiap plan dan PLC Glofa GM 4 yang digunakan sebagai Master Terminal Unit (MTU). Sistem SCADA ini menggunakan komunikasi C\_NET dalam operasinya dan menggunakan RS232 dalam komunikasi antara PLC dengan PC. Dari penelitian ini dapat dilihat bahwa operasi ketiga modul dapat diketahui dan dikontrol oleh operator dari PC maupun *touch screen*.

Penelitian PID untuk pengaturan temperatur dilakukan oleh Jaenal Arifin (2009). Pada pengontrolan temperatur menggunakan metode PID ini dilakukan perancangan dan pembuatan pengontrol suhu berbasis mikrokontroler AVR AT90S8515. Secara umum proses yang terjadi adalah proses pengambilan data *setpoint*, proses pendefinisian variabel-variabel kontrol yang penting, proses perhitungan aksi kontrol dan algoritma kontrol, dan proses penyimpanan data yang diperlukan. Untuk mengetahui kemampuan dan unjuk kerja dari alat/sistem yang dirancang, maka sistem diaplikasikan untuk melakukan pengaturan temperatur air akuarium.

### 2.2 Proportional Integral Derivatif (PID)

Setiap kekurangan dan kelebihan dari masing-masing kontroler P, I dan D dapat saling menutupi dengan menggabungkan ketiganya secara paralel menjadi kontroler proposional plus integral plus diferensial

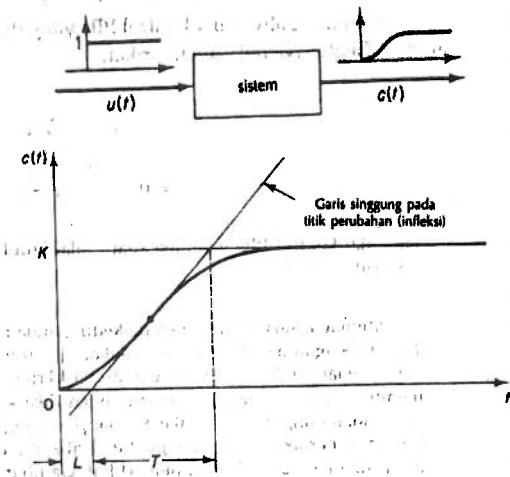
(kontroler PID). Elemen-elemen kontroler P, I dan D masing-masing secara keseluruhan bertujuan untuk mempercepat reaksi sebuah sistem, menghilangkan *offset* dan menghasilkan perubahan awal yang besar (lihat Gambar 1).



Gambar 1. Blok diagram kontroler PID analog

2.3 Tuning kontroler PID

Cara *tuning* kontroler PID yang paling populer adalah dengan metode Ziegler-Nichols. Metode Ziegler-Nichols diperkenalkan pertama kali pada tahun 1942. metode ini memiliki dua cara. Kedua metode ditujukan untuk menghasilkan respon sistem dengan lonjakan maksimum sebesar 25%. Metode pertama dilakukan berdasar eksperimen, dengan memberikan input *step* pada sistem, dan mengamati hasilnya. Sistem harus mempunyai *step response* (respons terhadap *step*) berbentuk kurva S.



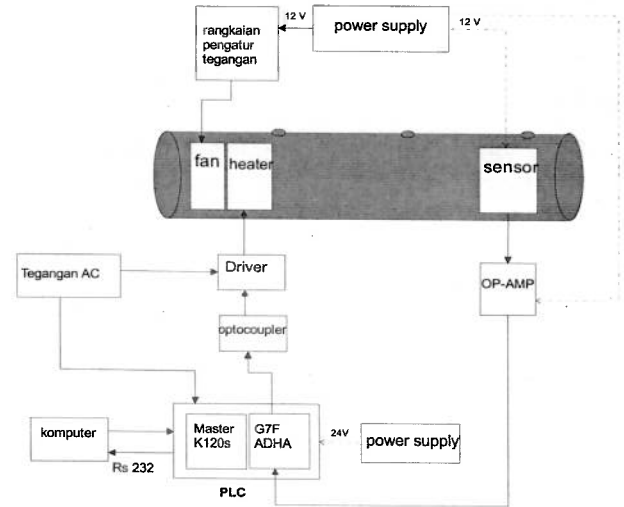
Gambar 2. Respon tangga satuan sebuah sistem

Tabel 1. Aturan Metode Ziegler-Nichols

Tipe alat kontrol	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$T/L$	~	0
PI	$0.9 T/L$	$L/0.3$	0
PID	$1.2 T/L$	$2L$	$0.5L$

3. PERANCANGAN SISTEM

3.1 Perancangan Sistem

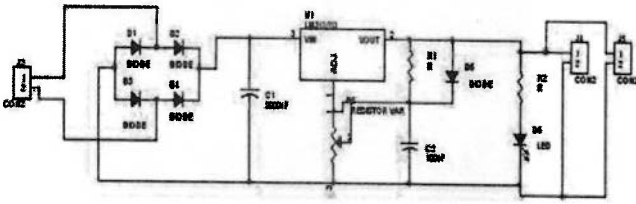


Gambar 3. Blok Diagram Sistem

Pada gambar 3, PLC adalah kontroler sistem dengan PID sebagai pengendalinya, input PLC adalah sebuah tegangan dari output sensor LM35 dimana tegangan keluaran dari sensor ini sebesar 10 mV/°C dan sensor tersebut dicatu oleh sumber tegangan dari *powersupply* sebesar 12 Volt. Sebelum masuk ke modul ekspansi PLC seri G7F-ADHA yang fungsinya sebagai ADC/DAC tegangan keluaran dari sensor dikuatkan sebesar 5.55 kali oleh penguat OP-AMP agar didapat *range* tegangan input PLC sebesar 0-10 Volt. PLC sendiri terhubung dengan PC melalui port seri dengan metode koneksi RS 232. Untuk tegangan sumber PLC memakai sumber tegangan 220 Volt. Dari PC inilah dapat diatur tingkat panas *heater* untuk mendapatkan suhu yang diinginkan/*set value* (SV). Dalam penelitian ini perangkat lunak yang digunakan adalah KGL-WIN 3.65 untuk pemrograman *ladder diagram* dan CIMON untuk desain dan tampilan. Dalam sistem ini nilai *set value* yang bisa diinputkan adalah sebesar 30°C sampai 60°C. Karena sinyal keluaran PLC ini hanya 0-10 Volt DC maka untuk menghidupkan *heater* bertegangan AC 220 Volt, sinyal keluaran pada PLC ini harus dikondisikan oleh rangkaian *driver triac*. Sedangkan *optocoupler/ optoisolator* berfungsi sebagai isolasi elektrik antara tegangan masukan dan tegangan keluaran. Pada sistem ini *fan* berguna untuk menurunkan suhu udara yang dikendalikan secara manual dengan mengatur tegangan *fan* sebesar 0 Volt sampai 12 Volt.

### 3.2 Perancangan Hardware

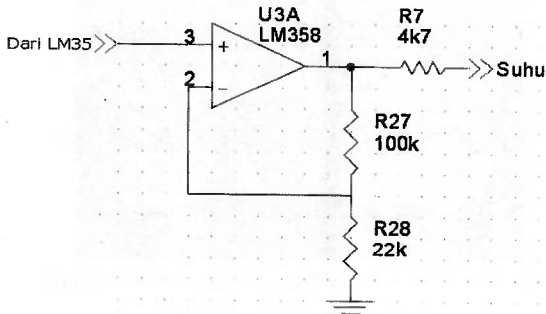
#### a. Rangkaian Catu Daya



Gambar 4. Rangkaian Catu Daya

Catu daya digunakan untuk menyuplai tegangan yang dibutuhkan oleh rangkaian pengatur tegangan untuk fan, sensor dan penguat OP-AMP. Output tegangan yang dapat dihasilkan oleh catu daya ini bisa diatur dari 6 Volt sampai 12 Volt. Namun tegangan yang digunakan pada penelitian ini adalah 12 Volt.

#### b. Rangkaian Penguat Op-Amp

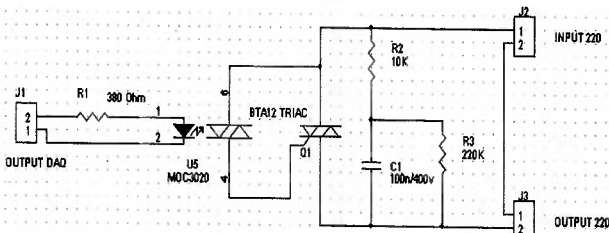


Gambar 5. Rangkaian penguat OP-AMP

Perhitungan nilai penguatan dari rangkaian ini yaitu:

$$\begin{aligned}
 A &= V_o/V_i \\
 &= (1 + R_1/R_2) \\
 &= (1 + 100K/22K) = 5.54x \quad (1)
 \end{aligned}$$

#### c. Rangkaian Driver Heater

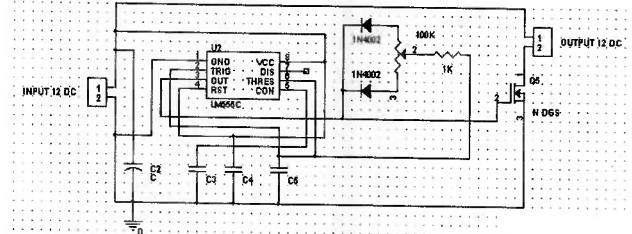


Gambar 6. Rangkaian Driver AC

Rangkaian driver AC ini berfungsi sebagai pemecutan tegangan pada komponen TRIAC yang mengatur keluaran tegangan 220 AC. Pemecutan pada rangkaian ini yaitu berasal dari output modul ekspansi PLC G7F-ADHA yang memiliki tegangan keluaran sebesar 0-10 volt DC.

#### d. Rangkaian Pengatur Tegangan Fan

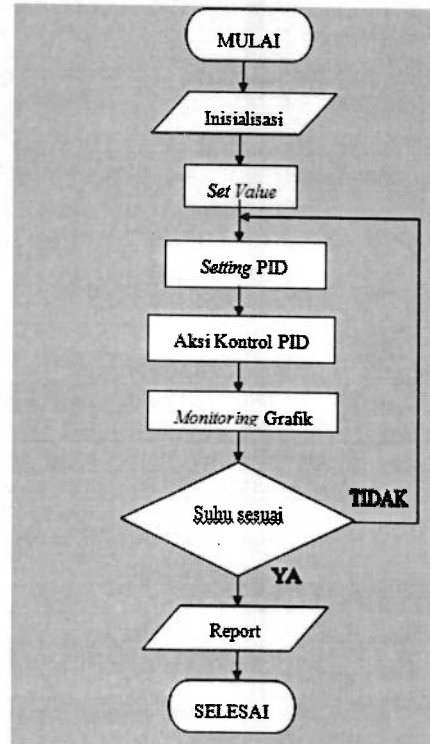
Rangkaian ini digunakan sebagai pengatur tegangan pada fan sehingga aliran udara yang dihasilkan oleh fan dapat mengalirkan panas sepanjang tabung plan menuju sensor LM 35. Selain itu, aliran angin dari fan ini juga dapat difungsikan sebagai pembuang panas sehingga suhu dapat sedikit menurun.



Gambar 7. Rangkaian Pengatur Tegangan Fan

### 3.3 Perancangan Software

#### a. Diagram Alir Sistem

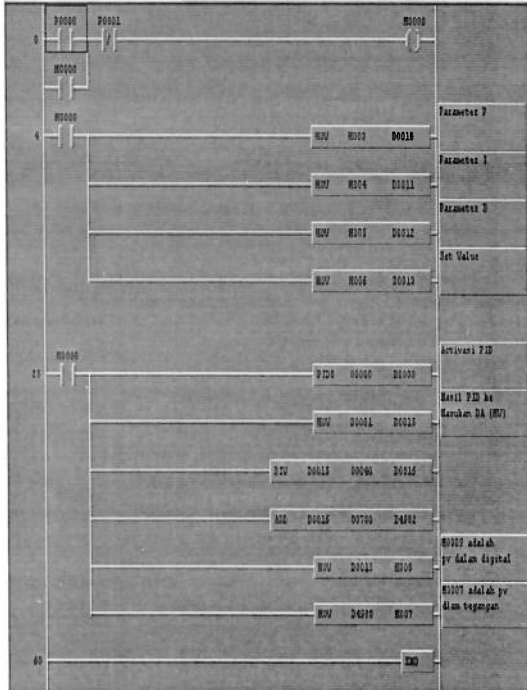


Gambar 8. Diagram Alir Sistem Kendali Suhu

#### b. Diagram Ladder

Untuk membuat suatu program PLC harus menggunakan software yang mendukung PLC tersebut Software yang mendukung PLC MASTER-K120S adalah KGL WIN 3.65. Sebelum program dirancang penggunaan input dan output pada PLC harus di deskripsikan terlebih dahulu. Pendeskripsian ini sangat penting karena pada perancangan software nanti harus mengetahui alamat input

atau pun alamat *output* mana yang digunakan. Pada perancangan ini membutuhkan 7 memori sebagai saklar dan juga sebagai tempat menyimpan data yaitu M000, M003, M004, M005, M006, M007 dan M008. Berikut adalah *ladder* diagram perancangan Pengendalian suhu udara dan tabel *register address*.

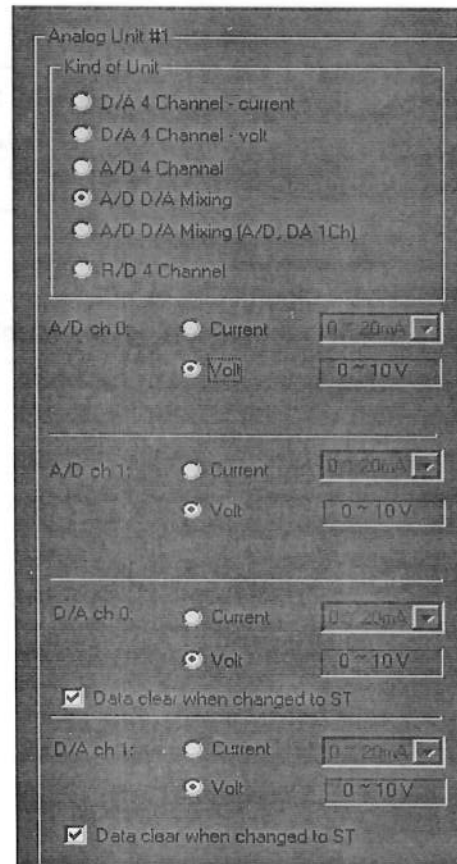


Gambar 9. Diagram Ladder Pengendalian suhu udara

Tabel 2. Register Address

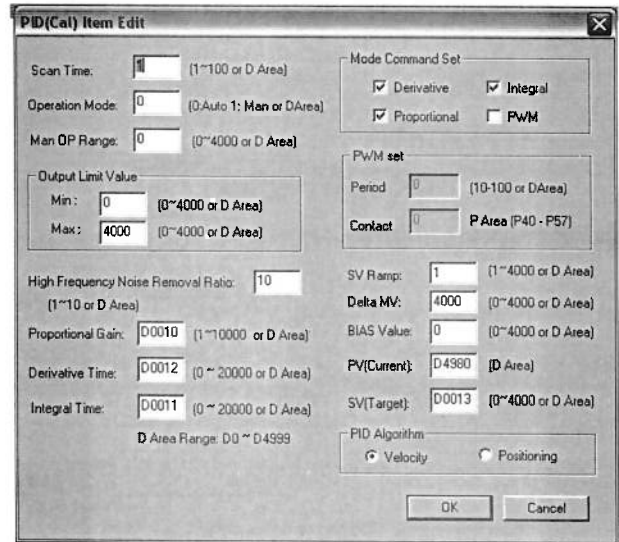
Register	Keterangan
D4980	Special data register dari modul PLC ADHA untuk <i>A/D converter (PV)</i>
D0000	Mengaktifkan register untuk fungsi PID
D0001	Register untuk nilai <i>Manipulated Value</i>
D4982	Special data register dari modul PLC ADHA untuk <i>D/A converter (MV)</i>
D010	Input <i>Proportional gain</i>
D011	Input <i>Derivative Gain</i>
D012	Input <i>Derivative Gain</i>
D013	Mengeset suhu yang diinginkan ( <i>Set Value</i> )
D015	Register <i>Manipulated value</i> pada range 0-4000
D016	Register hasil pembagian D015 dengan 40
M000	Internal memori untuk memulai dan menghentikan fungsi PID
M003	Input <i>Proportional gain</i>
M004	Input <i>Integral Gain</i>
M005	Input <i>Derivative Gain</i>
M006	Mengeset suhu yang diinginkan ( <i>Set Value</i> )
M007	Internal memori untuk memonitoring suhu yang sebenarnya ( <i>Present Value</i> )
M008	Internal memori untuk nilai <i>Manipulated Value</i>

1. Setting Analog untuk modul ekspansi AD/DA conversion G7F-ADHA



Gambar 10. Setting analog untuk modul ekspansi G7F-ADHA

2. Setting PID (CAL)



Gambar 11. Setting PID

c. Perancangan Simulasi

Untuk membuat simulasi pada perancangan ini diperlukan *software* yang mendukung untuk membuat simulasi secara nyata atau sesuai dengan keadaan suatu sistem. Cimond merupakan *software* simulasi

yang mendukung PLC LG MASTER K120S dengan tool yang mudah dipahami. Proses pembuatan, pertama-tama dilakukan dengan membuat *database* pada input dan output dari diagram ladder PLC tersebut.

Name	Type	I/O device	I/O Address	Initial ...
POWER	Digital Tag	MASTERK.DEDY M0000		0
PRESENT_VALUE	Analog Tag	MASTERK.DEDY M0007		0
MANIPULATED...	Analog Tag	MASTERK.DEDY M0008		0
PROPORTIONAL	Analog Tag	MASTERK.DEDY M0003		0
INTEGRAL	Analog Tag	MASTERK.DEDY M0004		0
DERIVATIVE	Analog Tag	MASTERK.DEDY M0005		0
SET_VALUE	Analog Tag	MASTERK.DEDY M0006		0

Gambar 12. Database Pada CIMOND

Setelah membuat *database* langkah selanjutnya adalah membuat tampilan simulasi seperti Gambar 13.



Gambar 13. Monitoring Simulasi Kendali Suhu Udara

#### 4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

##### 4.1 Pengujian Hardware

##### a. Pengujian Rangkaian Op-Amp dan Sensor LM 35

Tabel 3. Pengujian OP-Amp

Thermometer (°C)	Vi Output LM35 (Volt)	Vo Output OpAmp (Volt)	$V_p = V_i \times 5.54$ (Volt)	$(V_p - V_o)$ Volt
30	0.299	1.66	1.656	-0.004
31	0.312	1.73	1.728	-0.002
32	0.323	1.79	1.789	-0.001
33	0.332	1.84	1.839	-0.001
34	0.348	1.93	1.927	-0.003
35	0.359	1.99	1.988	-0.002
36	0.366	2.03	2.027	-0.003
37	0.377	2.09	2.088	-0.002
38	0.388	2.15	2.149	-0.001
39	0.397	2.2	2.199	-0.001
40	0.406	2.25	2.249	-0.001

Dari tabel 3, dengan demikian rangkaian penguat ini dapat dikatakan sudah bekerja dengan baik dengan rata-rata *error* sebesar 0.003.

##### b. Pengujian Modul Ekspansi PLC G7F-ADHA Sebagai ADC/DAC

Modul ekspansi ADHA ini berfungsi sebagai ADC dan DAC. Seperti karakteristiknya modul ini dapat merubah sinyal analog berupa tegangan ke bentuk digital 0-4000 dan sebaliknya. Setiap kenaikan tegangan 2.5  $\mu$ V setara dengan kenaikan 1 digital atau sebaliknya.

##### 1. G7F-ADHA Sebagai ADC

Pada pengujian ini mengamati nilai konversi suhu ke bentuk digital.

Tabel 4. Nilai konversi suhu ke tegangan dan ke bilangan digital

Suhu sebenarnya (thermometer)	Vout op-amp yang tertampil di cimox	Nilai digital pada ADC
30	1.40	560
31	1.46	584
32	1.52	608
33	1.58	632
34	1.64	656
35	1.70	680
36	1.76	704
37	1.82	728
38	1.88	752
39	1.94	776
40	2.00	800
41	2.06	824
42	2.12	848
43	2.18	872
44	2.24	896
45	2.30	920
46	2.35	940
47	2.40	960
48	2.46	984
49	2.52	1008
50	2.58	1032
51	2.64	1056
52	2.69	1076
53	2.75	1100
54	2.81	1124
55	2.88	1152
56	2.92	1168
57	2.98	1192
58	3.04	1216
59	3.10	1240
60	3.16	1264

##### 2. G7F-ADHA Sebagai DAC

Pada pengujian ini adalah nilai *manipulated value* hasil konversi bilangan

digital ke tegangan dan dibatasi Pada parameter PID. Tabel 4 adalah hasil konversinya.

Tabel 4. Nilai konversi bilangan digital ke tegangan output.

Nilai digital pada DAC	Tegangan output
704	1.76 V
708	1.77 V
712	1.78 V
716	1.79 V
720	1.80 V
724	1.81 V
728	1.82 V
732	1.83 V
736	1.84 V
740	1.85 V
744	1.86 V
748	1.87 V
752	1.88 V
756	1.89 V
860	1.90 V
800	2.00 V

**c. Pengujian Driver AC**

Pengujian ini dilakukan untuk dapat mengetahui besarnya nilai AC saat terhubung beban, alat ukur yang digunakan yaitu multimeter digital. Tegangan AC yang diatur yaitu 0 - 220 Vac dan tegangan DC dari NI DAQ sebagai penyulutnya sebesar 1.76-2.1 Vdc.

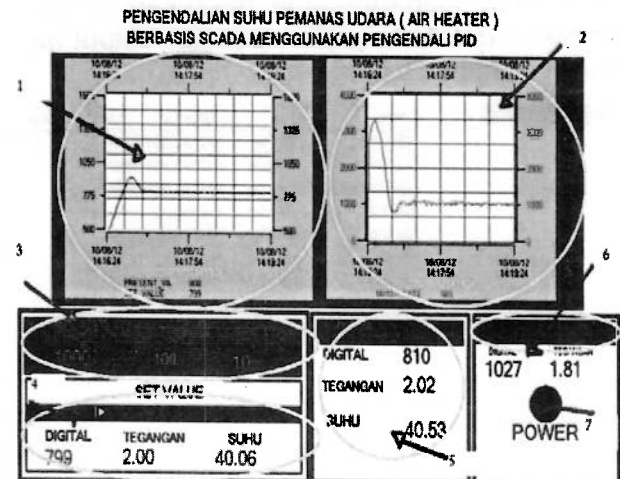
Tabel 5. Pengujian Driver AC

Vdc	Vac
1.76	1
1.81	91
1.82	111
1.83	116.
1.84	157.
1.85	176.
1.86	183
1.87	188
1.88	193
1.89	197
1.90	201
2.00	220

**4.2 Pengujian SCADA dengan Software CimonD**

Fungsi software CimonD sebagai HMI dalam sistem SCADA adalah untuk simulasi, monitoring dan kontrol, untuk itu dalam penelitian ini pengujian terhadap simulasi kontrol PID dalam software CimonD. Dari hasil percobaan yang telah dilakukan akan terlihat pada simulasi yang telah dibuat dengan menggunakan simulasi CimonD. Simulasi ini berguna untuk mengendalikan program PLC tanpa perlu ada tambahan perangkat luar.

Gambar 14 adalah contoh hasil dari simulasi kontrol yang telah dibuat.

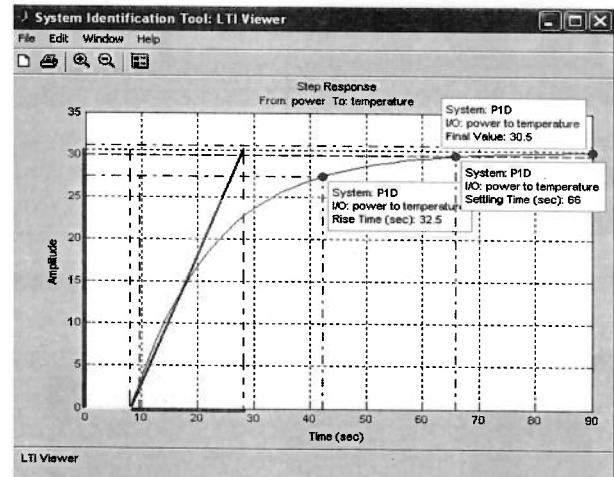


Gambar 14. Simulasi untuk kendali suhu udara

**4.3 Analisis Kendali PID Untuk Menjaga Kestabilan Suhu**

Analisa kestabilan suhu dapat dilihat dari tanggapan transien sistem meliputi waktu naik, waktu puncak, waktu mencapai *setpoint*, dan maksimum *overshoot*.

**a. Nilai Kp, Ti, Td dari hasil Pemodelan dan Identifikasi Sistem**



Gambar 15. Step Respon Sistem Plant heater

Berdasarkan metode *open-loop* Ziegler-Nichols, maka:

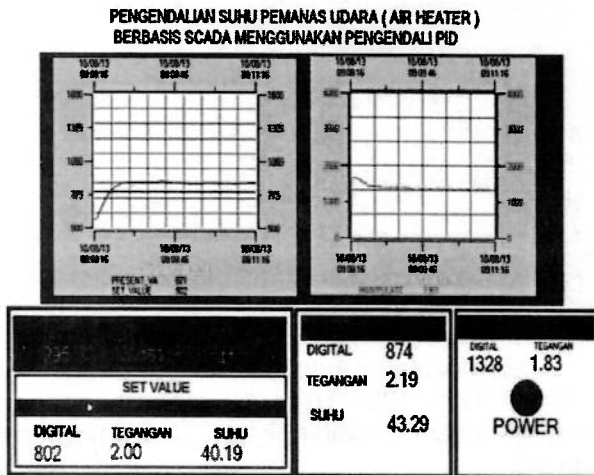
$$K_p = \frac{1.2T}{L} = \frac{1.2(20)}{(8.137)} = 2.95 \tag{2}$$

$$T_i = 2(L) = 2(8.137) = 16.274 \tag{3}$$

$$T_d = 0.5(L) = 0.5(8.137) = 4.068 \tag{4}$$

Dalam perannya sebagai masukan untuk PLC nilai proporsional mendapatkan pengali seratus kali, sedangkan untuk integral dan

derivatif dikalikan sepuluh kali, sehingga nilai masukan pada sistem akan menjadi 295 untuk proporsional, 163 untuk integral dan 41 untuk derivatif dari suhu 30°C sampai set point 40°C.



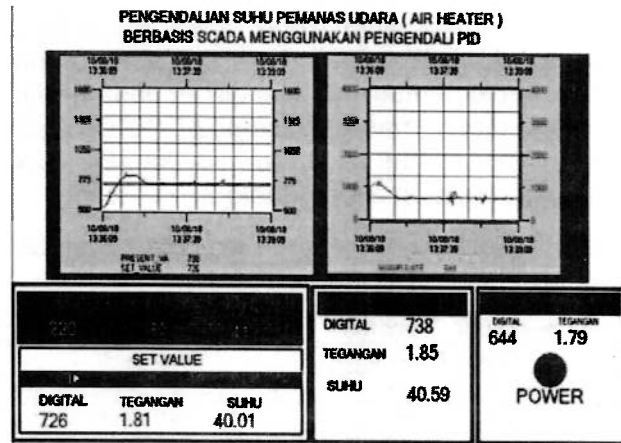
Gambar 16. Grafik Setpoint 40°C (1)

Dari pengamatan yang dilakukan, nilai suhu awal adalah berkisar pada suhu 30°C implementasinya bisa dilihat pada grafik di atas. Diberi masukan setpoint 40,19°C. Terlihat dalam grafik bahwa dengan parameter PID ini tidak dapat menahan suhu pada setpoint yang diinginkan. Awalnya tanggapan transien adalah sekitar 10 detik untuk rise time, setelah melewati setpoint menuju suhu 43°C, tidak terjadi penurunan suhu ke setpoint yang dikehendaki. Tanggapan sistem mengalami steady state pada suhu 43°C pada waktu 30 detik, artinya ada error sistem sebesar 3°C.

**b. Metode trial and error**

- Parameter  $K_p = 220$ ,  $T_i = 80$ ,  $T_d = 41$

Untuk memperbaiki tanggapan keluaran sistem maka dari nilai  $K_p$ ,  $T_i$ , dan  $T_d$  dari hasil metode Ziegler-Nichols perlu di ubah nilai  $K_p$  dan  $T_i$  nya agar error sistem dapat diperkecil dan nilai overshoot tidak terlalu tinggi. Pengaruh nilai  $K_p$  yang besar adalah respon sistem semakin cepat mencapai keadaan mantabnya namun jika nilai  $K_p$  diperbesar sehingga mencapai harga yang berlebihan, akan mengakibatkan sistem bekerja tidak stabil, atau respon sistem akan berosilasi, maka dalam percobaan selanjutnya nilai  $K_p$  akan diperkecil dari 295 menjadi 220. Untuk memperperkecil error sistem maka nilai  $T_i$  harus dinaikan, maka nilai  $T_i$  harus diperkecil dari 163 menjadi 80 karena nilai  $T_i$  bergantung dari  $K_p$  dan  $T_i$  dimana  $T_i = K_p / T_d$ . Berikut percobaan dengan setpoint 40°C dari suhu 30°C sampai 40°C.



Gambar 17. Grafik Setpoint 40°C (2)

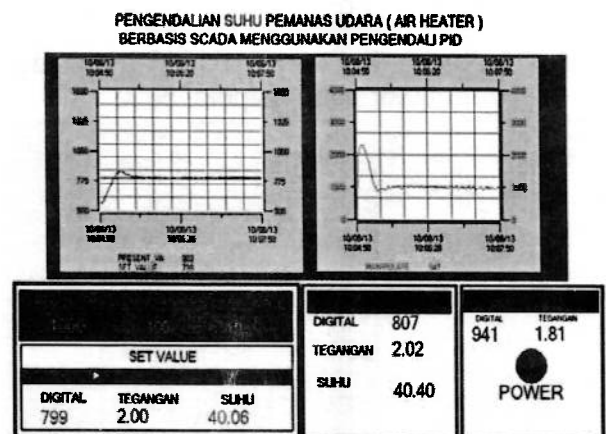
Dari pengamatan yang dilakukan, terjadi perubahan terhadap tanggapan sistem setelah nilai parameter  $K_p$  dan  $T_i$  diubah dimana error sistem semakin kecil dibandingkan pada tanggapan dengan setpoint yang sama pada parameter sebelumnya. Namun pada tanggapan ini overshoot masih mencapai 44°C. Selain itu setelah mencapai suhu 40°C masih terjadi osilasi namun tidak terlalu besar. Dari hasil respon diatas diketahui nilai karakteristik tanggapan adalah seperti tabel 6.

Tabel 6. Karakteristik respon kendali PID untuk setpoint 40°C (2)

Tanggapan Transien	Nilai
Waktu Naik	10 detik
Waktu puncak	25detik
Waktu setpoint	50 detik
Maksimum overshoot	10 %

- Parameter  $K_p = 1000$ ,  $T_i = 100$ ,  $T_d = 10$

Berikut adalah beberapa percobaan untuk mengetahui tanggapan transien dengan parameter PID yang diberikan untuk mendukung sistem closed loop. Nilai parameter  $K_p = 1000$ ,  $T_i = 100$ , dan  $T_d = 10$  dari suhu 30°C sampai set point 40°C.



Gambar 4.5 Grafik Setpoint 40°C (3)

Dari pengamatan yang telah dilakukan, nilai suhu awal adalah berkisar pada suhu 30°C, implementasinya bisa dilihat pada grafik di atas, diberi masukan *setpoint* 40°C. Dari hasil respon di atas diketahui nilai karakteristik tanggapan adalah seperti table 7.

Tabel 7. Karakteristik respon kendali PID untuk *setpoint* 40°C

Tanggapan Transien	Nilai
Waktu Naik	10 detik
Waktu puncak	25 detik
Waktu <i>setpoint</i>	40 detik
Maksimum <i>overshoot</i>	5%

### c. Perbandingan Karakteristik Tanggapan Transien Masing-Masing Parameter

Dengan membandingkan tiga percobaan dengan parameter PID yang berbeda maka dapat dianalisis parameter mana yang memenuhi kriteria pengendali *closed loop* yang performansi lebih baik dengan melihat tanggapan transien masing-masing parameter. Pada tabel 8 sampai tabel 10 adalah hasil perbandingan untuk *setpoint* 40°C, 50°C, dan 60°C.

#### a. Untuk *setpoint* 40°C

Tabel 8. Tanggapan transien masing-masing parameter pada *setpoint* 40°C

Tanggapan transien Parameter	Waktu naik (detik)	Waktu puncak (detik)	Waktu <i>setpoint</i> (detik)	Maksimum <i>Overshoot</i> (%)	Error sistem (°C)
K <sub>p</sub> = 295 T <sub>i</sub> = 163 T <sub>d</sub> = 41	10	30	Tidak mencapai <i>setpoint</i>	7.5	± 3
K <sub>p</sub> = 220 T <sub>i</sub> = 80 T <sub>d</sub> = 41	10	25	50	10	± 0.58
K <sub>p</sub> = 1000 T <sub>i</sub> = 100 T <sub>d</sub> = 10	10	25	40	5	± 0.36

#### b. Untuk *setpoint* 50°C

Tabel 9. Tanggapan transien masing-masing parameter pada *setpoint* 50°C

Tanggapan transien Parameter	Waktu naik (detik)	Waktu puncak (detik)	Waktu <i>setpoint</i> (detik)	Maksimum <i>Overshoot</i> (%)	Error sistem (°C)
K <sub>p</sub> = 295 T <sub>i</sub> = 163 T <sub>d</sub> = 41	20	60	Tidak mencapai <i>setpoint</i>	14	± 2.29
K <sub>p</sub> = 220 T <sub>i</sub> = 80 T <sub>d</sub> = 41	20	60	115	20	± 0.10
K <sub>p</sub> = 1000 T <sub>i</sub> = 100 T <sub>d</sub> = 10	20	50	60	10	± 0.17

#### c. Untuk *setpoint* 60°C

Tabel 10. Tanggapan transien masing-masing parameter pada *setpoint* 60 °C

Tanggapan transien Parameter	Waktu naik (detik)	Waktu puncak (detik)	Waktu <i>setpoint</i> (detik)	Maksimum <i>Overshoot</i> (%)	Error sistem (°C)
K <sub>p</sub> = 295 T <sub>i</sub> = 163 T <sub>d</sub> = 41	45	180	Tidak mencapai <i>setpoint</i>	8.3	± 5
K <sub>p</sub> = 220 T <sub>i</sub> = 80 T <sub>d</sub> = 41	40	110	180	16.67	± 0.43
K <sub>p</sub> = 1000 T <sub>i</sub> = 100 T <sub>d</sub> = 10	45	100	140	5	± 0.22

Secara keseluruhan bahwa parameter K<sub>p</sub> = 1000, T<sub>i</sub> = 100, T<sub>d</sub> = 10 memiliki respon yang lebih baik dibandingkan kedua parameter lainnya.

## 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perancangan sistem dan hasil pengujian yang dilakukan, maka dalam pembuatan penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu:

1. Dengan adanya instruksi PID pada PLC LG MASTER K120S dapat dengan mudah dalam proses pengendalian suhu udara.
2. Karakteristik dari pengendalian proses yang berupa suhu udara adalah perubahan proses yang sangat cepat.
3. Sensor LM 35 cocok dipakai dalam penelitian ini karena sangat presisi pada *range* suhu 30 °C sampai 60 °C.
4. *Driver heater* yang dipakai dalam percobaan kurang linear sehingga nilai manipulasi dari PID mempunyai *range* nilai yang sempit.
5. Penggunaan simulasi CimonD pada penelitian ini sangat berguna untuk melihat hasil output yang dihasilkan sehingga dapat dimonitoring pada simulasi ini sesuai dengan kondisi sistem tersebut.
6. Dengan nilai parameter PID yang didapat dari hasil pemodelan daentifikasi sistem yang bernilai K<sub>p</sub> = 295, T<sub>i</sub> = 163 T<sub>d</sub> = 41 memiliki persentase *error* yang besar, dengan melakukan *tuning* secara *trial and error* didapat parameter baru dengan nilai P = 1000, T<sub>i</sub> = 100 dan T<sub>d</sub> = 100 tanggapan sistem memiliki kemampuan menekan *error* dan dapat mencapai keadaan tunak dengan cepat.



## 5.2 Saran

Dari perancangan sistem Pengendali PID plant *heater* yang telah direalisasikan pada penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar penelitian lebih lanjut, mengingat banyaknya kekurangan yang dihadapi maka diusulkan beberapa saran, yaitu:

1. *Driver* AC yang digunakan diharapkan lebih dikembangkan sehingga mampu mengeluarkan tegangan AC yang linear.
2. Menggunakan PLC modul ekspansi yang lain seperti modul RTD sehingga diharapkan pengendalian suhu menggunakan PLC lebih mudah dan dapat bekerja di *range* suhu yang besar.
3. Menerapkan Pengendali PID dengan menggunakan PLC LG MASTER K 120 S tidak hanya pada pengendali suhu saja, namun pengendali PID bagi ketinggian air, aliran udara dan lain sebagainya, sehingga penguasaan PID dengan PLC dapat lebih kompleks.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, Chairul. (2006). Aplikasi sistem SCADA pada pengisian dan penutupan kaleng susu secara otomatis berbasis PLC Siemens s7-200 s7-300. *Skripsi*. Yogyakarta: Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia.
- Arifin, Jaenal. (2009). Pengontrolan Temperatur Menggunakan Metode Kontrol PID Berbasis Mikrokontroler AT90S8515. *Skripsi*. Yogyakarta: Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Elektro Universitas Indonesia.
- Detya, Prestalino. (2007). Aplikasi Sistem SCADA pada Miniatur Water Control Berbasis PLC Siemens S7-300. *Skripsi*. Yogyakarta: Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia.
- Modul Pelatihan PLC LG MASTER K120S.
- Ogata, Katsuhiko. (1987). *Teknik Kontrol Automatik*, Jilid 1, Edisi Kedua, Jakarta: Erlangga.
- Ogata, Katsuhiko. (1987). *Teknik Kontrol Automatik*, Jilid 2, Edisi Kedua, Jakarta: Erlangga.
- Perdana Putra, Binar. (2008). Kendali PLAN Industri dengan SCADA. *Skripsi*. Yogyakarta: Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia.
- USER MANUAL LG Programable Logic Controller MASTER K120S series, LG Industrial Systems. [www.lgis.com](http://www.lgis.com).

## AKUISISI DAN IDENTIFIKASI SISTEM SEL SURYA MENGUNAKAN NI-DAQ USB-6009

**Wahyudi Budi Pramono, Dwi Ana Ratna Wati, Fajar Rahman Waisa**

*Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia*

*Jalan Kaliurang km 14,5 Ngemplak Sleman Yogyakarta 55584*

*Telp.: +62 274 895387; Fax.: +62 274 895469*

*e-mail: wahyudi\_budi\_p@fti.uii.ac.id*

### ABSTRACT

*Data Acquisition and System identification are the most important step on controller design. This research proposes a method on data acquisition of photovoltaic system using NI-DAQ USB 6009 and LabVIEW 8.6 as user interface and data storage. Then, output from data acquisition will be used on photovoltaic and boost converter characteristics identification. The data acquisition hardware and software are designed to work as real time monitoring tools on 5 Hz sample rate. The second order lowpass Butterworth filter is used to reduce the noise. The identification of photovoltaic characteristics results maximum power current ( $I_{mp}$ ) = 2,0231 Ampere, maximum power voltage ( $V_{mp}$ ) = 11,7851 Volt, and maximum power ( $P_{max}$ ) = 23,84 Watt. The identification of Boost Converter characteristic results internal resistance  $R_{in} = 0,8$  Ohm on 100% duty cycle,  $R_{in} = 47$  Ohm on 0% duty cycle, and  $R_{in} = 5,5$  Ohm on maximum power. This data acquisition system has error tolerance about 0,0008 A to 0,0047 A, and 0,0188 V to 0,4647 V.*

*Keywords : Data Acquisition, Systems Identification, Photovoltaic, Boost Converter*

### 1. PENDAHULUAN

Saat ini, energi surya semakin luas diaplikasikan sebagai sumber energi alternatif dan diharapkan mampu menggantikan peran bahan bakar fosil. Isu pemanasan global dan implementasi sumber energi yang ramah lingkungan menjadikan sumber energi ini sebagai pilihan. Sel surya sangat cocok digunakan di daerah terisolir untuk membangkitkan energi listrik.

Dalam pemanfaatan sel surya sebagai pembangkit listrik, masalah utama yang dihadapi adalah berubahnya output sel surya yang dipengaruhi tidak hanya oleh perubahan intensitas cahaya namun juga oleh suhu, kelembaban, dan beberapa kondisi lingkungan yang lain. Kecenderungan penurunan output bersifat tidak linier dan sulit untuk diprediksi ini, menjadikan daya yang ditransfer ke beban menjadi tidak optimal.

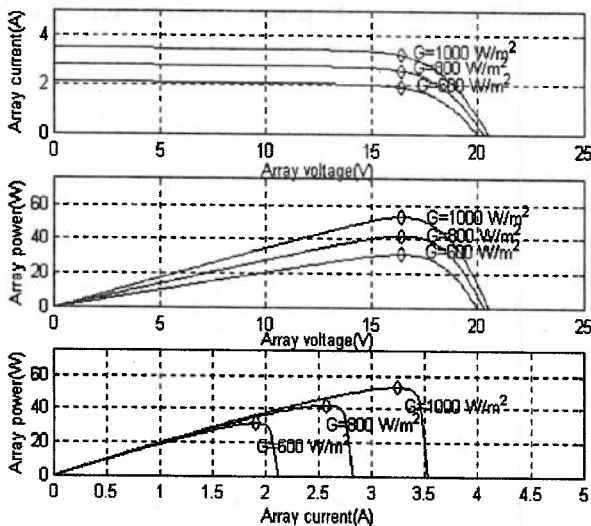
Solusi yang sering dilakukan untuk meningkatkan optimasi output sel surya adalah dengan sistem mekanik. Arah penerimaan cahaya sel surya diatur dengan secara fisik menggerakkan sel surya mengikuti arah pergerakan semu matahari yang berlangsung dari pagi sampai sore. Akan tetapi, metode ini sangat tidak efisien karena peningkatan daya

output tidak sebanding dengan energi yang digunakan sistem mekanik untuk menggerakkan sel surya.

Metode lain untuk meningkatkan optimasi output sel surya adalah MPPT. *Maximum Power Point Tracking* (MPPT), merupakan sistem elektronik yang mengatur operasi sel surya agar mengeluarkan output maksimumnya dalam berbagai kondisi lingkungan. MPPT bukan merupakan sistem tracking mekanis yang secara fisik menggerakkan sel surya agar tepat mengarah matahari. MPPT adalah sistem elektronik yang mengatur titik operasi listrik sel surya supaya mampu menghasilkan output daya maksimum. MPPT dapat digunakan secara simultan dengan sistem mekanik, namun dua sistem tersebut sangatlah berbeda.

Pada penelitian sebelumnya, optimasi output sel surya dilakukan dengan sistem mekanis (Pramono, dkk., 2007). Sel surya diletakkan pada piranti yang mampu bergerak mengikuti pergerakan semu matahari untuk mendapatkan kuat pencahayaan yang optimum. Metode ini sangat sederhana namun mempunyai keterbatasan. Sejumlah besar energi yang dihasilkan dari sel surya hilang karena digunakan oleh sistem mekanik untuk menggerakkan modul sel surya.

Pada penelitian yang lain, modul hibrid pompa air bertenaga surya telah dibuat dengan kapasitas 900 watt, 1500 watt, dan 2000 watt (Amrulloh, Nugroho, 2007). Pompa air digerakkan dengan listrik keluaran sel surya dan listrik PLN sebagai cadangan. Modul tersebut terdiri atas sel surya, regulator linier, inverter, automatic transfer switch, tank controller, dan pompa air submersible. Sel surya mempunyai tegangan output 34.4V sedangkan regulator didesain untuk menghasilkan tegangan output stabil 28V untuk memenuhi tegangan input inverter. *Automatic transfer switch* digunakan untuk memonitor tegangan sel surya dan akan mengubah input inverter ke *line AC* apabila tegangan sel surya turun di bawah ketentuan.



Gambar 1. Karakteristik array sel surya.

Sifat alamiah sistem sel surya ditunjukkan pada Gambar 1. Pada gambar tersebut, arus dan daya array sel surya tergantung dari tegangan operasi terminal array. Sebagai tambahan, titik kerja operasi daya maksimum bervariasi dengan level insulasi dan temperatur. Oleh karena itu kontrol untuk mendapatkan *power* maksimum merupakan hal yang sangat kompleks. Untuk mengatasi masalah ini, beberapa strategi pengendalian telah dikerjakan seperti *perturb and observe* (Hua dan Shen, 1998; Husein, Muta, Hoshino, 1995), *incremental conductance* (Brambilla, 1998), *parasitic capacitance* (Hohm dan Ropp, 2000), *constant voltage* (Sweigers dan Enslin, 1998), *neural network* (Hiyama dan Kitabayashi, 1997; Hiyama, Kouzuma, Imakubo, Ortmeier, 1995) dan *fuzzy logic controller* (Won, Kim, 1994; Simoes dan Franceschetti, 1999). Strategi ini mempunyai beberapa keterbatasan seperti harga kontroler

yang mahal, tingkat kesulitan dan kompleksitas yang tinggi serta ketidak stabilan. Kebutuhan mendasar untuk MPPT adalah kesederhanaan dan harga yang murah, kecepatan tracking yang tinggi untuk berbagai perubahan kondisi, dan fluktuasi daya output yang rendah.

Metode yang lebih efisien untuk memecahkan masalah ini menjadi sangat krusial. Pada penelitian sebelumnya, *Adaptive Fuzzy Logic Controller* (AFLC) telah digunakan untuk optimasi sel surya yang dikoneksikan ke grid. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan sebuah metode untuk melacak output daya maksimum sel surya menggunakan AFLC untuk menggerakkan pompa submersible sebagai beban yang dinamik. FLC sangat cocok digunakan untuk pengendalian beban non linier. Sebagai tambahan, FLC tidak menggunakan fungsi matematika kompleks. Perilaku FLC tergantung pada bentuk fungsi keanggotaan dan aturan dasar. Tidak ada metoda formal untuk menentukan parameter yang akurat dari kontroler. Akan tetapi, pemilihan parameter fuzzy agar menghasilkan titik kerja dan sistem kontrol yang bagus tergantung pada pengalaman desainer. FLC dengan parameter tetap tidak cocok digunakan dalam kondisi kerja yang selalu berubah-ubah dan pengalaman programmer yang tidak cukup. AFLC dapat memecahkan masalah ini karena algoritma ini dapat menyesuaikan parameter fuzzy untuk mendapatkan performa yang optimum.

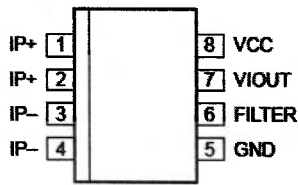
Akuisisi data adalah suatu proses mengumpulkan data dan mengukur sinyal elektrik dari sensor, transduser, test probe dan memasukkannya ke komputer untuk kemudian diproses. Akuisisi data mencakup dua tahap yaitu: pertama membaca sinyal nyata (*real world*) dan mengkonversi ke dalam sinyal tegangan, yang kedua mengkonversi sinyal tegangan ke dalam bilangan biner sehingga komputer dapat menganalisa sinyal tersebut.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1 Alat dan bahan

Dalam penelitian ini digunakan sel surya (*photovoltaic*) dengan daya maksimum 50 wattpeak, seperangkat komputer, DAQ USB 6009, sensor arus dan rangkaian booster dan driver PWM.

a. ACS712



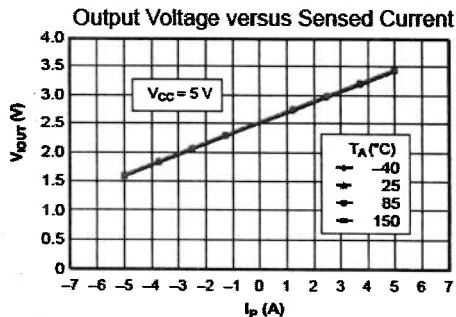
Gambar 2. Pin ACS712

Allegro ACS 712 merupakan perangkat yang teliti, *offset* rendah dan catu daya sebesar +5Volt. Gambar 2 merupakan keterangan pin ACS712.

Tabel 1. Pin ACS712

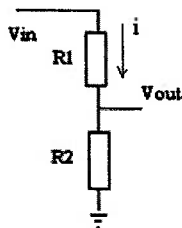
NO	Nama	Deskripsi
1 dan 2	IP+	Terminal dimana arus akan disensor, fuse internal
3 dan 4	IP -	Terminal dimana arus akan disensor, fuse internal
5	GND	Terminal sinyal ground
6	FILTER	Terminal kapasitor eksternal untuk mengeset Bandwidth
7	VIOUT	Sinyal analog keluaran
8	VCC	Terminal power supply

ACS 712 mengukur arus dengan cara mengubah ke dalam bentuk tegangan. Sensor arus ini mempunyai grafik kelinieran sebagai berikut:



Gambar 3. Kelinieran Sensor Arus

b. Sensor Tegangan



Gambar 4. Rangkaian Pembagi Tegangan

Salah satu teknik untuk mengukur tegangan adalah menggunakan rangkaian pembagi tegangan, seperti gambar diatas. V input diperoleh dari

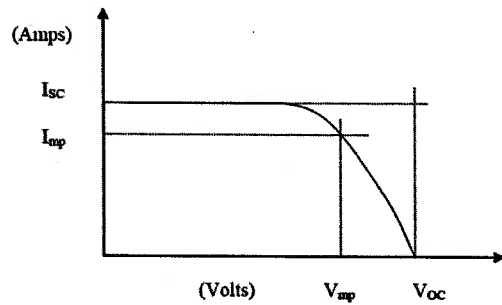
$$V_{in} = I \times (R1 + R2) \tag{1}$$

Dengan  $V_{in}$  adalah tegangan masuk,  $I$  adalah arus dan  $R$  adalah resistor.

c. Photovoltaic

*Photovoltaic* (PV) adalah teknologi dimana radiasi photon dari matahari ke dalam energi listrik. Ini merupakan konversi energi sinar matahari menjadi energi listrik tanpa dengan gerak, tanpa *noise* dan tanpa polusi. Sel surya, diode, transistor, dan IC dibuat dari materi semikonduktor, umumnya silikon yang dicampur dengan bahan tambahan seperti pospor dan boron. Saat sinar matahari mengenai permukaan sel surya maka energi listrik akan tercipta. Daya, tegangan dan arus dapat tercipta dengan sel surya secara parallel maupun seri.

Karakteristik V-I pada sel surya dapat dilihat pada gambar 4.



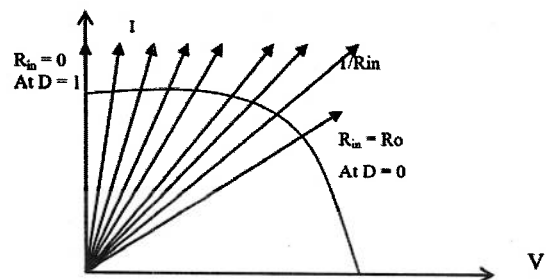
Gambar 5. Karakteristik V-I

d. Boost Converter

*Boost Converter* adalah sebuah *power converter* dengan tegangan keluaran DC lebih besar daripada tegangan masukan DC dan arus keluaran lebih kecil daripada arus masukan. Dimana naik dan turunnya tegangan keluaran maupun tegangan masukan tergantung pada *duty cycle*. Hubungan tersebut dapat dijelaskan dengan persamaan berikut:

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{I_{in}}{I_o} = \frac{1}{1-D} \tag{2}$$

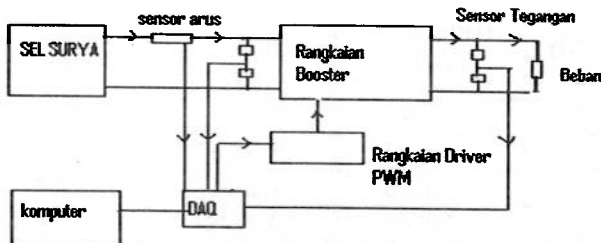
Karakteristik *Resistansi internal* ( $R_{in}$ ) pada *boost converter* adalah sebagai berikut:



Gambar 6. Karakteristik Resistansi Booster

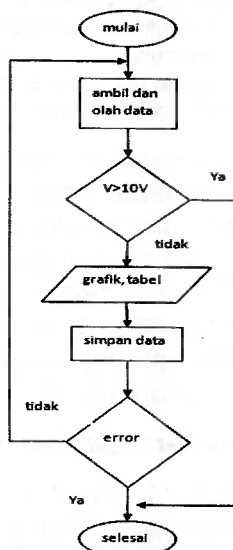
## 2.2 Perancangan Sistem

Sistem akuisisi data pada penelitian ini terdiri dari dua bagian yaitu perangkat lunak dan perangkat keras. Perangkat lunak terdiri dari program LabVIEW dan perangkat keras terdiri dari rangkaian sensor arus, rangkaian sensor tegangan, rangkaian *boost converter* dan rangkaian PWM.



Gambar 7. Rancangan blok diagram sistem

Pada saat aplikasi dijalankan maka proses akuisisi data akan langsung berjalan, apabila nilai tegangan yang berasal dari sensor lebih besar dari 10 Volt maka aplikasi akan berhenti. Hal ini bertujuan untuk melindungi perangkat DAQ dari kerusakan yang disebabkan tegangan berlebih. Apabila nilai tegangan dari sensor kurang dari 10 V maka aplikasi akan menampilkan hasil akuisisi dalam bentuk grafik dan tabel. Setelah itu tabel yang ditampilkan akan disimpan oleh aplikasi dalam format .lvn (*logical volume management*). Apabila tidak terjadi *error* pada akuisisi data maka aplikasi akan berjalan sesuai seperti awal. Aplikasi dapat dihentikan dengan menekan tombol berhenti.

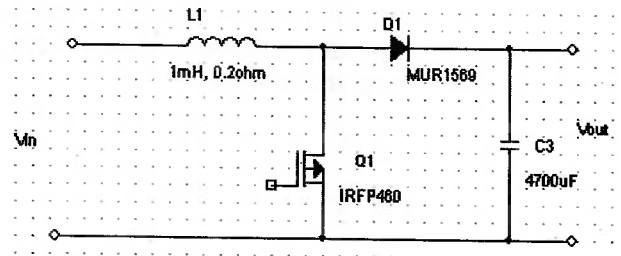


Gambar 8. Flowchart pemrograman

Pada penelitian ini sensor arus yang digunakan adalah ACS712 yang diproduksi oleh Allegro MicroSystems, Inc. Sensor arus ini merupakan sensor yang mempunyai

sensitivitas sebesar 185 mV/Amp dan memiliki nilai maksimal pembacaan arus sebesar 5 Ampere. Disamping itu sensor arus ACS712 memiliki tingkat keakuratan yang tinggi, nilai *offset* yang rendah dan merupakan rangkaian sensor yang linier.

### a. Rangkaian Booster



Gambar 9. Rangkaian *Boost Converter*

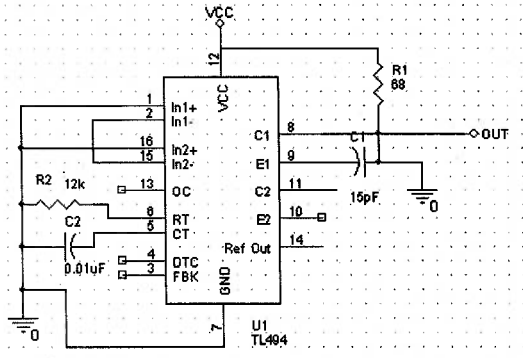
*Boost converter* digunakan untuk menaikkan tegangan DC dengan cara memberikan sinyal PWM di mosfet. Saat mosfet dipicu dengan PWM maka akan terjadi pensaklaran kecepatan tinggi di dalam mosfet, sehingga nilai tegangan keluaran akan naik dipengaruhi oleh *duty cycle* PWM. Gambar 9 merupakan rangkaian *boost converter* yang dipakai pada penelitian. Keterangan untuk masing-masing komponen yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Induktor yang digunakan adalah induktor dengan inti *ferrit*, nilai induktor sebesar 1 mH, 0.2 Ohm. Komponen elektronik ini berfungsi untuk mengumpulkan arus pada saat mosfet terhubung ON.
2. Mosfet yang digunakan IRFP460 berguna untuk pensaklaran tingkat tinggi. IRFP460 merupakan mosfet *aktif low*, dengan demikian mosfet akan ON saat tidak ada tegangan yang memicu dan akan OFF apabila ada tegangan yang memicu. Untuk memicu mosfet biasa menggunakan sinyal PWM.
3. Dioda yang digunakan pada rangkaian ini MUR1569 3 Ampere. Dioda berfungsi untuk mencegah arus balik dari keluaran.
4. Kapasitor yang digunakan pada rangkaian ini sebesar 4700 mF 50V. Kapasitor ini berfungsi untuk mengurangi *ripple* pada tegangan keluaran.

### b. Rangkaian Driver PWM

*Driver PWM* berfungsi untuk memicu mosfet menggunakan sinyal PWM dengan *duty cycle* yang bervariasi. Pada penelitian ini *driver PWM* yang digunakan untuk

menghasilkan sinyal PWM menggunakan IC TL494. Dengan menggunakan IC TL494 maka *duty cycle* yang dihasilkan oleh IC tersebut dengan mudah dikendalikan menggunakan tegangan DC yang berasal dari NI-DAQ USB-6009 melalui *port analog output*. *Port analog output* dari DAQ dihubungkan dengan *pin* nomor 4 TL494 Dead Time Control. Besar frekuensi sinyal PWM yang dihasilkan sebesar 14kHz. Gambar 10 merupakan rangkaian driver PWM yang dipakai pada penelitian ini.



Gambar 10. Rangkaian driver PWM

### 3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Pengujian sensor arus

Tabel 2. Hasil pengujian sensor arus

No.	Arus nyata (Amp)	Hasil Kalibrasi (Amp)	Error (ampere)
1	1,44	1,4353	0,0047
2	1,63	1,6333	0,0033
3	2,08	2,0834	0,0034
4	2,54	2,5380	0,0020
5	3,00	2,9992	0,0008

Keterangan:

- Arus nyata = pengukuran dengan alat ukur
- Hasil kalibrasi = pengukuran perangkat lunak setelah kalibrasi
- Error = selisih pengukuran arus nyata dengan hasil kalibrasi

Dari hasil pengujian sensor arus masukan yang terdapat pada Tabel 2. dapat diketahui bahwa sistem akuisisi mempunyai penyimpangan dalam pembacaan arus sebesar 0,0008 ampere sampai 0,0047 ampere. Nilai penyimpangan tersebut diperoleh dari selisih pembacaan pada aplikasi dengan pengukuran manual menggunakan alat ukur.

#### 3.2 Pengujian sensor Tegangan masukan dan Keluaran

Dari hasil pengujian sensor tegangan masukan yang terdapat pada Tabel 3. dapat

diketahui bahwa sistem akuisisi mempunyai penyimpangan dalam pembacaan tegangan sebesar 0,047 Volt sampai 0,0695 Volt. Nilai penyimpangan tersebut diperoleh dari selisih pembacaan pada aplikasi dengan pengukuran manual menggunakan alat ukur.

Tabel 3. Hasil pengujian sensor tegangan masukan

No.	Tegangan (V)	Hasil Kalibrasi (V)	Error (V)
1	7,89	7,8392	0,0508
2	8,92	8,9895	0,0695
3	9,86	9,8647	0,0047
4	10,79	10,7852	0,0048
5	11,78	11,7601	0,0199

Keterangan:

- Tegangan nyata = pengukuran dengan alat ukur
- Hasil kalibrasi = pengukuran perangkat lunak setelah kalibrasi
- Error = selisih pengukuran tegangan nyata dengan hasil kalibrasi

Tabel 4. Hasil pengujian sensor tegangan Keluaran

No.	Tegangan (V)	Hasil Kalibrasi (V)	Error (V)
1	23,6	23,1313	0,4687
2	24,6	24,3806	0,2194
3	26,1	26,2735	0,1735
4	21,5	21,6927	0,1927
5	20,5	20,4812	0,0188

Keterangan:

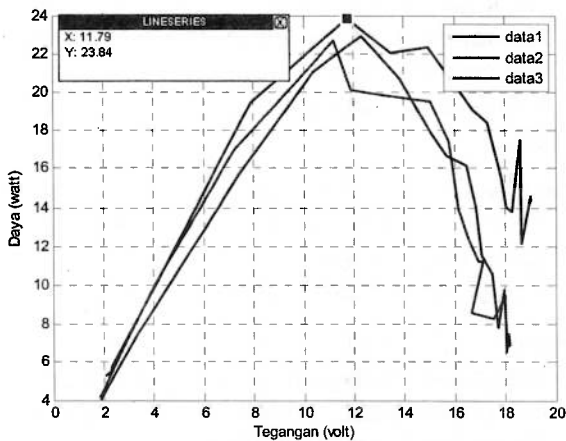
- Tegangan nyata = pengukuran dengan alat ukur
- Hasil kalibrasi = pengukuran perangkat lunak setelah kalibrasi
- Error = selisih pengukuran tegangan nyata dengan hasil kalibrasi

Dari hasil pengujian sensor tegangan keluaran yang terdapat pada Tabel 4 dapat diketahui bahwa sistem akuisisi mempunyai penyimpangan dalam pembacaan tegangan sebesar 0,0188 Volt sampai 0,4647 Volt. Nilai penyimpangan tersebut diperoleh dari selisih pembacaan pada aplikasi dengan pengukuran manual menggunakan alat ukur.

#### 3.3 Pengujian Karakteristik Sel Surya

Dari Gambar 11 dapat diketahui bahwa apabila nilai tegangan dinaikkan maka nilai daya akan naik sampai titik tertinggi setelah itu daya akan turun. Nilai titik tertinggi yang dicapai oleh daya disebut daya maksimal ( $P_{max}$ ). Sedangkan tegangan pada saat  $P_{max}$  dicapai disebut dengan tegangan daya maksimal ( $V_{pm}$ ). Data 1 menunjukkan bahwa

nilai  $P_{max}$  sebesar 23,84 Watt dan nilai  $V_{pm}$  sebesar 11,79 Volt.



Gambar 11. Karakteristik Tegangan – Daya sel surya

Keterangan:

- Data1 = Pukul 10.23 – 10.33
- Data2 = Pukul 13.20 – 13.26
- Data3 = Pukul 13.28 – 13.37

### 3.4 Karakteristik Booster

Tabel 5: Hubungan antara lebar PWM dengan tegangan dan arus

No	PWM (%)	Vin (V)	Iin (A)	Rin (Ohm)
1	100	1.8612	2.1502	0.8656
2	95	1.9244	2.1676	0.8878
3	90	1.8899	2.1516	0.8784
4	85	1.9319	2.1321	0.9061
5	80	3.3921	2.2207	1.5275
6	75	7.3712	2.1094	3.4945
7	70	10.3753	2.0273	5.1178
8	65	12.3445	1.8554	6.6533
9	60	13.8626	1.4918	9.2925
10	55	15.0982	1.1792	12.8038
11	50	15.6834	1.0636	14.7456
12	45	16.4814	0.9798	16.8212
13	40	16.8272	0.8321	20.2226
14	35	17.0829	0.6757	25.2818
15	30	17.508	0.6059	28.8959
16	25	17.7175	0.4433	39.9673
17	20	17.9683	0.5446	32.9936
18	15	18.0497	0.4162	43.3679
19	10	18.0985	0.3771	47.9939
20	5	18.155	0.4055	44.7719
21	0	18.1034	0.3835	47.2057

Pada pengukuran saat *duty cycle* sebesar 100% nilai resistansi *boost converter* sebesar 0,8658 Ohm. Setelah itu nilai *duty cycle* diturunkan sampai *duty cycle* 0%, maka nilai resistansi *boost converter* akan naik sampai 47,2057 Ohm. Nilai resistansi *boost converter*

pada saat *duty cycle* 0% sama dengan nilai resistansi beban yaitu sebesar 47 Ohm. Sedangkan nilai resistansi *boost converter* pada saat sel surya mencapai daya maksimal (*duty cycle* 65%) sebesar 6,6533 Ohm.

### 4. SIMPULAN

Setelah melakukan pengujian untuk tiap-tiap bagian dalam sistem akuisisi data pada sistem sel surya maka dapat diambil kesimpulan:

1. Aplikasi yang dibuat dapat memonitor pengukuran nilai arus, tegangan dan daya, sehingga karekteristik dari sel surya dapat diketahui.
2. Sistem akuisisi yang dibuat mempunyai penyimpangan pembacaan arus sebesar 0,0008 sampai 0,0047 Ampere, tegangan masukan sebesar 0,047 sampai 0,0695 Volt dan tegangan keluaran 0,0188 sampai 0,4647 Volt.
3. Daya maksimum yang dicapai pada saat pengukuran sebesar 23,84 Watt dengan nilai  $I_{mp}$  sebesar 2,0231 Ampere dan nilai  $V_{mp}$  sebesar 11,7851 Volt.
4. Resistansi *boost converter* pada saat *duty cycle* 100% sebesar 0,8 Ohm dan besar resistansi akan naik apabila *duty cycle* diturunkan sampai 0%, pada saat *duty cycle* 0% besar resistansi *boost converter* sama dengan resistansi beban. Besar resistansi *boost converter* pada saat sel surya mencapai nilai daya maksimum sekitar 6,6 Ohm.

### DAFTAR PUSTAKA

- Amrulloh, Y.A. and Nugroho, E. (2007). *Designing Automatic Transfer Switch and Regulator for Solar Powered Water Pump in Bantul Yogyakarta*, Electrical Engineering, Islamic University of Indonesia, Internal Report.
- Brambilla, A. (1998). New approach to photovoltaic arrays maximum power point tracking. *Proc 30th IEEE Power Electron Specialists Conf*, 2:632-7.
- Hiyama, T., and Kitabayashi, K. (1997). Neural network based estimation of maximum power generation from PV module using environment information. *IEEE Trans Energy Conversion*; 12(3):241-7.
- Hiyama, T., Kouzuma, S., Imakubo, T., Ortmeyer, T.H. (1995). Evaluation of

- neural network based real time maximum power tracking controller for PV system. *IEEE Trans Energy Conversion*; 10(3):543-8.
- Hohm, D.P., Ropp, M.E. (2000). Comparative study of maximum power point tracking algorithm using an experimental, programmable, maximum power point tracking test bed. *Proc 28th IEEE Photovoltaic Specialist Conf*; 28:1699-702.
- Hua, C., and Shen, C. (1998). Comparative study of peak power tracking techniques for solar storage system. *IEEE Appl Power Electron Conf Exposition Proc*; 2:679-83.
- Hussein, K.H., Muta, I., Hoshino, T., Osakada, M. (1995). Maximum photovoltaic power tracking: an algorithm for rapidly changing atmospheric conditions. *IEEE Proc Generation Transmission Distribution*; 142(1):59-64.
- Pramono, W.B., Amrulloh, Y.A., and Iskandar, D. (2007). Solar Energy Converter Optimization For Smart Battery Charger, *Proceeding of National Conference on Technology and Industry Innovation*, Tangerang, Indonesia, pp TI-23/1-5, April 2007.
- Simoes, M.G., and Franceschetti, N.N. (1999). Fuzzy optimization based control of a solar array system. *IEEE Proc Electric Power Appl*; 146(5):552-8.
- Swiegers, W., and Enslin, J. (1998). An integrated maximum power point tracker for photovoltaic panels. *Proc IEEE Int Symp Ind Electron*; 1:40-4.
- Won, C.Y., Kim, D.H., Kim, S.C., Kim, W.S., Kim, H.S. (1994). A new maximum power point tracker of photovoltaic arrays using fuzzy controller. *Proc Annu IEEE Power Electron Specialists Conf*, 396-403.



# IMPLEMENTASI PENGUKUR FREKUENSI DAN BEDA FASE TEGANGAN DAN ARUS JALA-JALA LISTRIK BERBASIS MIKROKONTROLER AVR

Freddy Kurniawan

Jurusan Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto<sup>1)</sup>  
Jl. Janti Blok R, Kompleks Lanud Adisutjipto, Yogyakarta  
Telp. (0274) 451262 Eks. 110; Faks. (0274) 451265  
e-mail: freddykurniawan@yahoo.com

## ABSTRACT

*Most of the electrical loads draw current that have a different phase with the voltage supplied to it. In order to achieve maximum efficiency in the use of electric power, the current must be in phase with the voltage. Tools for measuring real power and power factor of both analog and digital have been widely available. But a tool to measure the phase difference between voltage and current flowing in the grid is still rarely found. The need for this measure in the laboratory sometimes still constrained. This paper describes the results of the implementation of the ATmega8535 microcontroller as the main component of measuring the frequency of the grid voltage and measuring the phase difference between voltage and current flowing in the grid.*

*Keywords: ATmega8535 microcontroller, frequency, phase difference.*

## 1. PENDAHULUAN

Tegangan listrik jala-jala di Indonesia mestinya adalah 50 Hz. Namun dalam kenyataan frekuensi listrik ini kadang bergeser sedikit sehingga menjadi di bawah atau di atas 50 Hz. Kestabilan frekuensi tegangan listrik merupakan salah satu indikator kualitas tegangan listrik (Stadlin, 2008).

Sebagian besar beban listrik saat ini menarik arus yang mempunyai beda fase dengan tegangan yang dicatu kepadanya. Beban induktif menarik arus dengan fase tertinggal dari tegangan. Beban berupa lampu pijar kadang menarik arus sedikit mendahului tegangan. Bahkan beban listrik yang menggunakan catu daya *switching* menarik arus dengan beda fase jauh mendahului tegangan.

Alat ukur daya real dan faktor daya baik analog maupun digital telah banyak tersedia. Namun alat ukur beda fase antara tegangan dan arus yang mengalir di jala-jala listrik masih jarang ditemukan. Kebutuhan akan alat ukur ini di laboratorium kadang masih terkendala. Tulisan ini menggambarkan hasil dari implementasi mikrokontroler ATmega8535 sebagai pengukur frekuensi tegangan dan pengukur beda fase antara tegangan dan arus yang mengalir di jala-jala listrik. Aplikasi ini diharapkan dapat dikembangkan untuk pengukuran nilai RMS tegangan dan arus, pengukuran daya dan faktor daya, hingga ke

penganalisis daya (*power analyzer*) berbasis mikrokontroler.

Jantung dari aplikasi ini adalah mikrokontroler ATmega8535. Program di mikrokontroler ini dapat diterapkan ke beberapa mikrokontroler AVR seri lain jika nantinya program ini tidak akan dikembangkan lebih lanjut.

## 2. LANDASAN TEORI

Frekuensi fundamental arus yang mengalir ke suatu beban akan sama dengan frekuensi fundamental tegangan yang mengenainya. Dikarenakan biasanya arus mempunyai komponen harmonik lebih banyak daripada tegangan, pengukuran frekuensi lebih mudah dilakukan pada tegangan yang mengenai beban.

Frekuensi tegangan jala-jala listrik di Indonesia adalah 50 Hz, sedangkan di beberapa negara lain adalah 60 Hz. Untuk mengurangi kesalahan hitungan akibat adanya komponen harmonik, kisaran hasil pengukuran nilai frekuensi dibatasi sehingga frekuensi harmonik akan diabaikan. Untuk meningkatkan ketelitian, pengukuran nilai frekuensi isyarat berfrekuensi rendah dilakukan dengan terlebih dahulu mengukur nilai periode, dan bukan dengan jalan melakukan pencacahan atas terjadinya gelombang (Kurniawan, 2009). Meskipun demikian, ketelitian hasil pengukuran cukup ditampilkan dalam format

tiga digit sebagaimana alat ukur frekuensi untuk jala-jala listrik.

Pendeteksian nilai tegangan dan arus tidak menggunakan sensor tegangan dan arus. Pengonversian isyarat tegangan dan arus ke tegangan DC oleh sensor yang kemudian diumpankan ke masukan ADC mikrokontroler (Edaboard, 2010) sebagaimana yang banyak digunakan untuk menghitung nilai RMS (AVR Freaks, 2010) akan menjadikan tegangan dan arus tidak akan dapat dianalisis lagi (Analog Devices Team, 2008).

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini, nilai tegangan bolak-balik yang sudah ternormalisasi diumpankan secara langsung ke ADC mikrokontroler. Arus dideteksi oleh ADC setelah dikonversikan ke tegangan.

Agar tegangan dan arus dapat dibaca oleh ADC mikrokontroler, isyarat tegangan jala-jala diturunkan menggunakan konverter tegangan yang berupa transformator penurun tegangan. Sedangkan isyarat arus dikonversi ke tegangan menggunakan transformator penaik tegangan dengan induktansi kumparan primer sangat rendah dan induktansi kumparan sekunder cukup tinggi. Untuk keperluan ini digunakanlah trafo adaptor dengan kumparan tegangan rendah menjadi masukan bagi  $I_{in}$  dan  $I_{out}$  dan kumparan tegangan tinggi menjadi keluaran  $v_0$  dan  $Ground$  sebagaimana Gambar 1.

Pada masukan ADC sudah terdapat dioda pemotong tegangan (*clipper diode*) yang dapat dimanfaatkan sebagai komponen utama pendeteksi nilai nol (*zero crossing*) tegangan masukan (Atmel, 2003). Namun dalam penelitian ini, tegangan masukan yang biasanya berbentuk sinusoidal dimasukkan secara utuh agar sistem ini dapat

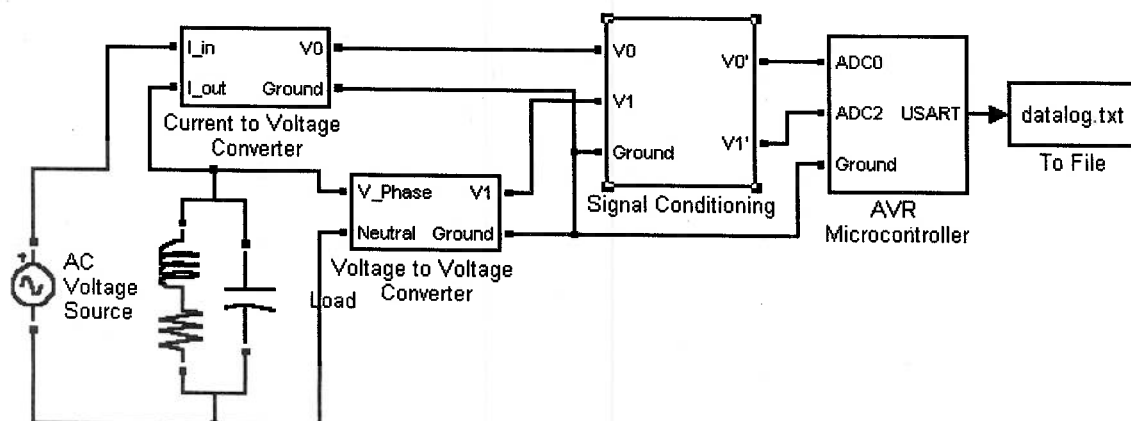
dikembangkan untuk penghitungan nilai RMS dan daya.

$v_0$  dan  $v_1$  dimasukkan ke blok *Signal Conditioning* untuk dinormalisasi sehingga mempunyai tegangan maksimal  $V_{pp} = 5V$ . Di blok ini, kedua isyarat tersebut diberi *offset* tegangan DC 2,5 V sehingga mempunyai kisaran tegangan 0 hingga 5 V sesuai batasan ADC.

Pada pengonversian tegangan jala-jala ke tegangan rendah dan pengonversian arus jala-jala ke tegangan akan terjadi penggeseran fase. Untuk itu pada blok *Signal Conditioning* terdapat untai penggeser fase yang akan melakukan penepatan fase untuk mengompensasi penggeseran fase yang terjadi di kedua konverter tersebut. Untai tersebut juga berfungsi sebagai tapis lulus tinggi (*high pass filter*). Tapis ini digunakan untuk mengurangi nilai amplitudo komponen harmonik yang kemungkinan dapat menjadikan hasil perhitungan nilai frekuensi dan beda fase menjadi salah.

Keluaran blok ini adalah isyarat tegangan  $v_0'$  yang berbentuk menyerupai tegangan jala-jala, dan isyarat tegangan  $v_1'$  yang berbentuk menyerupai arus jala-jala listrik. Pergeseran fase antara  $v_0'$  dan  $v_1'$  sama dengan pergeseran fase antara tegangan dan arus jala-jala.

Mikrokontroler dioperasikan dengan frekuensi *clock*  $f_{cpu} = 11,0592$  MHz. Dengan frekuensi ini, dapat dibentuk komunikasi dengan komputer menggunakan metode USART untuk berbagai variasi pesat bit dengan galat 0% (Atmel, 2006). Dalam penelitian ini, nilai frekuensi dan beda fase disimpan dalam berkas pencatat (*logging file*) menggunakan perangkat lunak Hyperterminal.



Gambar 1. Diagram blok sistem

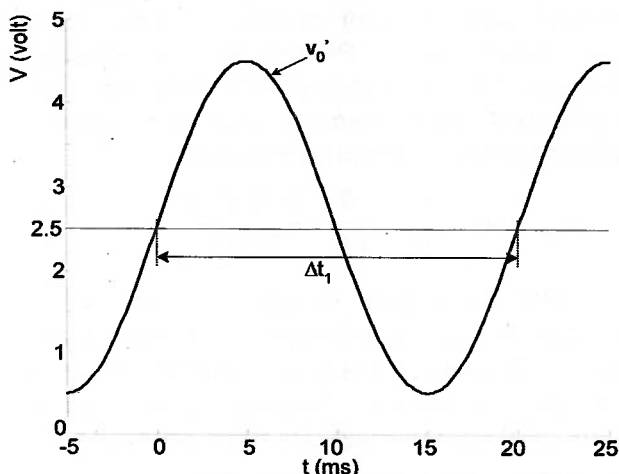
### 3.1 Pencuplikan oleh ADC

$v_0'$  diumpangkan ke kanal 0 masukan ADC, sedangkan  $v_1'$  diumpangkan ke kanal 2 masukan ADC. Kanal lain masukan ADC dihubungkan ke Ground untuk mengurangi efek cakup silang antara kedua masukan. Isyarat tegangan  $v_0'$  yang mewakili tegangan jala-jala dan isyarat tegangan  $v_1'$  yang mewakili arus jala-jala dicuplik oleh ADC mikrokontroler.

Semakin tinggi *clock* ADC, proses pencuplikan akan semakin cepat, namun akurasi ADC cenderung semakin kecil. Agar didapat waktu konversi cepat namun akurasi tetap 8 bit, maka ADC ini dijalankan dengan *prescaler*=16 sehingga menggunakan frekuensi *clock* operasi 691 kHz. Waktu untuk melakukan satu kali konversi atau periode konversi ( $t_c$ ) adalah 14 kali periode *clock* operasi atau sekitar 20 mikrodetik. Pada isyarat masukan 50 Hz, pencuplikan atas isyarat tegangan dengan interval 20 mikrodetik ini akan memberikan galat maksimal 0,1%.

### 3.2 Pengukuran Nilai Frekuensi Tegangan

Pengukuran nilai frekuensi dilakukan dengan terlebih dahulu mengukur periode gelombang, yaitu waktu antara dua kaki gunung yang berurutan sebagaimana Gambar 2. Pada saat nilai tegangan  $v_0'$  bergerak naik di atas 2,5 V, pewaktu 1 dijalankan dalam mode normal. Pada saat nilai tegangan  $v_0'$  bergerak naik di atas 2,5 V lagi, pewaktu 1 dihentikan. Pewaktu 1 dijalankan selama  $\Delta t_1$ .



Gambar 2. Pengukuran periode tegangan

Pewaktu 1 merupakan pewaktu 16 bit. Pewaktu ini dioperasikan dengan *prescaler*=8, sehingga menggunakan frekuensi operasi  $f_{T1} = f_{cpu}/8 = 1,3842$  MHz. Satu kali cacahan pewaktu ini membutuhkan waktu  $t_{T1} = 1/f_{T1} =$

0,723 mikrodetik. Hasil cacahan yang berupa bilangan heksadesimal 16 bit tersimpan di register TCNT1 yang dibentuk oleh pasangan register 8 bit TCNT1H dan TCNT1L.

Selama  $\Delta t_1$ , pewaktu 1 akan mencacah sejumlah nilai di TCNT1 dengan  $TCNT1 = \Delta t_1/t_{T1}$ . Karena nilai  $\Delta t_1$  adalah nilai periode tegangan jala-jala listrik dengan frekuensi  $f_{line}$ , maka nilai  $TCNT1 = f_{T1}/f_{line}$ . Nilai frekuensi hasil hitungan mengikuti Persamaan 1.

$$f_{line}' = \frac{f_{T1}}{TCNT1} = \frac{1382400}{TCNT1} \quad (1)$$

Untuk isyarat masukan 50 Hz, TCNT1 akan bernilai 6C00h. Untuk menghindari terdeteksinya frekuensi harmonik, frekuensi hasil cacahan dibatasi dari 35 Hz hingga 70 Hz. Sehingga nilai TCNT1 yang diterima adalah dari 9A49h hingga 4D24h. Galat maksimal hasil cacahan pewaktu ini adalah 0,004%.

### 3.3 Pengukuran Nilai Beda Fase Tegangan dan Arus

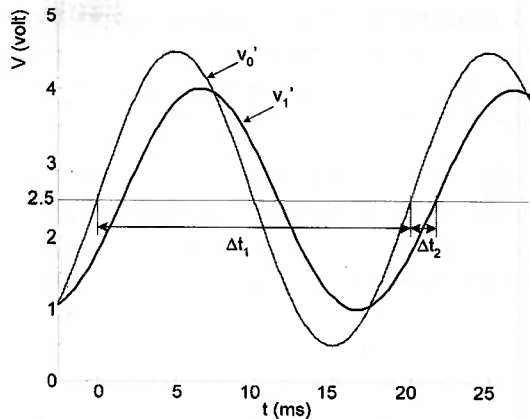
Setelah pewaktu 1 dihentikan, nilai TCNT1 segera disimpan ke memori. Selanjutnya pewaktu 1 dijalankan kembali untuk mendeteksi nilai beda fase. Pewaktu ini dijalankan dalam mode CTC (*Clear Timer on Compare Match*) yang berarti pewaktu akan direset pada saat hasil cacahan sama dengan nilai register OCR1. Nilai OCR1 ditetapkan setengah dari nilai hasil cacahan pertama sebagaimana Persamaan 2.

$$OCR1 = \frac{TCNT1}{2} \quad (2)$$

Pewaktu ini akan dihentikan lagi pada saat nilai tegangan  $v_1'$  bergerak naik di atas 2,5 V sebagaimana Gambar 3. Untuk dapat mendeteksi  $v_1'$ , sesaat setelah pewaktu 1 dijalankan kembali, masukan multiplexer ADC diubah ke saluran 2. Pewaktu 1 ini akan mencacah selama durasi waktu  $\Delta t_2$ . Secara teori, beda fase ( $\theta$ ) untuk kasus arus tertinggal dari tegangan dihitung menggunakan Persamaan 3.

$$\theta = \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1} \times 360^\circ \quad (3)$$

$TCNT1_1$  merupakan cacahan pewaktu 1 selama  $\Delta t_1$  dan  $TCNT1_2$  merupakan cacahan pewaktu 1 selama  $\Delta t_2$ , dan penghitungan sudut beda fase mengikuti Persamaan 4.

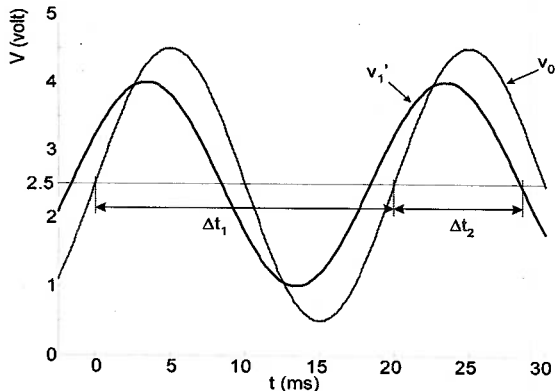


Gambar 3. Pengukuran beda fase untuk arus tertinggal

$$\theta = \frac{TCNT1_2}{TCNT1_1} \times 360 \quad (4)$$

Persamaan di atas tidak berlaku untuk kasus arus mendahului tegangan. Pada kasus ini, pewaktu dijalankan hingga  $v_1'$  bergerak turun di bawah 2,5 V sebagaimana Gambar 4. Penghitungan beda fase mengikuti Persamaan 5.

$$\theta = \frac{\frac{\Delta t_1}{2} - \Delta t_2}{\Delta t_1} \times 360^\circ \quad (5)$$



Gambar 4. Pengukuran beda fase untuk arus mendahului

$TCNT1_1$  merupakan cacahan pewaktu 1 selama  $\Delta t_1$  dan  $TCNT1_2$  merupakan cacahan pewaktu 1 selama  $\Delta t_2$ , dan penghitungan sudut beda fase mengikuti Persamaan 6.

$$\theta = \frac{TCNT1_1/2 - TCNT1_2}{TCNT1_1} \times 360 \quad (6)$$

Karena persamaan untuk menghitung beda fase pada kasus arus tertinggal dan arus mendahului berbeda, maka harus ada algoritma yang dapat mengecek terjadinya arus tersebut. Untuk itu, setelah pewaktu

dijalankan untuk mengukur  $\Delta t_2$ , mikrokontroler segera mengecek tegangan di  $v_1'$ . Jika  $\Delta t_2$  dimulai dengan nilai tegangan kurang dari 2,5 V sebagaimana Gambar 3, maka arus dianggap tertinggal dari tegangan. Perhitungan beda fase dilakukan menggunakan Persamaan 4. Namun, jika  $\Delta t_2$  dimulai dengan nilai tegangan sama dengan atau lebih dari 2,5 V sebagaimana Gambar 4, maka arus dianggap mendahului tegangan. Perhitungan beda fase dilakukan menggunakan Persamaan 6.

Kasus khusus penggunaan Persamaan 5 terjadi pada saat arus sefase dengan tegangan. Kasus ini menyerupai ilustrasi pada Gambar 4, yaitu  $\Delta t_2$  dimulai dengan nilai tegangan sedikit lebih dari 2,5 V. Pada kasus ini,  $\Delta t_2$  akan bernilai sama dengan  $\Delta t_1/2$ , sehingga sesuai Persamaan 5, nilai beda fase  $\theta = 0$ .

### 3.4 Galat dan Format Tampilan Keluaran

Galat yang disebabkan oleh ADC maksimal adalah 0,1 %. Sedangkan galat yang disebabkan oleh pewaktu dapat diabaikan karena jauh lebih kecil daripada galat yang disebabkan oleh ADC. Sehingga hasil perhitungan nilai frekuensi tegangan jala-jala dan nilai beda fase antara tegangan dan arus dapat ditampilkan dalam format 3 digit. Nilai frekuensi dengan kisaran dari 35,0 Hz hingga 70,0 Hz dapat ditampilkan dengan format XX,X Hz.

Agar nilai frekuensi dapat ditampilkan hingga satu digit di belakang koma, maka numerator pada Persamaan 1 dikalikan dengan 10. Perhitungan nilai frekuensi yang menggunakan algoritma khusus pembagian 24 bit biner akan mengikuti Persamaan 7.

$$f_{line} \times 10 = \frac{f_{T1} \times 10}{TCNT1} = \frac{D2F000h}{TCNT1} \quad (7)$$

Nilai beda fase dengan kisaran dari 0° hingga 90° cukup ditampilkan dengan format XX°. Tampilan keluaran dapat ditambah dengan informasi bahwa arus sefase, tertinggal atau mendahului terhadap tegangan.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Rentang Frekuensi Masukan

Nilai maksimal  $TCNT1$  adalah FFFFh atau 65535. Sesuai dengan Persamaan 1, nilai tersebut akan memberikan  $f = 21,1$  Hz. Nilai ini seharusnya menjadi nilai minimal frekuensi

yang dapat diukur. Dalam kenyataan nilai frekuensi minimal  $v_0'$  yang dapat diukur dengan tepat adalah 22,5 Hz.

Semakin tinggi frekuensi, nilai TCNT1 semakin rendah dan ketepatan cacahan pewaktu akan semakin rendah sehingga ketepatan perhitungan pada Persamaan 1 akan menurun. Secara teori, persamaan tersebut dapat menghitung hingga frekuensi di atas 1 MHz, namun sistem ini dibatasi hanya menghitung frekuensi hingga 70 Hz untuk menghindari terdeteksinya frekuensi harmonik.

Setelah dikalibrasi dengan alat ukur frekuensi berupa penghitung frekuensi (*frequency counter*) dan pengukur daya digital (*digital wattmeter*), sistem ini dapat mengukur nilai frekuensi tegangan jala-jala dengan tepat. Nilai frekuensi yang terukur dalam percobaan ini adalah 49,9 Hz hingga 50,0 Hz.

Tanpa mengubah-ubah nilai tegangan masukan, nilai  $v_0'$  dan  $v_1'$  dapat diubah dengan mengubah-ubah beberapa parameter di *Signal\_Conditioning*. Semakin tinggi tegangan  $v_0'$ , gradien grafik isyarat sinus di titik potong dengan sumbu X pada Gambar 1 akan semakin tinggi. Perbedaan nilai pada saat grafik sinus di bawah nol dan di atas nol akan semakin jelas.

Untuk keperluan penghitungan frekuensi, nilai tegangan  $v_0'$  dan  $v_1'$  dapat melebihi nilai batasan masukan ADC. Dalam kondisi ini, grafik tegangan akan terpotong pada batasan 0 dan 5 V (*clipping*). Semakin tinggi nilai  $v_0'$  dan  $v_1'$ , hasil hitungan nilai frekuensi pada Persamaan 1 akan semakin tepat.

Namun nilai kedua tegangan tetap dijaga sehingga tetap dalam batasan masukan ADC karena sistem ini akan dikembangkan untuk penghitungan nilai RMS. Sedangkan nilai tegangan minimal untuk  $v_0'$  dan  $v_1'$  adalah  $V_{maks} = 0,8$  V. Di bawah nilai tersebut, nilai frekuensi dan beda fase hasil hitungan kadang salah.

Sistem ini dibuat agar dapat mendeteksi lonjakan tegangan sesaat (*spike*) maksimal sebesar 400 V. Nilai tegangan  $v_0'$  identik dengan tegangan jala-jala masukan  $V_{RMS} = 45$  V, sehingga nilai minimal tegangan jala-jala yang diperbolehkan adalah 45 V.

#### 4.2 Perhitungan Beda Fase

Dikarenakan tidak tersedianya alat pengukur beda fase, pengukuran nilai beda fase dilakukan secara manual, yaitu dengan

mengukur  $\Delta t_2$  pada Gambar 3 atau Gambar 4 menggunakan osiloskop. Nilai  $\Delta t_2$  tersebut dimasukkan ke Persamaan 3 atau Persamaan 5 sehingga didapat nilai beda fase tegangan dan arus. Hasil hitungan beda fase dari tampilan osiloskop dan hasil pengukuran menggunakan sistem ini atas beberapa macam beban dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengukuran beda fase

No.	Beban	Beda fase		
		Hasil Perhitungan	Terukur	Fase arus terhadap tegangan
1.	Lampu pijar	0°	3°	Mendahului
2.	Lampu pijar + C 3,25 $\mu$ F	50°	53°	Mendahului
3.	Lampu pijar + C 6,25 $\mu$ F	61°	55°	Mendahului
4.	C 3,25 $\mu$ F	69°	79°	Mendahului
5.	TL 10 W	61°	58°	Tertinggal
6.	TL 10 W + C 3,25 $\mu$ F	40°	34°	Tertinggal
7.	TL 10 W + C 6,25 $\mu$ F	72°	65°	Mendahului
8.	TL 20 W	79°	76°	Tertinggal
9.	TL 20 W + C 3,25 $\mu$ F	36°	33°	Tertinggal
10.	TL 20 W + C 6,25 $\mu$ F	43°	40°	Mendahului

Dari Tabel 1 terlihat bahwa hasil pengukuran menggunakan alat ini sudah mendekati benar. Proses kalibrasi lebih lanjut dapat dilakukan menggunakan alat ukur beda fase digital.

#### 5. KESIMPULAN

Dari uraian yang telah dipaparkan di muka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Dengan memanfaatkan ADC mikrokontroler AVR, dapat dibentuk aplikasi pengukur frekuensi tegangan jala-jala listrik.
2. Dengan menggunakan dua saluran ADC mikrokontroler AVR, dapat dibentuk aplikasi pengukur beda fase antara tegangan dan arus yang mengalir ke suatu beban.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Analog Devices Team. (2008). *Integrated Circuit True RMS-to-DC Converter AD536A*, Analog Devices Inc., U.S.A.
- Atmel. (2003). *AVR182: Zero Cross Detector. 8-bit AVR RISC Microcontroller – Application Notes*, Atmel Corporation, San Jose, U.S.A.

- Atmel. (2006). *8-bit AVR Microcontroller with 8K Bytes In-System Programmable Flash ATmega8535 ATmega8535L*, Atmel Corporation, San Jose, U.S.A.
- AVR Freaks. (2010) *What is Different Between True RMS and RMS?*, AVR Freaks Forum, online: <http://www.avrfreaks.net/index.php?>, diakses 26 April 2010.
- Edaboard Team. (2010). *Current Sensing and Feeding Value to Microcontroller*, Edaboard.com forum, online: <http://www.edaboard.com/ftopic383869.html>, diakses 28 April 2010.
- Kurniawan, Freddy. (2009). Implementasi Mikrokontroler sebagai Pencacah Frekuensi Berbasis Pengukuran Periode Isyarat Masukan, *Jurnal Telkomnika*, Vol. 7, April 2009.
- Stadlin, Arnold. (2008). *Why Power Grid Frequency Measurement is Important*, Anne Arundel Community College, Electrical and Engineering Technologies - EET Department, Maryland, U.S.A.

## MENENTUKAN USULAN MODEL SISTEM ANTRIAN UNTUK MEMINIMASI WAKTU TUNGGU MENGGUNAKAN SIMULASI

Winda Nur Cahyo

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Islam Indonesia Yogyakarta  
e-mail: [winda.nurcahyo@staff.uii.ac.id](mailto:winda.nurcahyo@staff.uii.ac.id)

### ABSTRACT

*Waiting in Queue is one of non-productive activities in such organization. If managements fail to anticipate these events, the company can experience lost in profit. It also occurs in cashiers facilities in every supermarket. But usually in the supermarket, the lost is caused by opportunity lost. Reducing the maximum waiting time without adding more facilities can be one of options for reducing this kind of lost. Reducing maximum waiting time can be applied by re-arranging the rule of queue. Using simulation, this research suggests the appropriate rule queueing for reducing maximum waiting time. There are 1 original model and 3 scenarios were developed. Those 3 scenarios are : (1)one queue-two servers, (2)one queue-three servers, (3)one queue-four servers. The result shows that scenario 3 is the best scenario for reducing the maximum waiting time.*

*Keywords: Simulation, Queue, Supermarket, Reducing Maximum Waiting Time.*

### 1. PENDAHULUAN

Di sebuah supermaket, pelayanan langsung ke konsumen yang paling menyolok adalah bagian fasilitas pelayanan (kasir). Waktu mengantri yang terlalu panjang menyebabkan konsumen enggan untuk kembali berbelanja di masa yang akan datang, di sisi lain bila tidak ada antrian hingga kasir banyak yang menganggur akan menyebabkan kerugian secara implisit bagi perusahaan (Adan & resing, 2001). Lama waktu mengantri di sebuah fasilitas sistem pelayanan dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain tingkat kedatangan, tingkat pelayanan, banyaknya fasilitas pelayanan, mekanisme pelayanan yang digunakan dan lain- lain (Sutanto, 2009). Jika faktor tingkat kedatangan tinggi, tingkat pelayanan dan banyaknya fasilitas sudah dimaksimalkan maka untuk memperbaiki kinerja dari sistem antrian hingga menghasilkan rata- rata waktu tunggu terpendek adalah dengan merubah mekanisme pelayanan dan model sistem antriannya (Cahyo, 2000).

Banyak penelitian sudah dilakukan untuk mengurangi waktu mengantri, tetapi biasanya para peneliti melakukannya dengan cara menentukan jumlah fasilitas pelayanan yang optimal, seperti yang disampaikan oleh Solikhah (2002) dan (Sutanto, 2009). Pengurangan atau penambahan fasilitas pelayanan ini tentu saja mempunyai resiko

opportunity lost. Penelitian ini bertujuan untuk membuat sebuah model yang dapat mengurangi waktu mengantri dengan cara merubah struktur antriannya tanpa menambah jumlah fasilitas pelayanan. Struktur antrian yang akan dirubah dengan cara melakukan desain eksperimen untuk mengetahui pengurangan waktu mengantri tanpa menambah jumlah fasilitasnya. Terdapat 3 model desain eksperimen yang akan diuji dalam penelitian ini yaitu: (1) *one queue-two servers*, (2) *one queue-three servers*, (3) *one queue-four servers*.

### 2. KAJIAN PUSTAKA

#### 2.1 Sistem Antrian

Antrian adalah suatu garis tunggu dari nasabah (satuan) yang memerlukan layanan dari satu atau lebih fasilitas layanan (Hillier & Lieberman, 1980; Siagian, 1987). Pada umumnya, sistem antrian dapat diklasifikasikan menjadi sistem yang berbeda-beda di mana teori antrian dan simulasi sering diterapkan secara luas. Klasifikasi sistem antrian bisa dibagi menjadi 4 yaitu sistem pelayanan komersil, pelayanan bisnis-industri, pelayanan transportasi dan pelayanan sosial (Hillier & Lieberman, 1980). Pada sistem antrian sendiri banyak sekali variabel yang mempunyai sifat probabilistik sehingga dalam beberapa kasus penggunaan model analitik tidak dapat dilakukan (Sutanto, 2009). Jika

kondisi tersebut terjadi maka simulasi bisa menjadi sebuah alternatif solusi.

## 2.2 Simulasi

Simulasi adalah imitasi dari proses operasi di dunia nyata atau sistem over time (Bank, 1999). Simulasi juga didefinisikan sebagai sebuah imitasi sederhana dari sistem operasi di dunia nyata yang bertujuan untuk mengevaluasi sistem tersebut (Goldsmann, 2007). Model simulasi yang dibangun harus kredibel. Representasi kredibel sistem nyata oleh model simulasi ditunjukkan oleh verifikasi dan validasi model. Verifikasi adalah proses pemeriksaan apakah logika operasional model (program komputer) sesuai dengan logika diagram alur. Verifikasi memeriksa penerjemahan model simulasi konseptual (diagram alur dan asumsi) ke dalam bahasa pemrograman secara benar (Law & Kelton, 1991). Validasi adalah proses penentuan apakah model, sebagai konseptualisasi atau abstraksi, merupakan representasi berarti dan akurat dari sistem nyata. Validasi adalah penentuan apakah model konseptual simulasi adalah representasi akurat dari sistem nyata yang sedang dimodelkan (Law & Kelton, 1991). Menurut Levin (2002) terdapat 5 langkah pokok yang diperlukan dalam menggunakan simulasi, yaitu: (1) Menentukan persoalan atau sistem yang hendak disimulasikan, (2) Memformulasikan model simulasi yang hendak digunakan, (3) Menguji model dan dibandingkan tingkah lakunya dengan tingkah laku dari sistem nyata, kemudian diberlakukan model simulasi tersebut, (4) Merancang percobaan-percobaan simulasi, (5) Menjalankan simulasi dan analisis data.

## 3. METODE PENELITIAN

Obyek penelitian ini adalah sistem antrian pada fasilitas pembayaran di Supermarket "R" Yogyakarta. Beberapa variabel yang diamati dan menjadi input dalam observasi ini adalah variabel jumlah fasilitas pembayaran yang tersedia, waktu antar kedatangan dan waktu pelayanan. Dalam sistem sendiri ada perbedaan karakteristik dari entiti yang membutuhkan fasilitas pelayanan (konsumen). Karena perbedaan karakteristik ini maka konsumen dibagi menjadi dua yaitu konsumen tipe I (berbelanja dengan keranjang) dan konsumen tipe II (berbelanja dengan troli). Karena perbedaan ini maka observasi untuk variabel waktu antar kedatangan dan waktu pelayanan kedua tipe ini akan dibedakan.

Untuk proses pengolahan data input, khususnya untuk mengetahui distribusi probabilitasnya digunakan fasilitas yang terdapat di *software* simulasinya. Sedangkan untuk proses validasi akan digunakan beberapa uji statistik yaitu:

### a. Uji Kecocokan

Uji ini digunakan untuk mengetahui apakah *output* hasil simulasi pada masing-masing replikasi sama dengan *output* sistem nyatanya pada Tingkat Signifikansi  $\alpha = 0,05$ , dengan hipotesis:

$H_0$ : frekuensi relatif output simulasi sesuai dengan output sistem nyatanya.

$H_1$ : frekuensi relatif output simulasi tidak sesuai dengan output sistem nyatanya.

dengan statistik uji:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(o_i - e_i)^2}{e_i} \quad (1)$$

### b. Uji Kesamaan dua variansi

Dalam uji kesamaan dua rata-rata di atas diasumsikan bahwa kedua populasi mempunyai variansi yang sama. Agar hasil uji kesamaan dua rata-rata yang dilakukan benar, maka diperlukan suatu kepastian bahwa asumsi tentang persamaan dua variansi terpenuhi. Untuk itu hipotesis nol diuji dengan:

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad (2)$$

### c. Uji Kesamaan dua rata-rata.

Uji ini dimaksudkan untuk membandingkan performansi sistem riil dengan model simulasi. Apabila hasil uji menyatakan bahwa kedua nilai rata-rata tidak berbeda secara signifikan, maka dapat disimpulkan bahwa model memiliki validitas yang cukup untuk merepresentasikan parameter sistem riil yang diamati. Uji hipotesis yang digunakan adalah uji kesamaan dua rata-rata dengan variansi populasi tidak diketahui. Asumsi kenormalan dibutuhkan untuk mengembangkan prosedur pengujian ini. Hipotesis nol diuji dengan:



$$t = \frac{X_1 - X_2}{\sqrt{Sp^2 \left[ \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]}} \quad (3)$$

$$Sp^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \quad (4)$$

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah mempertimbangkan *System state* dalam kondisi yang *steady-state*, maka observasi terhadap sistem baru dilakukan untuk mencari nilai-nilai variabel yang diobservasi. Obyek dari pengamatan ini adalah antrian pada kasir di Pusat Perbelanjaan "R" yang menyediakan 20 unit kasir pada waktu-waktu yang sibuk. Pengamatan dilakukan dengan mengambil data waktu antarkedatangan dan waktu pelayanan konsumen yang akan membayar. Konsumen yang memasuki kasir dibagi menjadi dua tipe yaitu konsumen yang berbelanja dengan

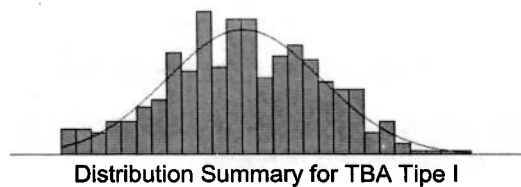
keranjang (konsumen tipe I) dan konsumen yang berbelanja dengan troli (tipe II). Dari kedua tipe ini deskriptif statistiknya tersedia di Tabel 1.

Tabel 1. Statistik Deskriptif Data

	Antar kedatangan konsumen tipe I	Antar kedatangan konsumen tipe II	Pelayanan konsumen tipe I	Pelayanan konsumen tipe II
Rata-rata	11.59404	40.42308	103.9667	335.1054
St. Deviasi	5.097925	6.329676	89.24514	81.15053
n	436	312	421	351

Data tersebut selanjutnya akan diolah untuk menentukan distribusi probabilitasnya. Hasil pengolahan data waktu antar kedatangan dan waktu pelayanan untuk konsumen tipe I disajikan di Gambar 1.

Sedangkan hasil pengolahan data waktu antar kedatangan dan waktu pelayanan untuk konsumen tipe II disajikan di Gambar 2.



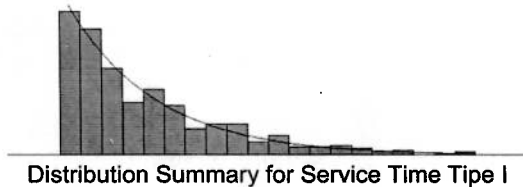
Distribution: Normal  
Expression: NORM(11.6, 5.09)  
Square Error: 0.002606

**Chi Square Test**

Number of intervals = 19  
Degrees of freedom = 16  
Test Statistic = 23  
Corresponding p-value = 0.12

**Histogram Summary**

Histogram Range = -0.5 to 26.5  
Number of Intervals = 27



Distribution: Exponential  
Expression: 8 + EXPO(96)  
Square Error: 0.001872

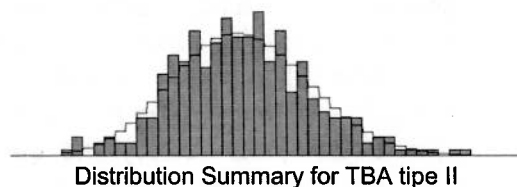
**Chi Square Test**

Number of intervals = 12  
Degrees of freedom = 10  
Test Statistic = 11.4  
Corresponding p-value = 0.338

**Histogram Summary**

Histogram Range = 8 to 469  
Number of Intervals = 20

Gambar 1. Hasil *Fitness Test* Antar Kedatangan Konsumen tipe I



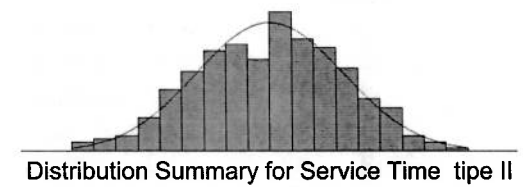
Distribution: Poisson  
Expression: POIS(40.4)  
Square Error: 0.001712

**Chi Square Test**

Number of intervals = 20  
Degrees of freedom = 18  
Test Statistic = 10.1  
Corresponding p-value > 0.75

**Histogram Summary**

Histogram Range = 23.5 to 61.5  
Number of Intervals = 38



Distribution: Normal  
Expression: NORM(335, 81)  
Square Error: 0.001724

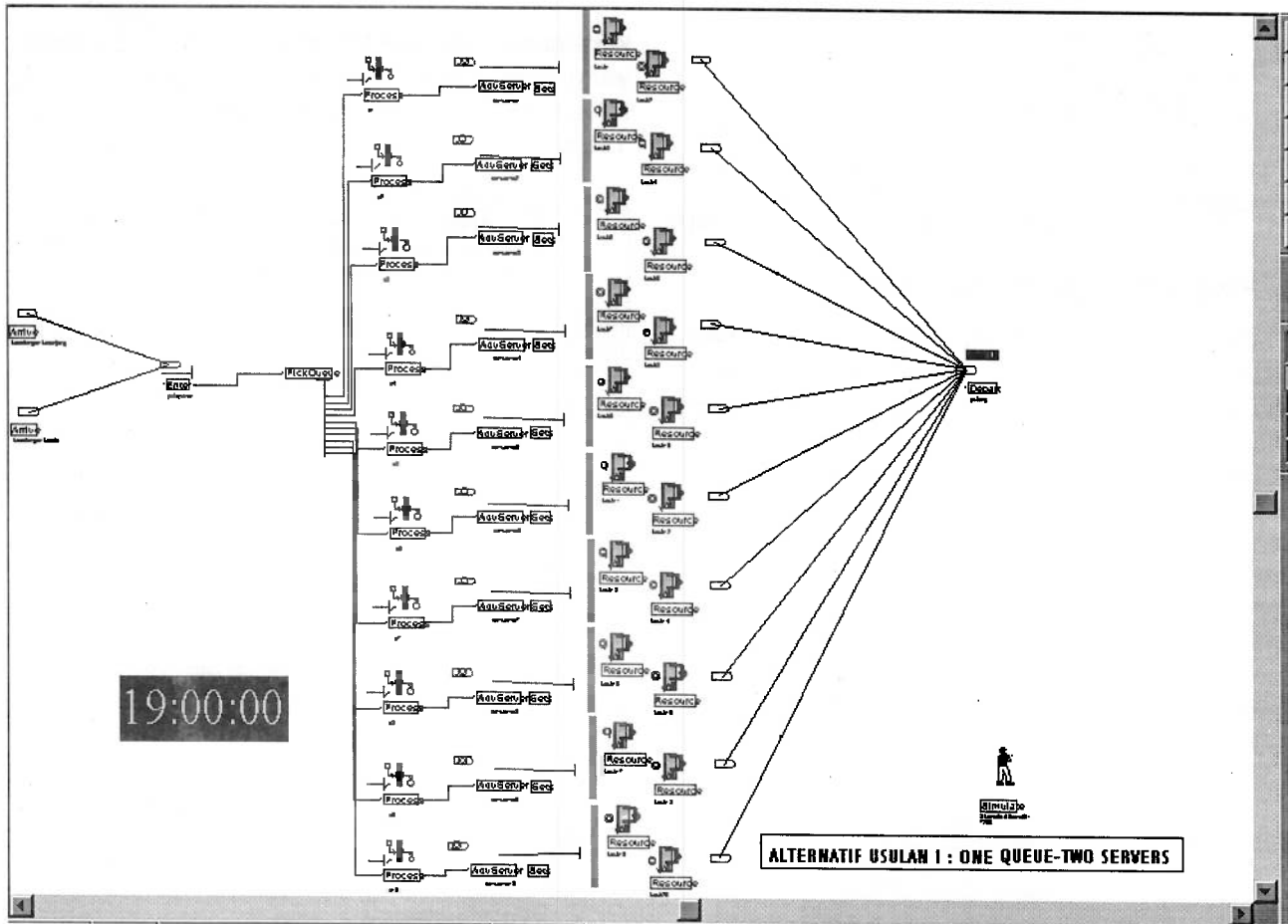
**Chi Square Test**

Number of intervals = 14  
Degrees of freedom = 11  
Test Statistic = 6.83  
Corresponding p-value > 0.75

**Histogram Summary**

Histogram Range = 114 to 556  
Number of Intervals = 18

Gambar 2. Hasil *Fitness Test* Antar Kedatangan Konsumen tipe II

Gambar 3. Alternatif model I (*one queue-two servers*)

Hasil pengolahan data tersebut kemudian akan menjadi input model awal simulasi yang sudah dibangun. Model awal ini adalah model yang menyesuaikan sistem nyatanya yaitu mempunyai karakteristik *single-server-single-queue*. Setelah model dijalankan maka output model tersebut dikumpulkan untuk proses validasi secara statistik. Output dari sistem akan dibandingkan dengan output dari model, dalam kasus ini akan digunakan uji hipotesis kesamaan dua variasi dan uji hipotesis kesamaan dua rata-rata. Jika kedua output tersebut menghasilkan rata-rata dan variansi yang sama maka secara statistik dinyatakan bahwa output dari sistem dan output dari model adalah sama sehingga model cukup valid untuk mewakili sistem yang bersangkutan.

Output dari sistem bisa diperoleh dari hasil observasi, yaitu berupa cacah orang yang selesai dilayani dalam setiap 1 jam pengamatan. Hasil deskripsi pengamatan cacah orang yang selesai dilayani perjamnya dan output pada variabel yang sama dari hasil simulasi terdapat di Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik data output sistem dan output data

	n	Rata-rata	Simp. baku	Variansi
Output sistem	25	335.08	13.83	191.49
Output model	25	331.71	15.25	232.74

Dari hasil proses validasi secara statistik diketahui bahwa output sistem ekuivalen dengan output model, sehingga bisa dinyatakan bahwa sistem cukup valid untuk merepresentasikan model. Setelah model dinyatakan valid maka berikutnya dalam *design of experiment* akan dibangun tiga model alternatif yaitu model dengan karakteristik: (1) *one queue-two servers*, (2) *one queue-three servers*, (3) *one queue-four servers*. Tampilan dari salah satu model alternatif ini disediakan di Gambar 3.

Ketiga model alternatif tadi akan dijalankan sebanyak 50 replikasi untuk mengumpulkan data yang akan dipergunakan dalam proses analisis selanjutnya. Deskriptif statistik untuk output dari masing-masing model alternatif disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rata-rata dan variansi data hasil simulasi

Data	Rata-rata	variansi	n
Model awal	2,353.25	175,040.32	20
Model alternatif I	1,600.57	53,715.05	10
Model alternatif II	1,334.551	118,946.4	7
Model alternatif III	948.83	20,713.32	5

Dari Tabel 3 diketahui bahwa rata-rata terkecil untuk data waktu mengantri maksimal dimiliki oleh Model alternatif III. Tetapi walaupun begitu tidak bisa langsung dinyatakan bahwa model alternatif III bisa menghasilkan waktu mengantri terkecil sebelum melakukan uji statistik. Selanjutnya akan dilakukan perhitungan untuk membandingkan keempat rata-rata dari data output model dengan uji hipotesis kesamaan dua rata-rata satu pihak. Sedikit berbeda dengan uji kesamaan dua rata-rata yang digunakan untuk validasi model (Formula 3 dan 4), uji kesamaan dua rata-rata yang dipergunakan untuk memilih model antrian usulan adalah uji kesamaan dua rata-rata satu pihak dengan statistik uji untuk  $H_0$  adalah:

$$T' = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - d_0}{\sqrt{(S_1^2/n_1) + (S_2^2/n_2)}} \quad (5)$$

$$\text{dengan } v = \frac{(S_1^2/n_1 + S_2^2/n_2)^2}{\frac{(S_1^2/n_1)^2}{n_1 - 1} + \frac{(S_2^2/n_2)^2}{n_2 - 1}} \quad (6)$$

sedangkan hipotesis ujinya:

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = d_0$$

$$H_1: \mu_1 - \mu_2 > d_0,$$

dengan daerah kritisnya  $T' > t_{\alpha, v}$  dan jika  $T' > t_{\alpha, v}$  maka tidak cukup bukti untuk menolak  $H_0$ .

Jika diperhatikan dari Tabel 3 maka urutan rata-rata waktu tunggu maksimal mulai dari yang terbesar hingga yang terkecil adalah dari Model awal, Model alternatif I, Model alternatif II, Model alternatif III. Maka untuk perhitungan uji hipotesis kesamaan dua rata-rata satu pihaknya akan dimulai dengan membandingkan model yang memiliki rata-rata waktu tunggu maksimal terbesar dengan model yang memiliki rata-rata waktu tunggu maksimal dibawahnya. Dalam perhitungannya nanti akan bandingkan:

1. model awal dengan model alternatif I,
2. model alternatif I dengan model alternatif II,

3. model alternatif II dengan model alternatif III,

Dari perhitungan diperoleh hasil bahwa dari keempat rata-rata waktu tunggu maksimal, rata-rata waktu tunggu maksimal dari model alternatif III adalah yang terkecil dibandingkan ketiga rata-rata waktu tunggu maksimal dari ketiga model yang lain. Karena alternatif III mempunyai rata-rata waktu tunggu maksimal paling kecil maka alternatif ini akan dijadikan model usulan. Tetapi ada yang menarik dari hasil perhitungan ini yaitu bahwa model alternatif I dan model alternatif II tidak mempunyai perbedaan yang signifikan untuk waktu tunggu maksimalnya.

## 5. KESIMPULAN

Dari proses penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa dari keempat model yang telah dibangun, divalidasi dan dibandingkan secara statistik pada variabel yang menjadi fokus perhatian yaitu waktu menunggu maksimal diketahui bahwa model alternatif III merupakan model dengan waktu tunggu maksimal yang terkecil.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adan, I., & resing, J. (2001). *Queueing Theory*. MB Eindhoven: Department of Mathematics and Computing Science Eindhoven University of Technology.
- Bank, J. (1999). *Introduction to Simulation*. Paper presented at the 1999 Winter Simulation, USA.
- Cahyo, W. N. (2000). *Thesis*. Islamic University of Indonesia.
- Goldsman, D. (2007). *Introduction to Simulation*. Paper presented at the Winter Simulation Conference.
- Hillier, F. S., & Lieberman, G. I. (1980). *Introduction to Operation Research*. San Francisco: Holden Day, Inc.
- Law, A. M., & Kelton, W. D. (1991). *Simulation Modeling and Analysis* (2nd ed.). Singapore: McGraw-Hill.
- Levin, R. I. (2002). *Quantitative Approaches to Management* (7 ed.). New Jersey: McGraw-Hill.
- Siagian, P. (1987). *Penelitian Operasional: Teori dan Praktek*. Jakarta: Universitas Indonesia Press.



## PEDOMAN PENULISAN

**Lingkup Jurnal.** Tulisan yang dapat dimuat adalah yang mengkaji masalah yang berhubungan dengan bidang Teknik Kimia, Teknologi Tekstil, Teknik dan Manajemen Industri, Teknik Informatika, Teknik Elektro serta Teknik Mesin.

**Jenis Makalah.** Tulisan yang ditampilkan dapat berupa laporan penelitian ataupun makalah ilmiah bukan penelitian seperti laporan studi kasus atau kajian pustaka komprehensif. Laporan penelitian minimal memuat bagian abstrak, pendahuluan (latar belakang, tujuan, hipotesis, konsep-konsep kunci), metodologi penelitian, hasil penelitian dan pembahasan, kesimpulan, serta daftar pustaka. Makalah ilmiah bukan penelitian minimal memuat bagian abstrak, pendahuluan, pembahasan, kesimpulan, dan daftar pustaka.

**Panjang tulisan.** Panjang tulisan berkisar antara 8-12 halaman berukuran A4 spasi tunggal termasuk tabel dan gambar serta lampiran. Tulisan dapat dikirimkan melalui e-mail ke [teknoin@fti.uui.ac.id](mailto:teknoin@fti.uui.ac.id).

**Abstrak.** Panjang abstrak maksimum 200 kata dengan disertai dengan 3-5 kata kunci pada bagian akhir abstrak. Untuk tulisan dalam bahasa Indonesia abstrak dibuat dalam bahasa Inggris, dan sebaliknya. Abstrak tidak bersifat matematis dan memuat masalah penelitian, metodologi, hasil, dan kesimpulan.

**Tabel dan Gambar.** Tabel dan gambar harus diberi nomor dan judul, serta harus diacu dalam tulisan.

**Persamaan.** Persamaan matematika diberi nomor urut dalam kurun, (x), dengan dituliskan rata kanan.

**Kutipan.** Cara penulisan sumber kutipan adalah dengan format (nama, tahun) pada akhir

kutipan. Sumber kutipan yang ditulis oleh 2 orang menggunakan format (nama1 dan nama2, tahun), sedangkan yang ditulis oleh 3 orang dan lebih menggunakan format (nama1 dkk., tahun) atau (nama1 et. al., tahun).

**Daftar Pustaka.** Daftar pustaka diurutkan berdasarkan nama pengarang dan hanya memuat pustaka yang dikutip dalam tulisan. Nama pengarang dituliskan tanpa gelar, serta nama depan dan tengah, jika ada, disingkat. Beberapa contoh penulisan daftar pustaka.

### Buku

Elsayed, E.A., dan Boucher, T.O. (1994) *Analysis and Control of Production System*, Prentice Hall, New Jersey.

### Buku yang ditulis oleh lembaga

Modern Language Association (1984) *MLA Handbook of Writers of Research Papers, Theses and Dissertations*, Modern Language Association, New York.

### Buku suntingan

Mammone, R.J., ed. (1993) *Artificial Neural Network for Speech and Vision*, Chapman and Hall, London.

### Bagian dari buku suntingan dengan penulis berbeda

Girosi F. dan Ilotti, G.A. (1993) Rates of Convergence for Radial Basis Functions and Neural Network, dalam Mammone, R.J., ed., *Artificial Neural Network for Speech and Vision*, Chapman and Hall, London, 97-114.

### Artikel Jurnal

Chen, S., Cowan, C.F.N., dan Grant, P.M. (1991) Orthogonal Least Squares Learning Algorithm for Radial Basis Function Network, *IEEE Transaction on Neural Network*, Vol.2, No.3, 302-309.

