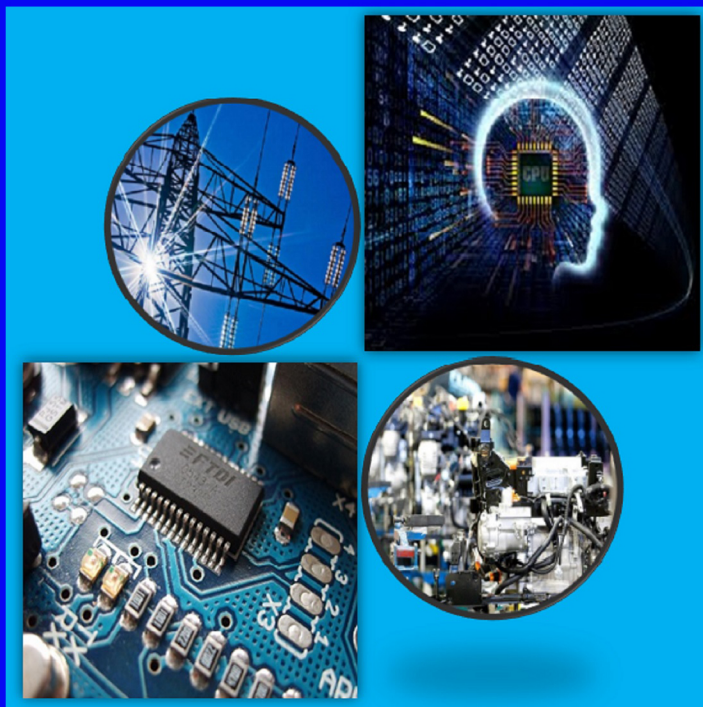


# ***ELECTRANS***

*Jurnal Teknik Elektro, Komputer dan Informatika*



**14/ 1**  
**Maret 2016**

*ISSN: 1412-3762*



Penerbit:

**Departemen Pendidikan Teknik Elektro  
FPTK Universitas Pendidikan Indonesia**

<http://ejournal.upi.edu/index.php/electrans>

# ELECTRANS

JURNAL TEKNIK ELEKTRO, KOMPUTER DAN INFORMATIKA

**VOLUME 14 NOMOR 1 MARET 2016**

Jurnal ELECTRANS merupakan jurnal ilmiah yang memuat hasil-hasil penelitian dalam bidang teknik elektro, elektronika, komputer dan informatika. Jurnal ini terbit secara berkala sebanyak dua kali dalam setahun (bulan Maret dan September).

**Penanggung Jawab :**

Ketua Departemen Pendidikan Teknik Elektro FPTK UPI

**Ketua Editor :**

Dr. Ade Gafar Abdullah, M.Si , Departemen Pendidikan Teknik Elektro FPTK UPI

**Editor Pelaksana :**

Dr. Dadang Lukman Hakim, MT, Departemen Pendidikan Teknik Elektro FPTK UPI

Dr. Tasma Sucita, MT, Departemen Pendidikan Teknik Elektro FPTK UPI

Dr. Siscka Elvyanti, MT, Departemen Pendidikan Teknik Elektro FPTK UPI

Didin Wahyudin, Ph. D, Departemen Pendidikan Teknik Elektro FPTK UPI

**Mitra Bebestari :**

Prof. Dr. Sumarto, MSIE, Universitas Pendidikan Indonesia

Prof. Dr. Mukhidin, M.Pd, Universitas Pendidikan Indonesia

Prof. Dr. Bachtiar Hasan, Universitas Pendidikan Indonesia

Prof. Dr. Janulis Purba, Universitas Pendidikan Indonesia

Dr. Syarif Hidayat, Institut Teknologi Bandung

Dr. Budi Mulyanti, M.Si, Universitas Pendidikan Indonesia

Dr. Jaja Kustija, M.Sc, Universitas Pendidikan Indonesia

Dr. Eng. Muhammad Suryanegara, Universitas Indonesia

Dr. Suryono, M.Si, Universitas Diponegoro

Dr. Enjang Akhmad Juanda, MT, Universitas Pendidikan Indonesia

Lala Septem Riza, Ph. D, Universitas Pendidikan Indonesia

**Biaya Penerbitan : Rp. 300.000 per artikel**

**Harga berlangganan (termasuk ongkos kirim per eksemplar)**

Pemesanan atas nama :

Lembaga

Perorangan

Pulau Jawa

Rp. 90.000

Rp. 75.000

Luar P. Jawa

Rp. 100.000

Rp. 85.000

**Penerbit :**

Departemen Pendidikan Teknik Elektro FPTK UPI

**Alamat Editor :**

Sekretariat Jurnal ELECTRANS

Departemen Pendidikan Teknik Elektro FPTK UPI

Jl. Dr. Setiabudhi no. 207 Bandung

Telp : (022) 2013163 Ext. 34010

Fax : (022) 2011576

Email: [ade\\_gaffar@upi.edu](mailto:ade_gaffar@upi.edu)

Website: <http://ejournal.upi.edu/index.php/electrans>

# ELECTRANS

JURNAL TEKNIK ELEKTRO, KOMPUTER DAN INFORMATIKA

VOLUME 14 NOMOR 1 MARET 2016

## DAFTAR ISI

- 1 - 7 Perancangan Pengendali Proportional-Integral Anti-Windup (Pi-Aw) pada Simulator Mobil Listrik untuk Kendali Kecepatan dan Torsi  
*Adnan Rafi Al Tahtawi, Arief Syaichu Rohman*
- 8 - 11 Analisis Saluran Kabel Tegangan Rendah di Kampus Universitas Pendidikan Indonesia  
*Gilar Algifari, I Wayan Ratnata, Elih Mulyana*
- 12 - 19 Analisis Variasi Parameter Backpropagation Artificial Neural Network dan Principal Component Analysis Terhadap Sistem Pengenalan Wajah  
*Ikhwannul Kholis, Syah Alam*
- 20 - 26 Rancang Bangun Sistem Kontrol Beban dan Akuisisi Data Berbasis Web dengan menggunakan Single Board Computer  
*Irfan Firnandi, Jaja Kustija, Bambang Trisno*
- 27 - 33 Pengembangan Lapisan Mode Gerak Agen pada Robot Soccer  
*Mindit Eriyadi*
- 34 - 40 Prediksi Beban Listrik Jangka Pendek Menggunakan Algoritma Feed Forward Back Propagation dengan Mempertimbangkan Variasi Tipe Hari  
*Ramadani Dwisatya, M. Ramdhan Kirom*
- 41 - 45 Rancang Bangun Inverter sebagai Driver Motor Induksi 3 Fasa  
*Susi Susanti, Dadang Lukman Hakim, Yoyo Somantri*
- 46 - 54 Isotermal Remanent Magnetisation  
*Wawan Purnama*
- 55- 59 Pengembangan Microcontroller Embedded System untuk Training Kits  
*Yoyo Somantri*
- 60 - 67 Rancang Bangun Antena Unidirectional Ultra-Wideband dengan Desain Fork-Shaped Tuning Stub menggunakan Bahan Dielektrik Fr-4  
*Yusron Tri Huda, Tommi Hariyadi, Budi Mulyanti*

# Perancangan Pengendali Proportional-Integral Anti-Windup (Pi-Aw) pada Simulator Mobil Listrik untuk Kendali Kecepatan dan Torsi

Adnan Rafi Al Tahtawi  
Program Studi Teknik Komputer  
Politeknik Sukabumi  
Jl. Babakan Sirna No. 25 Sukabumi  
Jawa Barat, INDONESIA  
e-mail: adnanrafialt@gmail.com

Arief Syaichu Rohman  
Lab. Sistem Kendali dan Komputer  
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika  
Institut Teknologi Bandung  
Jl. Ganesha No.10 Bandung, INDONESIA  
e-mail: arief@stei.itb.ac.id

**Abstrak**— Pengendali Proportional-Integral (PI) akan dirancang pada simulator mobil listrik untuk sistem kendali kecepatan dan torsi. Komponen utama dari simulator ini adalah dua buah motor arus searah (MAS) yang terhubung sumbu putarnya. Sistem kendali kecepatan dirancang untuk MAS 1 yang merepresentasikan mobil listrik, sedangkan sistem kendali torsi dirancang untuk MAS 2 yang merepresentasikan beban. Pengendali PI dirancang dalam tiga skema, yaitu: PI linier, PI saturasi dan PI anti-windup (PI-AW). Hasil simulasi menunjukkan bahwa skema PI-AW mampu menghasilkan respon terbaik untuk kecepatan dan torsi dengan sinyal kendali yang dihasilkan tidak melebihi batas saturasi.

**Keywords**— pengendali PI; anti-windup; simulator mobil listrik; kecepatan; torsi.

**Abstract**—Proportional-Integral (PI) controller will be designed on electric car simulator for speed and torque control systems. The main components of this simulator are two direct current motors (DCMs) with a linked axis of rotation. Speed and torque control systems are designed for DCM 1 and DCM 2 which are represents the electric car and its load. PI controller is designed in three schemes: linear PI, PI with saturation and PI with anti-windup (PI-AW). The simulation result shows

*that the PI-AW scheme produces the best responses for speed and torque with control signals generated doesn't exceed the saturation limit.*

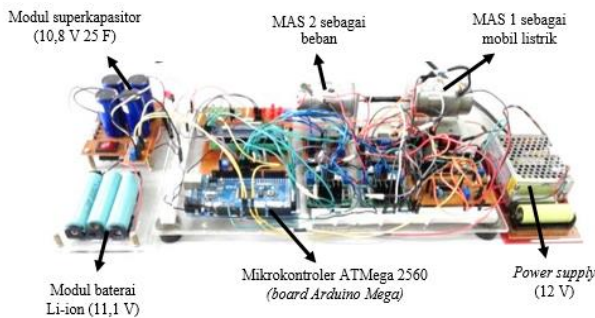
**Keywords:** PI controller, anti-windup, electric car simulator, speed, torque

## I. PENDAHULUAN

Saat ini penelitian terkait mobil listrik masih terus dilakukan untuk dijadikan sebagai solusi bagi permasalahan polusi udara. Seperti diketahui bahwa mobil listrik mampu mengurangi pencemaran udara karena energi yang digunakan tidak menghasilkan emisi. Salah satu permasalahan yang masih terus diteliti adalah penggunaan sumber energi listrik yang masih memiliki keterbatasan. Oleh karena itu penelitian terkait penggunaan sumber energi listrik tersebut masih perlu dikembangkan. Laboratorium di University of Pennsylvania yang bernama mLAB telah mengembangkan simulator mobil listrik dalam skala kecil dengan menggunakan motor arus searah (MAS) sebagai komponen utamanya yang dikenal dengan sebutan Protodrive [1]-[4]. Dua buah MAS tersebut dihubungkan sumbu putarnya. MAS 1 diasumsikan sebagai motor listrik pada mobil listrik, sedangkan MAS 2 diasumsikan sebagai beban yang diterima seperti permukaan jalan,

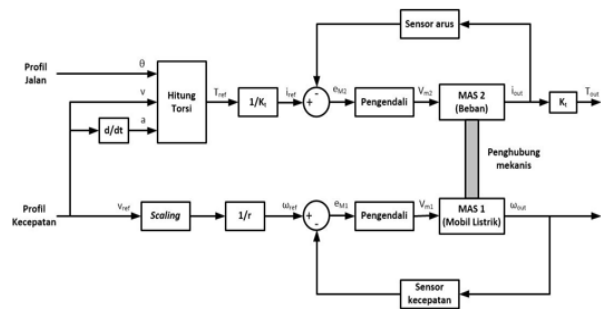
cuaca, kemacetan, dsb. Simulator tersebut dapat mensimulasikan aliran daya yang terjadi pada mobil listrik sesuai dengan kondisi sebenarnya. Dengan adanya simulator tersebut penelitian terkait penggunaan energi listrik pada mobil listrik dapat dilakukan dengan lebih mudah.

Selain itu pada [5] dan [6] juga telah dirancang ulang simulator tersebut dengan konfigurasi perangkat keras yang berbeda. Simulator yang dibangun mampu mensimulasikan proses pengisian energi pada superkapasitor saat pengereman regeneratif terjadi, sehingga energi yang terbuang saat pengereman regeneratif dapat diisi ke superkapasitor yang memiliki karakter pengisian lebih cepat daripada baterai.



Gambar 1. Perangkat keras simulator [5] [6]

Terdapat dua jenis algoritma yang digunakan untuk mengoperasikan simulator tersebut. Pertama, tegangan yang diperlukan untuk kedua MAS dihitung berdasarkan masukan kecepatan, percepatan dan sudut kemiringan jalan. Algoritma tersebut telah diterapkan pada [5] dan [6]. Kedua, tegangan untuk MAS 1 dan arus untuk MAS 2 dihitung berdasarkan masukan kecepatan, percepatan dan sudut kemiringan jalan [3]. Tegangan pada MAS 1 merepresentasikan kecepatan yang diperlukan, sedangkan arus pada MAS 2 merepresentasikan torsi beban yang diberikan. Agar dapat diterapkan, algoritma kedua memerlukan skema sistem kendali [3]. Skema sistem kendali tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema pengendali yang diusulkan

Torsi referensi diperoleh berdasarkan:

$$T_{ref} = F_{ref} \cdot r \cdot T_{sc} \quad (1)$$

$$F_{ref} = F_a + F_g + F_d + F_r \quad (2)$$

$$F_a = ma \quad (3)$$

$$F_g = mg \sin(\theta) \quad (4)$$

$$F_d = \frac{1}{2} A_f C_d v^2 \quad (5)$$

$$F_r = C_r mg \cos(\theta) \quad (6)$$

dengan:

$T_{ref}$  = torsi referensi (N.m)

$\theta$  = sudut kemiringan jalan (rad)

$T_{sc}$  = skala torsi

$A_f$  = luas daerah depan kendaraan ( $m^2$ )

$r$  = jari-jari roda (m)

$a$  = percepatan kendaraan ( $m/s^2$ )

$m$  = massa mobil (kg)

$C_d$  = koefisien aerodinamis (-)

$g$  = gaya gravitasi ( $9,81 m/s^2$ )

$C_r$  = koefisien resistansi putaran ban (-)

$v$  = kecepatan kendaraan (m/s)

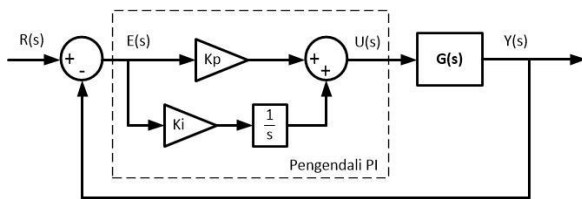
$F_{ref}$  = gaya referensi (N)

Skema kendali yang diterapkan pada MAS 1 adalah kendali kecepatan, sedangkan pada MAS 2 adalah kendali torsi. Oleh karena itu, pada paper ini akan dirancang pengendali PI sehingga respon kecepatan dan torsi mampu memenuhi spesifikasi yang ditentukan.

## II. METODE

### A. Perancangan Pengendali PI

Pengendali PI merupakan salah satu konfigurasi yang dapat dirancang dari sistem kendali *Proportional-Integral-Derivative* (PID). Pada sistem kendali ini komponen yang digunakan hanya *Proportional* (P) dan *Integral* (I) saja. Metode kendali ini bertujuan untuk meningkatkan respon transien dari kendalian dan menghilangkan adanya kesalahan keadaan tunak (*error steady state*). Blok diagram dari sistem kendali PI terlihat pada Gambar 3.

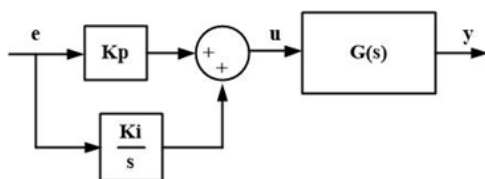


Gambar 3. Blok diagram sistem kendali PI

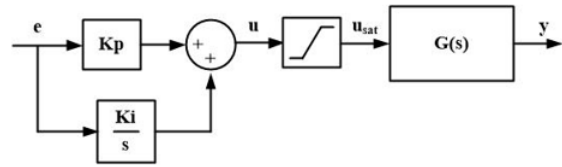
Berdasarkan skema tersebut, sinyal kendali yang dihasilkan memenuhi persamaan berikut:

$$U(s) = \left( Kp + \frac{Ki}{s} \right) E(s) \quad (7)$$

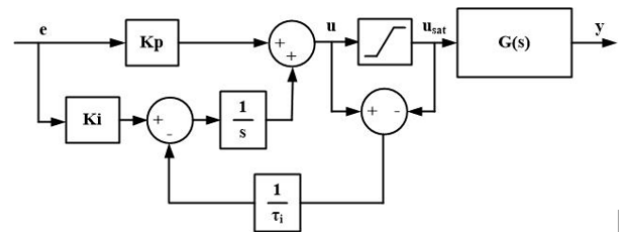
Pengendali PI dirancang dengan menggunakan tiga skema, yaitu: PI linier, PI dengan saturasi dan PI dengan *anti-windup* (PI-AW). Kendali PI linier dirancang tanpa mempertimbangkan adanya batasan dari sinyal kendali yang diperlukan. PI dengan saturasi dirancang dengan mempertimbangkan batasan sinyal kendali. PI-AW dirancang dengan tahapan [7]: (1) menghentikan akumulasi integral ketika saturasi terjadi; (2) membatasi nilai minimum dan maksimum integral; (3) mereduksi *input* integral ketika sinyal kendali saturasi; dan (4) pengendali PID *velocity mode* digunakan. Blok diagram dari ketiga skema kendali PI yang dirancang seperti pada Gambar 4.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4. Skema kendali PI yang dirancang: (a) PI linier (b) PI dengan saturasi (c) PI-AW [8]

Sinyal kendali yang dihasilkan ketika terdapat komponen saturasi adalah sebagai berikut:

$$u = \begin{cases} u, & u < u_{sat} \\ u_{sat}, & u \geq u_{sat} \end{cases} \quad (8)$$

Dengan adanya skema AW, maka sesuai dengan [8] sinyal kendali yang dihasilkan adalah:

$$u = Kp \cdot e + \frac{Ki}{s} e - \frac{1}{\tau_i s} (u - u_{sat}) \quad (9)$$

dengan:

$u$  = sinyal kendali

$u_{sat}$  = sinyal kendali saturasi

$e$  = sinyal kesalahan

$Kp, Ki$  = konstanta PI

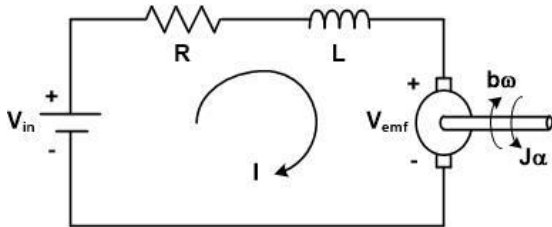
$\tau_i$  = waktu integral

### B. Pemodelan Kendalian

Agar dapat dilakukan perancangan pengendali PI, maka diperlukan model matematis dari kendalian (*plant*). Ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk menentukan model dari suatu *plant*, diantaranya: pengukuran parameter secara langsung, identifikasi sistem, pendekatan respon orde satu, pendekatan respon orde dua, dsb. Pada paper ini, model dari MAS diperoleh dalam bentuk ruang keadaan (*state space*) seperti pada persamaan (10) dengan cara pengukuran parameter secara langsung.

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx + Du \end{aligned} \quad (10)$$

Gambar 5 memperlihatkan model rangkaian ekivalen dari MAS.



Gambar 5. Rangkaian ekivalen MAS

Model matematis dari MAS adalah sebagai berikut:

Persamaan mekanis:

$$J\ddot{\theta} + b\dot{\theta} = Ki \quad (11)$$

$$\ddot{\theta} = \frac{d\dot{\theta}}{dt} = -\frac{b}{J}\dot{\theta} + \frac{K}{J}i \quad (12)$$

dengan:

- J = momen inersia (kg.m<sup>2</sup>)
- $\dot{\theta}$  = kecepatan sudut (rad/s)
- b = koefisien gesekan (N.m.s)
- K = konstanta torsi/emf
- $\ddot{\theta}$  = percepatan sudut (rad/s<sup>2</sup>)
- i = arus (A)

Persamaan elektrik:

$$L \frac{di}{dt} + Ri + V_{emf} = V_{in} \quad (13)$$

Karena  $V_{emf} = K\dot{\theta}$ , maka:

$$\frac{di}{dt} = -\frac{R}{L}i + \frac{V_{in}}{L} - \frac{K}{L}\dot{\theta} \quad (14)$$

dengan:

- L = induktansi (H)
- $V_{emf}$  = tegangan balik (V)
- R = resistansi (Ohm)
- $V_{in}$  = tegangan masukan (V)

Sehingga diperoleh model dalam bentuk ruang keadaan dengan  $x_1 = \dot{\theta}$ ,  $x_2 = i$  dan  $u = V_{in}$  adalah:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{b}{J} & \frac{K}{J} \\ -\frac{K}{L} & -\frac{R}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{L} \end{bmatrix} u \quad (15)$$

$$y = [1 \quad 0] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \quad (16)$$

Dengan menggunakan parameter pada [6]: R1 = 23 Ohm; R2 = 21,51 Ohm; L1 = L2 = 0,1 H; K1 = K2 = 0,055; b1 = b2 = 0,01 N.m.s; J1 = 0,0143 Kg.m<sup>2</sup>; J2 = 0,0146 Kg.m<sup>2</sup>. Maka model MAS 1 dan MAS 2 berturut-turut adalah:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,69 & 3,84 \\ -0,55 & -230 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 10 \end{bmatrix} u \quad y = [1 \quad 0] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \quad (17)$$

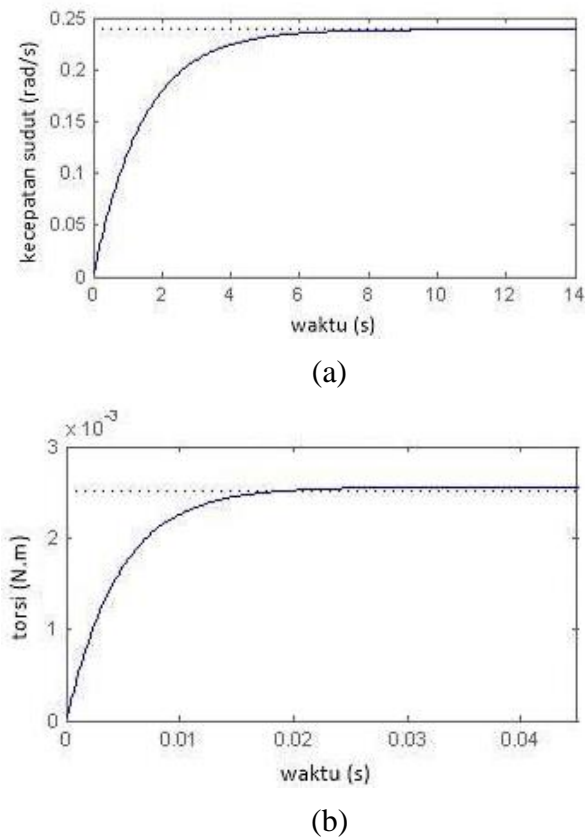
$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,68 & 3,84 \\ -0,55 & -215,1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 10 \end{bmatrix} u \quad y = [0 \quad 0,055] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \quad (18)$$

### C. Perancangan Parameter Pengendali PI

Pada bagian ini akan diuraikan cara untuk memperoleh parameter pengendali PI (Kp dan Ki). Parameter tersebut dapat dihitung berdasarkan spesifikasi respon yang diinginkan. Metode yang digunakan yaitu metode analisis matematis karena akan dapat diperoleh spesifikasi respon sesuai yang ditetapkan. Untuk menentukan besarnya Kp dan Ki sesuai spesifikasi respon yang diinginkan, model kendalian terlebih dahulu diubah menjadi bentuk fungsi alih orde satu berdasarkan persamaan berikut:

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{K}{\tau s + 1} \quad (19)$$

Fungsi alih tersebut diperoleh berdasarkan karakteristik respon *open loop* orde satu dengan K adalah gain *steady state*,  $\tau$  adalah konstanta waktu (0,632K). Respon *open loop* dari MAS 1 dan MAS 2 dengan sinyal masukan *step response* (Gambar 6).



Gambar 6. Respon *open loop*: (a) MAS 1 dan (b) MAS 2

Dengan demikian fungsi alih MAS 1 dan MAS 2 adalah:

$$\frac{\dot{\theta}(s)}{V(s)} = \frac{0,24}{1,45s + 1} = \frac{0,16}{s + 0,69} \quad (20)$$

$$\frac{T(s)}{V(s)} = \frac{0,0025}{0,0047s + 1} = \frac{0,53}{s + 212,76} \quad (21)$$

Berdasarkan karakteristik respon *open loop*, spesifikasi yang ditetapkan untuk respon MAS 1 adalah *settling time* ( $t_s$ ) 1 s dan *overshoot* ( $M_p$ ) 5%, sedangkan untuk respon MAS 2 adalah *settling time* ( $t_s$ ) 0,02 s dan *overshoot* ( $M_p$ ) 5%. Kemudian dilakukan perancangan parameter Kp dan Ki untuk menghasilkan respon sesuai yang ditetapkan. Persamaan *closed loop* dengan pengendali PI untuk kedua MAS adalah:

$$\frac{\dot{\theta}(s)}{R(s)} = \frac{\left(Kp + \frac{Ki}{s}\right) \left(\frac{0,16}{s + 0,69}\right)}{1 + \left(Kp + \frac{Ki}{s}\right) \left(\frac{0,16}{s + 0,69}\right)} = \frac{0,16Kps + 0,16Ki}{s^2 + (0,69 + 0,16Kp)s + 0,16Ki} \quad (22)$$

$$\frac{T(s)}{V(s)} = \frac{\left(Kp + \frac{Ki}{s}\right) \left(\frac{0,53}{s + 212,76}\right)}{1 + \left(Kp + \frac{Ki}{s}\right) \left(\frac{0,53}{s + 212,76}\right)} = \frac{0,53Kps + 0,53Ki}{s^2 + (212,76 + 0,53Kp)s + 0,53Ki} \quad (23)$$

Berdasarkan pendekatan respon orde dua, diperoleh  $2\zeta\omega_n = 0,69 + 0,16Kp$ ,  $\omega_n^2 = 0,16Ki$  untuk MAS 1 dan  $2\zeta\omega_n = 212,76 + 0,53Kp$ ,  $\omega_n^2 = 0,53Ki$  untuk MAS 2. Selanjutnya koefisien redaman ( $\zeta$ ) dan frekuensi natural ( $\omega_n$ ) ditentukan sebagai berikut [9]:

$$M_p(\%OS) = e^{-\left(\frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}\right)\pi} \quad (24)$$

Dengan spesifikasi  $M_p$  5%, maka  $\zeta$  untuk kedua MAS adalah 0,69.  $\omega_n$  ditentukan berdasarkan persamaan *settling time* kriteria 2% sebagai berikut [9]:

$$t_s = \frac{4}{\zeta\omega_n} \quad (25)$$

Diperoleh frekuensi natural ( $\omega_n$ ) untuk MAS 1 = 5,79 rad/s dan MAS 2 = 289,85 rad/s. Dengan demikian diperoleh Kp dan Ki untuk MAS 1 adalah 45,62 dan 209,52 sedangkan Kp dan Ki untuk MAS 2 adalah 353,27 dan 158515,13. Ketika kondisi saturasi terjadi, maka sinyal kendali skema PI-AW untuk kedua MAS yang diperoleh berdasarkan persamaan (9) adalah:

$$u_{M1} = \left(45,62 + \frac{209,52}{s}\right)e - \frac{4,6}{s}(u - u_{sat}) \quad (26)$$

$$u_{M2} = \left(353,27 + \frac{158515,13}{s}\right)e - \frac{454,54}{s}(u - u_{sat}) \quad (27)$$

Konstanta  $1/\tau_i$  diperoleh dari  $Ki/Kp$  dengan  $\tau_i$  adalah waktu integral. Jika dipilih  $1/\tau_i = Ki$  maka, ketika saturasi tidak terjadi, fungsi alih pengendali sama dengan PI linier seperti pada persamaan (7).

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengetahui respon dari ketiga skema pengendali yang dirancang maka dilakukan simulasi pengujian pada Simulink MATLAB. Variabel dan parameter pengujian yang ditentukan untuk kedua MAS tercantum pada Tabel 1 dan Tabel 2.



TABLE I. VARIABEL DAN PARAMETER PENGUJIAN MAS 1

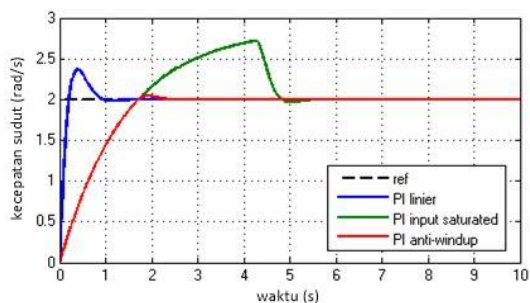
Variabel dan parameter	Nilai
Sinyal kendali maksimum	12 V
Kecepatan referensi ( <i>setpoint</i> )	2 rad/s
Kp	45,62
Ki	209,52

TABLE II.

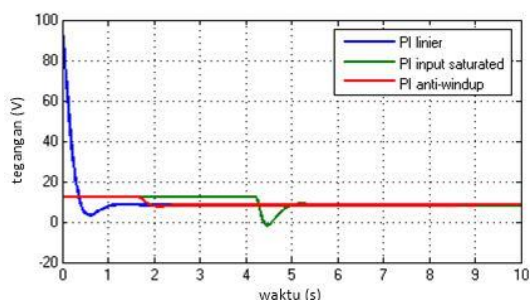
TABLE III. VARIABEL DAN PARAMETER PENGUJIAN MAS 2

Variabel dan parameter	Nilai
Sinyal kendali maksimum	12 V
Kecepatan referensi ( <i>setpoint</i> )	0,03 N.m
Kp	353,27
Ki	158515,13

Kecepatan referensi 2 rad/s diambil ketika kecepatan putaran motor pada mobil listrik sebesar 12,56 rps = 753,6 rpm. Dengan jari-jari roda 0,3 m dan rasio gearbox 1:5, maka sama dengan kecepatan translasi 3 m/s. Torsi referensi 0,03 N.m diperoleh ketika sudut kemiringan jalan 7,13°. Sudut kemiringan dihitung berdasarkan persamaan (1)-(6). Hasil simulasi yang diperoleh untuk MAS 1 dan MAS 2 terlihat pada Gambar 7.

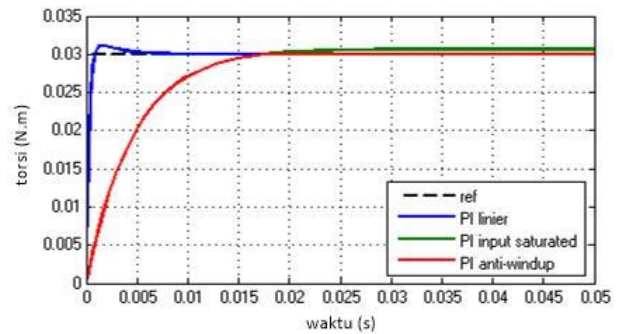


(a)

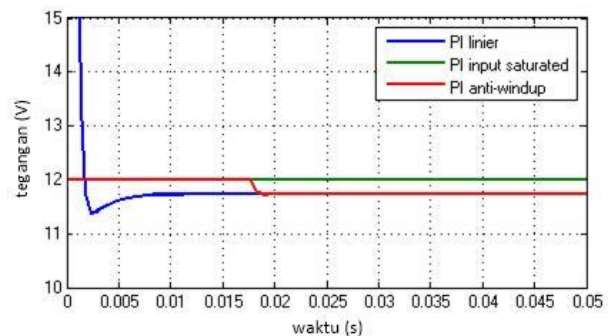


(b)

Gambar 7. Respon MAS 1: (a) kecepatan (a), (b) sinyal kendali



(a)



(b)

Gambar 8. Respon MAS 2: (a) torsi , (b) sinyal kendali.

TABLE IV. KARAKTERISTIK RESPON MAS 1

Parameter	PI linier	PI saturasi	PI-AW
Rise time ( $t_r$ )	0,2 s	1,7 s	1,7 s
Settling time ( $t_s$ )	1 s	4,8 s	2 s
Overshoot ( $M_p$ )	18,3 %	36 %	2,5 %

TABLE V. KARAKTERISTIK RESPON MAS 2

Parameter	PI linier	PI saturasi	PI-AW
Rise time ( $t_r$ )	0,0009 s	0,017 s	0,017 s
Settling time ( $t_s$ )	0,05 s	0,04 s	0,02 s
Overshoot ( $M_p$ )	3,6 %	2,3 %	0 %

Hasil simulasi menunjukkan bahwa respon skema PI linier untuk MAS 1 menghasilkan *overshoot* 18,3%, sedangkan untuk MAS 2 menghasilkan *settling time* 0,05 s. Kedua karakteristik tersebut tidak memenuhi spesifikasi perancangan yang ditentukan. Hal ini

disebabkan adanya satu zero di  $s = -K_i/K_p$  yang terdapat pada fungsi alih *closed loop*. Berbeda dengan skema PI linier, respon skema PI-AW untuk MAS 1 menghasilkan *overshoot* sesuai spesifikasi yaitu 2,5% walaupun *settling time* yang dihasilkan lebih lama satu detik, sedangkan untuk MAS 2 menghasilkan *overshoot* dan *settling time* sesuai spesifikasi yaitu 0% dan 0,02 s. Dengan demikian skema PI-AW dapat menghasilkan respon terbaik untuk kedua MAS. Ketika saturasi terjadi AW telah mereduksi *overshoot* karena saturasi semaksimal mungkin pada respon MAS 1 dan juga masih dapat memberikan *zero steady state error* pada MAS 2. Selain itu sinyal kendali yang dihasilkan skema PI-AW tidak melebihi batas saturasi.

#### IV. KESIMPULAN

Skema pengendali PI telah dirancang untuk kendali kecepatan dan torsi pada simulator mobil listrik. Sistem kendali kecepatan dirancang untuk MAS 1 yang diasumsikan sebagai mobil listrik, sedangkan sistem kendali torsi dirancang untuk MAS 2 yang diasumsikan sebagai beban. Pengendali dirancang dalam tiga skema yaitu: PI linier, PI saturasi dan PI-AW. Hasil simulasi menunjukkan respon kecepatan MAS 1 menghasilkan *overshoot* sesuai spesifikasi yang ditentukan walaupun *settling time* yang dihasilkan lebih lama satu detik, sedangkan respon torsi MAS 2 menghasilkan *overshoot* dan *settling time* sesuai spesifikasi yang ditentukan. Dengan demikian skema PI-AW mampu menghasilkan respon terbaik untuk kedua MAS dengan sinyal kendali yang tidak melebihi batas yang ditentukan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Price, W and Botelho, A (2012): Protodrive: Rapid prototyping and simulation for EV powertrains, University of Pennsylvania
- [2] Diaz, Stephanie (2012): Protodrive: Simulation of Electric Vehicle Powertrains, NSF Summer Undergraduate Fellowship in Sensor Technologies, Binghamton University
- [3] Price, W. (2012): Protodrive, <http://protodrive.blogspot.com/> (diakses: Januari 2016)
- [4] Mulay, A, Pant, YV, Mangharam, R. (2012): Protodrive: Rapid Prototyping Platform for Electric

Vehicle Powertrain,  
<http://mlab.seas.upenn.edu/protodrive/> (diakses: Januari 2016)

- [5] Al Tahtawi, A.R., Rohman, A.S (2015): Simple Supercapacitor Charging Scheme in Electrical Car Simulator Using Direct Current Machines, Proceeding of The 5th International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICEEI) Bali, pp. 623-628, ISBN: 978-1-4673-7319-7
- [6] Al Tahtawi, A.R., Rohman, A.S (2015): Skema Sederhana Pengisian Superkapasitor pada Simulator Mobil Listrik Menggunakan Mesin Arus Searah, Tesis Magister, Institut Teknologi Bandung

# Analisis Saluran Kabel Tegangan Rendah di Kampus Universitas Pendidikan Indonesia

Gilar Algifari, I Wayan Ratnata, Elih Mulyana

Program Studi Pendidikan Teknik Elektro  
Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan  
Universitas Pendidikan Indonesia  
Jl. Dr. Setiabudhi No. 207 Bandung 40154  
e-mail: gilar.algifari@student.upi.edu

**Abstrak**— Saluran kabel tegangan rendah mempunyai peranan penting dalam sistem jaringan distribusi listrik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jaringan distribusi daya, susut tegangan, rugi-rugi daya dan rugi rupiah pada saluran kabel tegangan rendah di kampus UPI Bandung. UPI memiliki gardu distribusi sendiri sehingga kelistrikan pada sisi Tegangan Rendah (TR) dikelola oleh pihak UPI. Alasan dilakukannya penelitian ini karena peneliti tertarik menganalisis keandalan pendistribusian listrik di UPI. Data diperoleh dari pengukuran dan perhitungan arus beban dari setiap gardu yang mengalir ke perangkat hubung bagi di setiap gedung. Dari hasil tersebut kemudian dilakukan perhitungan besarnya susut tegangan, rugi daya (watt), dan rugi rupiah. Besarnya susut tegangan dan rugi-rugi daya pada jaringan SKTR UPI sangat baik karena nilainya berada di bawah batas minimal yang ditetapkan PT. PLN yaitu +5% dan -10%. Apabila dirubah dalam bentuk nominal rupiah, rugi rupiah yang dialami oleh pihak UPI sebesar Rp.398.573,- pada bulan januari 2014.

**Keywords**— SKTR, susut tegangan, rugi-rugi daya.

**Abstract**— *Low-voltage distribution cable has important role in electric power distribution system. This study aimed to find out power distribution network, drop voltage, losses, and Rupiah loss on low-voltage distribution cable in Indonesia University of Education (UPI), Bandung. UPI has their own electrical substation,*

*so low voltage electricity managed by themselves. This research is conducted because of researcher's interest in analyzing reliability of power distribution in UPI. Data was derived from measurement and calculation of load current from every substation which flows to switchgear in every building. Based on the result, the calculation is continued to find out the magnitude of voltage drop, losses (watt), and Rupiah loss. The magnitude of drop voltage and power losses in UPI's low voltage distribution cable network are very good based on the value which is lower than assigned minimum limit by PT. PLN; +5% and -10%. In Rupiah, UPI losses Rp.398.573,- in January 2014..*

**Keywords:** SKTR, voltage drop, losses

## I. PENDAHULUAN

Sistem distribusi tenaga listrik mempunyai peran penting karena berhubungan langsung dengan pemakai energi listrik, terutama pemakai energi listrik tegangan menengah dan tegangan rendah. Jaringan Tegangan Menengah disebut juga dengan Jaringan primer, sementara Jaringan tegangan rendah disebut juga jaringan sekunder. Jaringan Sekunder dibagi menjadi 2 jenis, yaitu: saluran udara tegangan rendah; dan saluran kabel tegangan rendah [1].

Sistem Distribusi Tegangan Rendah merupakan bagian hilir dari suatu sistem tenaga listrik pada tegangan distribusi dibawah 1 kilo volt langsung kepada para pelanggan tegangan

rendah [2]. Saluran kabel bawah tanah (underground cable) merupakan saluran distribusi yang menyalurkan energi listrik melalui kabel yang ditanam di dalam tanah. Kategori saluran kabel tegangan rendah sering digunakan untuk pemasangan di dalam kota, karena berada didalam tanah, maka tidak mengganggu keindahan kota dan juga tidak mudah terjadi gangguan akibat kondisi cuaca atau kondisi alam [3]. Universitas Pendidikan Indonesia adalah salah satu kampus yang penggunaan distribusi tegangan rendahnya menggunakan saluran kabel bawah tanah.

Tujuan penelitian ini yaitu, 1) mengetahui keadaan jaringan (*existing network*) Saluran Kabel Tegangan Rendah (SKTR) di kampus UPI Bandung, 2) mengetahui kontruksi dari jaringan Saluran Kabel Tegangan Rendah (SKTR) di kampus UPI Bandung, 3) mengetahui susut (*drop*) tegangan daya terjadi pada jaringan Saluran Kabel Tegangan Rendah (SKTR) di kampus UPI Bandung, dan 4) mengetahui rugi-rugi daya dan rugi rupiah yang terjadi pada jaringan Saluran Kabel Tegangan Rendah (SKTR) di kampus UPI Bandung.

Saluran kabel tegangan rendah menggunakan kabel type NYFGbY dengan jenis isolasi PVC. Kontruksi pemasangan kabel minimum 80 cm di bawah permukaan tanah pada jalan yang dilalui kendaraan, minimum 60 cm di bawah permukaan tanah yang tidak di lalui kendaraan, dan lebar galian sekuran-kurangnya 4 meter [4-5].

Dalam pemasangan saluran kabel tegangan rendah, diperlukan adanya analisis sebelum dan sesudah pemasangan dilakukan, ini dilakukan untuk melihat keandalan sebuah sistem distribusi tegangan rendah, hal yang harus di perhatikan dalam saluran tegangan rendah adalah, kontruksi pemasangan kabel bawah tanah, jenis kabel, ukuran kabel, jenis isolasi kabel, susut tegangan, rugi-rugi daya, dan rugi rupiah yang terjadi.

Pemilihan jenis kabel yang akan digunakan pada jaringan distribusi faktor penting yang harus diperhatikan dalam perencanaan dari suatu sistem tenaga listrik. Jenis kabel dengan nilai resistensi yang kecil akan dapat memperkecil rugi-rugi daya. Dengan diketahuinya rugi-rugi

daya, bisa dikonversikan ke dalam harga per kWh sehingga mendapatkan nilai rugi rupiah. Sementara ukuran kabel dan panjang kabel sangat berpengaruh pada nilai impedansi yang mempengaruhi besar kecilnya susut tegangan yang terjadi.

## II. METODE

Dalam melakukan analisis, digunakan deskriptif analisis, yaitu suatu metode penelitian yang dilakukan dengan cara mengumpulkan data dengan terjun secara langsung ke lapangan melakukan suatu pencarian data dan menganalisisnya serta mengambil suatu kesimpulan yang dapat digunakan sebagai dasar pertimbangan analisis jaringan saluran kabel tegangan rendah (SKTR) di Kampus UPI Bandung.

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data pemakaian kWh bulan januari tahun 2014. Data ini didapat dari BAAK kampus UPI, dilakukan juga pengukuran arus pada setiap saluran sehingga pada perhitungan didapatkan data yang akurat. Kemudian dari keseluruhan data tersebut dihitung susut tegangan, rugi-rugi daya dan rugi rupiah pada saluran kabel tegangan rendah di kampus UPI.

Ada empat gardu distribusi yang terdapat di UPI yang disuplai dari dua penyulang yaitu penyulang NPI dan NAK. Gardu UPI 1, dengan kapasitas Trafo 2000 kVA. Gardu UPI 2 dengan kapasitas Trafo 2000 kVA. Gardu JICA dengan kapasitas Trafo 1000 kVA. Gardu IKIP (PLN) dengan Trafo berkapasitas 160 kVA dan 400 kVA. Setiap masing-masing gardu menyuplai beberapa gedung di kampus UPI, baik itu gedung fakultas ataupun gedung tambahan lainnya.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Keadaan jaringan SKTR UPI dari segi penyebaran suplai bebannya masih ada beberapa gedung yang mendapat suplai listrik yang terlalu jauh dari sumbernya, yaitu gedung bagian K3, gedung FPMIPA ILKOM, kompleks penerangan area pertere bumi siliwangi dan kompleks sekretariat UKM yang disuplai dari gardu IKIP. Selain itu, wilayah stadion UPI dan lapangan tenis *indoor* serta gedung Isola Resort

dan gedung FPMIPA Remodelling juga mendapat suplai yang terlalu jauh yaitu dari gardu UPI 1.

Wilayah-wilayah yang disuplai dari gardu IKIP (PLN) trafo 160 kVA juga letaknya cukup jauh dari letak gardu IKIP (PLN) yang menjadi sumber suplai energi listriknya. Dari segi pemakaian daya (kVA) listrik. Secara keseluruhan, kondisi pembebanan pada jaringan SKTR UPI termasuk dalam kategori sangat baik karena pembebanannya masih jauh dibawah kapasitas jaringannya, dalam hal ini dapat dilihat dari kapasitas trafo distribusi pada masing-masing gardu.

Berdasarkan aturan, kondisi pembebanan maksimal yaitu 90 % dari kapasitas yang tersedia dan kondisi pembebanan jaringan SKTR UPI yaitu gardu UPI 1 = 38,53%, gardu UPI 2 = 39%, gardu JICA = 33,55%, gardu IKIP trafo 160 kVA = 96.01% dan gardu IKIP trafo 400 kVA = 72.44%. Khusus untuk gardu IKIP dengan trafo 160 kVA, kondisi pembebanannya perlu mendapat perhatian karena pembebanannya sudah melebihi 90% dari kapasitas yang tersedia, yakni pembebanannya sudah mencapai 96.01%. Untuk itu, perlu ada penambahan kapasitas dari trafo yang digunakan atau pengalihan jurusan beban pada trafo 160 kVA ini ke trafo yang masih dalam kondisi normal, misalnya ke gardu UPI 2 yang masih memiliki kapasitas yang besar dan letaknya lebih dekat dengan wilayah-wilayah yang mendapat suplai dari gardu IKIP-trafo 160 kVA.

Jenis konstruksi jaringan SKTR UPI adalah konstruksi tanam langsung dengan kedalaman 0.8 meter dengan lebar galian 0.4 meter. jaringan SKTR UPI sesuai dengan aturan yaitu untuk jumlah kabel yang ditanam satu kedalaman 0.8 meter dengan lebar galian 0.4 meter, untuk kabel yang ditanam dua kedalamannya 0.8 meter dengan lebar galian 0.5 meter dan begitupun dengan kabel yang ditanam lainnya.

Kabel penghantar yang digunakan pada jaringan SKTR UPI yaitu kabel NYFGbY. Dengan diameter  $4 \times 25 \text{ mm}^2$ ,  $4 \times 50 \text{ mm}^2$ ,  $4 \times 70 \text{ mm}^2$ ,  $4 \times 95 \text{ mm}^2$ ,  $4 \times 120 \text{ mm}^2$ ,  $4 \times 150 \text{ mm}^2$ .

Dari hasil perhitungan susut tegangan pada jaringan SKTR UPI yang dilakukan, diketahui

total susut tegangan pada gardu UPI 1, pada sisi fasa r sebesar 14.882 volt atau 3.91%, pada sisi fasa s sebesar 10.677 volt atau 2.80% dan pada sisi fasa t 11.765 volt atau 3.09%. Sementara untuk gardu UPI 2 total susut tegangannya yaitu pada sisi fasa r sebesar 11.600 volt atau 3.05%, pada sisi fasa s sebesar 15.833 volt atau 4.16%, dan pada sisi fasa t sebesar 16.937 volt atau 4.45%. dan untuk gardu JICA besarnya susut tegangan tidak diketahui karena panjang kabel tidak bisa di ukur karena masalah teknis. Sedangkan besarnya susut tegangan pada gardu IKIP (PLN) Trafo 160 kVA yaitu pada sisi fasa r sebesar 5.250 volt atau 1.38%, pada sisi fasa s sebesar 5.028 volt atau 1.32% dan pada sisi fasa t sebesar 4.745 volt atau 1.24%. dan yang terakhir besarnya susut tegangan pada trafo 400 kVA yaitu pada sisi phas r sebesar 3.757 volt atau 0.98%, pada sisi fasa s sebesar 4.587 volt atau 1.20% dan pada sisi pasha t sebesar 3.791 volt atau 0.99%.

Berdasarkan hasil tersebut, dapat dilihat bahwa *drop* tegangan yang tertinggi yaitu susut yang terjadi pada gardu UPI 2 dengan rata-rata 3.886%, kemudian gardu UPI 1 dengan rata-rata 3.26%; dan yang terendah susut tegangan pada gardu IKIP dengan rata-rata susut tegangan pada trafo 160 kVA yaitu 0,64% dan trafo 400 kVA yaitu 1.05%. Besarnya susut yang terjadi pada gardu UPI 2 disebabkan karena panjang saluran dari gardu UPI 2 ke setiap gedung yang di suplainya cukup panjang. Begitupun susut tegangan yang terjadi pada yang lainnya menjadi besar karena jarak saluran yang cukup panjang. Namun besarnya susut tegangan yang terjadi pada jaringan SKTR UPI secara keseluruhan masih berada dibawah batas susut tegangan minimal sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh PT. PLN yaitu maksimum +5% dan minimum -10%. Jadi jaringan SKTR UPI masih dalam kondisi yang sangat baik karena nilai susut tegangannya sangat kecil dan masih jauh dibawah standar maksimum yang sudah ditetapkan.

Dari hasil perhitungan rugi-rugi daya yang dilakukan, diketahui rata-rata rugi-rugi daya pada jaringan SKTR UPI yaitu: pada saluran gardu UPI 1 sebesar 0,345% , pada saluran dari gardu UPI 2 sebesar 0,319%; pada saluran dari gardu IKIP 160 kVA sebesar 0.241% dan pada

saluran dari gardu IKIP 400 kVA sebesar 0.69%. Apabila dirubah kedalam bentuk nominal UPI mengalami rugi rupiah sebesar untuk Gardu 1 sebesar Rp. 118.150,-; Gardu UPI 2 sebesar Rp. 240.809,-; Gardu IKIP (Trafo 160 kVA) sebesar 18.413,-; dan Gardu IKIP (Trafo 400 kVA) sebesar 21.201. Apabila setiap Gardu di jumlah maka rugi rupiah yang di alami UPI sebesar Rp. 398.573,-.

Khusus untuk Gardu IKIP (trafo 400 kVA) hasil perhitungan rugi daya dan rugi rupiah tidak keseluruhan gedung dihitung karena keterbatasan penulis untuk mencari data arus gedung-gedung yang disuplai oleh Gardu IKIP (trafo 400 kVA). Kondisi secara keseluruhan, besarnya rugi-rugi daya yang terjadi pada jaringan SKTR UPI masih berada dibawah batas rugi-rugi daya minimal sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh PT. PLN yaitu maksimum +5% dan minimum -10%.

#### IV. KESIMPULAN

Keadaan jaringan (*existing network*) SKTR UPI dari segi penyebaran suplai beban, masih terdapat area-area yang mendapat suplai terlalu jauh dari sumbernya dan terdapat penyilangan jaringan antara gardu satu dengan gardu lainnya. Sedangkan dari segi pembebanan atau pemakaian daya listrik (kVA) sudah baik. Konstruksi jaringan SKTR UPI merupakan konstruksi tanam langsung dengan dimensi galian 60-80 cm. Rata-rata susut tegangan pada jaringan SKTR UPI yaitu 3,26 % untuk saluran dari gardu UPI 1; 3,88 % untuk saluran dari gardu UPI 2; 1,31% untuk saluran kabel dari gardu IKIP (PLN) Trafo 160 kVA; 1,05% untuk saluran kabel dari gardu IKIP (PLN) Trafo 400 kVA.

Jika dilihat dari besarnya susut tegangan tersebut, berarti jaringan SKTR UPI sudah sangat baik karena nilai susut tegangan pada jaringannya dibawah batas minimal yang ditetapkan PT. PLN yaitu +5% dan -10%. Rata-rata rugi-rugi daya pada jaringan SKTR UPI yaitu pada saluran gardu UPI 1 sebesar 0,345%, pada saluran dari gardu UPI 2 sebesar 0,319%; pada saluran dari gardu IKIP 160 kVA sebesar 0.241% dan pada saluran dari gardu IKIP 400 kVA sebesar 0.69%. Jika dilihat dari nilai rugi-

rugi daya tersebut, berarti jaringan SKTR UPI termasuk dalam kategori sangat baik karena rugi daya yang terjadi pada jaringannya tidak terlalu besar dan dibawah batas yang ditetapkan oleh PT. PLN yaitu +5% dan -10%. Apabila di rubah kedalam bentuk nominal UPI mengalami rugi rupiah sebesar untuk Gardu 1 sebesar Rp.118.150,-; Gardu UPI 2 sebesar Rp.240.809,-; Gardu IKIP (Trafo 160 kVA) sebesar Rp.18,413,-; dan Gardu IKIP (Trafo 400 kVA) sebesar Rp.21.201. Apabila setiap saluran dari gardu dijumlahkan maka rugi rupiah yang di alami UPI sebesar Rp.398.573,-.

#### REFERENSI

- [1] Siregar. (2011). Jaringan Distribusi Tenaga Listrik. Medan: USU.
- [2] Suswanto, Daman. (2009). Sistem Distribusi Tenaga Listrik. Padang: UNP.
- [3] Suhadi. Dkk. (2008). Teknik Distribusi Tenaga Listrik jilid 1. Jakarta: DPSMK.
- [4] Wibowo, Ratno. dkk. (2010). Buku 3 - Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Rendah Tenaga Listrik. Jakarta: PT. PLN (Persero).
- [5] Badan Standarisasi Nasional. (2000). Persyaratan Umum Instalasi Listrik. Jakarta: BSN.

# Analisis Variasi Parameter Backpropagation Artificial Neural Network dan Principal Component Analysis Terhadap Sistem Pengenalan Wajah

Ikhwannul Kholis, Syah Alam

Universitas 17 Agustus 1945

Jl. Sunter Permai Raya, Jakarta Utara 14350

Email: ikkholis27@gmail.com , syah.alam@uta45jakarta.ac.id

**Abstrak** - Pengenalan wajah dapat dilakukan dengan menggunakan metode *Backpropagation Artificial Neural Network (ANN)* dan *Principal Component Analysis (PCA)*. ANN dibuat menyerupai sistem syaraf manusia. Dengan beberapa parameter pada Backpropagation, dapat diketahui karakteristik Backpropagation sehingga dapat memperkecil error dan epoch serta memperbesar Recognition Rate. Hasil percobaan menunjukkan hubungan antara parameter eigenvalue, parameter alpha, dan koefisien momentum terhadap Recognition Rate yang diperoleh.

**Kata kunci** : ANN, Backpropagation, JST, Recognition Rate, Face Recognition, PCA.

**Abstract** - Face recognition can be done by using *Backpropagation Artificial Neural Network (ANN)* and *Principal Component Analysis (PCA)*. ANN is made to resemble the human neural system. By varying some parameters on backpropagation, backpropagation characteristics is known to minimize errors and epoch and enlarge Recognition Rate. The experimental results show the relationship between the parameters of eigenvalues, alpha, and coefficient of momentum, against the recognition rate obtained.

**Keyword** : ANN, Backpropagation, JST, Recognition Rate, Face Recognition, PCA.

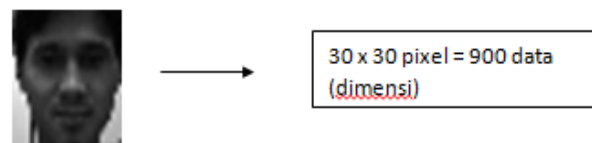
## I. PENDAHULUAN

Salah satu cabang dari AI (*Artificial Intelligence*) adalah apa yang dikenal dengan Jaringan Saraf Tiruan (*Artificial Neural Network*). Jaringan syaraf tiruan telah

dikembangkan sejak tahun 1940. Pada tahun 1943 McCulloch dan W.H.Pitts memperkenalkan pemodelan matematis neuron. Tahun 1949, Hebb mencoba mengkaji proses belajar yang dilakukan oleh neuron. Teori ini dikenal sebagai Hebbian Law. Tahun 1958, Rosenblatt memperkenalkan konsep perseptron suatu jaringan yang terdiri dari beberapa lapisan yang saling berhubungan melalui umpan maju (*feedforward*). Konsep ini dimaksudkan untuk memberikan ilustrasi tentang dasar-dasar intelegensi secara umum.

Hasil kerja Rosenblatt yang sangat penting adalah *perceptron convergence theorem* (tahun 1962) yang membuktikan bahwa bila setiap perseptron dapat memilah-milah dua buah pola yang berbeda maka siklus pelatihannya dapat dilakukan dalam jumlah yang terbatas.

Pengenalan wajah dapat dilakukan dengan menggunakan ANN Backpropagation dan *Principal Component Analysis (PCA)*. Data Face diambil dari sekumpulan foto-foto hitam putih yang terdiri dari 10 orang dengan masing-masingnya 10 foto. Data-data Face di sini menunjukkan nilai pixel pada foto tersebut.



Gambar 1. Data face

Dalam hal ini, hanya 30 x 30 parameter yang digunakan sehingga pada proses trainingnya dibutuhkan input sebanyak 900 unit. Data IRIS ini terdiri dari 900 dimensi dan 10 sampel di

mana terdapat sepuluh kelas sehingga banyaknya unit keluaran adalah 10.

## II. METODE

Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari tentang variasi parameter pembelajaran arsitektur jaringan saraf tiruan backpropagation dengan PCA untuk melakukan proses pengenalan wajah. Berikut deskripsi set data yang digunakan:

TABLE I. DESKRIPSI DATASET PENELITIAN

No	Nama Data	Jumlah Data	Jumlah Kelas	Jumlah Dimensi	Metode Uji
1	Face	100	10	Foto 30x30 pixel yang dijadikan matriks 900x1	Back Propagation dan PCA



Gambar 2. Data Face yang digunakan pada penelitian ini

Dengan menggunakan arsitektur jaringan saraf tiruan dilakukan percobaan pelatihan dan pengenalan data dengan rasio jumlah data training berbanding jumlah data testing adalah 50:50 dan 70:30. Pengamatan dilakukan pada seberapa banyak data yang berhasil dikenali (recognition rate) dengan parameter-parameter pembelajaran jaringan saraf tiruan yang divariasikan. Data-data dari set data tersebut dapat dilihat pada bagian lampiran.

Proses pelatihan dan pengujian dilakukan dengan perangkat lunak MATLAB R2009 dengan menggunakan fitur editor m.file pada MATLAB. Dengan MATLAB, dihasilkan pula grafik dari setiap eksperimen sehingga dapat diamati perbedaannya.

## III. PEMBAHASAN

### A. Pengertian Backpropagation

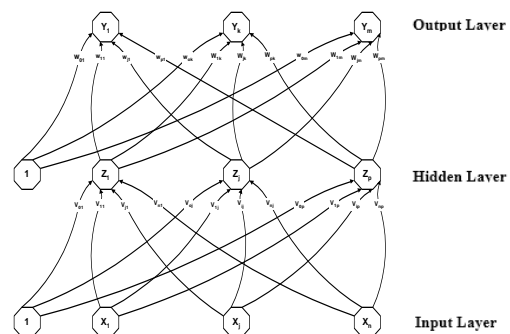
Jaringan Syaraf Tiruan (JST) merupakan salah satu sistem pemrosesan informasi atau

data yang didisain dengan menirukan cara kerja otak manusia dalam menyelesaikan suatu masalah dengan melakukan proses belajar melalui perubahan bobot sinapsisnya. Salah satu metode yang digunakan dalam JST adalah Backpropagation. Backpropagation adalah algoritma pembelajaran untuk memperkecil tingkat error dengan cara menyesuaikan bobotnya berdasarkan perbedaan output dan target yang diinginkan.

Backpropagation juga merupakan sebuah metode sistematis untuk pelatihan multilayer JST karena Backpropagation memiliki tiga layer dalam proses pelatihannya, yaitu input layer, hidden layer dan output layer, dimana backpropagation ini merupakan perkembangan dari *single layer network* (Jaringan Layer Tunggal) yang memiliki dua layer, yaitu input layer dan output layer.

Dengan adanya hidden layer pada backpropagation dapat menyebabkan tingkat error pada backpropagation lebih kecil dibanding tingkat error pada single layer network. Karena hidden layer pada backpropagation berfungsi sebagai tempat untuk mengupdate dan menyesuaikan bobot.

### B. Arsitektur Backpropagation



Gambar 3. Arsitektur ANN Backpropagation

dengan :

- $V_{ij}$  = Bobot pada lapisan tersembunyi (*hidden layer*)
- $V_{oj}$  = Bias pada lapisan tersembunyi (*hidden layer*)
- $W_{ij}$  = Bobot pada lapisan keluaran (*output layer*)
- $W_{oj}$  = Bias pada lapisan keluaran (*output layer*)
- $X$  = Lapisan masukan (*Input Layer*)
- $Y$  = Lapisan keluaran (*Output Layer*)
- $Z$  = Lapisan tersembunyi (*Hidden Layer*)



Pada *input layer* tidak terjadi proses komputasi, hanya terjadi pengiriman sinyal input ke *hidden layer*. Pada *hidden* dan *output layer* terjadi proses komputasi terhadap bobot dan bias dan dihitung pula besarnya *output* dari *hidden* dan *output layer* tersebut berdasarkan fungsi aktivasi. Dalam algoritma backpropagation ini digunakan fungsi aktivasi *sigmoid biner*, karena *output* yang diharapkan bernilai antara 0 sampai 1.

### C. Algoritma Backpropagation

#### 1) Inisialisasi bobot

Ada dua cara untuk menginisialisasi bobot, yaitu inisialisasi secara random dan inisialisasi dengan menggunakan Nguyen-Widrow. Inisialisasi acak merupakan cara yang paling sering digunakan dalam inisialisasi bobot. Pada inisialisasi bobot secara random, bobot diinisialisasi secara acak tanpa menggunakan faktor skala. Sedangkan, pada inisialisasi Nguyen-Widrow, inisialisasi dilakukan dengan memodifikasi inisialisasi acak dengan menggunakan faktor skala  $\beta$  dengan tujuan untuk mempercepat proses pelatihan.

Algoritma inisialisasi dengan Nguyen-Widrow adalah sebagai berikut :

- a. Menentukan besarnya skala  $\beta$ .

$$\beta = 0.7(p)^{1/n} \quad (1)$$

dengan  $p$  : jumlah unit hidden dan  $n$  : jumlah unit input.

- b. Inisialisasi bobot  $V_{ij}$  secara random dengan nilai inisialisasi  $V_{ij}$  adalah

$$-0.5 \leq V_{ij} \leq 0.5 \quad (2)$$

- c. Menghitung besarnya magnitude bobot  $V_{ij}$ .

$$\|V_{ij}\| = \sqrt{\left\{ \sum_{i=1}^p (V_{ij})^2 \right\}}$$

- d. Mengupdate bobot  $V_{ij}$ .

$$V_{ij} = \frac{\beta \cdot V_{ij}}{\|V_{ij}\|} \quad (4)$$

- e. Mengatur nilai bias  $V_{oj}$  sebesar

$$-\beta \leq V_{oj} \leq \beta \quad (5)$$

#### 2) Proses feed forward dan backpropagation

Pada dasarnya proses algoritma backpropagation terdiri dari komputasi maju (*feed forward*) dan komputasi balik (*backpropagation*).

Algoritma proses *feed forward* adalah sebagai berikut.

- a. Unit input ( $X_i, i=1,2,\dots,n$ )

1. Menerima input  $X_i$

2. Mengirimkannya ke semua unit *layer* di atasnya (*Hidden layer*).

- b. Unit Hidden ( $Z_j, j=1,2,\dots,n$ )

1. Menghitung semua sinyal input dengan bobotnya :

$$z\_in_j = V_{oj} + \sum X_i V_{ij} \quad (6)$$

2. Menghitung nilai aktivasi setiap unit hidden sebagai output unit *hidden*

$$Z_j = f(z\_in_j)$$

$$f(z\_in_j) = \frac{1}{1 + e^{-z\_in_j}}$$

3. Mengirim nilai aktivasi ke unit output.

- c. Unit Output ( $Y_k, k=1,2,\dots,n$ )

1. Menghitung semua sinyal inputnya dengan bobotnya :

$$y\_in_k = W_{ok} + \sum Z_j W_{jk} \quad (8)$$

2. Menghitung nilai aktivasi setiap unit output sebagai output jaringan.

$$Y_k = f(y\_in_k)$$

$$f(y\_in_k) = \frac{1}{1 + e^{-y\_in_k}} \quad (9)$$

Algoritma proses backpropagationnya adalah sebagai berikut :

- a. Unit Output ( $Y_k, k=1,2,\dots,m$ )

1. Menerima pola target yang bersesuaian dengan pola input

2. Menghitung informasi error :

$$\delta_k = (T_k - Y_k) f'(y\_in_k) \quad (10)$$

3. Menghitung besarnya koreksi bobot unit output :

$$\Delta W_{jk} = \alpha \frac{\partial E(W_{jk})}{\partial W_{jk}} = \alpha \delta_k z_j \quad (11)$$

4. Menghitung besarnya koreksi bias output :

$$\Delta W_{0k} = \alpha \delta_k \quad (12)$$

5. Mengirimkan  $\delta_k$  ke unit-unit yang ada pada layer di bawahnya, yaitu ke hidden layer.

b. Unit Hidden ( $Z_j, j=1,2,\dots,p$ )

1. Menghitung semua koreksi error :

$$\delta_{in_j} = \sum \delta_k W_{jk}$$

2. Menghitung nilai aktivasi koreksi error :  
 $\delta_j = \delta_{in_j} f'(z_{in_j}) \quad (14)$

3. Menghitung koreksi bobot unit hidden :

$$\Delta V_{ij} = \alpha \frac{\partial E(V_{ij})}{\partial V_{ij}} = \alpha \delta_j X_i$$

4. Menghitung koreksi error bias unit hidden:

$$\Delta V_{0j} = \alpha \delta_j \quad (16)$$

c. Update bobot dan bias

1. Unit Output ( $Y_k, k = 1,2,\dots,m$ )

• Mengupdate bobot dan biasnya ( $j = 0,\dots,p$ ) :

$$\begin{aligned} W_{jk} &= W_{jk} + \Delta W_{jk} \\ W_{0k} &= W_{0k} + \Delta W_{0k} \end{aligned} \quad (17)$$

2. Unit hidden ( $Z_j, j = 1,\dots,p$ )

• Mengupdate bobot dan biasnya ( $i = 0,\dots,n$ ) :

$$\begin{aligned} V_{ij} &= V_{ij} + \Delta V_{ij} \\ V_{0j} &= V_{0j} + \Delta V_{0j} \end{aligned} \quad (18)$$

### 3) Stopping Condition

Terdapat dua kondisi stopping pada algoritma backpropagation ini, yaitu :

a. Error < Error maksimum

Error adalah perbedaan yang terjadi antara output terhadap target yang diinginkan. Proses ANN akan berhenti jika besarnya error yang terjadi telah bernilai lebih kecil dari nilai error maksimum yang telah ditetapkan. Besarnya nilai error dihitung dengan menggunakan fungsi error kuadratis.

$$E = 0.5 \sum_{k=0}^k (T_k - Y_k)^2 \quad (19)$$

b. Epoch > Epoch maksimum

Epoch adalah suatu langkah yang dilakukan dalam pembelajaran pada ANN. Jika besarnya epoch lebih besar dari besarnya epoch maksimum yang telah ditetapkan, maka proses pembelajaran akan berhenti.

Kedua kondisi *stopping* di atas digunakan dengan logika **OR**. Jadi kondisi *stopping* terjadi jika besarnya **Error < Error maksimum** atau **Epoch > Epoch maksimum**.

### D. Faktor-Faktor Dalam Pembelajaran Backpropagation

Beberapa faktor yang mempengaruhi keberhasilan algoritma backpropagation, antara lain:

1. Inisialisasi bobot

Bobot awal menentukan apakah jaringan akan mencapai *global minima* atau *local minima* kesalahan, dan seberapa cepat jaringan akan konvergen.

2. Laju pembelajaran (*alpha*)

Laju pembelajaran merupakan parameter jaringan dalam mengendalikan proses penyesuaian bobot. Nilai laju pembelajaran yang optimal bergantung pada kasus yang dihadapi. Laju pembelajaran yang terlalu kecil menyebabkan konvergensi jaringan menjadi lebih lambat, sedangkan laju pembelajaran yang terlalu besar dapat menyebabkan ketidakstabilan pada jaringan.

3. Momentum (*miu*)

Momentum digunakan untuk mempercepat pelatihan jaringan. Metode momentum melibatkan penyesuaian bobot ditambah dengan faktor tertentu dari penyesuaian sebelumnya. Penyesuaian ini dinyatakan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Delta w_{jk}(t+1) &= \alpha \delta_k z_j + \mu \Delta w_{jk}(t) \\ \Delta w_{0k}(t+1) &= \alpha \delta_k z_j + \mu \Delta w_{0k}(t) \\ \Delta v_{ij}(t+1) &= \alpha \delta_j X_i + \mu \Delta v_{ij}(t) \\ \Delta v_{0j}(t+1) &= \alpha \delta_j X_i + \mu \Delta v_{0j}(t) \end{aligned} \quad (20)$$

Dengan menggunakan persamaan 17, 18, dan 20, Update bobot dengan momentum dirumuskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} W_{jk}(t+1) &= W_{jk}(t) + \alpha \delta_k z_j + \mu \Delta W_{jk}(t-1) \\ W_{0k}(t+1) &= W_{0k}(t) + \alpha \delta_k z_j + \mu \Delta W_{0k}(t-1) \\ V_{ij}(t+1) &= V_{ij}(t) + \alpha \delta_j X_i + \mu \Delta V_{ij}(t-1) \\ V_{0j}(t+1) &= V_{0j}(t) + \alpha \delta_j X_i + \mu \Delta V_{0j}(t-1) \end{aligned} \quad (21)$$

### E. PCA (Principal Component Analysis)

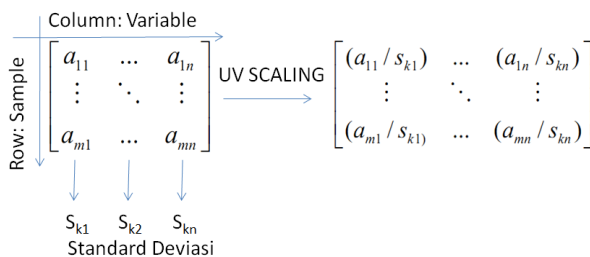
PCA (Principal Component Analysis) merupakan suatu teknik untuk menyederhanakan suatu dataset, dengan mengurangi dataset multidimensional ke dimensi yang lebih rendah dengan cara mengamabil bagian-bagian dimensi yang penting (orthogonal secara vektor). Tujuan dari PCA adalah mengurangi dimensionalitas data sambil tetap memelihara sebanyak mungkin variansi yang muncul dalam dataset.

Berikut adalah langkah-langkah dalam melakukan PCA:

#### a. Scaling

Proses Scaling bertujuan untuk membuat suatu dataset memiliki persebaran data yang lebih baik. Output dari proses scaling adalah suatu Matrix Auto Scaling, yang merupakan pengurangan dari Matrix UV Scaling dengan Matrix Mean Centering.

Matrix UV Scaling adalah matrix dataset yang telah dibagi dengan standar deviasi dari setiap dimensi (dalam hal ini dimensi diwakili oleh kolom). Berikut adalah ilustrasi matrix UV Scaling:



Gambar 4. Proses Scaling

Proses mean centering adalah proses pencarian nilai rata-rata setiap dimensi (dalam program yang dibuat diwakili dengan nama variable ). Setelah melakukan proses mean centering,

matrix UV scaling dikurangkan dengan nilai rata-rata sehingga terbentuk matrix autoscaling. Berikut adalah potongan program pca.m yang telah dibuat yang terdapat potongan proses scaling.

```

1 function [SD,X_ave,Xi_auto,T] = pca(Xi,L)
2 %Xi      matrix input
3 %L       dimensi akhir
4 %SD      Standar Deviasi
5 %X_ave   Rata-rata X
6 %Xi_auto Auto Scaling Marix
7
8 m = size(Xi,1); %m x n matrix, dapet m (baris)
9 n = size(Xi,2); %m x n matrix, dapet n (kolom)
10
11 %Scaling
12 SD = std(Xi); %standar deviasi
13
14 %UV Scaling process
15 for sampel_ke = 1:n
16     Xi_scaled(:,sampel_ke) = Xi(:,sampel_ke)/SD(sampel_ke);
17 end
18
19 %Mean Centering
20 X_ave = mean(Xi_scaled);
21
22 %Matrix auto
23 for sampel_ke = 1:n
24     Xi_auto(:,sampel_ke) = Xi_scaled(:,sampel_ke)-X_ave(sampel_ke);
25 end
    
```

Gambar 5. Program mfile Proses Scaling

Pada program yang pca.m yang telah dibuat, matrix Xi\_scaled merupakan matrix autoscaling, X\_ave merupakan nilai rata-rata untuk proses mean centering, dan Xi\_auto adalah matrix auto-scaling.

#### b. Menghitung Covariance Matrix

Covariance matrix dihitung dengan persamaan:

$$S = \left( \frac{1}{m-1} \right) X^T X = \text{cov}(X)$$

Pada MATLAB, nilai covariance matrix dapat dicari dengan menggunakan fungsi  $S=\text{cov}(X)$ , dengan X adalah matrix input dan S adalah covariance matrix.

#### c. Menghitung Nilai Eigen dan Vektor Eigen

Pencarian Nilai eigen dan vector eigen bertujuan untuk mengetahui sejauh mana dimensionalitas dataset dapat dipotong, dimensi yang memiliki eigen value yang besar adalah dimensi yang dinilai sangat penting dalam dataset. Pencarian eigen value dalam MATLAB dapat dilakukan dengan fungsi  $[P,A]=\text{eig}(S)$ , dengan S adalah matrix input, P merupakan vector eigen dan A merupakan nilai eigen.

d. Menghitung Score

Score merupakan nilai akhir dataset yang dapat mewakili dataset. Score dihitung dengan persamaan:

$$[X]([P]^T)^{-1} = [T]$$

Dimana X adalah *matrix autoscaling*, P merupakan eigen vector dan T merupakan score dari proses PCA. Berikut merupakan potongan program dari proses perhitungan *covariance matrix* sampai mendapatkan score.

```

27 %Covariance Matrix
28 S = cov(X1_auto)
29 [P,A] = eig(S)
30 A=sum(A,1);
31 figure;
32 plot(A,'o');
33 title('eigenvalue');
34
35 %Get Scores
36 A=A(:,n:-1:1);
37 P=P(:,n:-1:1);
38 M = inv(P');
39 %cek=size(M)
40 M = M(:,1:1);
41 T = (X1_auto*M);
42 end
    
```

Gambar 6. Program mfile Perhitungan *Covariance Matrix*

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada percobaan ini digunakan data wajah dari 10 orang (10 kelas) dengan masing-masing orang terdiri dari 10 foto yang berbeda. 1 foto orang memiliki dimensi gambar (foto) 30x30 pixel. Dimensi 30x30 pixel ini akan direntangkan menjadi sebuah matrix 900x1 yang akan diolah oleh input layer. Namun, karena dimensi yang cukup besar, akan dilakukan pereduksian dimensi dengan menggunakan metode PCA yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya.

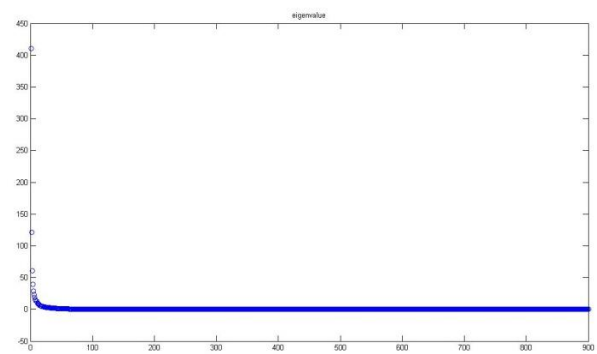
Pada percobaan ini variable terikat (yang akan diamati) adalah nilai persentase tingkat pengenalan rata-rata (average recognition rate), nilai error, epoh, dan waktu pelatihan. Sedangkan *variable* bebas yang diubah-ubah adalah jumlah dimensi PCA, alpha, koefisien momentum, mode inialisasi, jumlah hidden neuron, jumlah epoh, dan nilai error minimum. Percobaan dilakukan dengan variasi data training : data testing 50:50 dan 70:30. Nilai awal untuk masing-masing parameter adalah sebagai berikut:

alpha = 0.2; hidden neuron = 30; koef. Momentum=0.2; epoh max= 10000; error min= 0.01; metode inialisasi = nguyen widrow.

Berikut adalah hasil dan analisis dari percobaan-percobaan yang dilakukan

a. Pengaruh perubahan dimensi pemotongan PCA

Pada percobaan ini dilakukan variasi perubahan nilai dimensi PCA dengan rentang dimensi dari 10-50 dengan interval 10 dimensi. Pemotongan data ini dilakukan berdasarkan nilai eigenvalue yang semakin kecil ketika dimensi semakin besar. Berikut grafik eigenvalue yang dihasilkan data Face Recognition.



Gambar 7. Eigenvalue

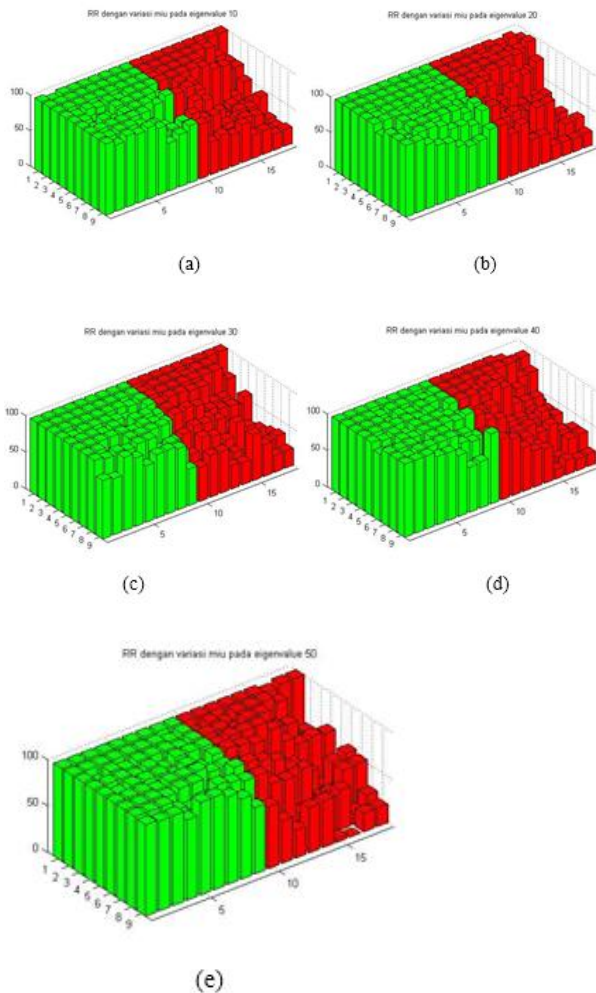
Kemudian, diperoleh hasil dari pelatihan dan pengujian adalah sebagai berikut.

TABLE II. HASIL PENGUJIAN VARIASI PARAMETER EIGENVALUE

eigenvalue = 10		eigenvalue = 20		eigenvalue = 30		eigenvalue = 40		eigenvalue = 50	
RRTR	RRTS	RRTR	RRTS	RRTR	RRTS	RRTR	RRTS	RRTR	RRTS
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
100	100	100	100	100	100	100	96,667	100	100
100	100	100	100	100	100	100	93,333	100	96,667
100	96,667	100	100	100	100	100	100	100	96,667
91	90	100	96,667	100	96,667	100	93,333	100	100
100	93,333	100	96,667	100	100	100	96,667	100	96,667
100	100	100	100	85,714	80	100	90	100	96,667
100	100	100	100	100	96,667	100	100	100	90
100	96,667	90	83,333	100	93,333	100	93,333	97,143	86,667

Keterangan :

RRTR : Recognition Rate data Training (Grafik Hijau)  
 RRTS : Recognition Rate data Testing (Grafik Merah)



Gambar 8. Grafik Hasil Pengujian Variasi parameter Eigenvalue (a) Eigenvalue = 10, (b) Eigenvalue = 20, (c) Eigenvalue = 30, (d) Eigenvalue = 40, (e) Eigenvalue = 50

Dari hasil nilai recognition rate pada table dan grafik di atas dapat diamati bahwa nilai pemotongan dimensi PCA ini optimal pada pemotongan 30 dimensi. Hal ini berarti 30 dimensi hasil pemotongan PCA cukup untuk mewakili keseluruhan dimensi (900 dimensi). Dapat dilihat pula bahwa semakin tinggi dimensi PCA waktu pelatihan semakin bertambah. Hal ini sangat logis, karena semakin tinggi dimensi pemotongan, komputasi pada neuron-neuron lebih banyak. Karena pada percobaan didapatkan nilai dimensi optimal adalah 30, untuk percobaan selanjutnya akan digunakan nilai dimensi PCA 30.

b. Pengaruh perubahan alpha (Laju Pembelajaran) dan mu (momentum)

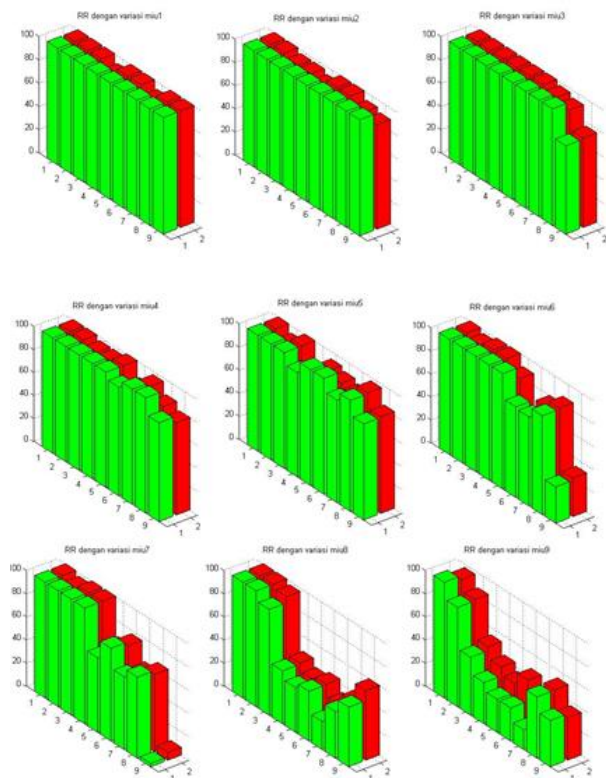
Pada percobaan ini dilakukan variasi perubahan nilai alpha dan mu dengan rentang dari 0,1-0,9 dengan interval 0,1. Berikut adalah data hasil dari eksperimen.

mu	0.1		0.2		0.3		0.4		0.5		0.6		0.7		0.8		0.9		
	RRTR	RRTS	RRTR	RRTS	RRTR	RRTS	RRTR	RRTS	RRTR	RRTS	RRTR	RRTS	RRTR	RRTS	RRTR	RRTS	RRTR	RRTS	
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96,67
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	93,33	100	96,67	100	96,67	100	100	86	86,67	
0.3	100	100	100	96,67	100	100	100	96,67	100	100	100	100	100	100	91,43	97	50	53,33	
0.4	100	93,33	100	96,67	100	100	100	96,67	90	83,33	100	100	100	100	46	46,67	36	43,33	
0.5	100	100	100	93,33	100	100	100	100	100	93,33	100	90	64,29	67	39	40	29	36,67	
0.6	100	100	100	100	100	100	94,29	86,67	100	90	78,57	60	80	77	42,86	43	29	46,67	
0.7	100	93,33	100	100	100	97	100	96,67	88,57	87	77,14	80	63	60	24	33	17	13,33	
0.8	100	100	100	93,33	100	93,33	100	87	96	97	85,71	87	70	67	40	43	53	53,33	
0.9	100	100	100	90	76	76,67	86	80	83	83	31	33,33	3	6,667	51	60	40	36,67	

Keterangan :

RRTR : Recognition Rate data Training (grafik hijau)

RRTS : Recognition Rate data Testing (grafik merah)



Gambar 9. Grafik Hasil Pengujian variasi parameter laju pembelajaran dan koefisien momentum

Dari hasil nilai recognition rate pada table dan grafik di atas dapat diamati bahwa nilai laju pembelajaran ini optimal pada nilai 0,2. Pada variasi mu, terlihat bahwa nilai momentum yang paling optimal terdapat pada nilai 0,2. Dapat dilihat pula bahwa semakin tinggi dimensi PCA waktu pelatihan semakin berkurang. Hal ini sangat logis, karena semakin

tinggi laju pembelajaran, kecepatan data untuk menuju konvergen lebih cepat, tetapi kurang stabil. Semakin besar Alpha dan momentum, walaupun proses waktu pelatihan semakin cepat, namun Recognition Rate akan semakin turun karena error dapat masuk ke *local minima*. Karena pada percobaan didapatkan nilai laju pembelajaran optimal adalah 0.2 dan momentum optimal adalah 0.2, untuk percobaan selanjutnya akan digunakan nilai alpha 0.2 dan nilai miu 0.2.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan untuk Pengenalan wajah dengan menggunakan metode Backpropagation ANN dan PCA, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. nilai recognition bervariasi mulai dari 40 % hingga 100%, namun sebagian besar nilai recognition rate untuk tiap-tiap kelas adalah 100 %. Nilai optimal berada pada nilai eigenvalue 30, alpha 0.2 dan miu 0.2.
2. Untuk memperoleh nilai eigenvalue terbaik, diperlukan perhitungan score sehingga diperoleh grafik eigenvalue. Pemotongan dimensi dilakukan sesuai dengan banyaknya nilai eigenvalue yang berarti.
3. Semakin kecil alpha, Semakin besar nilai Recognition Rate.
4. Semakin kecil miu, semakin besar nilai Recognition Rate.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jong Min Kim, Myung-A Kang. "A Study of Face Recognition using the PCA and Error-Backpropagation." *IEEE*, 2010.
- [2] Kusumadewi, Sri. "Analisis Jaringan Syaraf Tiruan dengan Metode Backpropagation untuk Mendeteksi Gangguan Psikologi." *Media Informatika*, 2004: 1-14.
- [3] Kusumoputro, Benyamin. *Jaringan Neural Buatan, Ed. 1*. Jakarta: Universitas Indonesia, 2001.
- [4] Marzuki. "Multilayer Neural Network and the Backpropagation Algorithm." *Lecture Material*. Kuala Lumpur: UTM, n.d.

# Rancang Bangun Sistem Kontrol Beban dan Akuisisi Data Berbasis Web dengan menggunakan Single Board Computer

Irfan Firnandi, Jaja Kustija, Bambang Trisno  
Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan  
Universitas Pendidikan Indonesia  
Jalan Dr. Setiabudhi nomor 229 Bandung 40154  
e-mail: [firnandi.irfan@gmail.com](mailto:firnandi.irfan@gmail.com)

**Abstrak**— Kontrol beban dan akuisisi data pada penelitian ini dirancang untuk dapat diakses dengan menggunakan interface halaman web. Cara kerja dari sistem akuisisi data adalah membaca data analog dari tegangan dan arus dengan menggunakan adaptor dan sensor arus ACS712, kemudian diproses oleh Arduino dan ditampilkan ke halaman web oleh SBC Raspberry Pi, halaman web tersebut akan memuat grafik realtime pembacaan tegangan, arus dan daya semu, dan cara kerja dari sistem kontrol adalah mengendalikan langsung pin SBC Raspberry Pi melalui interface web yang kemudian akan menghidupkan relay yang telah tersambung ke beban listrik. Sistem yang diteliti ini menggunakan WiFi USB atau kabel LAN untuk tersambung ke jaringan intranet sehingga alamat halaman web dapat diakses oleh perangkat lain yang terhubung dengan jaringan intranet.

**Keywords**— *interface halaman web, arus, tegangan, daya semu, grafik realtime.*

**Abstract**— *Load control and data acquisition in this research designed to be accessible with web page interface. The working of data acquisition is reading analog data from voltage and current by using Adaptor and current sensor ACS712 which is then processed by Arduino and will show in web page with SBC Raspberry Pi, the web page will showing realtime chart from voltage, current and apparent power, and the workings of the control*

*system is direct control SBC Raspberry Pi pin with interface web which then will turn on relay which has connected with the electricity load. The system which researched using WiFi USB or LAN cable for connected to intranet network that cause address of web page can be access by other devices connected to the intranet network.*

**Keywords:** *web page interface, current, voltage, apparent power, realtime chart*

## I. PENDAHULUAN

Seiring meningkatnya pertumbuhan dan kesejahteraan masyarakat membuat kebutuhan energi listrik juga terus meningkat [1]. kondisi tersebut menyebabkan energi listrik secara tidak langsung telah menjadi kebutuhan primer manusia setelah sandang, pangan dan papan. Kondisi kebutuhan listrik tersebut menuntut manusia untuk mengawasi setiap alat yang beroperasi pada sistem pembangkitan listrik untuk tetap bekerja dengan baik. Terdapat beragam sistem pengawasan yang dapat mengirimkan data dari kondisi alat yang diawasi menuju ke pusat pengendali, mulai dari kabel, radio frequency (RF) ataupun menggunakan sistem berbasis web.

Penggunaan sistem berbasis web lebih menguntungkan jika dibandingkan dengan sistem yang lain, karena aksesnya yang relatif cepat dan dapat digunakan dalam jarak yang relatif jauh, namun sistem yang berbasis web ini

memerlukan web server yang berfungsi sebagai media pertukaran data yang terjadi dari halaman web dengan sistem kendali pusat. Web server yang biasa digunakan adalah Personal Computer (PC), namun PC dirasa membutuhkan daya yang relatif besar, sehingga Single Board Computer (SBC) dipilih sebagai web server menggantikan PC karena kebutuhan konsumsi daya yang digunakan tidak sebesar PC. Dari pemaparan yang telah disebutkan sebelumnya, penelitian ini bertujuan untuk membuat suatu sistem kontrol dan akuisisi data berbasis web dengan menggunakan SBC sebagai web server.

#### A. Kontrol Beban dan Akuisisi Data Berbasis web

Kontrol beban atau sistem kontrol adalah proses pengendalian terhadap suatu atau beberapa besaran sehingga berada pada suatu nilai atau suatu range tertentu. Ditinjau dari segi peralatan, sistem kontrol terdiri dari alat mekanik dan elektronik yang digunakan untuk mengarahkan aliran energi ke suatu mesin atau proses agar dapat menghasilkan hasil yang diinginkan [2].

Sistem akuisisi data dapat didefinisikan sebagai suatu sistem yang berfungsi untuk mengambil, mengumpulkan dan menyiapkan data, hingga memprosesnya untuk menghasilkan data yang dikehendaki. Jenis serta metode yang dipilih pada umumnya bertujuan untuk menyederhanakan setiap langkah yang dilaksanakan pada keseluruhan proses. Suatu sistem akuisisi data pada umumnya dibentuk sedemikian rupa sehingga sistem tersebut berfungsi untuk mengambil, mengumpulkan dan menyimpan data dalam bentuk yang siap untuk diproses lebih lanjut [5].

Situs web adalah suatu halaman web yang saling berhubungan yang umumnya berada pada peladen yang sama berisikan kumpulan informasi yang disediakan secara perorangan, kelompok, atau organisasi. Sebuah situs web biasanya ditempatkan setidaknya pada sebuah server web yang dapat diakses melalui jaringan seperti Internet, ataupun jaringan wilayah lokal (LAN) melalui alamat Internet yang dikenali sebagai URL.

Gambaran secara umum dari sistem yang diteliti adalah dimana sistem dapat

mengontrol beban dengan menggunakan interface halaman web dan sistem dapat mengakuisisi data analog dari perubahan tegangan yang terjadi dari sensor tegangan dan sensor arus yang kemudian diproses oleh Arduino dan ditampilkan ke halaman web oleh SBC Raspberry dan dapat diakses dengan jaringan intranet dengan bantuan WiFi USB yang dihubungkan ke SBC Raspberry. WiFi USB tersebut berfungsi agar data akses yang dilakukan dari luar SBC dapat terhubung dengan sistem.

#### B. Sensor Arus ACS712

ACS712 merupakan IC yang berfungsi sebagai sensor arus dan menggantikan trafo arus yang relatif besar dalam bentuk fisiknya. Pada prinsipnya sensor arus ACS712 adalah sama dengan sensor efek hall lainnya yaitu memanfaatkan medan magnetik yang ada di sekitar arus yang akan diubah menjadi tegangan yang linier dengan perubahan arus. Cara kerja sensor ini adalah arus yang dibaca mengalir melalui kabel tembaga yang terdapat di dalamnya yang menghasilkan medan magnet yang ditangkap oleh integrated Hall IC dan diubah menjadi tegangan proporsional.

#### C. Sensor Tegangan

Sensor tegangan adalah sebuah transformer AC step-down, yang kemudian disearahkan dengan penyearah gelombang penuh [3]. Penggunaan tersebut merubah tegangan AC menjadi tegangan DC agar dapat terbaca oleh mikrokontroler di *board* Arduino.

#### D. Arduino Uno

Arduino Uno adalah *mikrokontroler board* berbasis ATmega328P. *Board* ini memiliki 14 digital input/output pin (dimana 6 pin dapat digunakan sebagai PWM output), 6 analog input, 16 Mhz quartz crystal, koneksi USB, *power jack*, ICSP header dan sebuah tombol reset. *Board* ini berisi berbagai hal yang dibutuhkan untuk mendukung mikrokontroler, mudahnya adalah sambungkan *board* tersebut ke komputer dengan kabel USB atau gunakan sumber dengan AC – DC adaptor atau baterai untuk memulai. Arduino diprogram dengan menggunakan software Arduino IDE menggunakan bahasa C atau C++.



### E. Single Board Computer (SBC) Raspberry Pi Model B+

Raspberry Pi merupakan sebuah komputer yang berukuran kecil yang dapat digunakan seperti sebuah *Personal Computer* (PC). Layaknya sebuah PC, Raspberry Pi membutuhkan *Operating System* (OS) agar dapat digunakan. OS ini disimpan dalam *Secure Digital* (SD) Card yang digunakan juga untuk media penyimpanan data seperti halnya *Hard Disk* [4]. Raspberry Pi yang original berbasis Broadcom BCM2835 system *on a chip* (Soc) yang tertanam prosesor ARM1176JZF-S 700 MHz, VideoCoreIV GPU, dan diluncurkan dengan 256 MB RAM yang kemudian di upgrade menjadi 512 MB di model B dan B+.

Raspberry Pi model B+ menggunakan sistem operasi berbasis Linux dan merekomendasikan Raspbian sebagai sistem operasinya. *Python* tersedia sebagai bahasa programming utama, yang menunjang *BBC BASIC*, *C*, *C++*, *Java*, *Perl* dan *Ruby*.

## II. METODE

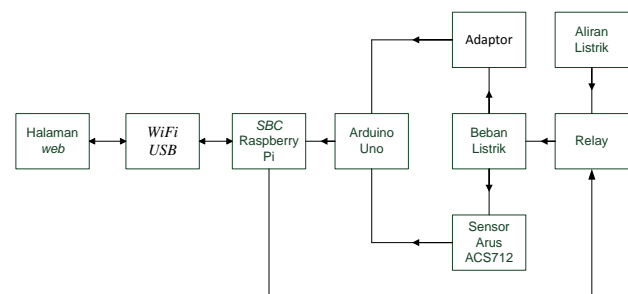
Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen (uji coba). Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah membuat suatu alat yang dapat mengendalikan suatu beban listrik dan menerima data dari rangkaian sensor tegangan dan sensor arus yang akan ditampilkan melalui interfacing halaman web. Penelitian eksperimen ini dilakukan pada perancangan sistem, baik pada perancangan perangkat keras (hardware) maupun perancangan perangkat lunak (software) dari alat ini.

Pembuatan alat dimulai dengan pembuatan kontrol beban. Dalam proses pembuatannya menggunakan relay dan Raspberry Pi sebagai controller dan web server. Pembuatan dimulai dengan membuat script program interface halaman web localhost yang langsung dapat berinteraksi dengan relay melalui Raspberry Pi, namun masih belum terhubung dengan koneksi intranet.

Setelah pembuatan kontrol beban selesai, selanjutnya dibuatlah program akuisisi data pada Arduino dengan menggunakan Arduino IDE. Setelah program selesai, kemudian dibuatlah

program akuisisi data pada Raspberry Pi. Data yang masuk ke Raspberry Pi akan dimasukkan ke dalam database untuk kemudian ditampilkan di halaman web. Setelah selesai maka dilanjutkan dengan pengujian sistem secara keseluruhan hingga sistem dapat dihubungkan dengan jaringan intranet. Setelah pengujian maka tahap selanjutnya adalah analisis dari keseluruhan alat dan sistem yang bertujuan agar kekurangan serta kemampuan alat dapat diketahui lebih lanjut.

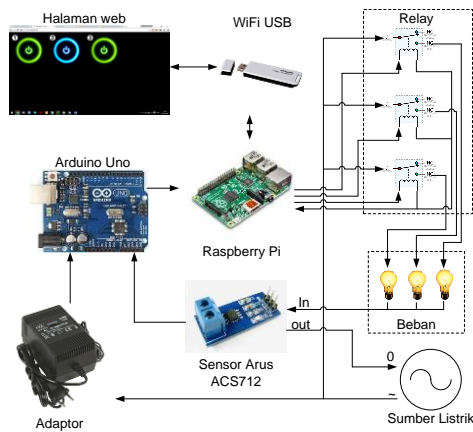
Salah satu sistem dalam rangkaian sistem yang diteliti bekerja berdasarkan prinsip dari daya listrik. Sebuah sensor tegangan dan sensor arus akan dibaca nilainya, setelah data dari sensor arus dan sensor tegangan didapatkan, data tersebut kemudian diproses dengan menggunakan prinsip daya listrik, yaitu dengan mengalikan nilai tegangan dan arus yang didapatkan (lihat Gambar 1). Sensor-sensor tersebut terhubung dengan pin ADC yang terdapat pada Arduino, setelah data penggunaan listrik didapatkan, Arduino akan mengirimkan data tersebut ke Raspberry Pi. Setelah data diterima oleh Raspberry Pi, data tersebut akan disimpan ke dalam database yang berada dalam Raspberry Pi, data dari database tersebut kemudian akan dikirim menuju server yang selanjutnya akan ditampilkan dalam halaman web dengan menggunakan WiFi USB sebagai perantara antara Raspberry Pi dengan jaringan intranet. Skematik rangkaian keseluruhan sistem terdapat pada Gambar 2.



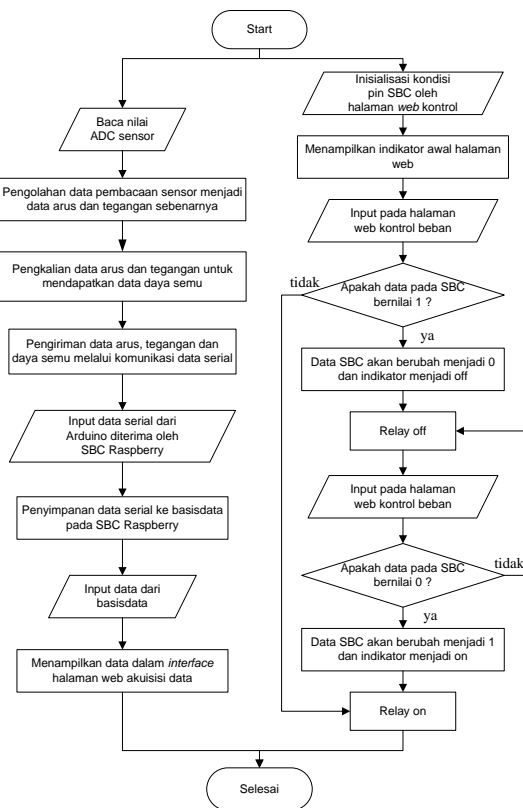
Gambar 1. Prinsip Kerja Sistem Kontrol Beban

Penggunaan kontrol beban yang digunakan menggunakan input langsung dari halaman *web*, halaman *web* tersebut mendefinisikan pin yang terdapat pada Raspberry Pi dalam keadaan *off*, namun ketika salah satu dari gambar yang bernama *green.jpg* di klik, membuat pin yang

terhubung dengan relay dalam Raspberry Pi menjadi *on* sehingga aliran listrik terhubung dan membuat gambar *green.jpg* berubah menjadi *red.jpg*, tombol *red.jpg* juga akan berubah menjadi *green.jpg* apabila di klik dan yang akan menyebabkan relay menjadi *off* sehingga aliran listrik terputus apabila di klik. Pada halaman *web* terdapat tiga tombol *green.jpg* berubah ketika di klik. Diagram alir pemrograman terlihat pada Gambar 3.



Gambar 2. Skematik rangkaian secara keseluruhan



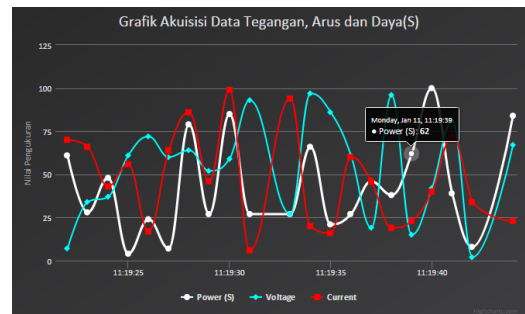
Gambar 3. Diagram alir sistem pemrograman

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam perancangan yang telah dibuat penelitian ini membagi alat ini menjadi dua bagian. Bagian tersebut adalah bagian kontrol beban dan bagian akuisisi data. Hasil pembuatan dari perancangan yang telah dibuat terlihat pada Gambar 4.



(a)



(b)

Gambar 4. (a) tampilan halaman web kontrol beban dan (b) tampilan halaman web akuisisi data

Untuk mendapatkan simulasi yang baik mengenai cara kerja alat yang telah dirancang, penulis menambahkan komponen mekanik. Komponen mekanik tersebut adalah miniatur rumah. Adapun gambar hasil pembuatan miniatur rumah tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Miniatur rumah sebagai alat peraga simulasi

### A. Pengujian kontrol beban dengan SBC melalui interface web

Perancangan sistem menggunakan *web* sebagai *interfacing* antara *user* dengan beban. *Interface web* yang digunakan akan mengontrol langsung pin SBC Raspberry yang terhubung dengan relay. Pengujian ini (Tabel 1) dilakukan dengan cara melakukan *click* pada ketiga gambar tombol pada *web*, ketika gambar tombol tersebut di *click* maka gambar tersebut akan berubah sesuai dengan kondisi dari beban.

TABEL 1. HASIL PENGUJIAN KONTROL BEBAN

Pengujian ke -	Indikator 1	Indikator 2	Indikator 3	Keterangan
1	ON	ON	ON	Ketiga beban on
2	OFF	OFF	OFF	Ketiga beban off
3	ON	OFF	OFF	Beban 1 on, beban 2 dan beban 3 off
4	OFF	ON	OFF	Beban 2 on, beban 1 dan beban 3 off
5	OFF	OFF	ON	Beban 3 on, beban 1 dan beban 2 off

Dalam lima kali percobaan dengan beberapa kondisi beban pada relay dapat diaktifkan dan dinonaktifkan terhadap sumber listrik, dalam lima percobaan yang dilakukan tersebut seluruhnya berhasil. Beban dihubungkan dengan relay yang dikontrol oleh SBC Raspberry Pi dengan melalui pin 0,1 dan 2 yang terhubung dengan ketiga tombol yang terdapat dalam halaman *web* kontrol beban, ketika gambar dalam halaman *web* berubah, maka kondisi pada pin Raspberry akan berubah juga.

Kondisi yang telah disebutkan sebelumnya adalah kondisi *on*, dimana pin yang digunakan akan mengeluarkan tegangan 5 VDC yang kemudian menyalakan relay yang ditandai dengan gambar indikator dalam halaman *web* berwarna hijau, sedangkan kondisi *off* ditandai dengan pin yang digunakan tidak akan mengeluarkan tegangan yang menyebabkan relay dalam kondisi *off* dan gambar indikator dalam halaman *web* akan menjadi berwarna biru.

### B. Pengujian pemrograman pembacaan tegangan, arus dan daya semu

Pada pengujian pengukuran tegangan, arus dan daya semu ini menggunakan adaptor 220 VAC – 5 VDC sebagai sensor tegangan dan ACS712 sebagai sensor arus yang dihubungkan ke Arduino sebagai pengolah data pembacaan dari sensor. Pengujian yang dilakukan ini membandingkan data pengukuran dari sensor yang digunakan dengan *multitester*, sedangkan pembacaan untuk daya semu, peneliti menggunakan perhitungan manual dengan cara mengkalikan tegangan pembacaan sensor dengan arus pembacaan sensor.

Pembacaan nilai untuk pengujian sensor arus adalah dengan cara menghubungkan listrik dengan *rheostat*, lalu arus yang mengalir diukur dengan *multitester*, sedangkan untuk pengujian pembacaan tegangan dilakukan dengan cara membaca tegangan sumber dari sumber oleh Adaptor dan *multitester*.

TABEL II. HASIL PERBANDINGAN PENGUJIAN PEMBACAAN TEGANGAN

Pengujian ke-	$V_{\text{sensor}}$	$V_{\text{multitester}}$	Error (%)
1	226.5	226.9	0.18
2	226	225.6	0.18
3	226.15	228.5	1.03
4	226	226	0.00
5	226.98	229	0.88
6	227.5	228.5	0.44
7	228.85	228.6	0.11
8	227.8	228	0.09
9	227.98	229	0.45
10	228.46	228.8	0.15
Rata-rata error			0.35

Hasil pengujian terhadap pembacaan terhadap sensor arus ACS712 dan sensor tegangan Adaptor 220 VAC – 5 VDC dilakukan dengan sepuluh kali percobaan pengujian, dalam sepuluh kali pengujian tersebut pengujian sensor tegangan memiliki rata-rata *error* sebesar 0.35%, *error* yang terjadi memiliki rentang dari 0.11% hingga 1.03%, sedangkan pengujian terhadap sensor arus memiliki rata-rata *error* sebesar 0.95%, *error* yang terjadi memiliki rentang dari 0.66% hingga 1.60%. Hasil-hasil

pengujian terlihat pada Tabel II, Tabel III dan Tabel IV.

TABEL III. HASIL PERBANDINGAN PENGUJIAN PEMBACAAN ARUS

Pengujian ke-	Nilai Rheostat (Ohm)	I <sub>sensor</sub> (A)	I <sub>multi</sub> (A)	Error (%)
1	188.4	1.2	1.19	0.84
2	178.5	1.24	1.23	0.81
3	175.5	1.27	1.25	1.60
4	172	1.36	1.35	0.74
5	170.8	1.33	1.32	0.76
6	161.8	1.39	1.38	0.72
7	157.4	1.44	1.41	1.41
8	153	1.46	1.45	0.69
9	147.5	1.53	1.52	0.66
10	139.6	1.62	1.6	1.25
Rata-rata error				0.95

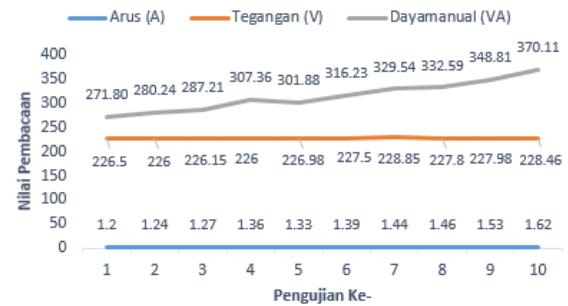
TABEL IV. HASIL PEMBACAAN PENGUKURAN DAYA SEMU

Pengujian ke-	I <sub>sensor</sub> (A)	V <sub>sensor</sub> (V)	Dayamanual (VA)
1	1.2	226.5	271.80
2	1.24	226	280.24
3	1.27	226.15	287.21
4	1.36	226	307.36
5	1.33	226.98	301.88
6	1.39	227.5	316.23
7	1.44	228.85	329.54
8	1.46	227.8	332.59
9	1.53	227.98	348.81
10	1.62	228.46	370.11

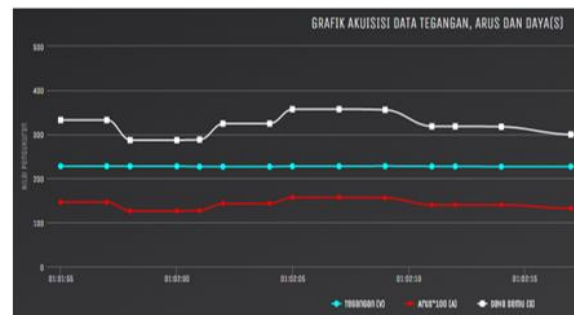
Data dari hasil pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini kemudian digunakan sebagai data untuk menemukan hasil daya semu dengan cara mengkalikan data pembacaan sensor arus dengan data pembacaan sensor tegangan, dari keseluruhan pengujian daya yang berhasil didapatkan memiliki rentang 273.6 VA hingga 533.52 VA. Grafik hasil akuisisi data terlihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.

Berdasarkan analisis yang dilakukan dalam penelitian ini pembacaan data daya semu yang dilakukan dengan mengkalikan hasil pembacaan arus dan tegangan yang dilakukan oleh sensor berdasarkan definisi daya semu yaitu  $S = \bar{V} \bar{I}^*$ . Error yang didapatkan dalam

hasil pembacaan menggunakan sensor terjadi karena disebabkan oleh pembacaan data sensor yang dibaca secara *realtime*, pembacaan data sensor yang dibaca secara *realtime* tersebut menyebabkan *delay* pada sampling pembacaan data sensor sehingga proses rata-rata sampling mempengaruhi hasil pembacaan.



Gambar 6. Hasil akuisisi data tegangan, arus dan daya



Gambar 7. Grafik akuisisi data pada halaman web

Keterangan :

- Sumbu horizontal = waktu
- Sumbu vertikal = Nilai pembacaan
- = Daya semu (VA)
- = Tegangan (V)
- = Arus (A)

Data pembacaan akan semakin presisi ketika data untuk sampling dibuat lebih banyak dan waktu sampling dibuat lebih lama, namun hal tersebut akan berpengaruh kepada waktu proses pembacaan data sensor pada Arduino, dengan sampling dan waktu sampling yang digunakan saat ini, Arduino membutuhkan waktu 2.5 detik untuk memberikan hasil pembacaan sensor yang digunakan.

#### IV. KESIMPULAN

Sistem yang berbasis *web* yang dapat mengontrol dan mengakuisisi data dengan menggunakan *Single Board Computer* (SBC) telah berhasil dibuat dengan menggunakan SBC Raspberry Pi model B+. *Interfacing* kontrol beban dan *interfacing* akuisisi data berbasis *web* telah selesai dibuat, pembuatan menggunakan bahasa C, Python, PHP, HTML dan Javascript. Sistem kontrol beban dan akuisisi data berbasis *web* dengan menggunakan *Single Board Computer* (SBC) yang dapat berinteraksi dengan menggunakan jaringan intranet telah berhasil dibuat dengan arus pembacaan maksimal 5 ampere.

#### REFERENSI

- [1] Arihutomo, M., & Rivai, M. (2012). Sistem monitoring arus listrik jala-jala menggunakan Power Line Carrier. *Jurnal Teknik ITS*, 1(1), 150–153.
- [2] Batubara, F. R. (2005). Sistem Akuisisi Data. *Teknik Elektro ENSIKOM*, 3, 1–4.
- [3] Kuswanto, H. (2010). *Alat ukur listrik ac (arus, tegangan, daya) dengan port paralel*. Universitas Sebelas Maret.
- [4] Prima Haryo Prabowo, I., Nugroho, S., & Utomo, D. (2014). Penggunaan Raspberry Pi sebagai *web* server pada rumah untuk sistem pengendali lampu jarak jauh dan pemantau suhu. *Techne Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, 13(1), 111–124.
- [5] Rahmiati. (2015). *Desain Dan Pembuatan Kontrol Otomatis Beban Listrik Rumah Tangga Berbasis Mikrokontroler*. Universitas Kuala Darussalam.

# Pengembangan Lapisan Mode Gerak Agen pada Robot Soccer

Mindit Eriyadi

Program Studi Teknik Elektro  
Politeknik Enjinering Indorama  
Kembang Kuning, Ubrug Jatiluhur, Purwakarta, INDONESIA  
[mindit.eri@gmail.com](mailto:mindit.eri@gmail.com)

**Abstrak**— Sepakbola robot adalah sebuah proyek internasional yang bertujuan untuk mendukung penelitian-penelitian di bidang sistem kecerdasan buatan, robotika, independent agent, dan disiplin ilmu terkait lainnya. Penelitian ini secara umum bertujuan untuk merancang bangun sebuah sistem mirosot dengan pengembangan disisi host menjadi client server system. Secara khusus bertujuan untuk mengembangkan konsep lapisan mode gerak agen robot sepakbola. Selanjutnya lapisan mode gerak agen robot sepakbola ini digunakan untuk mengembangkan kemampuan agen dan tim. Lapisan mode gerak agen robot merupakan salah satu bagian dalam rancang bangun tim robot sepakbola. Lapisan mode gerak agen robot telah didesain dan diimplementasikan dalam bentuk lapisan – lapisan mode gerak agen robot. Setiap lapisan mode gerak agen robot dapat digunakan sesuai dengan lingkungan dan target yang dikehendaki. Desain lapisan mode gerak agen dilakukan dengan membagi mode gerak agen kedalam beberapa lapisan gerak dengan tujuan untuk memudahkan pengujian, implementasi dan pengembangan. Penelitian ini telah menghasilkan desain total 20 mode gerak yang terbagi dalam 3 lapisan gerak agen robot.

**Keywords:** *Sepakbola robot, kecerdasan buatan, lapisan mode gerak robot, agen robot sepakbola.*

**Abstract**— *Soccer robot is an international project that aims to support research in the field of artificial intelligence systems, robotics, independent agent, and other disciplines that have linkages with the things mentioned above. This*

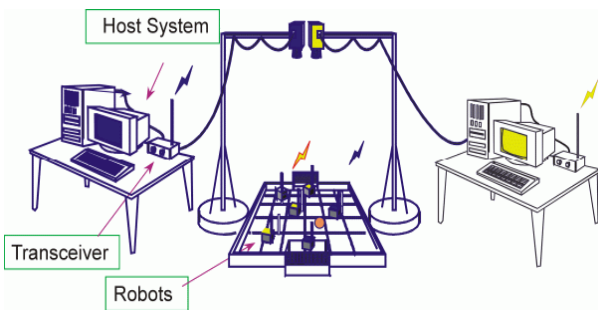
*research aims to design generally wake a system mirosot the host side development into a client server system. Specifically aims to develop the concept of motion modes coating robot soccer agent. The next layer motion mode robot soccer agent is used to develop the ability of the agent and the team. Coating agent robot motion mode is one part in the design of the robot soccer team. Coating agent robot motion mode has been designed and implemented in the form of layers - layer agent robot motion mode. Each layer motion mode robot agent can be used in accordance with the environment and the desired targets. Design coating agent motion mode is done by dividing the motion mode agent into several layers of motion with the aim to facilitate the testing, implementation and development. This research has resulted in the design of a total of 20 modes of motion are divided into 3 layers motion robot agent.*

**Keywords:** *robot soccer, artificial intelligence, robot motion modes layer, agent robot soccer.*

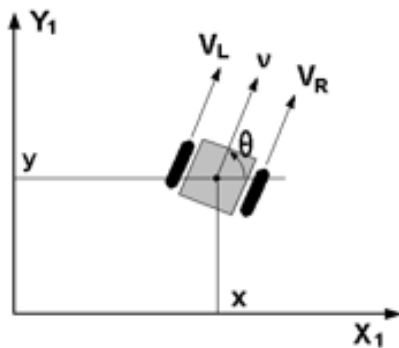
## I. PENDAHULUAN

Sepakbola merupakan sebuah olah raga tim yang membutuhkan kemampuan individu dan kerjasama tim untuk dapat melakukannya dengan baik. Ditinjau dari sudut pandang sistem informasi dan komunikasi, dalam sepakbola terjadi pertukaran informasi dan komunikasi yang cukup kompleks sehingga menarik untuk dipelajari.

Robot Soccer atau sepakbola robot adalah sebuah proyek internasional yang bertujuan untuk mendukung penelitian-penelitian di bidang *sistem kecerdasan buatan (artificial intelligence)*, *robotika*, *independent agent*, dan disiplin ilmu lain yang mempunyai keterkaitan dengan hal-hal tersebut di atas. Salah satu liga sepakbola robot adalah yang dikembangkan oleh Federation of International Robot-soccer Association (FIRA), terlihat pada Gambar 1. Selain Mirobot, ada beberapa liga yang dikelola oleh FIRA, seperti Narosot (Nano Robot World-Soccer Tournament), Amiresot (Amire Soccer Tournament), Hurosot (Humanoid World-cup Robot soccer Tournament), Androsot, dan simulasi Mirobot atau Simurosot. [1]. Gambar 2, memperlihatkan model matematis dari kinematika robot yang digunakan.



Gambar 1. Sistem Mirobot FIRA [2]



Gambar 2. Model kinematika robot [1]

Bentuk vektor dari input kendali:

$$P = \begin{pmatrix} x \\ y \\ \theta \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$U = \begin{pmatrix} v \\ w \end{pmatrix} \quad (2)$$

dimana,

$(x,y)$  = posisi robot dan

$\theta$  = orientasi robot

$v$  = kecepatan linier robot

$w$  = kecepatan angular robot

Suara diproduksi oleh sebuah obyek yang bergetar, contohnya *loudspeaker*, *musical instrument*, ataupun pita suara manusia. Hubungan antar input kendali dengan kecepatan roda [3] :

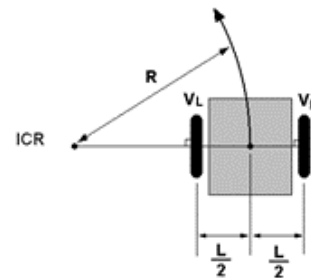
$$V_L = r \omega_L \quad V_R = r \omega_R \quad (3)$$

$$\omega = \frac{V_R - V_L}{L} \quad v = \frac{V_R + V_L}{2}$$

Persamaan kinematika yang didapat :

$$\begin{pmatrix} \dot{x}_c \\ \dot{y}_c \\ \dot{\theta}_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & 0 \\ \sin \theta & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v \\ w \end{pmatrix} \quad (4)$$

Dasar kendali gerak pada robot untuk dapat bergerak mengelilingi titik poros terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Model dasar kendali gerak [1]

Dengan model matematik:

$$(V_R - V_L) / L = V_R / (R + \frac{L}{2}) \quad (5)$$

$$R = \frac{L}{2} \frac{V_R + V_L}{V_R - V_L} \quad (6)$$

R = diameter, dengan  $R = \sim$ , maka agar bergerak lurus  $V_L = V_R$ . Syarat bergerak  $R=0$ , maka agar bergerak berotasi  $V_L = - V_R$

## II. METODE

Perancangan pada tahap awal meliputi perancangan umum sistem sepakbola robot mikro (mirosot) dengan sistem client – server. Desain lapisan mode gerak agen robot yang dikembangkan terbagi dalam tiga lapisan mode gerak. Diteliti dengan merancang desain dan melakukan implementasi serta pengujian di lapangan. Tahap implementasi dilakukan dengan menggunakan alur yang digambarkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Alur proses implementasi

Pengujian dilakukan dengan menjalankan setiap formula dalam bentuk fungsi dan model matematis yang dituliskan dalam program. Di dalam pengujian ini, dibandingkan kesesuaian antara kondisi awal dan akhir agen dengan kondisi seharusnya. Ketika gerakan robot sesuai, maka implementasi formula dinyatakan berhasil.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Desain Lapisan Mode Gerak Dasar

Lapisan gerak dasar agen merupakan gerak robot agen tanpa menggunakan sensor. Desain gerak dasar agen adalah sebagai berikut:

#### 1) Maju

Gerak maju merupakan gerak dasar agen robot dengan memberikan kecepatan senilai  $V_L$  dan  $V_R$  untuk motor kiri dan kanan robot. Dengan format paket data:

start	id	+	$v_l[0]$	$v_l[1]$	$v_l[2]$	+	$v_r[0]$	$v_r[1]$	$v_r[2]$	end
-------	----	---	----------	----------	----------	---	----------	----------	----------	-----

#### 2) Mundur

Gerak mundur merupakan gerak dasar agen robot dengan memberikan kecepatan senilai  $-V_L$  dan  $-V_R$  untuk motor kiri dan kanan robot. Dengan format paket data:

start	id	-	$v_l[0]$	$v_l[1]$	$v_l[2]$	+	$v_r[0]$	$v_r[1]$	$v_r[2]$	end
-------	----	---	----------	----------	----------	---	----------	----------	----------	-----

#### 3) Putar Kanan 90°

Gerak putar kanan merupakan gerak dasar agen robot dengan memberikan kecepatan senilai  $+V_L$  dan  $+V_R$  untuk motor kiri dan kanan robot. Dengan format paket data:

$$V_L = 0$$

$$V_R = +$$

start	id	+	$v_l[0]$	$v_l[1]$	$v_l[2]$	+	$v_r[0]$	$v_r[1]$	$v_r[2]$	end
-------	----	---	----------	----------	----------	---	----------	----------	----------	-----

#### 4) Putar Kiri 90°

Gerak putar kiri merupakan gerak dasar agen robot dengan memberikan kecepatan senilai  $+V_L$  dan  $+V_R$  untuk motor kiri dan kanan robot. Dengan format paket data:

$$V_L = +$$

$$V_R = 0$$

start	id	+	$v_l[0]$	$v_l[1]$	$v_l[2]$	+	$v_r[0]$	$v_r[1]$	$v_r[2]$	end
-------	----	---	----------	----------	----------	---	----------	----------	----------	-----

#### 5) Spin Kanan

Gerak spin kanan merupakan gerak dasar agen robot dengan memberikan kecepatan senilai  $-V_L$  dan  $+V_R$  untuk motor kiri dan kanan robot. Dengan format paket data:

$$|V_L| = |V_R|$$

start	id	-	$v_l[0]$	$v_l[1]$	$v_l[2]$	+	$v_r[0]$	$v_r[1]$	$v_r[2]$	end
-------	----	---	----------	----------	----------	---	----------	----------	----------	-----

#### 6) Spin Kiri

Gerak spin kiri merupakan gerak dasar agen robot dengan memberikan kecepatan senilai  $+V_L$  dan  $-V_R$  untuk motor kiri dan kanan robot. Dengan format paket data:

$$|V_L| = |V_R|$$

start	id	+	$v_l[0]$	$v_l[1]$	$v_l[2]$	-	$v_r[0]$	$v_r[1]$	$v_r[2]$	end
-------	----	---	----------	----------	----------	---	----------	----------	----------	-----

#### 7) Belok Kanan

Gerak belok kanan merupakan gerak dasar agen robot dengan memberikan kecepatan senilai  $+V_L$  dan  $+V_R$  untuk motor kiri dan kanan robot. Dengan format paket data:

$$V_L > V_R$$

start	id	+	$v_l[0]$	$v_l[1]$	$v_l[2]$	+	$v_r[0]$	$v_r[1]$	$v_r[2]$	end
-------	----	---	----------	----------	----------	---	----------	----------	----------	-----



8) *Belok Kiri*

Gerak belok kanan merupakan gerak dasar agen robot dengan memberikan kecepatan senilai +VL dan +VR untuk motor kiri dan kanan robot. Dengan format paket data:

$$VL < VR$$

start	id	+	vl[0]	vl[1]	vl[2]	+	vr[0]	vr[1]	vr[2]	end
-------	----	---	-------	-------	-------	---	-------	-------	-------	-----

B. *Desain Lapisan Pertama Gerak Agen*

Lapisan pertama gerak agen merupakan gerak robot agen dengan menggunakan input data dari sensor sistem vision. Perancangan lapisan pertama gerak agen beserta algoritmanya adalah sebagai berikut:

1) *Maju*

TABEL 1. DESAIN FUNGSI MAJU

Input data	Algoritma	Target
- Posisi Tujuan ( $x_T, y_T$ )	Terima posisi tujuan ( $x_R, y_R$ ) dan sudut target relative terhadap robot ( $\theta_e$ ).	- Sudut target relative terhadap robot = 0 ( $\theta_e = 0$ ).
- Sudut target relative terhadap p robot ( $\theta_e$ )	<p><b>Jika fungsi posisi dan sudut menghasilkan <math>\theta_e = 0</math></b>, kemudian berikan kecepatan motor kiri (Vl) dan kecepatan motor kanan (Vr) dengan arah (+) untuk menuju posisi tujuan(<math>x_T, y_T</math>)kemudian berhenti.</p> <p><b>Jika tidak</b>, jalankan fungsi sudut kemudian berikan kecepatan motor kiri (Vl) dan kecepatan motor kanan (Vr) dengan arah (+) untuk menuju posisi tujuan(<math>x_T, y_T</math>) kemudian berhenti.</p>	- Posisi robot = posisi target

2) *Mundur*

TABEL 2. DESAIN FUNGSI MUNDUR

Input data	Algoritma	Target
- Posisi Tujuan ( $x_T, y_T$ )	Terima posisi tujuan ( $x_R, y_R$ ) dan sudut target relative terhadap robot ( $\theta_e$ ).	- Sudut target relative terhadap

- Sudut target relative terhadap p robot ( $\theta_e$ )	<p><b>Jika fungsi posisi dan sudut menghasilkan <math>\theta_e = 180</math></b>, kemudian berikan kecepatan motor kiri (Vl) dan kecepatan motor kanan (Vr) dengan arah (-) untuk menuju posisi tujuan(<math>x_T, y_T</math>) kemudian berhenti.</p> <p><b>Jika tidak</b>, jalankan fungsi sudut sampai mendapat <math>\theta_e = 180</math> kemudian berikan kecepatan motor kiri (Vl) dan kecepatan motor kanan (Vr) dengan arah (-) untuk menuju posisi tujuan(<math>x_T, y_T</math>) kemudian berhenti.</p>	robot = 0 ( $\theta_e = 0$ ).  - Posisi robot = posisi target.
---	--	--

3) *Belok Kanan*

TABEL 3. DESAIN FUNGSI BELOK KANAN

Input data	Algoritma	Target
- Posisi Tujuan ( $x_T, y_T$ )	Terima posisi tujuan ( $x_R, y_R$ ) dan sudut target relative terhadap robot ( $\theta_e$ ).	- Sudut target relative terhadap robot > 0 ( $\theta_e > 0$ ).
- Sudut target relative terhadap p robot ( $\theta_e$ )	<p><b>Jika fungsi posisi dan sudut menghasilkan <math>\theta_e &gt; 0</math></b>, kemudian berikan kecepatan motor kiri (Vl) dan kecepatan motor kanan (Vr) dengan arah (+) untuk menuju posisi tujuan (<math>x_T, y_T</math>) dengan <math>Vr &lt; Vl</math> kemudian berhenti.</p> <p><b>Jika tidak</b>, jalankan fungsi sudut sampai mendapat <math>\theta_e &gt; 0</math> kemudian berikan kecepatan motor kiri (Vl) dan kecepatan motor kanan (Vr) dengan arah (+) untuk menuju posisi tujuan (<math>x_T, y_T</math>) dengan <math>Vr &lt; Vl</math> kemudian berhenti.</p>	- Posisi robot = posisi target.

4) Belok Kiri

TABEL 4. DESAIN FUNGSI BELOK KIRI

Input data	Algoritma	Target
- Posisi Tujuan ( $x_T, y_T$ )  - Sudut target relative terhadap robot ( $\theta_e$ )	Terima posisi tujuan ( $x_R, y_R$ ) dan sudut target relative terhadap robot ( $\theta_e$ ).  <b>Jika fungsi posisi dan sudut menghasilkan <math>\theta_e &lt; 0</math></b> , kemudian berikan kecepatan motor kiri ( $V_L$ ) dan kecepatan motor kanan ( $V_R$ ) dengan arah (+) untuk menuju posisi tujuan ( $x_T, y_T$ ) dengan $V_R > V_L$ kemudian berhenti.  <b>Jika tidak</b> , jalankan fungsi sudut sampai mendapat $\theta_e < 0$ kemudian berikan kecepatan motor kiri ( $V_L$ ) dan kecepatan motor kanan ( $V_R$ ) dengan arah (+) untuk menuju posisi tujuan ( $x_T, y_T$ ) dengan $V_R > V_L$ kemudian berhenti.	- Sudut target relative terhadap robot $< 0$ ( $\theta_e < 0$ ).  - Posisi robot = posisi target.

5) Spin Kanan

TABEL 5. DESAIN FUNGSI SPIN KANAN

Input data	Algoritma	Target
- Posisi Robot ( $x_R, y_R$ )	Terima posisi robot ( $x_R, y_R, \theta$ ) kemudian berikan kecepatan motor kiri ( $V_L$ ) dengan arah (+) dan kecepatan motor kiri ( $V_R$ ) dengan arah (-).	Berputar ditempat.

6) Spin Kiri

TABEL 6. DESAIN FUNGSI SPIN KIRI

Input data	Algoritma	Target
- Posisi Robot ( $x_R, y_R$ )	Terima posisi robot ( $x_R, y_R, \theta$ ) kemudian berikan kecepatan motor kiri ( $V_L$ ) dengan arah (+) dan kecepatan	Berputar ditempat.

motor kiri ( $V_L$ ) dengan arah (-).
---------------------------------------

C. Desain Lapisan Kedua Gerak Agen

Lapisan kedua gerak agen robot merupakan gerak robot agen dengan menggunakan input data dari sensor sistem vision dan dapat mengetahui objek lain. Perancangan lapisan kedua gerak agen robot beserta algoritmanya adalah sebagai berikut :

1) Sudut

Sudut dibuat sebagai sebuah fungsi yang berguna untuk menghitung sudut robot, sudut target dan sudut target relatif terhadap robot.

TABEL 7. DESAIN FUNGSI SUDUT

Input data	Algoritma	Target
- Posisi Robot ( $x_R, y_R, \theta$ )	Terima posisi robot ( $x_R, y_R, \theta$ ), posisi tujuan ( $x_T, y_T$ ), hitung sudut target ( $\theta_d$ ) kemudian hitung sudut target relatif terhadap robot ( $\theta_e$ ) kemudian berhenti setelah menghadap tujuan.	- Menghitung sudut objek ( $\theta_d$ )  - Mendapatkan sudut target relatif ( $\theta_d$ ) terhadap robot ( $\theta_e$ ).
- Posisi Tujuan ( $x_T, y_T$ )		

2) Posisi

Posisi dibuat sebagai sebuah fungsi yang berguna untuk memberikan kecepatan motor kiri ( $V_L$ ) dan kecepatan motor kanan ( $V_R$ ) dari robot dengan arah yang berlawanan untuk menghadap posisi tujuan ( $x_T, y_T$ ).

TABEL 8. DESAIN FUNGSI POSISI

Input data	Algoritma	Target
- Posisi Robot ( $x_R, y_R, \theta$ )	Terima posisi robot ( $x_R, y_R, \theta$ ) dan sudut target relative terhadap robot ( $\theta_e$ ) kemudian lakukan normalisasi sudut kemudian berikan kecepatan motor kiri ( $V_L$ ) dan kecepatan motor kanan ( $V_R$ ) dengan arah yang berlawanan untuk bergerak sesuai kecepatan.	Sudut target relative terhadap robot = 0 ( $\theta_e = 0$ ).
- Sudut target relative terhadap robot ( $\theta_e$ )		

3) Mendekati Bola

TABEL 9. DESAIN FUNGSI MENDEKATI BOLA

Input data	Algoritma	Target
- Posisi Robot ( $x_R, y_R, \theta$ )	Terima posisi robot ( $x_R, y_R, \theta$ ) kemudian jalankan fungsi maju.	- Sudut target relative terhadap robot = 0 ( $\theta_e = 0$ ).
- Sudut target relative terhadap robot ( $\theta_e$ )		- $V_l$ & $V_r$

4) Menggiring Bola

TABEL 10. DESAIN FUNGSI MENGGIRING BOLA

Input data	Algoritma	Target
- Posisi Robot ( $x_R, y_R, \theta$ )	Terima posisi robot ( $x_R, y_R, \theta$ ) kemudian jalankan fungsi posisi kemudian jalankan fungsi sudut kemudian jalankan fungsi maju menuju posisi bola ( $x_B, y_B$ ) sampai titik tujuan kemudian ulangi lagi dari fungsi posisi.	- Sudut target relative terhadap robot = 0 ( $\theta_e = 0$ ).
- Posisi Bola ( $x_B, y_B$ )		- $V_l$ & $V_r$
- Sudut target relative terhadap robot ( $\theta_e$ )		- Bola digiring robot

5) Menendang Bola

TABEL 11. DESAIN FUNGSI MENENDANG BOLA

Input data	Algoritma	Target
- Posisi Robot ( $x_R, y_R$ )	Terima posisi robot ( $x_R, y_R$ ) kemudian jalankan fungsi sudut kemudian jalankan fungsi posisi kemudian jalankan fungsi maju menuju posisi bola ( $x_B, y_B$ ) kemudian dorong kemudian jalankan perintah lain (ulangi) atau berhenti	- Sudut target relative terhadap robot = 0 ( $\theta_e = 0$ ).
- Posisi Bola ( $x_B, y_B$ )		- $V_l$ & $V_r$
- Sudut target relative terhadap robot ( $\theta_e$ )		- Bola ditendang robot

6) Menendang Bola Ke Gawang

TABEL 12. MENENDANG BOLA KE GAWANG

Input data	Algoritma	Target
- Posisi Robot ( $x_R, y_R$ )	Terima posisi robot ( $x_R, y_R$ ) kemudian jalankan fungsi position kemudian jalankan fungsi sudut kemudian jalankan fungsi maju menuju posisi bola ( $x_B, y_B$ ) kemudian dorong sampai titik gol gawang kemudian jalankan perintah lain (ulangi) atau berhenti	- Sudut target relative terhadap robot = 0 ( $\theta_e = 0$ ).
- Posisi Bola ( $x_B, y_B$ )		- $V_l$ & $V_r$
- Sudut target relative terhadap robot ( $\theta_e$ )		- Bola ditendang ke gawang
- Titik gol gawang		

D. Pengujian

Gambar 13 memperlihatkan bahwa berdasarkan hasil pengujian, semua fungsi gerak pada robot berfungsi sesuai dengan desain.

TABEL 13. REKAPITULASI HASIL PENGUJIAN

No	Gerak	Kondisi Awal Agen		Posisi Awal Object		Kondisi Tujuan Agen		Posisi Tujuan Object		Hasil
		Sudut	Posisi	Sudut	Posisi	Sudut	Posisi	Sudut	Posisi	
Lapis Gerak Dasar										
1	maju	0	100,80	x	0	500,80	x	90	500,80	sesuai
2	mundur	0	500,80	x	0	100,80	x	90	100,80	sesuai
3	putar kanan 90°	0	200,90	x	90	200,90	x	0	200,90	sesuai
4	putar kiri 90°	0	200,90	x	90	200,90	x	0	200,90	sesuai
5	spin kanan	0	200,90	x	49	210,80	x	90	210,80	sesuai
6	spin kiri	49	210,80	x	0	200,90	x	90	200,90	sesuai
7	belok kanan	0	200,80	x	90	280,20	x	90	280,20	sesuai
8	belok kiri	0	200,80	x	-90	120,20	x	90	120,20	sesuai
Lapis Gerak Pertama										
9	maju	90	240,190	x	90	320,190	x	90	320,190	sesuai
10	mundur	90	320,190	x	90	241,190	x	90	241,190	sesuai
11	belok kanan	0	245,210	x	90	421,175	x	90	421,175	sesuai
12	belok kiri	0	320,250	x	-90	201,184	x	90	201,184	sesuai
13	spin kanan	0	255,205	x	47	260,209	x	90	260,209	sesuai
14	spin kiri	0	305,195	x	65	310,211	x	90	310,211	sesuai
Lapis Gerak Kedua										
15	sudut	0	150,78	x	45	155,88	x	90	155,88	sesuai
16	inisialisasi posisi	0	155,89		45	300,92	x	90	300,92	sesuai
17	mendekati bola	90	332,265	431,322	98	433,325	499,340	90	433,325	sesuai
18	menggiring bola									sesuai
19	menendang bola									sesuai
20	menendang bola ke gawang									sesuai

#### IV. KESIMPULAN

Lapisan mode gerak agen robot merupakan salah satu bagian dalam rancang bangun tim robot sepakbola . Kendali gerak agen robot telah didesain dan diimplementasikan dalam bentuk lapisan – lapisan mode gerak agen robot. Setiap lapisan mode gerak agen robot dapat digunakan sesuai dengan lingkungan dan target yang dikehendaki. Dalam implementasi setiap formula disesuaikan dengan kemampuan mekanik dan elektronik dari robot yang dibangun.

#### REFERENSI

- [1] J.H. Kim, Lecture Notes on Soccer Robotics ASEAN Technology Network for Multi-robot Cooperation System Development. South Korea: Korea Advanced Institute of Science and Technology, 2003.
- [2] FIRA Mirosot Game Rules. (2012, Feb.) FIRA Website[Online].  
[http://fira.net/?module=file&act=procFileDownload&file\\_srl=2870&sid=09c8a14e80aa45c9df6152b1cfbd534b9](http://fira.net/?module=file&act=procFileDownload&file_srl=2870&sid=09c8a14e80aa45c9df6152b1cfbd534b9)
- [3] D.-H.Kim.,Y.-J.Kim.,K.-T.Seow J.-H.Kim., Soccer Robotics. Germany: Springer, 2004.
- [4] Nugraha Ramdhan, Desain dan Perancangan Sistem Mirosot Robotsoccer. Bandung, Indonesia: ITB, 2012.
- [5] Yujin Robotics Co.Ltd, Robot Soccer YSR-A System Manual.
- [6] Goupta Gourab Sen, Autono/mous Agents in a Dynamic Collaborative Environment. Palmerton North, New Zaeland: Thesis PhD in Engineering Massey University, 2008.
- [7] Payandeh Shahram Keshmiri Soheil, "An Overview of Mobile Robotic Agents Motion Planning In Dynamic Environments," in Proceeding of the 14th IASTED International Conference Robotics and Application, Cambridge MA USA, 2009.
- [8] A.H.,Prabuwono, A.S., Zakaria, M.S., Omar, K., Nordin, M.J., Sharan, S., Abdullah, S.N.H.S., and Heryanto, A Pratomo, "Position and Obstacle Avoidance Algorithm in Robot Soccer," Int Journal of Computer science 6 [2], ISSN. 1549-3636, pp. 173-179, 2010.
- [9] M A Mujib, Desain dan Implementasi System Vision System pada Robotsoccer. Bandung, Indonesia: ITB, 2012.
- [10] Firmansyah H Husna, Desain dan Implementasi Client Server Pengolah Data Citra. Bandung, Indonesia: ITB, 2012.
- [11] Merdeka Ricki M, Rancang Bangun Skill Layering Strategi Tim Roso-01 Untuk Turnamen Sepakbola Robot Mikro (Mirosot). Bandung, Indonesia: ITB, 2011.

# Prediksi Beban Listrik Jangka Pendek Menggunakan Algoritma Feed Forward Back Propagation dengan Mempertimbangkan Variasi Tipe Hari

Ramadani Dwisatya, M.Ramdlan Kirom

Program Studi Teknik Fisika  
Fakultas Teknik Universitas Telkom, Bandung, INDONESIA  
e-mail: ramadanidwisatya@yahoo.com

**Abstrak—** Perkembangan teknologi komputasi yang sudah mengarah kepada teknologi soft computing mendorong peneliti untuk mencoba mencari suatu metode alternatif untuk memprediksi beban listrik berbasis kecerdasan buatan (yang populer dan banyak digunakan: Adaptive Neural Network / Jaringan Syaraf Tiruan). Prediksi beban listrik jangka pendek memegang peranan yang sangat penting bagi efisiensi energi listrik. Untuk itu akan dilakukan prediksi beban listrik jangka pendek untuk 3 tipe hari yaitu hari kerja, hari libur akhir pekan, dan hari libur nasional dengan metode Jaringan Syaraf Tiruan (JST) menggunakan algoritma feedforward backpropagation, dan data yang digunakan adalah data aktual sepanjang tahun 2013 dan tahun 2014. Software pendukung untuk merancang program digunakan Matlab dari Mathwork Corps. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan nilai rata – rata error terbaik untuk ketiga tipe hari yaitu 2,89% dari prediksi PLN yang didapat 8,84% pada tipe hari libur nasional, sehingga didapatkan efisiensi energi listrik pada hari libur nasional rata – rata 6% pada setiap jamnya.

**Kata Kunci—** prediksi beban listrik jangka pendek, algoritma back propagasi, variasi hari.

*Abstract—* The development of computing technology that has lead to soft computing technologies prompted researchers to try for finding an alternative method to predict the power

*load-based artificial intelligence (which is a popular and widely used: Adaptive Neural Network / Neural Network). Short term load forecasting has a very important role for the efficiency of electrical energy. For it will be done prediction electrical load short term for the 3 types of days, weekdays, weekends and national holidays by the method of Artificial Neural Network (ANN) algorithm using feedforward backpropagation, and the data used is real data throughout 2013 and 2014. The software for designing programs to use is Matlab from Mathwork Corps. Based on test results obtained average value error for all three types of day best is 2.89% and the forecasting from PLN gained 8.84% on the type of national holidays, so we get electrical energy efficiency on a national holiday the average 6% in each hour.*

*Keywords: web page interface, current, voltage, apparent power, realtime chart*

## I. PENDAHULUAN

Akhir-akhir ini kita banyak mendengar banyak berita bahwa Perusahaan Listrik Negara (PLN) mengalami kerugian yang sangat besar setiap tahunnya yang disebabkan faktor-faktor yang sangat kompleks mulai dari dampak kenaikan BBM terhadap harga batu-bara sebagai bahan bakar utama PLTU, pencurian listrik, efisiensi unit pembangkitan yang sangat rendah akibat umur unit pembangkit yang sudah tua dan masalah lainnya, sehingga dijadikan alasan PLN

untuk mendesak pemerintah menaikkan Tarif Dasar Listrik (TDL) yang tentunya akan semakin membebani pertumbuhan ekonomi masyarakat.

Tenaga listrik tidak dapat disimpan dalam skala besar, karenanya tenaga ini harus disediakan pada saat dibutuhkan [1]. Akibatnya muncul persoalan dalam menghadapi kebutuhan daya listrik yang tidak tetap dari waktu ke waktu. Apabila daya yang dikirim dari bus-bus pembangkit jauh lebih besar daripada permintaan daya pada bus-bus beban, maka akan timbul persoalan pemborosan energi pada perusahaan listrik, terutama untuk pembangkit termal. Sedangkan apabila daya yang dibangkitkan dan dikirimkan lebih rendah atau tidak memenuhi kebutuhan beban konsumen maka akan terjadi pemadaman lokal pada bus-bus beban, yang akibatnya merugikan pihak konsumen [2]. Oleh karena itu diperlukan penyesuaian antara pembangkit dengan permintaan daya.

Perkembangan teknologi komputasi yang sudah mengarah kepada teknologi *soft computing* mendorong peneliti untuk mencoba mencari suatu metode alternatif untuk memprediksi beban listrik berbasis kecerdasan buatan (yang populer dan banyak digunakan: *Adaptive Neural Network* / Jaringan Syaraf Tiruan) [3]. Kemudahan konsep jaringan syaraf tiruan mendorong peneliti untuk membuat prediksi pemakaian energi listrik jangka pendek. Sumber data yang diperlukan adalah data pengeluaran beban listrik dari Pusat Pembagi Beban PT. PLN (Persero) setiap jam mulai pukul 00.00 sampai dengan pukul 24.00 mulai hari senin sampai dengan minggu pada hari normal dan hari-hari libur nasional, yang kemudian data tersebut akan dibelajarkan pada sistem perangkat lunak yang sudah dirancang berbasis jaringan syaraf tiruan. Software pendukung untuk merancang program digunakan Matlab dari Mathwork Corp.

#### A. Peramalan Beban Listrik

Manajemen operasi sistem tenaga listrik yang baik diawali oleh perencanaan operasi yang baik pula. Salah satu langkah perencanaan yang harus dilakukan adalah prakiraan kebutuhan

beban sistem tenaga listrik [3]. Terdapat tiga kelompok peramalan beban, yaitu:

##### 1) *Prediksi beban jangka panjang.*

Peramalan beban jangka panjang adalah untuk jangka waktu diatas satu tahun. Dalam peramalan beban, masalah-masalah makro ekonomi yang merupakan masalah ekstern perusahaan listrik, merupakan faktor utama yang menentukan arah peramalan beban [3]. Peramalan ini bertujuan untuk rencana energi masa depan.

##### 2) *Prediksi beban jangka menengah.*

Peramalan beban jangka menengah adalah untuk jangka waktu dari satu bulan sampai dengan satu tahun. Dalam peramalan beban jangka menengah, masalah-masalah manajerial perusahaan merupakan faktor utama yang menentukan.

##### 3) *Prediksi beban jangka pendek*

Peramalan beban jangka pendek adalah untuk jangka waktu beberapa jam sampai satu minggu (168 jam). Besarnya beban untuk setiap jam ditentukan dengan memperhatikan trend beban di waktu lalu dengan memperhatikan berbagai informasi yang dapat mempengaruhi besarnya beban system [4]. Dan peramalan beban jangka pendek biasanya digunakan untuk efisiensi energi.

#### B. Jaringan Syaraf Tiruan

JST merupakan sistem komputasi dimana arsitektur dan operasi diilhami dari pengetahuan tentang sel syaraf biologi di dalam otak, dimana mampu mengenali pola, melakukan perhitungan, dan mengontrol organ-organ tubuh dengan kecepatan yang lebih tinggi dari komputer digital. Hal tersebut menjadikan JST sangat cocok untuk menyelesaikan masalah dengan tipe sama seperti otak manusia. JST dibentuk sebagai generalisasi model matematika dari jaringan syaraf biologi, dengan asumsi bahwa[4]:

1. Pemrosesan informasi terjadi pada banyak elemen sederhana (neuron).
2. Sinyal dikirimkan diantara neuron-neuron melalui penghubung-penghubung.

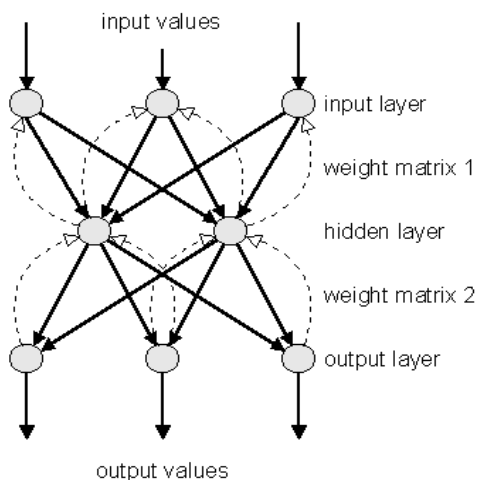
3. Penghubung antar neuron memiliki bobot yang akan memperkuat atau memperlemah sinyal.
4. Untuk menentukan output, setiap neuron menggunakan fungsi aktivasi (biasanya bukan fungsi linier) yang dikenakan pada jumlahan input yang diterima. Besarnya output ini selanjutnya dibandingkan dengan suatu batas ambang.

Suatu jaringan syaraf tiruan ditentukan oleh 3 hal:

1. Pola-pola hubungan antar neuron yang disebut arsitektur jaringan.
2. Metode penentuan bobot penghubung yang disebut metode training / learning / algoritma.
3. Fungsi aktifasi yang digunakan.

### C. Algoritma Backpropagation

Backpropagation merupakan salah satu metode JST yang menggunakan satu atau beberapa layar tersembunyi. Penggunaan layar tersembunyi ini dimaksudkan sebagai penyempurna dari kelemahan pengenalan pola yang bisa terjadi pada layar tunggal [5]. Untuk arsitektur backpropagasi dapat dilihat pada gambar 1.



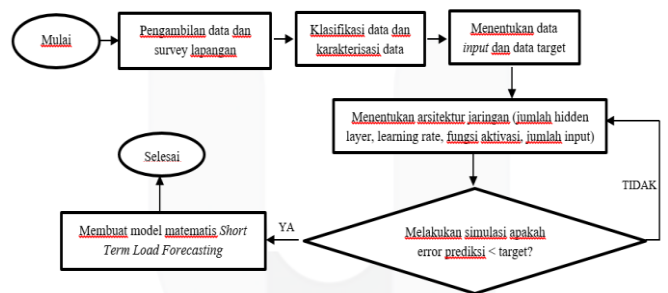
Gambar 1. Arsitektur Backpropagasi

Dalam backpropagation, fungsi aktivasi yang dipakai harus memenuhi beberapa syarat yaitu: kontinu, terdiferensial dengan mudah dan merupakan fungsi yang tidak turun. Salah satu

fungsi yang memenuhi tiga syarat tersebut sehingga sering dipakai adalah fungsi sigmoid biner yang memiliki range (0,1) [4].

## II. METODE

Tahap – tahap pada pengambilan data dan pemodelan dari prediksi yang akan dilakukan dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alur Penelitian

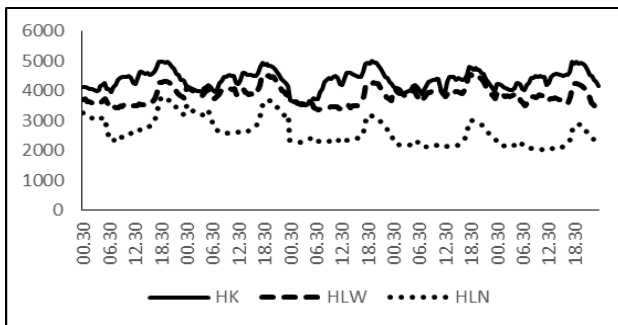
Proses pengambilan data dan survey lapangan merupakan suatu bentuk studi literatur terhadap hal yang diperlukan pada penelitian prediksi beban listrik. Pengambilan data pada penelitian ini adalah data pemakaian beban listrik aktual PLN Area 3 Jawa Barat tahun 2010 – 2014. Pada proses menentukan arsitektur jaringan backpropagation, 3 parameter yang sangat menentukan keakurasian dari prediksi yang akan dilakukan, yaitu:

1. Learning rate; Pada penelitian ini learning rate akan digunakan dengan rentang 0,1 – 0,9.
2. Fungsi aktivasi; Fungsi aktivasi yang akan dimasukkan dalam simulasi adalah kombinasi purelin-tansig-tansig-logsig. Dengan catatan akan selalu ada 2 buah tansig dalam setiap semilasinya.
3. Jumlah hidden layer; Simulasi yang terakhir yaitu dengan memasukkan hidden layer dengan kombinasi 5-1 sampai dengan 15-11.
4. Jumlah input; Simulasi dilakukan dengan mengubah – ubah input data yaitu 5, 10, 20, dan 30 input data untuk setiap tipe harinya.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Karakteristik Perilaku Penggunaan Energi Listrik Harian Masyarakat pada Region II Jawa Barat

Tahap awal penelitian dimulai dengan melakukan studi tentang pola penggunaan beban listrik oleh konsumen PLN di Region II Jawa Barat.



Gambar 3. Pola perbandingan beban energi dalam 5 hari

Pada gambar 3 dapat dijabarkan bahwa terdapat perbedaan besar beban pola pada setiap tipe harinya yang berarti terdapat perbedaan karakteristik konsumsi listrik yang sangat signifikan pada setiap harinya dan setiap jamnya. Perbedaan aktifitas merupakan penyebab utama perbedaan konsumsi energi listrik pada setiap harinya. Pada saat hari libur akhir pekan dan hari libur nasional, konsumsi energi listriknya tidak akan sebesar konsumsi energi listrik pada hari kerja karena pada hari kerja terdapat aktifitas yang jauh lebih banyak seperti industri, perkantoran, sekolah, dll.

Lalu pada saat malam hari pada tipe hari kerja, intensitas masyarakat menggunakan listrik untuk penerangan dan juga hiburan jauh lebih besar dari pada hari libur akhir pekan dan juga hari libur nasional yang umumnya akan memilih menghabiskan waktu diluar rumah. Berbeda dengan pola beban hari kerja dan hari libur akhir pekan, pola beban hari libur nasional memiliki pola yang tidak identik dan bersifat anomali, sehingga sangat menarik untuk diteliti.

Perbedaan beban pada setiap jamnya juga mempengaruhi pembangkit yang bekerja. Pembangkit yang bekerja biasanya adalah Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dan

juga Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), biaya operasi yang relatif tidak terlalu besar merupakan faktor terbesar digunakannya PLTU dan PLTA. Namun pada jam – jam *prime time* atau jam – jam beban puncak, akan digunakan Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) sebagai *additional* atau pembangkit tambahan, dikarenakan PLTG dapat beroperasi dengan cepat dibandingkan dengan PLTA dan PLTU yang harus menunggu sekitar 8 jam untuk dapat beroperasi. PLTG hanya digunakan sebagai pembangkit tambahan dikarenakan biaya operasi yang relatif mahal.

#### B. Optimasi Algoritma JST untuk Prediksi Beban Listrik Jangka Pendek

##### 1) Setting awal konfigurasi sebelum optimasi

TABLE I. KONFIGURASI SEBELUM OPTIMASI

Pengujian	Hari Kerja	Hari Libur Akhir Pekan	Hari Libur Nasional
Learning rate	0,5	0,5	0,5
Fungsi aktivasi	Logsig-Tansig-Tansig-Purelm	Logsig-Tansig-Tansig-Purelm	Logsig-Tansig-Tansig-Purelm
Jumlah hidden layer	12 dan 5	12 dan 5	12 dan 5
Jumlah input	30	30	30

##### 2) Prediksi pada saat optimasi

#### Perubahan learning rate - fungsi aktivasi - hidden layer

Simulasi ini dilakukan secara kontinyu, dimana hasil maksimal pada simulasi *learning rate* akan diambil untuk simulasi selanjutnya, demikian seterusnya. Dibawah ini akan dipaparkan hasil simulasinya.

TABLE II. SIMULASI PADA TIPE HARI KERJA

percobaan ke	Learning Rate	fungsi aktivasi	jumlah layer	rata - rata error (%)		
				eksperimen 1	eksperimen 2	eksperimen 3
1	0,8	PTLT	12-5-1-1	7,99	6,13	6,77
2	0,8	PTLT	12-6-2-1	5,22	5,69	4,18
3	0,8	PTLT	12-7-3-1	5,41	10,35	5,58
4	0,8	PTLT	12-8-4-1	7,57	7,87	6,87
5	0,8	PTLT	12-9-6-1	6,65	7,91	6,76
6	0,8	PTLT	12-11-7-1	6,67	7,77	5,52
7	0,8	PTLT	12-12-8-1	7,81	7,92	6,04
8	0,8	PTLT	12-13-9-1	6,33	4,55	7,04
9	0,8	PTLT	12-14-10-1	3,96	7,84	9,08
10	0,8	PTLT	12-15-11-1	4,94	9,26	6,16
11	0,8	PTLT	12-10-5-1	10,02	11,64	3,23

Pada tabel 2, tabel 3 terlihat tidak terjadi kenaikan error prediksi setelah diuji berdasarkan perubahan jumlah *hidden layer*, yaitu pada hari kerja dan juga hari libur akhir pekan yang berarti bahwa perubahan jumlah *hidden layer* tidak memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap prediksi untuk hari kerja dan hari libur



akhir pekan yang memiliki pola data beban yang beraturan setiap harinya.

TABLE III. SIMULASI PADA HARI LIBUR AKHIR PEKAN

percobaan ke	Learning Rate	fungsi aktifasi	jumlah layer	rata - rata error (%)		
				eksperimen 1	eksperimen 2	eksperimen 3
1	0,7	PTLT	12-5-1-1	6,29	8,94	4,98
2	0,7	PTLT	12-6-2-1	6,81	6,63	8,52
3	0,7	PTLT	12-7-3-1	8,00	6,94	5,84
4	0,7	PTLT	12-8-4-1	7,38	8,79	7,26
5	0,7	PTLT	12-9-6-1	10,10	5,07	4,87
6	0,7	PTLT	12-11-7-1	6,24	6,13	6,74
7	0,7	PTLT	12-12-8-1	4,92	6,50	4,92
8	0,7	PTLT	12-13-9-1	10,60	6,53	10,55
9	0,7	PTLT	12-14-10-1	6,39	7,10	4,84
10	0,7	PTLT	12-15-11-1	8,12	8,81	10,43
11	<b>0,7</b>	<b>PTLT</b>	<b>12-10-5-1</b>	8,38	11,60	<b>4,20</b>

TABLE IV. SIMULASI PADA TIPE HARI LIBUR NASIONAL

percobaan ke	Learning Rate	fungsi aktifasi	jumlah layer	rata - rata error (%)		
				eksperimen 1	eksperimen 2	eksperimen 3
1	0,3	PTLT	12-5-1-1	4,87	3,94	8,34
2	0,3	PTLT	12-6-2-1	6,22	3,13	4,25
3	0,3	PTLT	12-7-3-1	6,33	3,86	3,14
4	0,3	PTLT	12-8-4-1	3,38	4,06	4,33
5	0,3	PTLT	12-9-6-1	5,02	5,15	5,66
6	0,3	PTLT	12-11-7-1	3,71	5,59	3,29
7	<b>0,3</b>	<b>PTLT</b>	<b>12-12-8-1</b>	<b>3,05</b>	5,26	3,89
8	0,3	PTLT	12-13-9-1	5,25	4,73	6,53
9	0,3	PTLT	12-14-10-1	5,09	3,25	3,24
10	0,3	PTLT	12-15-11-1	3,90	5,53	5,16
11	0,3	PTLT	12-10-5-1	3,42	6,99	4,35

Sebaliknya terlihat pada tabel 4 terdapat kenaikan *error* prediksi pada pengujian perubahan jumlah *hidden layer* untuk tipe hari libur nasional dari nilai *error* prediksi 3,42% menjadi 3,05%. Hal ini menjelaskan bahwa perubahan jumlah *hidden layer* cukup berpengaruh dalam prediksi beban listrik untuk tipe hari libur nasional yang memiliki pola beban tidak beraturan setiap harinya.

### Perubahan jumlah input

Simulasi pada perubahan jumlah input dilakukan berbeda dari 3 simulasi sebelumnya, karena simulasi dilakukan dari konfigurasi awal, bukan dari hasil maksimal dari simulasi sebelumnya.

TABLE V. SIMULASI PERUBAHAN JUMLAH INPUT PADA HARI KERJA

percobaan	jumlah input	Rata - rata error (%)		
		eksperimen 1	eksperimen 2	eksperimen 3
1	5	6,98	6,96	6,98
2	10	9,12	8,15	7,72
3	20	5,58	8,96	9,88
4	<b>30</b>	5,46	<b>5,29</b>	6,03

TABLE VI. SIMULASI PERUBAHAN JUMLAH INPUT PADA HARI LIBUR AKHIR PEKAN

percobaan	jumlah input	Rata - rata error (%)		
		eksperimen 1	eksperimen 2	eksperimen 3
1	5	7,63	8,94	12,70
2	10	6,65	6,76	8,72
3	20	9,66	6,75	11,36
4	<b>30</b>	<b>5,18</b>	10,79	8,66

TABLE VII. SIMULASI PERUBAHAN JUMLAH INPUT PADA HARI LIBUR NASIONAL

percobaan	jumlah input	Rata - rata error (%)		
		eksperimen 1	eksperimen 2	eksperimen 3
1	5	4,86	8,38	6,22
2	10	5,16	6,01	4,90
3	<b>20</b>	<b>4,13</b>	6,16	6,80
4	30	6,10	13,84	5,85

Pada 3 kali percobaan diatas terlihat bahwa untuk hari kerja dan hari libur akhir pekan yang memiliki pola beban hampir sama setiap harinya memiliki sifat semakin banyak input pembelajarannya semakin baik hasil prediksinya.

### C. Perbandingan Akurasi Hasil Prediksi Menggunakan JST terhadap Prediksi PLN dan Beban Aktual

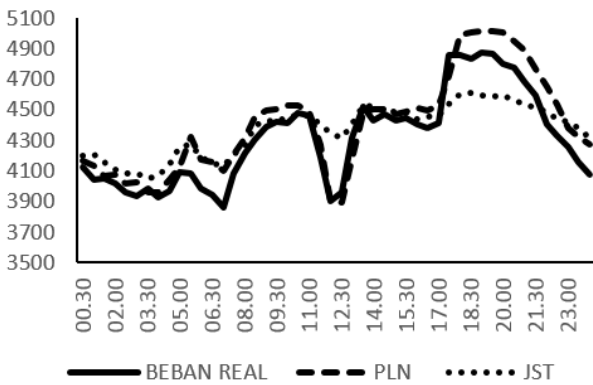
Untuk membuat komparasi dari peramalan yang telah dilakukan, maka dilakukan perbandingan antara peramalan JST dengan peramalan yang dilakukan PLN. Dikarenakan PLN tidak melakukan peramalan atau prediksi beban untuk setiap gardu induk melainkan per Region, oleh karena itu penulis melakukan komparasi peramalan JST dan PLN dengan mengambil Region 2 Jawa Barat sebagai data masukkan untuk beban listrik. Peramalan dengan JST dilakukan dengan 3 kali *running*, pada tabel akan disajikan hasil peramalan JST menggunakan nilai rata – rata *error* per jam yang terbaik dari 3 kali *running*.

Dari grafik perbandingan data aktual dengan hasil peramalan JST dan PLN berdasarkan tipe hari kerja, hari libur akhir pekan, dan juga hari libur nasional diatas, terlihat bahwa grafik yang paling mendekati aktual adalah grafik pada hari libur nasional, dimana nilai rata – rata error per jam terbaiknya adalah 2,89% jika dibandingkan dengan peramalan PLN dimana nilai rata – rata error per jam terbaiknya adalah 8,84%. Hal ini

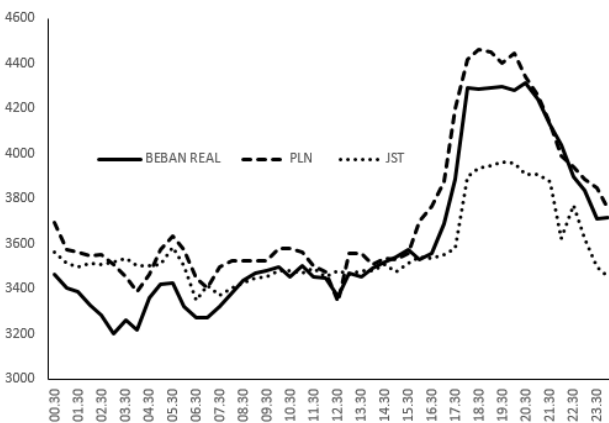
merupakan temuan bahwa peramalan menggunakan JST dengan metode Feedforward Backpropagation menghasilkan hasil yang lebih baik daripada peramalan yang dilakukan PLN.

TABLE VIII. PERBANDINGAN RATA – RATA *ERROR* PREDIKSI PLN DAN JST TERHADAP BEBAN AKTUAL

Tipe Hari	Rata - Rata				
	Beban Aktual	Prediksi PLN	Prediksi JST	Error PLN (%)	Error JST (%)
Hari Kerja	4313,86	4410,00	4370,85	2,63	3,3
Hari Libur Akhir Pekan	3613,38	3572,90	3571,33	3,46	4,11
Hari Libur Nasional	3668,92	3988,51	3600,45	8,84	2,89



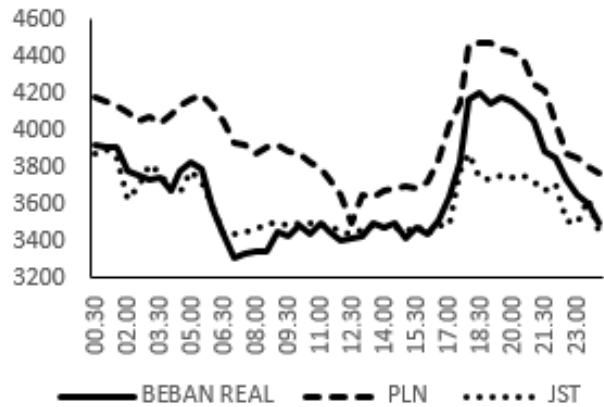
Gambar 4. perbandingan prediksi tipe hari kerja antara beban aktual, prediksi PLN dan JST



Gambar 5. Grafik perbandingan prediksi tipe hari libur akhir pekan antara beban aktual, prediksi PLN dan JST

Untuk peramalan tipe hari kerja dan juga hari libur nasional dapat dilihat bahwa nilai maksimalnya tidak lebih baik dari peramalan yang dilakukan oleh PLN yaitu untuk hari kerja peramalan JST sebesar 3,3% dan peramalan

yang dilakukan oleh PLN sebesar 2,63%, lalu untuk hari libur akhir pekan peramalan yang dilakukan oleh JST didapat sebesar 4,11% dan peramalan yang dilakukan oleh PLN sebesar 3,46%. Hal ini juga merupakan temuan bahwa diperlukannya optimasi lebih lanjut untuk tipe hari kerja dan juga hari libur akhir pekan.



Gambar 6. perbandingan prediksi tipe hari libur nasional antara beban aktual, prediksi PLN dan JST

Dari hasil validasi peramalan yang dilakukan, nilai rata – rata error dari peramalan dengan JST menghasilkan nilai yang baik meskipun untuk hari kerja dan hari libur akhir pekan menghasilkan error yang sedikit lebih besar dari PLN, namun dalam hari libur nasional menghasilkan error yang jauh lebih kecil. Dengan begitu keadaan dan nilai ekonomis dari sistem akan tetap terjaga dengan baik.

Dari peramalan yang telah dibandingkan terhadap prediksi PLN dan beban aktual, di dapat prediksi yang lebih baik yaitu pada hari libur nasional dimana terdapat selisih rata – rata error 5,95% per setengah jamnya. Jika dilihat dari segi efisiensi, pada rata – rata beban target untuk hari libur nasional yang nilainya 3668,92 MW, bisa dikalkulasikan bahwa terdapat 218,30 MW energi listrik yang bisa diefisienkan tiap setengah jamnya.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan data aktual yang didapat, memperlihatkan bahwa setiap tipe hari memiliki karakteristik yang hampir sama untuk waktu – waktu beban mencapai titik beban minimum dan juga maksimum, hanya saja nilainya yang

berbeda. Untuk beban puncak terdapat pada sekitar jam 18.00 – 21.00 dimana mayoritas masyarakat melakukan aktifitas dirumah dan menggunakan listrik untuk hiburan dan juga penerangan. Lalu untuk beban minimumnya terdapat pada jam 6.30 – 8.00 dimana hampir semua masyarakat baru akan memulai aktifitasnya seperti perkantoran, sekolah, dan juga industri.

Setelah dilakukan beberapa percobaan dapat dilihat bahwa, pengujian untuk perubahan learning rate cukup berpengaruh dalam prediksi beban untuk ketiga tipe hari yang di teliti. Lalu pengujian untuk perubahan fungsi aktivasi tidak cukup berpengaruh untuk hari libur hari kerja dan hari libur akhir pekan namun cukup berpengaruh terhadap hari libur nasional. Kemudian untuk pengujian jumlah hidden layer didapat bahwa tidak berpengaruh terhadap hari kerja dan juga hari libur akhir pekan, namun cukup berpengaruh terhadap hari libur nasional.

Pada pengujian untuk perubahan jumlah input untuk hari kerja dan hari libur nasional, semakin banyak jumlah input semakin baik prediksi yang dihasilkan, namun pada hari libur nasional input yang tidak terlalu banyak dan juga tidak terlalu sedikit yang menghasilkan prediksi maksimal.

Hasil perbandingan prediksi PLN dan JST terhadap beban aktual dengan nilai error rata – rata maksimal untuk hari kerja dan hari libur akhir pekan memperlihatkan bahwa prediksi yang dilakukan PLN masih lebih baik daripada JST dengan nilai 2,63% untuk prediksi PLN dan 3,3% untuk JST pada hari kerja, lalu 3,46% untuk PLN dan 4,11% untuk JST pada hari libur akhir pekan. Namun untuk tipe hari libur nasional, JST memiliki prediksi yang jauh lebih baik dengan nilai 2,89% dan 8,84% untuk PLN.

## REFERENSI

- [1] Abdullah AG. Short Term Load Forecasting (STLF) Melalui Pendekatan Logika Fuzzy. *Electrans*. 2008;7:1-6.
- [2] Mulvadi Y, Farida L, Abdullah AG, Rohmah KA. Anomalous STLF for Indonesia power system using Artificial Neural Network. In *Science and Technology (TICST)*. 2015 International Conference on 2015 Nov 4 (pp. 1-4). IEEE.
- [3] Ade Gafar Abdullah, Galura Muhammad Suranegara, Dadang Lukman Hakim, 2014, Hybrid PSO-ANN Application for Improved Accuracy of

Short Term Load Forecasting, *WSEAS Transactions on Power Systems*, Volume 9, 2014, pp. 446-451.

- [4] Hakim, Lukmanul, M. Syafruddin & Dikpride Despa. *Metode Regresi Linier untuk Prediksi Kebutuhan Energi Listrik Jangka Panjang*. 2008
- [5] Siang, Jong Jek (2009). *Jaringan Syaraf Tiruan & Pemrogramannya menggunakan MATLAB*. Yogyakarta: Penerbit Andi Offset.

# Rancang Bangun Inverter sebagai Driver Motor Induksi 3 Fasa

Susi Susanti, Dadang Lukman Hakim, Yoyo Somantri  
Program Studi S1 Teknik Elektro FPTK UPI  
Jl. Dr. Setiabudhi No. 207 Bandung 40154  
e-mail: [ssusantist@gmail.com](mailto:ssusantist@gmail.com)

**Abstrak**— Dalam sepuluh tahun terakhir perkembangan mengenai teknologi konversi energi mengalami kemajuan yang sangat pesat. Hal ini disebabkan oleh penetrasi yang terus menerus terjadi pada elektronika daya ke pembangkit listrik. Terhitung lebih dari 85% dari seluruh jenis motor yang digunakan di industri dan aplikasi domestik, motor induksi lebih banyak dipilih. Mayoritas dari drive di dunia industri menggunakan motor induksi AC karena motor ini kasar, handal, dan relatif murah. Motor induksi terutama digunakan untuk aplikasi kecepatan konstan karena tidak tersedia suplai tegangan dengan variabel frekuensi. Rangkaian inverter yang dirancang pada penelitian ini digunakan sebagai *driver* motor induksi tiga fasa yang memerlukan tegangan suplai sebesar 380 V. Selain itu, inverter yang dirancang diharapkan mampu menangani beban kontinu sebesar 1000 VA. Pada proses perancangan dan penelitian yang dilakukan terdiri dari proses simulasi dan rancang bangun prototipe rangkaian inverter sebagai *driver* motor induksi tiga fasa. Pada perancangan dan penelitian yang dilakukan pada skripsi ini terdiri dari tiga komponen, yaitu rangkaian sinusoidal PWM, rangkaian inverter dan rangkaian filter pasif low-pass. Untuk mengurangi harmonisa yang terdapat pada gelombang keluaran inverter maka digunakan pola penyaklaran sinusoidal PWM. Sehingga tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui desain inverter, spesifikasi perancangan inverter dan pola penyaklaran yang digunakan pada inverter. alasan dilakukannya penelitian ini adalah mengejar kebutuhan terhadap penggunaan inverter di dunia industri. Metode

penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kualitatif dimana data perancangan inverter akan dibandingkan dengan hasil percobaan prototipe.

**Keywords**— *Inverter tiga fasa, Sinusoidal PWM, Motor induksi, Filter pasif low-pass.*

**Abstract**— In the last 10 years the development of energy conversion technology has been developing very fast. This is due to the continuous penetration in power electronics to power plants. Estimated more than 85% from every single type of motor which used in industries and domestic applications, induction motor is the most selected choice. The majority of drive in industries are using AC induction motor because of its robust, reliable, and relatively cheap. Induction motor mainly used in constant speed application because voltage supply for frequency variable was not available. The designed inverter circuit in this research was used as a three phase induction motor driver which needs voltage supply of 380 Volts. Besides, the designed inverter was expected to handle a continuous load of 1000 VA. In the design process and the research which conducted consists of simulation stage and building the prototype of inverter circuit as a three phase induction motor driver. At the design and the research that conducted in this paper are consisted of three components, which are sinusoidal PWM circuit, inverter circuit, and low pass passive filter circuit. To reduce the harmonics in the waveform of inverter's output, then used sinusoidal PWM switching scheme. Therefore the purpose of this research is to know

how to design an inverter, the specification of inverter design, and the switching scheme that is used in the inverter. The reason for conducting this research is to pursue the needs of inverter utilities in the industries. The research method that is used in this research is a qualitative method which the inverter design data is compared with the tested prototype.

**Keywords:** *three phase inverter, Sinusoidal PWM, Induction Motor, Low Pass Passive Filter*

## I. PENDAHULUAN

Terhitung lebih dari 85% dari seluruh jenis motor yang digunakan di industri dan aplikasi domestik, motor induksi lebih banyak dipilih. Di masa lalu, motor induksi telah digunakan sebagai motor yang memiliki kecepatan konstan dengan metode pengontrolan kecepatan tradisional yang kurang efisien dibandingkan dengan metode pengontrolan kecepatan untuk motor DC. Namun, motor DC memerlukan komutator dan sikat yang beresiko dan memerlukan perawatan. Sehingga motor induksi lebih disukai [1].

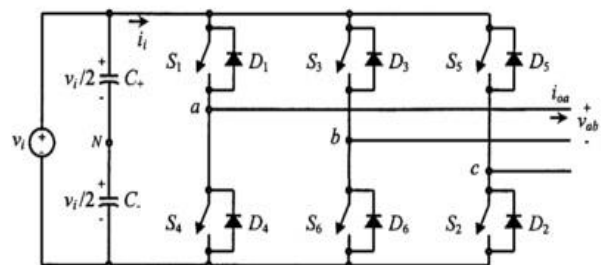
Mayoritas dari drive di dunia industri menggunakan motor induksi AC karena motor ini kasar, handal, dan relatif murah. Motor induksi terutama digunakan untuk aplikasi kecepatan konstan karena tidak tersedia suplai tegangan dengan variabel frekuensi. Tetapi banyak aplikasi yang membutuhkan operasi kecepatan variabel. Secara historis, sistem peralatan mekanik digunakan untuk kecepatan variabel. Baru-baru ini, elektronika daya dan sistem kontrol telah matang untuk memungkinkan komponen digunakan pada pengontrolan kecepatan motor. Elektronika ini tidak hanya mengontrol kecepatan motor tetapi memperbaiki dinamis motor dan karakteristik *steady state* [2].

Inverter merupakan suatu rangkaian elektronika daya yang sudah banyak digunakan untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari. Hal ini dikarenakan beberapa tahun terakhir sudah banyak pembangkit energi listrik yang dapat menghasilkan tegangan DC. Pembangkit tersebut diantaranya, PLTB dan PLTS. Energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tersebut diubah oleh inverter agar dapat dimanfaatkan

untuk memenuhi kehidupan sehari-hari. “Inverter adalah suatu rangkaian yang dapat merubah tegangan DC menjadi tegangan AC dengan cara mengatur frekuensi penyaklaran” [3].

Inverter tiga fasa adalah suatu alat yang digunakan untuk mengkonversi tegangan input DC menjadi tegangan keluaran AC dengan nilai tegangan dan frekuensi berada pada nilai tertentu. Inverter tiga fasa juga digunakan pada aplikasi UPS (Uninterruptible Power Supply), drive motor ac, ASD (Adjustable Speed Drive), FACTS, dan VAR compensator. Inverter tiga fasa lebih umum dibandingkan dengan inverter satu fasa jika digunakan untuk mencatu beban tiga fasa. Sumber DC yang digunakan untuk inverter tiga fasa diperoleh dari baterai atau dari penyearah. Yang mana masing-masing inverter menghasilkan keluaran dengan mode 120o (pada frekuensi dasar) .

Pada aplikasi industri, VSI banyak digunakan karena macam-macam rentang dari pengaturan kecepatan sangat diperlukan. VSI tiga fasa dioperasikan pada dua mode, yaitu mode operasi 180o dan mode operasi 120o. Pada mode operasi 180o terdapat tiga saklar yang konduksi pada satu siklus, setiap saklar dioperasikan pada sudut penyalaan 60o. Pada mode operasi ini, satu siklus dapat dengan mudah menghasilkan gelombang sinus murni menggunakan filter. “Sehingga disini lain dapat disebut dengan mode gelombang kotak yang bertingkat atau mode penyaklaran.” [4]. Pada mode operasi 120o sepasang saklar konduksi pada sudut penyalaan 120o.



Gambar 1 Inverter Tiga Fasa

Inverter jenis VSI dapat dibedakan menjadi tiga bagian, yaitu:

- 1) *Inverter Pulse Width Modulated (PWM)*

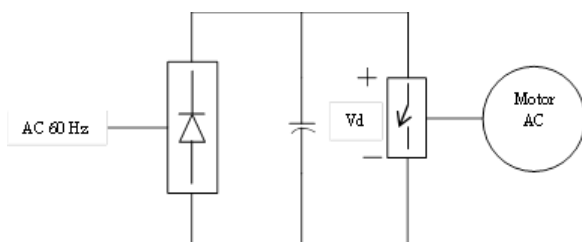
Inverter ini digunakan untuk mengatur kecepatan motor AC dimana penyearah dioda yang terpasang digunakan untuk mengatur tegangan phasa. Inverter yang digunakan memiliki fungsi dapat mengontrol *magnitude* dan frekuensi dari tegangan keluaran AC. Untuk mencapai hal tersebut, digunakan PWM sebagai saklar inverter. Variasi pola dari PWM sebagai saklar inverter digunakan agar bentuk dari tegangan keluaran AC menyerupai gelombang sinusoidal.

### 2) Inverter Gelombang Kotak (Square-wave Inverter)

Pada inverter jenis ini, tegangan *input* DC dikontrol untuk mengatur nilai tegangan keluaran AC yang mana inverter hanya dapat mengatur frekuensi tegangan keluaran saja. Tegangan keluaran AC memiliki gelombang yang hampir sama dengan gelombang kotak. Pola *switching* yang paling sederhana digunakan pada konverter *full bridge* yang mana konverter ini dapat menghasilkan tegangan keluaran berupa gelombang kotak.

### 3) Inverter Fasa Tunggal dengan 'Penghilang' Tegangan (voltage cancellation)

Dalam kasus inverter dengan keluaran fase tunggal, memungkinkan untuk mengontrol nilai dan frekuensi tegangan keluaran inverter, meskipun *input* ke inverter adalah tegangan dc yang konstan dan switch inverter tidak termodulasi lebar pulsanya (dan karenanya tegangan keluaran bentuk gelombang seperti gelombang persegi). Oleh karena itu, inverter ini menggabungkan karakteristik dari dua inverter sebelumnya. Perlu dicatat bahwa teknik pembatalan tegangan hanya bekerja dengan inverter satu fasa dan tidak dengan tiga fasa inverter.



Gambar 2 Mode pensaklaran inverter pada drive motor AC

## II. METODE PENELITIAN

Pada dasarnya, metodologi penelitian yang dilakukan dibedakan menjadi beberapa tahap, yaitu tahap perancangan, tahap simulasi menggunakan *software* PSIM, dan tahap pembuatan *hardware*.

Penelitian diawali dengan studi literatur tentang pengertian inverter, PWM beserta penggunaan PWM sebagai pola penyaklaran inverter. Dari hasil studi tersebut dapat dirumuskan menjadi tujuan penelitian. Kemudian dilakukan perancangan yang kemudian hasil perancangan disimulasikan menggunakan *software* PSIM. Setelah diperoleh hasil tegangan output yang sesuai dengan perancangan maka dilakukan pembuatan prototipe rangkaian inverter. Langkah selanjutnya melakukan pengecekan masing-masing modul yang terdapat pada rangkaian penyusun inverter.

Pembuatan alat ini diawali dengan melakukan perancangan rangkaian. Perancangan rangkaian yang dimaksud adalah merancang sistem *hardware* dari alat ini. Setelah proses perancangan selesai, maka langkah selanjutnya adalah pembelian komponen yang diperlukan untuk membuat sistem *hardware*. Setelah semua komponen yang dibutuhkan dibeli, kemudian rangkai komponen-komponen tersebut sesuai dengan rangkaian yang telah dirancang. Apabila rangkaian telah berjalan dengan baik dan sudah sesuai dengan yang diharapkan maka tahap selanjutnya yang dilakukan adalah pembuatan *layout* PCB. *Layout* PCB dibuat dengan menggunakan *software* Eagle 7.4.0.

Setelah PCB selesai dibuat, maka langkah yang ditempuh adalah melakukan pengetesan jalur terlebih dahulu agar tidak terjadi hubung singkat atau antar jalur pada PCB tidak terhubung. Apabila pengecekan jalur sudah selesai dilakukan dan sudah dipastikan bahwa jalur yang telah dibuat sudah sesuai dengan perancangan, maka langkah selanjutnya adalah pemasangan komponen pada PCB. Tahap selanjutnya pengetesan kinerja alat. Setelah pengetesan selesai, tahap selanjutnya yang dilakukan adalah analisis. Tujuan dari analisis adalah untuk mengetahui spesifikasi dan kekurangan dari alat yang sudah dibuat.

Spesifikasi inverter yang akan dirancang dapat dijadikan sebagai acuan untuk membuat inverter kedalam bentuk *hardware*. Sumber tegangan yang digunakan untuk mencatu inverter berasal dari sumber tegangan DC. Inverter yang akan dirancang memiliki spesifikasi daya output dan tegangan output sebesar 1000 VA dan 380 Volt line to line. Bentuk gelombang yang dihasilkan oleh inverter ini berupa sinusoidal murni (*pure sine wave*). Diharapkan efisiensi yang dihasilkan oleh inverter yang dirancang mencapai 90% dan THD yang timbul sebesar  $< 5\%$ . Dengan pertimbangan bahwa beban yang digunakan adalah motor induksi tiga fasa.

TABLE I. SPESIFIKASI PERANCANGAN INVERTER TIGA FASA

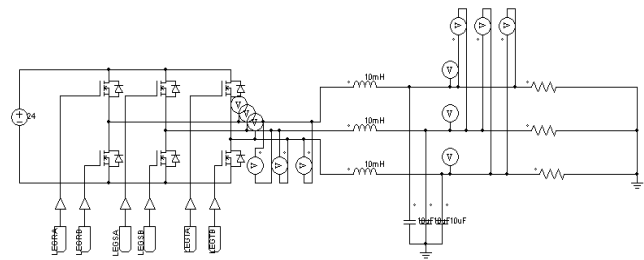
Nama	Keterangan
Tegangan	380 Volt line to line
Daya Semu	1000 VA
Bentuk Gelombang	Sinuoidal Murni ( <i>pure sine wave</i> )
THD	$< 5\%$
Efisiensi	90%
Ukuran	(187,96 x 107,95) mm

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Rangkaian inverter ini tersusun atas enam buah saklar dengan SPWM sebagai pola penyaklaran inverter. Diantara enam buah MOSFET ini, masing-masing leg pada inveter terdapat dua buah MOSFET yang sefasa dan MOSFET lainnya memiliki beda fasa sebesar  $120^\circ$ . Jenis saklar yang digunakan adalah MOSFET tipe IRFP460 dengan rating tegangan pengalir-sumber ( $V_{DS}$ ) 500 Vdc dan rating arus 20 A. Pemilihan MOSFET tipe ini didasarkan pada tegangan yang digunakan pada inverter merupakan tegangan tinggi. Pemanfaatan MOSFET pada aplikasi lainnya yaitu untuk aplikasi saklar dengan kecepatan tinggi pada *power supply*, konverter, kontrol motor dan rangkaian *bridge*.

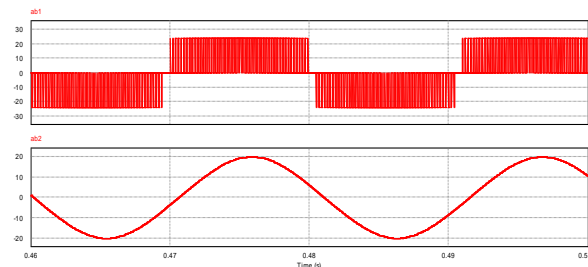
Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, terlihat bahwa topologi inverter yang dibuat menggunakan topologi VSI tiga fasa. Pada topologi ini terdapat tiga leg dan enam buah MOSFET. Pada masing-masing leg

terdapat dua buah MOSFET. Pada rangkaian ini, jenis MOSFET yang digunakan adalah MOSFET kanal-n dengan tipe IRFP460. Pemilihan MOSFET tipe ini didasarkan pada frekuensi penyaklaran yang tinggi.



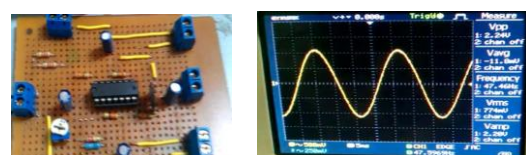
Gambar 3. Rangkaian Inverter dengan Filter pasif low-pass

Untuk menghasilkan gelombang keluaran berupa gelombang sinusoidal murni, maka pada rangkaian inverter dipasang filter pasif low-pass. Filter ini memiliki fungsi dapat mengurangi kandungan harmonisa pada gelombang keluaran inverter. Sehingga rangkaian yang dibuat seperti pada gambar 3.

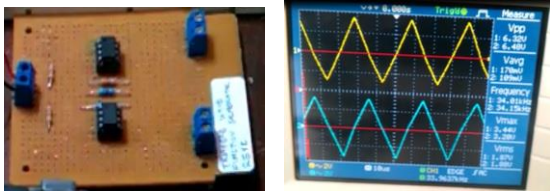


Gambar 4. Gelombang keluaran inverter pada fasa R sebelum dipasang filter pasif low-pass (atas) dan gelombang keluaran inverter setelah dipasang filter pasif low-pass (bawah)

Komponen sinusoidal PWM terdiri dari osilator sinusoidal dan osilator segitiga. Dari pembuatan inverter ini, pola penyaklaran yang digunakan adalah sinusoidal PWM yang berfungsi untuk mengurangi kandungan harmonisa.



Gambar 5. Rangkaian Osilator sinusoidal dan gelombang keluarannya



Gambar 6. Rangkaian Osilator segitiga dan gelombang keluarannya

- [4] Mohan, N., Undeland, T. M., & Robbins, W. P. (2003). *Power Electronics: Converters, Applications, and Design Third Edition*. University of Minnesota, Minneapolis, Minnesota: John Wiley & Sons.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perencanaan dan simulasi menggunakan *software* PSIM 9.0, rangkaian inverter sebagai *driver* motor induksi tiga fasa dapat berfungsi sesuai dengan yang diharapkan. Namun, pada tahap perancangan diperlukan modifikasi dari rangkaian inverter yang telah direncanakan sebelumnya. Perlunya rangkaian tambahan pada protoipe agar rangkaian inverter dapat berfungsi sesuai dengan yang diharapkan. Karena pada tahap perencanaan, seluruh komponen yang digunakan merupakan komponen ideal.

Spesifikasi inverter yang dirancang diharapkan dapat menghasilkan tegangan output sebesar 380 V line to line dengan daya semu sebesar 1000 VA sesuai dengan spesifikasi perancangan yang telah dijelaskan pada bab 3.

Berdasarkan hasil studi pustaka, terdapat beberapa jenis pola penyaklaran yang digunakan untuk meng-ON dan OFF kan MOSFET. Pada penelitian kali ini, pola penyaklaran yang digunakan adalah menggunakan rangkaian sinusoidal PWM. Pertimbangan menggunakan pola penyaklaran ini karena rangkaian sinusoidal PWM dapat megurangi kandungan harmonisa pada inverter.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jee, D., & Patel, N. (2013). *V/f Control of Induction Motor Drive*. India: National Institute of Technology Rourkela-769008 (ODISHA).
- [2] Kadam, A., & Shaikh, A. (2014). Simulation & Implementation of Three Phase Induction Motor on Single Phase by Using PWM Techniques. *International Journal of Engineering Research and General Science Volume 2*, 1.
- [3] Hart, D. W. (2011). *Power Electronics*. Valparaiso University Valparaiso, Indiana: Mc Graw Hill.



# Isotermal Remanent Magnetisation

Wawan Purnama

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan  
Universitas Pendidikan Indonesia  
Jalan Dr. Setiabudhi nomor 229 Bandung 40154  
e-mail: wawanpurnama@gmail.com

**Abstrak**— Pengukuran IRM bertujuan untuk mendapatkan keadaan saturasi sampel yang sedang diuji. Pengukuran ini dilakukan dengan meletakkan sampel yang sudah selesai didemagnetisasi berada ditengah kutub magnet, kemudian diberikan medan yang dihasilkan oleh elektromagnetik Weiss dengan arus listrik yang dapat diterima sebesar 16 A dengan tegangan power supply 120 V DC serta tahanan listrik 6,6 Ohm. Untuk mendapatkan medan magnet yang kuat, tentu saja diperlukan arus listrik yang besar dan untuk menjaga efek panas yang ditimbulkan dari arus yang besar tadi maka elektromagnet Weiss didinginkan dengan air yang dialirkan melalui pipa pendingin dengan pompa. Kuat medan yang ditimbulkan oleh elektromagnet Weiss, selain bergantung pada arus juga bergantung pada jarak kutub-kutub magnetnya. Hasil pengukuran yang didapat semestinya menunjukkan hubungan yang linier antara medan magnet dengan arus listrik melalui hubungan  $M = ai + b$  dimana M menyatakan besarnya medan magnet dalam kumparan elektomagnet Weiss, i menyatakan besarnya kuat arus dalam Ampere sedangkan a dan b adalah angka hasil pengukuran yang didapat yakni  $a=80,26$  dan  $b=12,03$ . Pengukuran IRM dilakukan dengan alat Minispin Magnetometer dengan prosedur yang sama seperti pada pengukuran NRM, catat besarnya intensitas magnetisasi yang ditunjukkan sebagai akibat induksi dari medan magnet oleh elektromagnetik Weiss, kemudian naikkan medan yang diberikan dengan cara mengatur posisi switch ke posisi ke-2 kemudian catat besar kuat arus yang ditimbulkannya. Setelah

pemberian medan selesai dilakukan, kemudian ukur lagi IRMnya dengan prosedur yang sama seperti sebelumnya sampai mendapatkan saturasi sampel yang sedang di uji. Biasanya jumlah step yang diperlukan untuk saturasi antara 11-15 step atau mungkin juga kurang dari itu. Sampel yang akan diukur IRMnya ini diambil satu dari setiap site dengan mempertimbangkan bahwa sampel tersebut peluruhan intensitasnya lambat, karakterisasi deklinasi, inklinasi dan  $\alpha_{95}$  yang cukup signifikan dan tidak berbeda jauh dengan nilai karakterisasi lainnya.

**Keywords**— *isothermal, remanen, magnetisasi.*

**Abstract**— *Measurement IRM aims to get the saturation state of the sample being tested. This measurement is done by placing a sample of the finished didemagnetisasi in center of magnetic poles, then given electromagnetic field generated by electric currents Weiss with an acceptable rate of 16 A with voltage of 120 V DC Power Supply and electrical resistance 6,6 Ohm. To obtain a strong magnetic field, of course, required large electrical currents and to keep the heat effect resulting from large currents Weiss electromagnet was then cooled with water that flowed through the cooling pipe with pompa. Kuat electromagnetic field generated by Weiss, in addition to relying the flow is also dependent on the distance of the magnetic poles. The measurement results obtained should show a linear relationship between the magnetic field with an electric current through the relationship  $M = ai + b$  where M states in the magnitude of the magnetic field coil elektomagnet*

*Weiss, i declare a strong magnitude of the current in Amperes, while a and b is the number of measurement results obtained ie  $a = b = 80.26$  and 12.03. IRM measurements performed by means of Minispin Magnetometers with the same procedure as in the measurement of NRM, note the magnitude of the intensity of magnetization is shown as a result of the magnetic field induced by electromagnetic Weiss, then raise the terrain is given by way of adjusting the position switch to position 2 and note the large strong currents caused. After administering field is done, then measure again IRMnya with the same procedure as before to obtain saturation of the sample being tested. Usually the number of steps required for saturation between 11-15 step or maybe less. IRMnya sample to be measured is taken one from each site by considering that the sample is slow decay of its intensity, the characterization of  $\alpha_s$  which is quite significant and does declination, inclination and not vary much with the other characterization.*

**Keywords:** web page interface, current, voltage, apparent power, realtime chart

## I. PENDAHULUAN

Pengukuran *remanen magnetic* bertujuan untuk mendapatkan keadaan saturasi sampel yang sedang diuji. Pengukuran ini dilakukan dengan meletakkan sampel yang sudah selesai didemagnetisasi berada ditengah kutub magnet, kemudian diberikan medan yang dihasilkan oleh elektromagnetik Weiss dengan arus listrik yang dapat diterima sebesar 16 A dengan tegangan Power Supply 120 V DC serta tahanan listrik 6,6 $\Omega$ .

Untuk mendapatkan medan magnet yang kuat, diperlukan arus listrik yang besar dan untuk menjaga efek panas yang ditimbulkan dari arus yang besar tadi maka elektromagnet Weiss didinginkan dengan air yang dialirkan melalui pipa pendingin dengan pompa. Kuat medan yang ditimbulkan oleh electromagnet.

### A. Material Dan Mineral Magnetik

Berdasarkan jenis dan jumlah relatif mineral-mineral ferromagnetiknya serta sifat dari material magnetiknya, material magnetik dapat ditinjau dalam tiga grup utama yaitu :

- Diamagnetik, sifat material ini sangat lemah kemagnetannya jika dibandingkan dengan ferromagnetik dan sesungguhnya material ini tidak bergantung pada temperatur. Logam-logam yang memiliki sifat diamagnetik diantaranya : Tembaga (Cu), Emas (Au), Perak (Ag) dan Timah (Pt).
  - Paramagnetik, sifat material ini dapat memperoleh magnetisasi hanya dari induksi oleh medan magnet eksternal. Magnetisasinya memiliki arah yang sama dengan medan magnet induksi.
  - Ferromagnetik, sifat material yang ditandai dengan adanya magnetisme spontan walaupun tidak ada medan magnet dinamakan ferromagnetik, tetapi jika bahan ferromagnetik dipanaskan sampai diatas temperatur kritis kemampuan untuk memiliki medan magnetik permanennya hilang. Saturasi magnetisasi akan menurun akibat naiknya temperatur dan menjadi nol pada temperatur curie (TC) yang merupakan karakteristik dari material ferromagnetik (580°C untuk magnetite dan 680°C untuk hematite). Ferromagnetik yang diatas temperatur curienya bersifat paramagnetik dinamakan ferrimagnetik. Magnetite adalah contoh ferrimagnetik yang paling populer, sedangkan ferromagnetik yang mempunyai pola momen magnetik yang anti paralel dibawah temperatur kritis (temperatur Neel) dinamakan anti ferromagnetik [1], [14]
- Mineral magnetik dapat dikenal dari sifat magnetik remanen yang dikandung dalam batuan, sedangkan pembawa sifat remanen pada batuan dapat di bedakan melalui kandungan oksida besi titanium (FeTi) yang dimiliki oleh mineral batuan tersebut. Berdasarkan kandungan oksida besi titanium dalam mineral magnetik maka mineral tersebut dapat di kategorikan ke dalam:
- Deret Titanomagnetite, terdiri dari larutan padat atau komposisi yang berbeda dari bahan (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) magnetite dan (Fe<sub>2</sub>TiO<sub>4</sub>)

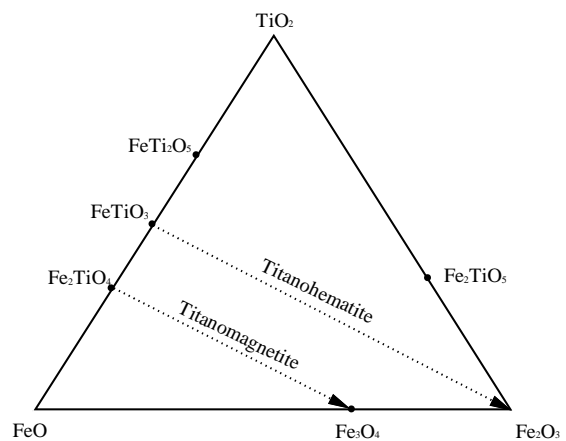
ulvospinel. Rumus kimia secara umum dari titanomagnetite adalah  $Fe_{3-x}Ti_xO_4$  dengan  $x=0,0$  untuk magnetite dan  $x=1,0$  untuk ulvospinel. Karakter khusus magnetite ( $Fe_3O_4$ ) merupakan mineral bertekstur kubus, warna gelap dan memiliki sifat magnetik yang kuat dengan saturasi magnetisasi yang beragam kecuali besi. Suseptibilitas intrinsik dari magnetite sangat tinggi, tetapi suseptibilitas asal yang efektif dari sekumpulan butiran yang tidak berinteraksi dipengaruhi oleh faktor demagnetisasinya [1]. Magnetite mengalami perubahan struktural dari kubus ke orthorombik pada temperatur  $-145^\circ C$  sampai dengan  $-155^\circ C$ . Ulvospinel merupakan anggota terakhir dari titanomagnetite yang bersifat ferrimagnetik lemah dengan temperatur Neel 120 K. Pada temperatur ruang, ulvospinel merupakan paramagnetik dan dapat mengoksidasi ilmenite dan magnetite.

- Deret Titanohaematite, terdiri dari dua anggota terakhir yaitu haematite ( $\alpha$ - $Fe_2O_3$ ) dan ilmenite ( $FeTiO_3$ ) dengan perbandingan berbeda-beda yang sifat-sifatnya bervariasi sesuai komposisinya. Titanohaematite pada umumnya merupakan mineral yang tak tembus cahaya yang memiliki rumus umum  $Fe_{2-x}Ti_xO_3$ ,  $x=0,0$  untuk haematite dan  $x=1,0$  untuk ilmenite. Ilmenite ( $FeTiO_3$ ) merupakan paramagnetik pada temperatur diatas 60K, sedangkan dibawah temperatur ini ilmenite merupakan anti ferromagnetik, meleleh pada temperatur  $1470^\circ C$  dan secara alami sering mengandung jejak magnetite atau haematite, merupakan mineral kehitam-hitaman tapi kelihatan putih keabu-abuan pada bagian yang disemir. Ilmenite sangat tahan pada perubahan cuaca, oleh karena itu selalu ada dalam beberapa sedimen. Haematite ( $\alpha$ - $Fe_2O_3$ ) secara umum sangat bervariasi sifatnya. Titik leleh yang sebenarnya adalah  $1750^\circ C$ , akan tetapi diudara haematite berdisosiasi ke

magnetite. Pada temperatur  $1400^\circ C$  haematite merupakan antiferromagnetik dan titik Currianya  $680^\circ C$ .

- Oksihidroksida Besi, merupakan bahan anti ferromagnetik dengan temperatur Neel  $120^\circ C$ , tetapi secara umum yang berada di alam bersifat ferromagnetik yang lemah. Oksihidroksida besi yang terpenting adalah goethite [2].

Untuk menunjukkan komposisi dari keluarga oksida besi titanium tersebut dapat di lihat pada ternary diagram berikut ini:



Gambar 1. Ternary diagram oksida besi titanium

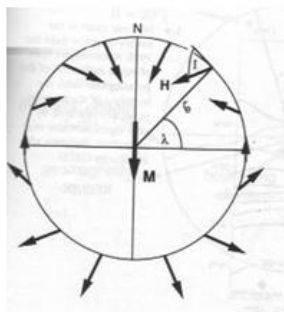
### B. Batuan Beku

Batuan beku merupakan kumpulan mineral-mineral dari magma yang mengkristal, sedangkan magma adalah cairan kompleks yang mengandung silika, air serta berbagai macam gas yang berada di bawah permukaan bumi. Berdasarkan letak kejadiannya, batuan beku dibedakan atas batuan beku interusif yaitu batuan beku hasil dari pembekuan magma di dalam bumi dan batuan beku ekstrusif yaitu batuan beku hasil pembentukan magma di atas permukaan bumi. Batuan beku dapat dikenali dari komposisi mineral dan teksturnya. Komposisi mineral batuan beku berkaitan dengan warna batuan dan informasi mengenai magma asal batuan, sedangkan tekstur suatu batuan memberikan informasi tentang proses pembekuan yang dialami oleh magma tersebut[6] [13].

### C. Medan Magnetik Bumi

1. Teori tentang medan magnetik bumi didasarkan pada suatu asumsi bahwa medan magnetik bumi merupakan suatu dipole dan merupakan sebuah vektor. Arah dari medan magnetik bumi dinyatakan dalam deklinasi dan inklinasi. Deklinasi adalah arah yang menunjukkan penyimpangan arah utara selatan magnet terhadap arah kutub utara-selatan bumi, sedangkan inklinasi menunjukkan arahnya terhadap bidang ekuator (horizontal). Arah kutub magnetik bumi tidak tetap tetapi dapat berubah-ubah yang kita kenal sebagai variasi sekuler yang dapat dilihat dari nilai perubahan posisi lintang kutub ( $\lambda_P$ ) antara satu dengan site lainnya. Posisi lintang kutub untuk variasi sekuler yang berharga positif meng-indikasikan posisi tempat (site) tersebut berada di belahan bumi bagian utara, demikian sebaliknya. Disamping itu arah kutub magnetik bumi dapat juga mengalami *reversal* (pembalikan) yang dapat dilihat dari perolehan posisi lintang kutub ( $\lambda_P$ ) yang berharga negatif terhadap posisi site lainnya, sehingga posisi site tersebut berada di selatan. [7], [12].

Model Geocentric Axial Dipole merupakan suatu model yang menunjukkan bahwa inklinasi medan magnetik bumi merupakan fungsi dari lintang. Dalam model ini ditunjukkan bahwa medan dipole magnetik rata-rata arahnya sejajar dengan sumbu rotasi bumi. Disamping itu model ini juga ditunjukkan bahwa sumbu geomagnetik berimpit dengan sumbu geografi, sehingga ekuator geomagnetik juga berimpit dengan ekuator geografi [2].



Gambar 2 : Model geocentric axial dipole

Apabila  $M$  adalah momen dipole magnetik,  $\lambda$  adalah lintang geografi yang berharga mulai dari  $-90^\circ$  pada kutub geografi selatan hingga  $90^\circ$  pada kutub geografi utara,  $r$  adalah jari-jari bumi dari dipole magnetik. Kemudian  $H_h$  merupakan komponen horizontal,  $H_v$  merupakan komponen vertikalnya dari medan magnetik yang dihasilkan oleh dipole magnetik, maka  $H$  merupakan medan magnetik total yang dihasilkan dipole magnetik. Dari deskripsi parameter diatas didapat suatu rumusan berikut :

$$H_h = \frac{M \cos \lambda}{r^3} \quad (1)$$

$$H_v = \frac{2M \sin \lambda}{r^3} \quad (2)$$

Inklinasi  $I$  dapat dihitung dengan,

$$\tan I = \frac{H_v}{H_h} = 2 \tan \lambda \quad (3)$$

Untuk medan magnetik total  $H$  kita dapatkan,

$$H = \sqrt{H_h^2 + H_v^2} = \frac{M}{r^3} \sqrt{1 + 3 \sin^2 \lambda} \quad (4)$$

[11].

### D. Natural Remanent magnetization (NRM)

Nilai NRM suatu batuan merupakan nilai magnetisasi mineral magnetik alamiah sebelum dilakukan proses demagnetisasi pada batuan tersebut. Proses magnetisasi pada batuan di alam terdiri dari dua jenis yakni magnetisasi primer dan magnetisasi sekunder.

Magnetisasi primer terjadi ketika mineral-mineral magnetik pada batuan beku melewati temperatur curie atau yang dinamakan Thermo Remanent Magnetization (TRM), namun tidak semua TRM diperoleh pada temperatur curie tetap beberapa puluh derajat dibawahnya, proses ini dinamakan Partial Thermo Remanent Magnetization (PTRM).

Magnetisasi sekunder ditimbulkan oleh beberapa sebab diantaranya proses kimiawi dari oksidasi pada batuan, proses ini dinamakan Chemical Remanent Magnetization (CRM). Sebab lain adalah saat mineral-mineral magnetik batuan tersambar petir yang

menyebabkan arah magnetisasi remanennya berubah, proses ini dinamakan Isothermal Remanent Magnetization (IRM).

Prosedur yang ditempuh untuk memisahkan magnetisasi primer dan magnetisasi sekunder pada batuan dilakukan dengan proses *Demagnetisasi* pada sample batuan. Proses ini dapat menghilangkan magnetisasi sekunder pada batuan, sehingga didapatkan informasi tentang arah magnetisasi mineral magnetik saat batuan itu terbentuk. Proses demagnetisasi yang dilakukan pada sample batuan dilakukan oleh alat Molspin AF Demagnetizer [3].

#### E. Virtual Geomagnetic Pole (VGP)

Untuk menentukan posisi suatu tempat (site) dimasa lampau, dimana posisi suatu tempat atau objek penelitian dianggap diam sementara posisi kutubnya dianggap berubah-ubah, dapat ditentukan dengan metode Virtual Geomagnetic Pole (VGP).

Penentuan posisi VGP meliputi  $\lambda_p$  dan  $\phi_p$ , dimana  $\lambda_p$  merupakan posisi lintang purba dan  $\phi_p$  merupakan posisi dari bujur purba. Untuk menentukan posisi VGP diperlukan data karakteristik arah rata-rata deklinasi, inklinasi, colatitude, posisi lintang dan posisi bujur saat ini, data tersebut diperoleh dari Geo Positioning System (GPS). [4].

Perhitungan VGP dimulai dengan menentukan colatitude yaitu jarak putaran terbesar (*great-circle*) dari suatu site ke kutub yang dinyatakan dengan persamaan berikut,

$$p = \tan^{-1} \left( \frac{2}{\tan I_m} \right) \quad (5)$$

yang memberikan lintang kutub sebagai berikut,

$$\lambda_p = \sin^{-1} (\sin \lambda_s \cos p + \cos \lambda_s \sin p \cos D_m) \quad (6)$$

Perbedaan bujur antara kutub dan site dilambangkan dengan  $\beta$  adalah positif menuju timur dari meridian Greenwich dan diberikan oleh persamaan,

$$\beta = \sin^{-1} \left( \frac{\sin p \sin D_m}{\cos \lambda_p} \right) \quad (7)$$

Pada bagian ini dalam perhitungan, ada dua kemungkinan untuk posisi kutub bujur. Jika,

$$\cos p \geq \sin \lambda_s \sin \lambda_p \quad (8)$$

maka posisi bujur dapat dihitung dengan persamaan berikut,

$$\phi_p = \phi_s + \beta \quad (9)$$

Tetapi jika,

$$\cos p < \sin \lambda_s \sin \lambda_p \quad (10)$$

maka posisi bujur dihitung dengan persamaan,

$$\phi_p = \phi_s + 180 - \beta \quad (11)$$

## II. METODE

Dalam penelitian ini, metode yang digunakan yaitu melakukan eksperimen dengan diawali studi literature dan analisis data –data pendukung selain melakukan diskusi dengan peneliti yang memiliki kesamaan kajian. Studi literature dilakukan dengan mengkaji beberapa materi dalam buku dan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dari jurnal dan hasil riset.

Lokasi penelitian dilakukan di daerah istimewa jogyakarta yaitu di sungai bondalem, gunung suru, gunung sekopiah dan parangtritis

Pengukuran dilakukan terhadap specimen batuan beku andesit dengan menggunakan minispin magnetometer untuk mengetahui arah medan magnet saat batuan beku terbentuk dan elektromagnetik Weiss untuk mengukur sifat isothermal remanennya.

Yang menjadi variabel yang diukur dalam penelitian ini adalah sifat remanen magnetic dan sifat isothermal remanen magnetiknya Studi literature dilakukan dengan mengkaji beberapa materi dalam buku dan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dari jurnal dan hasil riset.

Diskusi dilakukan dengan rekan-rekan satu lab yang memiliki kajian yang sama dengan tema yang berbeda sesuai bidang garapan masing-masing sebelum di diseminasikan di lingkungan terbatas laboratorium.

**A. Metode Statistik Fisher**

Melalui fungsi distribusi probabilitas, sampel dapat ditentukan arah paleomagnetiknya seperti rata-rata deklinasi, rata-rata inklinasi, nilai karakteristik (k) serta derajat kepercayaan ( $\alpha_{95}$ ) terhadap arah-arah yang diperoleh dari hasil pengukuran [3]. Untuk menghitung rata-rata arah dari N vektor misalnya, perlu ditentukan cosinus arah dari vektor-vektor individualnya yakni,

$$l_i = \cos I_i \cos D_i \quad m_i = \cos I_i \sin D_i \quad n_i = \sin I_i \quad (12)$$

Dimana  $D_i$  adalah deklinasi ke- $i$  ;  $I_i$  adalah inklinasi ke- $i$  ; dan  $l_i$ ,  $m_i$  dan  $n_i$  cosinus arah terhadap arah utara, timur dan down. Selanjutnya rata-rata dari cosinus arah  $l_i$ ,  $m_i$  dan  $n_i$  dinyatakan sebagai berikut.

$$l = \frac{\sum_{i=1}^N l_i}{R} \quad m = \frac{\sum_{i=1}^N m_i}{R} \quad n = \frac{\sum_{i=1}^N n_i}{R} \quad (13)$$

dimana R adalah vektor resultan yang diberikan oleh,

$$R^2 = \left( \sum_{i=1}^N l_i \right)^2 + \left( \sum_{i=1}^N m_i \right)^2 + \left( \sum_{i=1}^N n_i \right)^2 \quad (14)$$

berdasarkan persamaan (13) dan (14) maka arah deklinasi dan inklinasi rata-ratanya dapat ditentukan yakni:

$$D_m = \tan^{-1} \left( \frac{m}{l} \right) \quad \text{dan} \quad I_m = \sin^{-1}(n) \quad (15)$$

Selanjutnya nilai karakteristik (k) yang merupakan suatu ukuran dari sebaran suatu populasi arah dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$k = \frac{N - 1}{N - R} \quad (16)$$

Dalam statistik Fisher, arah rata-rata sampel yang kita ukur dinyatakan oleh nilai  $\alpha_{95}$  (dalam steradian) yang menunjukkan derajat kepercayaan terhadap hasil pengukuran yang dilakukan, semakin kecil nilai  $\alpha_{95}$  berarti hasil pengukuran yang kita lakukan sudah benar dan cukup akurat. Besarnya derajat kepercayaan terhadap distribusi arah yang diperoleh dapat di hitung dengan persamaan berikut.

$$\alpha_{95} \approx \frac{140^\circ}{\sqrt{kN}} \quad [5]$$

**B. Pengukuran Isothermal Remanent Magnetization (IRM)**

Pengukuran IRM bertujuan untuk mendapatkan keadaan saturasi sampel yang sedang diuji. Pengukuran ini dilakukan dengan meletakkan sampel yang sudah selesai didemagnetisasi berada ditengah kutub magnet, kemudian diberikan medan yang dihasilkan oleh elektromagnetik Weiss dengan arus listrik yang dapat diterima sebesar 16 A dengan tegangan Power Supply 120 V DC serta tahanan listrik  $6,6\Omega$  [8].

Untuk mendapatkan medan magnet yang kuat, tentu saja diperlukan arus listrik yang besar dan untuk menjaga efek panas yang ditimbulkan dari arus yang besar tadi maka elektromagnet Weiss didinginkan dengan air yang dialirkan melalui pipa pendingin dengan pompa.

Kuat medan yang ditimbulkan oleh elektromagnet Weiss, selain bergantung pada arus juga bergantung pada jarak kutub-kutub magnetnya. Hasil pengukuran yang didapat semestinya menunjukkan hubungan yang linier antara medan magnet dengan arus listrik melalui hubungan  $M = ai + b$  dimana M menyatakan besarnya medan magnet dalam kumparan elektromagnet Weiss, i menyatakan besarnya kuat arus dalam Ampere sedangkan a dan b adalah angka hasil pengukuran yang didapat yakni  $a=80,26$  dan  $b=12,03$ .

Pengukuran IRM dilakukan dengan alat Minispin Magnetometer dengan prosedur yang sama seperti pada pengukuran NRM, catat besarnya intensitas magnetisasi yang ditunjukkan sebagai akibat induksi dari medan magnet oleh elektromagnetik Weiss, kemudian naikan medan yang diberikan dengan cara mengatur posisi switch ke posisi ke-2 kemudian catat besar kuat arus yang ditimbulkannya. Setelah pemberian medan selesai dilakukan , kemudian ukur lagi IRMnya dengan prosedur yang sama seperti sebelumnya sampai mendapatkan saturasi sampel yang sedang di uji. Biasanya

jumlah step yang diperlukan untuk saturasi antara 11-15 step atau mungkin juga kurang dari itu [10].

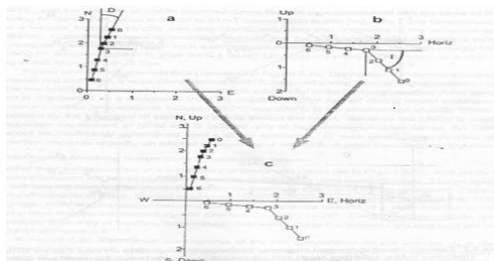
Sampel yang akan diukur IRMnya ini diambil satu dari setiap site dengan mempertimbangkan bahwa sampel tersebut peluruhan intensitasnya lambat, karakterisasi deklinasi, inklinasi dan  $\alpha_{95}$  yang cukup signifikan dan tidak berbeda jauh dengan nilai karakterisasi lainnya [9].

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang diperoleh dari hasil pengukuran dalam penelitian ini diproses, kemudian hasilnya disajikan dalam bentuk: kurva peluruhan intensitas NRM, plot Zijderveld, plot Stereonet dan kurva saturasi IRM.

Plot peluruhan NRM diperoleh dengan cara memplot nilai intensitas relatif ( $I/I_0$ ) pada sumbu vertikal dan nilai medan demagnetisasi pada sumbu horizontal, kemudian dari data peluruhan tersebut dilihat kestabilan nya dengan memperhatikan kemiringan dari grafik yang diperoleh. Tingkat kestabilan data yang baik ditunjukkan oleh grafik peluruhan yang relatif landai.

Plot zijderveld diperoleh dari proyeksi vektor magnetisasi remanen pada bidang XY dan XZ yang ditunjukkan oleh nilai deklinasi dan inklinasi yang diperoleh dari proses demagnetisasi sampel. Proyeksi deklinasi dan inklinasi tersebut yaitu : X untuk arah utara-selatan, Y untuk arah barat timur dan Z untuk up-down. Apabila plot dari deklinasi dan inklinasi menunjukkan arah yang konsisten menyerupai garis lurus yang menuju ke pusat koordinat, berarti komponen NRM primer dari sampel tersebut dianggap baik.



Gambar 3: Plot zijderveld (a) diagram arah deklinasi (b) diagram arah inklinasi (c) gabungan a dan b

Plot stereonet merupakan transformasi dari deklinasi dan inklinasi ke dalam *stereografis* dengan tujuan untuk memudahkan dalam melihat pola dan arah dari deklinasi dan inklinasi pada setiap step demagnetisasi. Indikasi kestabilan arah dari sampel dapat dilihat dari keadaan titik-titik pada stereografis tersebut yang cenderung mengumpul disuatu tempat yang berdekatan.

Untuk melihat kandungan mineral magnetik yang dimiliki oleh sampel yang diteliti tersebut, sampel di ukur IRMnya oleh alat *Elektromagnet Weis* dengan cara memberikan medan tinggi secara bertahap dan pada setiap stepnya sampel tersebut di ukur intensitasnya dengan *Minispin Magnetometer* sampai mendapatkan nilai saturasi. Gambaran tingkat saturasi IRM dari sampel tersebut dapat ditunjukkan melalui kurva saturasi IRMnya.

Program PMGSC adalah program aplikasi yang digunakan untuk memudahkan penentuan distribusi intensitas NRM, plot Zijderveld, plot stereonet serta nilai karakterisasi deklinasi, inklinasi dan  $\alpha_{95}$  dari data demagnetisasi yang diperoleh. Program ini diciptakan oleh Randolph J.Enkin, dkk yang bermarkas di *Geological Survey of Canada*. Untuk menjalankan program ini prosedur yang harus ditempuh adalah sebagai berikut :

- Input data ke excel pada file yang sudah ditentukan yakni *Pola Data PMGSC*.
- Setelah entry data selesai , save as ke Folder XL dengan type *microsoft work book*.
- Save as lagi ke Folder PRN dengan type *formatted Text (Space delimited)* yang berekstensi *.prn*.
- Aktifkan *notepad* dan open file dengan Folder PRN untuk data yang baru di entry tadi .
- Save as lagi data tadi ke Folder PMD dengan ekstensi *.pmd*.
- Aktifkan program PMGSC lalu open file dari data yang dikehendaki, maka layar akan langsung menampilkan plot Zijderveld dan plot Stereonet.

- Klik PCA untuk mendapatkan nilai deklinasi, inklinasi dan  $\alpha_{95}$  dari step yang diinginkan.
- Apabila dikehendaki tampilan kurva peluruhan NRM, klik *Int* pada bagian atas layar.

Melalui program PMGSC ini, semua informasi yang dibutuhkan dalam penelitian ini dapat disajikan baik nilai maupun tampilannya.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan terhadap sampel-sampel yang terdapat pada site Sungai Bondalem, Pantai Parang Tritis, Purwoharjo, Pantai Wedi Ombo dan Kali Widoro diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Sampel dari kelima site yang diteliti menunjukkan peluruhan intensitas NRM yang relatif lambat, berarti remanen magnetik primer dari batuan-batuan tersebut cukup stabil sehingga representatif untuk dijadikan kajian paleomagnetik.
2. Plot Stereonet untuk kelima site tersebut berkumpul pada titik yang berdekatan, hal ini mengindikasikan bahwa sampel-sampel tersebut konsisten arahnya sehingga cukup efektif untuk kajian paleomagnetik. Site BDA, PRA, PWH dan WDO berkumpul di sekitar arah utara ke barat, sedangkan untuk site WDR lebih mengarah ke timur. Hal ini mengindikasikan bahwa formasi yang terjadi pada site WDR berbeda dari site-site lainnya, juga dimungkinkan karena umur batuan pada site tersebut berbeda dari site-site lainnya.
3. Tingkat kepercayaan atau nilai  $\alpha-95$  untuk kelima site tersebut berkisar antara  $1,7^\circ$  sampai dengan  $7,6^\circ$  yang mengindikasikan bahwa distribusi arah deklinasi dan inklinasi dari kelima site tersebut sangat kecil, hal ini ditunjukkan oleh plot stereonet yang mengumpul pada tempat yang cukup berdekatan.
4. Plot Zijderveld dari kelima site yang diwakili oleh satu sampel setiap sitenya menunjukkan kecenderungan mengarah pada pusat koordinat dan mendekati garis lurus, hal ini menunjukkan bahwa peluruhan intensitas batuan pada kelima site tersebut cukup konsisten.
5. Hasil perhitungan IGRF 2000 melalui internet di alamat : <http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/igrf/point/> untuk data saat ini menunjukkan nilai yang berbeda dengan hasil pengukuran, hal ini mengindikasikan bahwa hasil pengukuran terhadap sampel bukan arah medan magnet Bumi saat ini melainkan arah medan magnet Bumi pada saat batuan itu terbentuk di masa purba.
6. Hasil perhitungan VGP menunjukkan bahwa lintang kutub purba dari kelima site tersebut berada di utara yang ditandai dengan besarnya lintang kutub purba berharga positif. Nilai  $\lambda_p$  dari site-site tersebut adalah : BDA ( $81,0^\circ$ ), PRA ( $64,8^\circ$ ), PWH ( $65,3^\circ$ ), WDO ( $78,3^\circ$ ) dan WDR ( $25,6^\circ$ ) yang mengindikasikan bahwa site-site tersebut mengalami perubahan posisi dari masa purba ke posisinya sekarang, sehingga hipotesis Hall dapat ditunjukkan.
7. Melalui tipe dari kurva saturasi IRMnya dapat diidentifikasi bahwa mineral magnetik yang dikandung oleh sampel batuan beku andesit di kelima site tersebut adalah *Magnetite* ( $Fe_3O_4$ ).

#### REFERENSI

- [1] ASM, Metal handbook, vol 10, Material characterization, The American Society for Metal, Metal Park, Ohio, 1992.
- [2] Butler, R. F. (1992) Paleomagnetism : Magnetic Domains to Geologic Terranes, Blackwell.
- [3] Cullity, B.D, Introduction to Magnetic Material, Addison-Wesley Publishing Company, 1972
- [4] Collinson. David, W, Method in Rock Magnetism and Paleomagnetism Techniques Instrumentation, Chapman-Hall, New York, 1983
- [5] Dunlop, D. J and Ozdemir. O, Rock Magnetism Fundamentals and Frontiers. Cambridge University Press, 1997.



- [6] Graha, D. Setia., *Batuan dan Mineral*, 1987.
- [7] Katili, J.A, *Geology*, National Research, Jakarta, 1967
- [8] *Operation's Manual Minispin*. Molspin Ltd. New Castle, England.
- [9] Reilly, W.O, *Rock and Mineral Magnetism*, Blackie, Chapman-Hall, New York, 1984
- [10] Reynold, J. M., (1997) *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*.
- [11] Sutanto, Soeria Atmadja, R., Maury, R. C. Bellon, H., *Proceed. Geologi dan Geoteknologi Pulau Jawa*, 73 – 76, 1994.
- [12] Soeria Atmadja, R., Maury, R. C., Bellon, H., Pringgoprawiro. H., Polve, M., *Tertiary Magnetic Belt in Java*, 9, 12, 13-27, 1994.
- [13] Sunata, S, Hendro, W., *Penerapan Metode Paleomagnetik untuk Rekonstruksi Pergerakan Jangka Panjang Kalimantan*, PIT HAGI, 1999.
- [14] Tauxe, L., *Paleomagnetic Principles and Practice*. Kluwer Academic Publishers, 1998.

# Pengembangan Microcontroller Embedded System untuk Training Kits

Yoyo Somantri

Departemen Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan  
Universitas Pendidikan Indonesia  
Jalan Dr. Setiabudhi nomor 229 Bandung 40154  
e-mail: tiosoamntri@yahoo.co.id

**Abstrak**— Makalah ini memaparkan hasil pengembangan *training kit* mikrokontroler tanpa bantuan personal komputer (PC) dalam proses pemrogramannya. Perangkat ini lebih efektif dan efisien digunakan dan memiliki performa yang sama jika pengguna memprogram mikrokontroler menggunakan PC. Sensor-sensor pengukur jarak ditambahkan pada perangkat ini, sebagai fitur tambahannya. Perangkat ini digunakan sebagai alat latih atau media pembelajaran mikrokontroler, dengan dilengkapi komponen I/O: keypad, push button, LED, seven segment, LCD, motor stepper dan sensor-sensor. Eksperimen dilakukan dengan melakukan uji coba penambahan sensor jarak pada bagian inputnya. Training kit ini dapat berfungsi sesuai dengan spesifikasi perancangan, dan berfungsi baik sebagai alat pengukur jarak.

**Keywords**— *training kit, mikrokontroler, embedded systems, pengukur jarak.*

**Abstract**— *this paper describes the results of microcontroller training kit without personal computers (PC) in the programming process. This device is more effective and efficient to apply and have the same performance if the user to program the microcontroller using a PC. Distance measuring sensors added to this device, as an increased feature. This device is used as a training or learning media microcontroller, equipped with component I/O: keypad, push button, LED, seven segment displays, LCDs, stepper motors and sensors. Experiments carried out by conducting*

*trial's addition of a proximity sensor on the input. This training kit can function according to design specifications, and performed well as a range discoverer.*

**Keywords:** *training kit, microcontroller, embedded systems, distance meter.*

## I. PENDAHULUAN

Mikrokontroler adalah mikroprosesor plus atau mikrokomputer chip tunggal yang di dalamnya mengandung unit mikroprosesor, memori : RAM, ROM, I/O, ADC/DAC, Timer, counter, decoder, dan lain-lain. Fasilitas yang terkandung di dalamnya akan tergantung pada tipe dan jenis dari mikrokontroler [1]. Suatu Mikrokontroler terdiri dari sebuah pengolah pusat, memori baca, memori tulis, pengubah sinyal analog ke digital, register ( penyimpanan) dan penyandi (pengkode) dalam satu serpihan [2].

Mikrokontroler merupakan salah satu peranti kontrol yang digunakan sebagai kendali dari sistem tertanam (embedded system). Sebagai peranti kontrol, ia memiliki sifat yang dapat diprogram oleh pemakai [3]. Suatu alat latih mikrokontroler dimaksudkan untuk melatih pelajar di pusat pendidikan kejuruan, politeknik, dan universitas untuk antar muka perangkat keras dan menulis program-program di bidang mikrokontroler [2].

Materi pembelajaran mikrokontroler peranannya sangat penting di sektor pendidikan baik di Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) ataupun Politeknik atau Universitas, terutama di Jurusan Teknik Elektro karena baik dikonsentrasi : teknik telekomunikasi, kontrol, elektronika industri, instrumentasi industri, teknik audio video, otomasi industri, kontrol mekanik, dan kontrol proses. Sedangkan di Industri digunakan sebagai otak dalam sistem kontrol atau CPU dalam sistem mikro komputer ataupun pada mesin-mesin. Di masyarakat dipergunakan pada berbagai peralatan pada umumnya sudah menggunakan mikroprosesor atau mikrokontroler untuk mengontrol proses.

Aplikasi mikrokontroler telah digunakan dalam sistem pengaturan udara segar. Modul-modul kontrolnya terdiri dari sebuah modul sensor, modul display, dan bagian modul pengatur. Mikrokontroler memproses konsentrasi data karbon dioksida, temperatur udara, dan kelembaban relatif. Algoritma PID digunakan untuk mengatur kecepatan Fan (kipas) dengan merespon temperatur udara di dalam dan kelembaban relatif. Bagian pengatur udara segar mengandung alarm asap, monitor temperatur, komunikasi jarak jauh untuk memperbaiki kualitas udara bagi orang-orang yg bekerja, tempat tinggal, dan lingkungan belajar [4].

Mikrokontroler dapat digunakan untuk proyek otomatis skala kecil seperti pengaturan tingkat (level) air pada aktuator piezo tegangan tinggi, penadaan sisi pelat baja, petikan robot pada gitar dll. Demikian juga untuk proyek yang rumit dapat disusun menggunakan mikrokontroler sebagai model pembelajaran. Model Lift dikontrol oleh dua mikrokontroler berkaki 40 dihubungkan pada bagian serial. Rancangan keseluruhan memberikan kemampuan yang maksimum untuk pelajar bereksperimen. Pelajar-pelajar dapat mencoba seluruh tugas-tugas dasar dan masalah-masalah [4].

Sistem Pengaturan berbasis mikrokontroler (MCS 51) yang diintegrasikan dengan Mikrokontroler TMS 320F28069 Texas Instrument digunakan untuk mengubah level tegangan dari sensor sinyal analog yang dapat dibaca dari mikrokontroler antara (0-3,3V).

Demikian juga penggerak motor DC menerima sinyal PWM dari mikrokontroler untuk mengubah tegangan keluaran rata-rata yang digunakan pada motor. Sandi optik mengirimkan dua sinyal segi empat ke mikrokontroler untuk mengatur posisi sudut dan arah putaran [5].

Alat latihan Mikrokontroler terdiri empat blok fungsi: mikrokontroler AVR, penjejak ( the debugger), antar muka USB, dan modul masukan /keluaran. untuk membuat alat latihan yang lebih sesuai (*flexible*) untuk pelajar belajar dan untuk proyek-proyek mereka, ketiga blok pertama membangun suatu modul sebagai bagian dari modul percobaan dan modul masukan/keluaran sebagai modul percobaan utama [6].

Trainer Mikrokontroler Embedded Systems yaitu alat latihan mikrokontroler yang terintegrasi antara hardware dan software difungsikan untuk melatih membuat program-program aplikasi keypad, push button, led, seven segment, relay, sepper motor kemudian dikembangkan dengan aplikasi sensor jarak Tujuan penelitian yaitu menghasilkan rancang bangun dan pengembangan trainer mikrokontroler embedded systems yang bekerja tanpa computer (inovasi teknologi), digunakan untuk berlatih membuat program aplikasi dan dapat digunakan untuk mengukur jarak (distance).

## II. METODE

Eksperimen pengembangan training kit ini dilakukan melalui tahapan-tahapan berikut:

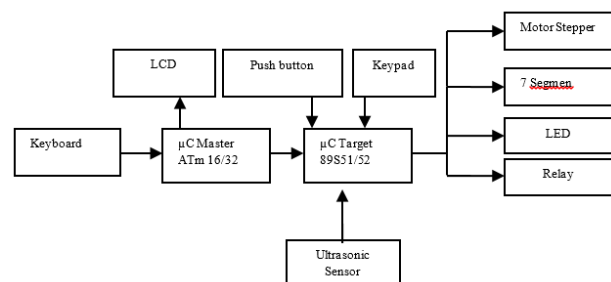
- Model trainer Mikrokontroler yang dipilih tipe AVR ATmega 16 digunakan sebagai master dengan 8 kbyte flash program memori, 1 K byte SRAM, 254 EEPROM, 32 bit I/O, timer/counter, 8 bit ADC, 32 register umum, USART, Sedangkan mikrokontroler target 89S51, LCD 16x16. Sistem input outputnya yaitu: seven segment, push button, key pad, dan fitur-fitur yang lain.
- Dari hasil evaluasi melakukan perbaikan terhadap perluasan memori, memperbesar ukuran LCD 180 x 50 grafik agar penulisan program barisnya lebih banyak, dan memodifikasi key board dengan ukuran mini.

- Melakukan perbaikan program assembly untuk percobaan dengan penyempurnaan menggunakan label-label pada setiap program percobaan baik program input ataupun output.
- Merencanakan dan membuat rangkaian trainer mikrokontroler embedded system sebagai pengembangan dari trainer mikrokontroler menjadi trainer mikrokontroler embedded system yang beroperasi tanpa menggunakan komputer.
- Merencanakan rangkaian pengembangan untuk input/output dengan menggunakan rangkaian sensor aplikasi, seperti : rangkaian ultrasonic digunakan untuk mengukur jarak (ditance). Berkemampuan maksimal 250 cm.
- Melakukan ujicoba rangkaian pada papan percobaan untuk menguji rangkaian dan fungsi komponen, dilengkapi dengan program software aplikasi dengan bantuan komputer.
- Melakukan perbaikan rangkaian dan modifikasi layout PCB untuk rangkaian LCD, dan rangkaian sensor ultrasonik.
- Melakukan pengukuran tegangan, arus, bentuk gelombang, frekuensi, dan lain-lain serta ujicoba program.
- Melakukan pembuatan flowchact dan ujicoba program-program assembly untuk rangkaian percobaan sensor Ultrasonic dan kalibrasi.
- Melakukan uji kemampuan alat secara keseluruhan baik secara hardware atau software selama 24 Jam.

Diagram blok perancangan sistem secara lengkap digambarkan pada gambar 1, dengan deskripsi kerja sebagai berikut:

- a) Modul Master (sebagai komputer mini) ini memiliki tiga fungsi utama: menuliskan kode mnemonic dan menterjemahkan kode mnemonic menjadi kode mesin, serta meng-upload kode mesin ke IC mikrokontroler target 89S51/52.
- b) Kode mnemonic dituliskan oleh user melalui keyboard PC bersoket PS2, hasilnya akan ditampilkan pada LCD.

- c) Tampilan LCD terbagi menjadi dua, bagian number baris menunjukkan nomor urut baris. Bagian baris intruksi, tempat user menuliskan kode mnemonic yang diinginkan. Modul master ini memiliki empat slot memori yang masing-masing mampu menyimpan baris intruksi sampai 254 baris.
- d) Mikrokontroler target tipe 89S51/52 merupakan kontroler yang sudah diprogram secara permanen hasil down load dari IC Master AVR 16, yang berfungsi untuk mengendalikan input dan output, antara lain : push button, keypad, keyboard, ultrasonic. Sedangkan output berupa led, relay, seven segment, LCD, dan motor stepper



Gambar 1. Diagram blok pengembangan microcontroller embedded system training kit

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Deskripsi hasil diuraikan hanya bagian yang berhubungan dengan judul ini, yaitu menguraikan hasil pengembangan untuk sensor ultrasonic. Hasil produk berupa sebuah pengembangan microcontroler embedded system training kit hasil perbaikan dan modifikasi dengan spesifikasi : Mikrokontroler master tipe AVR ATmega 16/32, flash program memori, 1 K byte SRAM, 512 EEPROM, 32 bit I/O, timer/counter, 10 bit ADC, 32 register umum, USART, dan fitur-fitur yang lain. Mikrokontroler sebagai target AT 89S51/52. Memori eksternal 24C64. Liquid Cristal Disply (LCD) 180 X 50. Keyboard PC PS/2.

Sedangkan program yang digunakan untuk kompil器和 interfacing yaitu bahasa C dan assembly language untuk AT 89S51/52. Hasil percobaan untuk program-program : Lampu Led berjalan, key pad, push button, counter (seven segment), Relay dan motor stepper beroperasi

normal. Trainer beroperasi tidak menggunakan komputer.

Penambahan sensor-sensor jarak pada perangkat ini bertujuan untuk mengukur jarak dengan menggunakan prinsip pemantulan gelombang ultrasonic. Prinsip kerjanya, modul Tx ultrasonic akan memancarkan pulsa, kemudian pantulan dari pulsa akan diterima oleh modul Rx. Waktu selang antara pulsa dipancarkan dan diterima ekuivalen dengan jarak sensor dan benda pemantul.

$$S = 1/2 V \cdot t$$

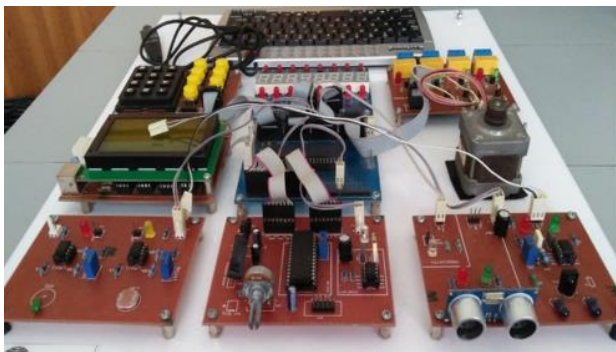
Dimana:

S : Jarak sensor dan benda

V: Kecepatan gelombang ultrasonic (340 m/s)

t : waktu selang antara pulsa dipancarkan dan diterima.

Dari rumus diatas dapat diturunkan 1cm ekuivalen dengan waktu selang sebesar 58  $\mu$ S. Konfigurasi hardware dari sensor jarak yaitu: ultrasonik Rx -> P3.2 pada  $\mu$ C dan ultrasonik Tx -> P3.4 pada  $\mu$ C.



Gambar 2. Bentuk fisik pengembangan microcontroller embedded system training kit.

Tabel 1 memperlihatkan hasil kalibrasi sensor ultrasonik yang dilekatkan sebagai fitur tambahan pada training kit. Ujicoba dilakukan dengan cara membandingkan kinerja sensor antara alat rancangan dengan alat standar. Jarak ukur yang dilakukan memiliki rentang sejauh 25 cm, dimulai pada jarak 25 cm sampai dengan 250 cm. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa training kit pemrograman mikrokontroler (tanpa bantuan PC) ini dapat berfungsi sesuai dengan spesifikasi rancangan. Rata-rata deviasi pada saat pengujian masih dibawah batas toleransi, sehingga perangkat ini berhasil memenuhi kriteria sebagai perangkat alat latih yang handal.

TABEL 1. HASIL KALIBRASI ANTARA ALAT UKUR STANDARD

No	Alat ukur standar (cm)	Alat Rancangan (cm)	Deviasi thd alat standar (d)	d <sup>2</sup>
1	25.00	28.00	3.00	9.00
2	50.00	52.00	2.00	4.00
3	75.00	76.00	1.00	1.00
4	100.00	102.00	2.00	4.00
5	125.00	126.00	1.00	1.00
6	150.00	150.00	0.00	0.00
7	175.00	176.00	1.00	1.00
8	200.00	200.00	0.00	0.00
9	225.00	227.00	2.00	4.00
10	250.00	252.00	2.00	4.00
Jumlah		1389.00	14.00	28.00
Rata-rata		138.90	1.40	2.80
Standar Deviasi ( $\sigma$ )				1,673
Kesalahan yang mungkin (r)				1,12

#### IV. KESIMPULAN

Pengembangan *Microcontroller Embedded Systems Training Kit* dapat fungsi sebagai alat ukur jarak dengan ketelitian yang masih layak dipakai dan dapat digunakan sebagai alat latih dengan input-output standar serta beroperasi tidak menggunakan komputer.

#### REFERENSI

- [1] Yoyo Somantri dan Erik H, (2008), Dasar-dasar Mikroprosesor dan Mikrokontroler. Laboratorium Elka Industri FPTK UPI Bandung.
- [2] Habib M. Talukder and Michael Collier. (2003). A general purpose microcontroller trainer. African Journal of Science and Technology (AJST) Science and Engineering Series Vol. 3, No. 1, pp. 113-.
- [3] Romy Budhi Widodo (2009); Embedded Systems Menggunakan Mikrokontroler dan Pemrograman C. Penerbit Andi Offset Yogyakarta.
- [4] Cui Yingying<sup>1</sup>, Xie Xiuying<sup>1</sup>, Wang Ming<sup>1</sup>, Jiang Haiming. (2015). Design of a Control System for a Fresh Air conditioner. 978-1-4799-7016-2/15/\$31.00 c 2015 IEEE.
- [5] Juan Felipe Patarroyo, Gerson Beauchamp, Aidsa Santiago. (2015). Design and Implementation of a Microcontroller Based Workstation with Educational Purposes for the Control Systems Area. 978-1-4799-8454-1/15/\$31.00©2015IEEE.
- [6] Yao Li. (2007). Teaching embedded systems using a modular-approach microcontroller training kit. World Transactions on Engineering and

Technology Education. 2007 UICEE Vol 6, No.1, 2007. Institute of Electrical and Electronics Engineers

- [7] Borg, R. W. Dan Gall, M. D. (2003). Educational Research an Introduction (terjemahan), New York: Longman.
- [8] Davic Cooper W, (1978), Electronic Instrumentation and Measurement Techniques, 2nd Ed. Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, NJ, USA.

# Rancang Bangun Antena *Unidirectional Ultra-Wideband* dengan Desain *Fork-Shaped Tuning Stub* menggunakan Bahan Dielektrik Fr-4

Yusron Tri Huda, Tommi Hariyadi, Budi Mulyanti  
Program Studi Pendidikan Teknik Elektro FPTK UPI  
Jl. Dr. Setiabudhi No. 207 Bandung 40154  
e-mail: theyusronkid@gmail.com

**Abstrak**— Pada penelitian ini telah dirancang antena mikrostrip Ultra Wide Band (UWB) untuk radar tembus tembok. Simulasi dilakukan dengan menggunakan CST STUDIO. Bahan substrat yang digunakan adalah FR-4 yang memiliki konstanta dielektrik 4,3 dan ketebalan 1,6 mm. Hasil simulasi menunjukkan antena memiliki bandwidth 4,8 GHz pada frekuensi 4,2 - 9 GHz dengan return loss -10dB. Sedangkan hasil pengukuran menunjukkan bandwidth 5 GHz pada frekuensi 3,8 - 8,8 GHz dengan return loss yang sama.

**Keywords**— *antena, ultra wide band, mikrostrip, radar tembus tembok.*

**Abstract**— In this paper, Ultra Wide Band (UWB) microstrip antenna was designed for through-wall-imaging radar. The simulation was carried out using CST Studio. The FR-4 substrate with dielectric constant of 4,3 and thickness of 1,6 mm is used in this project. The simulation result confirm that antenna have 4,8 GHz of bandwidth from 4,2 to 9 GHz with -10dB return loss. The measured result confirm that antenna have 5 GHz bandwidth from 3,8 to 8,8 GHz with a same return loss.

**Keywords:** *antenna, ultra wide band, mikrostrip, through wall imaging*

## I. PENDAHULUAN

Antena adalah salah satu media peralihan antara ruang bebas dengan piranti pemadu (dapat berupa kabel koaksial atau pemandu gelombang/*waveguide*) yang digunakan untuk menggerakkan energi elektromagnetik dari sumber pemancar ke antena atau dari antena ke penerima. Perancangan antena yang baik adalah ketika antena dapat mentransmisikan energi atau daya maksimum dalam arah yang diharapkan oleh penerima[1].

Teknologi *Ultra wide band* (UWB) adalah sistem komunikasi jarak pendek yang mempunyai *bandwidth* yang sangat lebar. Dengan *bandwidth* yang sangat lebar maka diperlukan suatu antena dengan *bandwidth* yang besar pula. Frekuensi UWB yaitu berada di 3.1 hingga 10.6 GHz, yang telah dialokasikan dan di standarisasi oleh *FCC (Federal Communication Commision)* pada tahun 2002 yaitu untuk perangkat komersil[2]. Pada tahun 2007 *Office for Communication (OfCom)* menentukan standar untuk antena radar yaitu bekerja pada frekuensi 4,2 – 8,5 GHz [3].

Pada penelitian yang dilakukan [4], telah dirancang antena UWB untuk radar tembus tembok menggunakan bahan dielektrik *Duroid5880*. Hasil penelitian tersebut memenuhi standar *OfCom*. Sedangkan pada

penelitian ini dirancang antena UWB dengan spesifikasi dan karakteristik yang sama namun menggunakan bahan dielektrik FR-4.

### **Radar Tembus Tembok**

Radar UWB tembus tembok telah menarik perhatian baik di pihak akademi maupun industri karena sangat berperan penting dalam keamanan, penyelamatan saat kebakaran atau dalam gedung yang runtuh, dan bencana alam seperti gempa bumi atau badai[3].

Radar tembus pandang dengan teknologi UWB mempunyai kelebihan yaitu mempunyai akurasi deteksi jangkauan yang tinggi pada target, mempunyai karakteristik penetrasi pada dinding yang baik, operasi tidak terpengaruh oleh kondisi siang atau malam dan kondisi cuaca, dan kebal terhadap *noise*, *jamming*, dan interferensi dari teknologi *narrow band*[5].

### **Ultra Wide Band (UWB)**

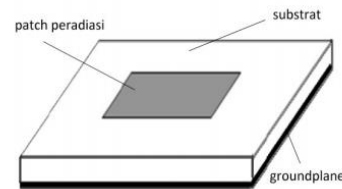
UWB adalah teknologi nirkabel untuk mentransmisikan data digital yang besar melalui spektrum yang luas dari pita frekuensi dengan daya yang rendah dan jarak yang pendek. Radio UWB tidak hanya dapat membawa sejumlah data yang besar melalui jarak hingga 70 meter dengan daya yang sangat rendah (<0,5 miliwatt) tetapi juga memiliki kemampuan untuk membawa sinyal melalui pintu dan hambatan lain yang cenderung mencerminkan sinyal pada lebar-pita (*bandwidth*) yang terbatas. UWB dapat dibandingkan dengan teknologi nirkabel jarak pendek yaitu *bluetooth*, yang merupakan standar untuk menghubungkan perangkat genggam nirkabel (*handphone*) dengan perangkat lain yang sejenis, atau dengan komputer[6].

UWB merupakan system komunikasi jarak pendek yang mempunyai *bandwidth* yang sangat lebar, agar dikategorikan sebagai komunikasi UWB syarat lebar *bandwidth* fraksionalnya 25% dari frekuensi tengahnya. UWB memancarkan semburan begitu banyak RF (*Radio Frequency*), dimana radiasinya terpancar secara *wide band*, mentransmisikan melalui begitu banyak frekuensi secara simultan. Hal inilah yang memungkinkan kecepatan transfer data yang sangat tinggi[5].

### **Antena Mikrostrip**

Antena mikrostrip adalah antena yang cukup populer saat ini. Hal itu dikarenakan bentuk, ukuran, dan beratnya yang sangat cocok dengan tuntutan teknologi telekomunikasi saat ini yang mengutamakan hal tersebut sehingga antena tersebut mudah untuk diaplikasikan[7].

Bentuk paling sederhana dalam peralatan mikrostrip adalah berupa sisipan dua buah lapisan konduktif yang saling paralel yang dipisahkan oleh suatu substrat dielektrik. Konduktor bagian atas adalah potongan metal yang tipis (biasanya tembaga) yang merupakan fraksi kecil dari suatu panjang gelombang. Konduktor bagian bawah adalah bidang pentanahan yang secara teori bernilai tak hingga. Keduanya dipisahkan oleh sebuah substrat dielektrik yang non magnetik[7].



Gambar 1. Struktur Dasar Antena Mikrostrip [8]

### **Parameter Antena**

*Bandwidth* suatu antena didefinisikan sebagai rentang frekuensi di mana kinerja antena yang berhubungan dengan beberapa karakteristik. *VSWR* adalah perbandingan antara amplitudo gelombang berdiri (*standing wave*) maksimum dengan minimum, pada saluran transmisi ada dua komponen gelombang tegangan, yaitu tegangan yang dikirimkan dan tegangan yang direfleksikan. *Return Loss* adalah perbandingan antara amplitudo dari gelombang yang direfleksikan terhadap amplitudo gelombang yang dikirimkan.

*Return Loss* dapat terjadi karena adanya diskontinuitas antara saluran transmisi dengan impedansi masukan beban (antena)[9]. Pola radiasi adalah fungsi matematika atau representasi grafik dari sifat radiasi antena sebagai fungsi ruang. *Gain* menunjukkan seberapa efisien sebuah antena dapat mentransformasikan daya yang ada pada terminal masukan menjadi daya yang teradiasi pada arah tertentu[10].



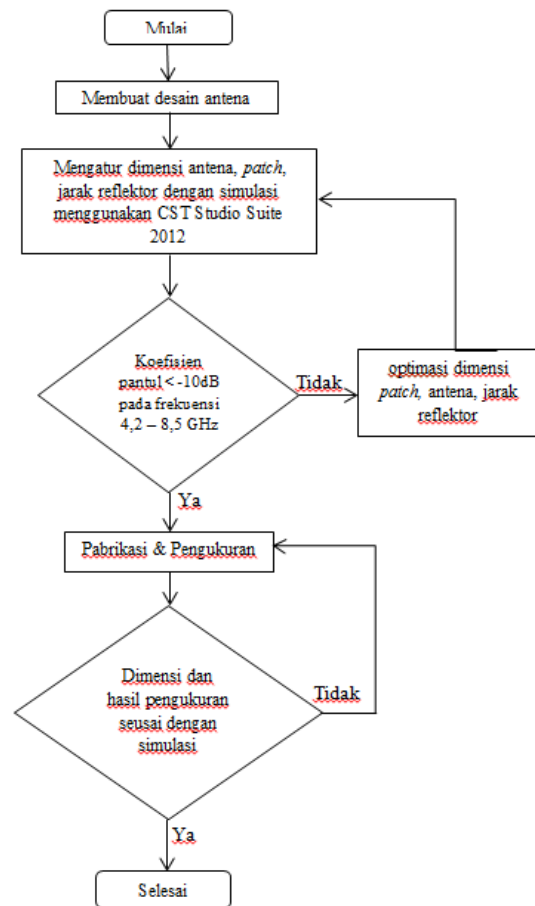
## II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini merupakan jenis penelitian eksperimen. Tahapan metode eksperimen pada penelitian ini diuraikan sebagai berikut: studi lapangan dan identifikasi masalah, studi literatur, konsultasi dengan pakar, perancangan dan pabrikan alat, pengukuran parameter-parameter alat, menganalisa hasil pengukuran, melakukan perbaikan alat jika terjadi kesalahan atau spesifikasi alat belum terpenuhi, melakukan pengukuran ulang dan kembali melakukan perbaikan jika masih terdapat kesalahan, dan yang terakhir pembuatan laporan dan jurnal. Pada tahap studi lapangan dan identifikasi masalah dilakukan proses observasi dan analisis terhadap permasalahan yang muncul di lapangan, studi literatur dilakukan untuk menambah referensi yang berkaitan dengan pembuatan alat yang merupakan pemecahan masalah yang telah teridentifikasi.

Pada tahap konsultasi dengan pakar direalisasikan dalam bentuk konsultasi dengan dosen yang merupakan ahli di bidang elektro dan elektronika maupun dari segi tata cara penelitian dan penulisan karya ilmiah, dilanjutkan dengan tahap perancangan dan pembuatan alat yang terdiri dari simulasi dan pabrikan alat, pada tahap simulasi dilakukan perancangan dengan bantuan software CST Studio sampai diperoleh parameter-parameter sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Tahap selanjutnya adalah melakukan pabrikan dan pengukuran terhadap alat yang telah dibuat, pengukuran dilakukan di Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI). pada tahap ini alat yang telah dibuat diukur parameter-parameternya dengan menggunakan *Network Analyzer* (NA), untuk mengetahui parameter-parameter penting dari alat yang telah dipabrikan. Setelah melakukan pengukuran dilanjutkan dengan analisa data hasil pengukuran, pada tahap ini data hasil pengukuran dibandingkan dengan data hasil simulasi dan diolah sedemikian rupa sehingga menghasilkan sebuah simpulan sementara mengenai kinerja dari alat yang telah dibuat, jika dari simpulan tersebut didapat bahwa alat belum memenuhi spesifikasi awal yang telah ditentukan maka dilakukan proses perbaikan

terhadap alat kemudian melakukan pengukuran ulang sampai didapat kesimpulan bahwa alat sudah menunjukkan kinerja yang baik dan sesuai dengan spesifikasi awal yang telah ditentukan.

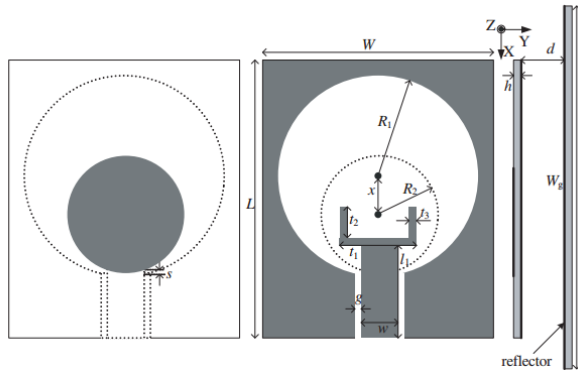
Dalam perancangan diperlukan tahapan-tahapan untuk mempermudah proses perancangan yang dilakukan. Pada gambar 2 ditunjukkan diagram alir dalam perancangan antenna UWB ini.



Gambar 2. Diagram Alir Perancangan Antena UWB

Perancangan antenna UWB ini dimulai dengan membuat desain antenna seperti pada penelitian yang telah dilakukan sebagai acuan dengan parameter dalam gambar 3. Secara keseluruhan desain mirip dengan penelitian acuan. Pada tahap ini langsung menggunakan bahan FR-4 sebagai pengganti *Duroid5880* untuk substrat dielektrik. FR-4 memiliki konstanta dielektrik,  $\epsilon_r = 4,3$  dan ketebalan,  $h = 1,6\text{mm}$ . Setelah itu yaitu mengatur dimensi antenna, *patch*, dan jarak reflektor lalu dilakukan simulasi pertama, namun pada hasil simulasi pertama karakteristik

antena UWB masih jauh dari yang diinginkan. Lalu dilakukan optimasi untuk mendapatkan hasil yang memenuhi karakteristik.



Gambar 3. Dimensi Antena Acuan

TABEL 1. PERBANDINGAN DIMENSI ANTENA UWB

Dimensi	Bahan Substrat	
	Duroid5880	FR-4
$W$	30 mm	24 mm
$L$	34 mm	28 mm
$R_1$	13,7 mm	10,8 mm
$R_2$	7,5 mm	6 mm
$x$	5,3 mm	2,5 mm
$w$	3,6 mm	2,7 mm
$g$	0,2 mm	0,9 mm
$s$	1,0 mm	2,5 mm
$l_1$	9,5 mm	8 mm
$t_1$	7,5 mm	5,6 mm
$t_2$	4,0 mm	2,6 mm
$t_3$	0,4 mm	0,4 mm
$d$	16 mm	10 mm
Dimensi reflektor	50 x 50 mm	36 x 24 mm

Hampir seluruh dimensi di dapatkan dari hasil iterasi dan optimasi pada simulasi yang cukup banyak, perbandingan desain akhir antena yang dibuat dengan desain awal dapat dilihat pada tabel 1. Tahap selanjutnya yaitu sampai pada pabrikan dan pengukuran. Tahap ini dilakukan setelah hasil simulasi sesuai dengan

karakteristik yang dibutuhkan. Antena di pabrikan sesuai dengan desain, lalu dilakukan pengukuran. Sebelum dilakukan pengukuran, antena dilengkapi port dan sekat antara antena dengan UWB. Lalu dilakukan pengukuran, jika hasil pengukuran tidak sesuai, maka perlu di analisa dan dilakukan pabrikan ulang ataupun simulasi ulang.

Dalam perancangan antena UWB, terdapat beberapa parameter penting yang digunakan sebagai acuan baik dalam simulasi maupun perhitungan. Berikut ini adalah spesifikasi perancangan antena UWB pada tabel 2.

TABEL 2. SPESIFIKASI ANTENA UWB

No.	Parameter Antena UWB	Keterangan
1.	Frekuensi kerja	3,8 – 8,8 GHz
2.	Bandwidth	5 GHz
6.	Return loss	< -10 dB
7.	Matching Impedance	50 ohm
8.	VSWR	$1 < \text{VSWR} < 2$

Jenis substrat dielektrik yang digunakan adalah FR-4. Tabel spesifikasi dari FR-4 ditunjukkan pada tabel 3.

TABEL 3. SPESIFIKASI SUBSTRAT FR-4

No.	Nama Parameter	Keterangan
1	Jenis Substrat	FR-4
2	Konstanta Dielektrik Relatif ( $\epsilon_r$ )	4,3
3	Dielectric Loss Tangent ( $\delta$ )	0,025
4	Ketebalan Substrat (h)	1,6 mm

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Optimasi Patch Depan

Setelah dilakukan berbagai optimasi guna mendapatkan hasil simulasi yang mirip dengan jurnal acuan dengan memakai bahan FR-4, diketahui bahwa pengaruh utama dari hasil return loss yang cukup berpengaruh yaitu dari radius patch depan antena ( $R_2$ ) dan jarak antena

dengan reflektor. Namun pada bagian ini akan dibahas yang mempengaruhi *return loss*, frekuensi kerja, dan *bandwidth* yaitu radius *patch* depan.

$$R_1 \approx \frac{c}{4f_1 \sqrt{\frac{1 + \epsilon_r}{2}}} \times \frac{2}{\pi} \quad (1)$$

$$R_2 \approx \frac{R_1}{2} \quad (2)$$

Dimana :

$R_1$  = radius *patch* belakang

$R_2$  = radius *patch* depan

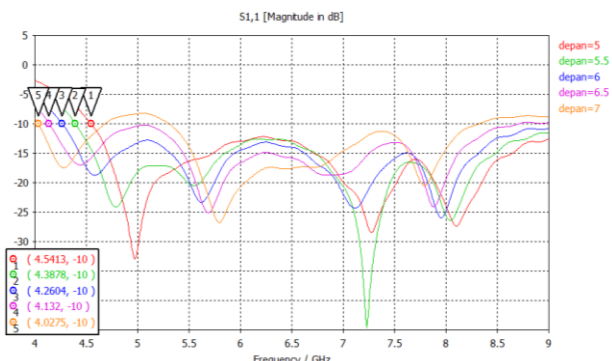
$f_1$  = frekuensi bawah (4,2GHz)

$c$  = kecepatan cahaya ( $3 \times 10^8$  m/s)

$\epsilon_r$  = konstanta dielektrik (4,3 untuk FR-4)

Rumus diatas[4] merupakan cara untuk menentukan radius dalam antenna, walaupun hasilnya tidak 100% sesuai dengan hasil simulasi, di optimasi oleh beberapa kali simulasi sehingga menemukan bentuk yang tepat.

Dalam aplikasi CST Studio digunakan menu *parameter sweep* untuk mengetahui pengaruh suatu perubahan parameter dalam hal ini yaitu radius *patch* depan. Perbandingan radius disimulasikan mulai dari 5mm, 5,5mm, 6mm, 6,5mm dan 7mm. Hasil perbandingan simulasi terlihat dalam gambar 4.

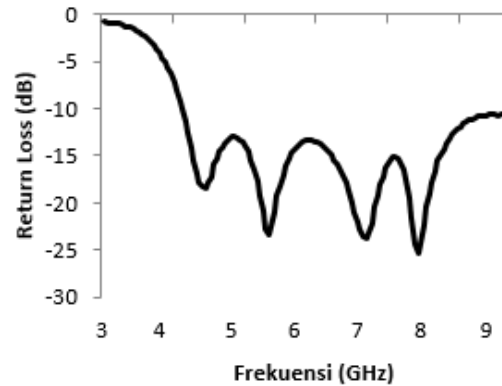


Gambar 4. Perbandingan return loss untuk setiap radius *patch* depan

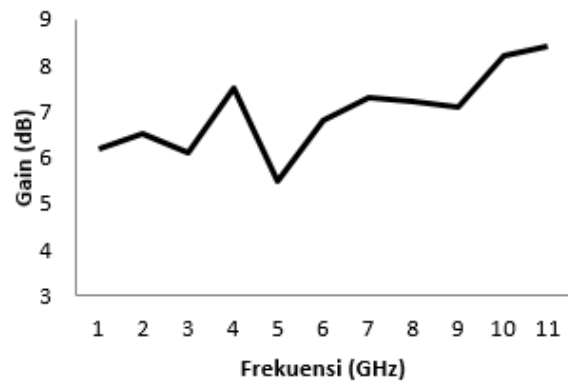
Terlihat dalam grafik tersebut bahwa yang paling optimal yaitu  $R = 6\text{mm}$  dengan *return loss* dibawah  $-10\text{dB}$  dengan *bandwidth* lebih dari 5GHz yang cukup melebihi antenna UWB berbahan dasar *Duroid5880* pada jurnal acuan

### B. Hasil Simulasi

Berikut ini adalah hasil simulasi dari antenna UWB berupa *return loss* pada gambar 5 dan *gain* pada gambar 6.

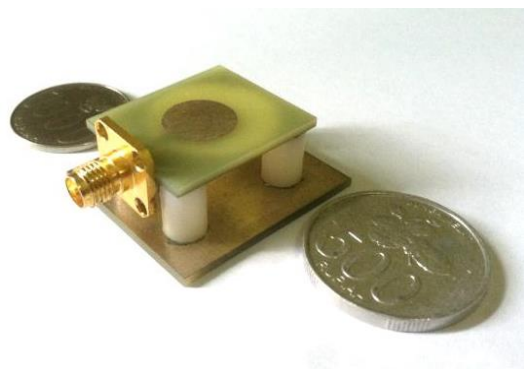


Gambar 5. Return loss hasil simulasi



Gambar 6. Gain hasil simulasi

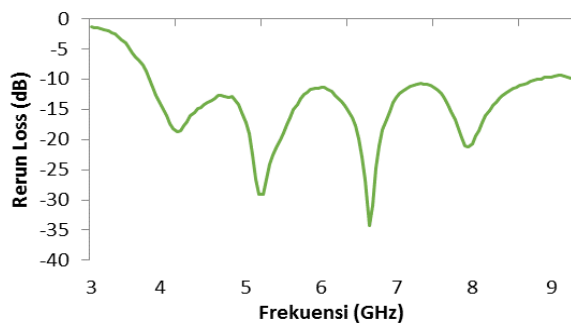
### C. Hasil Pabrikasi dan Pengukuran



Gambar 7. Hasil pabrikasi antenna UWB

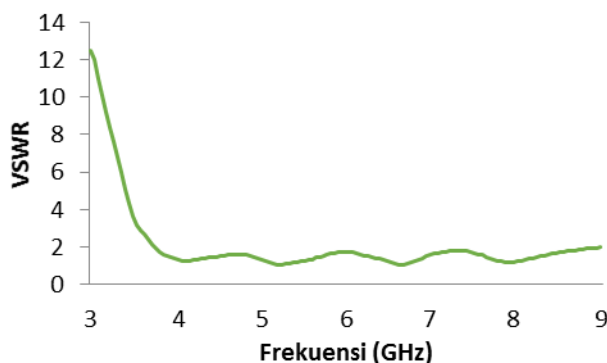
Hasil pabrikasi antenna UWB setelah dipasang port dan sekat terlihat pada gambar 7. Hasil pabrikasi tersebut hampir 100% sama dengan desain pada simulasi, namun sehubungan dengan dimensi yang relatif kecil, terdapat beberapa perbedaan kecil seperti pemotongan bahan yang kurang rapih, pergeseran antara patch depan dengan patch belakang.

Hasil pengukuran parameter S11 pada antenna dapat dilihat pada gambar 8. Pada pengukuran ini terlihat bahwa antenna yang sudah dibuat telah memenuhi bandwidth pada frekuensi yang diinginkan yaitu bekerja dengan baik dengan return loss sebesar -10dB pada frekuensi 3,8GHz – 8,8GHz dengan bandwidth sebesar 5 GHz.



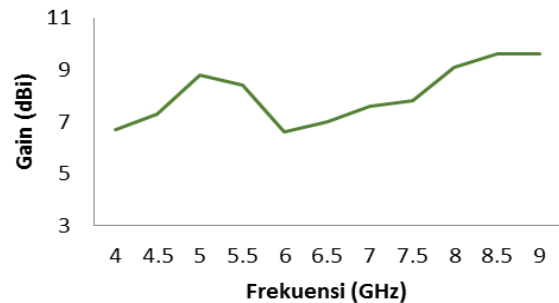
Gambar 8. Return Loss dari hasil pengukuran

Hasil pengukuran VSWR pada antenna UWB dapat dilihat pada gambar 9. Antenna yang bagus adalah antenna yang memiliki VSWR mendekati 1 dan < 2. Terlihat dalam grafik tersebut bahwa antenna sudah memenuhi syarat dengan VSWR sudah berada < 2 pada frekuensi kerjanya meliputi dari 3,7GHz – 9GHz.



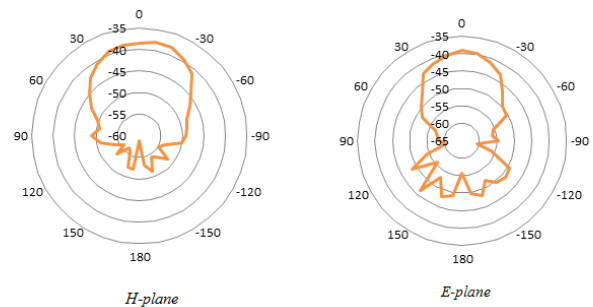
Gambar 9. VSWR dari hasil pengukuran

Hasil pengukuran gain pada antenna UWB dapat dilihat dalam gambar 10. Gain yang dihasilkan oleh antenna UWB ini bervariasi mulai dari 6,6dBi hingga 9,6dBi. Hasil pengukuran ini didapat dari pengambilan data dari spectrum analyzer.



Gambar 10. Gain hasil pengukuran

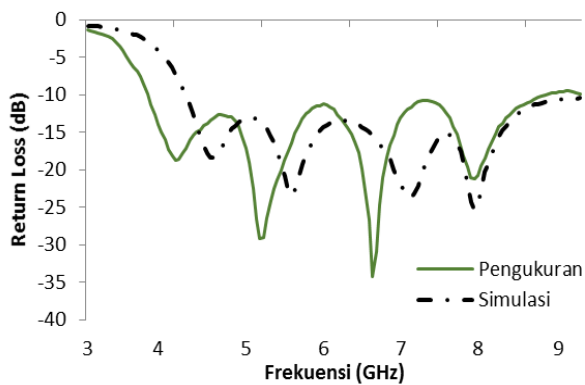
Pola radiasi antenna UWB dari hasil pengukuran dapat dilihat dalam bentuk dua dimensi pada gambar 12 untuk H-plane (azimuth) dan E-plane (elevasi). Dari hasil pengukuran tersebut terlihat bahwa karakteristik antenna UWB yang telah diukur menunjukkan bahwa antenna memiliki pola radiasi directional yang mempunyai main lobe pada sudut 0° sesuai dengan kebutuhan antenna tersebut dan mempunyai kemiripan dengan antenna pada antenna acuan yang menggunakan bahan Duroid5880. Pengukuran pola radiasi tersebut dilakukan pada frekuensi 6,5GHz sebagai titik tengah dari frekuensi kerja antenna dan memiliki ketelitian pengukuran setiap 10°.



Gambar 11. Pola radiasi hasil pengukuran

#### D. Perbandingan Hasil Pengukuran dengan Hasil Simulasi

Berdasarkan dari semua hasil yang diperoleh, dari proses pengukuran, antenna yang dibuat sudah mendekati hasil simulasi dan antenanya pun bekerja pada parameter-parameter yang dibutuhkan sebagai antenna UWB untuk radar. Untuk lebih jelasnya berikut perbandingan *return loss* (S11) dari hasil simulasi dengan hasil pengukuran langsung pada gambar 12.



Gambar 12. Perbandingan hasil simulasi dan hasil pengukuran

Dari hasil perbandingan tersebut terlihat bahwa ada pergeseran pada frekuensi bawah dari antenna, pada simulasi frekuensi terkecilnya yaitu di 4,2GHz namun pada pengukuran menjadi 3,8GHz. Dan pada frekuensi atas dari hasil simulasi menembus frekuensi 9GHz bahkan lebih, namun pada pengukuran hanya mencapai 8,8GHz. Dan hasil pengukuran pun menunjukkan bahwa antenna memiliki *bandwidth* sebesar 5GHz. Akan tetapi diluar hal tersebut tentu antenna sudah memenuhi bahkan melebihi parameter sebagai antenna UWB untuk radar sesuai dengan ketentuan *OfCom* (*Office of Communications*) yaitu pada frekuensi 4,2GHz – 8,5GHz.

#### IV. KESIMPULAN

Telah dilakukan beberapa kali simulasi dan optimasi untuk mendapatkan spesifikasi terbaik pada antenna UWB untuk radar yang bekerja pada frekuensi 4,2 – 8,5GHz. Besarnya *bandwidth* pada hasil simulasi adalah sebesar 4,8 GHz yaitu pada frekuensi 4,2 – 9 GHz. Dan pada pengukuran yaitu sebesar 5 GHz yaitu pada frekuensi 3,8 – 8,8 GHz. Dengan hal

tersebut bisa diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Bahan dielektrik FR-4 bisa digunakan sebagai alternatif substrat untuk antenna UWB sebagai radar tembus tembok.
- Ukuran dimensi keseluruhan antenna UWB menggunakan substrat FR-4 menjadi lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan substrat *Duroid5880*, sesuai dengan perbandingan kedua konstanta dielektrik tersebut.
- Hasil pengukuran menunjukkan bahwa antenna UWB sudah memenuhi karakteristik sebagai antenna radar tembus tembok yaitu bekerja pada frekuensi 3,8 – 8,8 GHz. Pergeseran frekuensi dari simulasi menghasilkan *bandwidth* yang lebih lebar.
- Pergeseran frekuensi, perbedaan *gain*, dan *return loss* pada antenna dapat disebabkan beberapa hal seperti: hasil pabrikasi tidak 100% persis sama dengan desain simulasi, perbedaan desain konektor yang digunakan dalam simulasi dengan pabrikasi, toleransi harga pada bahan dielektrik yang tidak diperhitungkan pada simulasi, dan banyaknya interferensi/*noise* pada saat pengukuran,

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sujendro, H. (2013). *Perekayasa Sistem Antena Untuk SMK/MAK Kelas XI*. Jakarta: Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan.
- [2] Federal Communication Commission. (2002). *New Public Safety Applications and Broadband Internet Access Among Uses Envisioned by FCC Authorization of UWB Technology*. USA: FCC.
- [3] Office of Communication. (2007). *Electronic Communication – The Wireless Telegraphy (UWB Equipment) Regulation 2007*. UK:OfCom
- [4] Zhu, F. et al. (2011). “Low-Profile Directional Ultra-Wideband Antenna For See-Through-Wall Imaging Applications”. *IEEE Progress In Electromagnetics Research*. 121, 121–139.
- [5] Priyatna, A.P. (2014). *Perancangan Dan Realisasi Antena Mikrostrip Ultra Wideband (Uwb) Berbentuk Dual Elips Untuk Radar Tembus Tembok*. Tugas Akhir Sarjana pada FTE Universitas Telkom Bandung: tidak diterbitkan
- [6] [Rouse, M. (2008). *Definition of Ultra Wideband* (Online). Tersedia:

<http://whatis.techtarget.com/definition/ultra-wideband> [10 Februari 2015]

- [7] Silalahi, M. N. (2013). Analisis Antena Mikrostrip Patch Segiempat Dengan Teknik Planar Array. Tugas Akhir Sarjana pada DTE Universitas Sumatera Utara. Medan: tidak diterbitkan
- [8] Yong dan Daniel. (2008). UHF Microstrip Antenna Design and Simulation (first ed.). Sim University Press.
- [9] Balanis, C. A. (2005). Antena Theory Analysis and Design (third ed.). Willey inc.
- [10] Surjati, I. (2010).