

APLIKASI KONTROL LOGIKA FUZZY PADA SISTEM *TRACKING* MATAHARI (*SUN TRACKING SYSTEM*) PANEL *PHOTOVOLTAIC*

Nazrul Effendy, Adnan Syarafi Ashfahani, Arditya Yulinggar, dan I Nyoman Kusuma Wardana

Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

Jln. Grafika 2, Yogyakarta 55281

e-mail: nazrul@gadjahmada.edu, adnan_sanianwar@mail.ugm.ac.id

arditya_yulinggar@yahoo.com, koes_wrd@yahoo.com

ABSTRAKSI

Photovoltaic (PV) merupakan teknologi konversi dari radiasi matahari menjadi energi listrik secara langsung. Pembangkitan listrik dengan *PV* telah digunakan pada beberapa rentang daya, dari skala miliwatt pada kalkulator sampai dengan tingkatan megawatt pada instalasi pembangkit listrik. Sel *PV* sendiri adalah sebuah elemen semikonduktor yang dapat mengkonversi energi surya menjadi energi listrik atas dasar efek *photovoltaic*, sedangkan modul *PV* adalah kumpulan dari beberapa sel *PV* dan panel surya adalah kumpulan beberapa modul *PV*. Daya yang dihasilkan sel *PV* dipengaruhi oleh tingkat radiasi surya dan suhu udara lingkungan: semakin rendah radiasi matahari maka semakin rendah pula arus yang dihasilkan. Agar daya yang dihasilkan sel *PV* selalu optimal untuk variasi intensitas radiasi matahari maka perlu dilakukan pengaturan posisi dari modul *PV* terhadap arah cahaya matahari. Sistem yang digunakan untuk pengaturan tersebut dinamakan sistem *tracking* matahari (*Sun Tracking System*).

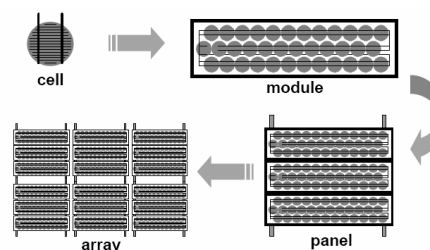
Makalah ini akan membahas bagaimana kinerja sistem *tracking* matahari menggunakan kontrol logika fuzzy. Sistem *tracking* matahari terdiri dari sirkuit penangkap cahaya langsung (*directional light detecting circuit*), amplifier circuit, dan sebuah magnet permanen motor step DC untuk menyesuaikan arah dari modul *PV* terhadap arah tegak lurus cahaya matahari. Input dari sistem adalah posisi cahaya matahari dan outputnya berupa arah dari modul *PV* tersebut dalam besaran radian. Aplikasi kontrol logika fuzzy pada sistem *tracking* matahari ini dapat memperlihatkan respon pergerakan panel *PV* yang stabil dan sesuai dengan posisi tegak lurus cahaya matahari, sehingga daya yang dihasilkan oleh sel *PV* dapat lebih optimal. Simulasi dari kontrol logika fuzzy dilakukan menggunakan software *MATLABTM/SIMULINK[®]*

Keywords: *Photovoltaic (PV)*, kontrol logika Fuzzy, sun tracking

1. PENDAHULUAN

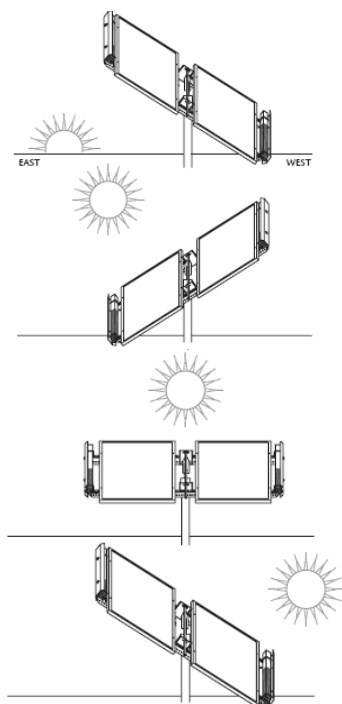
Photovoltaic atau *PV* merupakan teknologi konversi dari radiasi matahari menjadi energi listrik secara langsung (Sihana, 2006). Operasi sistem *PV* dapat diwujudkan secara ekonomis terutama untuk sistem supply daya rendah sampai dengan beberapa kilowatt pada daerah yang tidak terjangkau jaringan listrik.

Photovoltaic menggunakan proses konversi langsung dari cahaya atau (energi elektromagnetik) menjadi aliran listrik dengan menggunakan sel surya. Energi listrik yang dihasilkan oleh sel surya selain dipengaruhi oleh intensitas surya juga oleh efisiensinya. Secara teoritis, efisiensi yang dapat dicapai oleh sel surya maksimal sekitar 30 – 40% tergantung pada tipe dan konstruksinya, namun umumnya hanya mencapai efisiensi antara 7 – 17%. Atas dasar efisiensi tersebut, pengendalian posisi dari panel *PV* (yang merupakan kumpulan dari modul sel *PV*) menjadi penting agar intensitas matahari dapat diserap secara optimal. Sistem yang diterapkan disebut sistem *tracking* matahari (*Sun Tracking System*).



Gambar 1. *Photovoltaic*

Sistem *tracking* matahari terdiri dari sirkuit penangkap cahaya langsung (*directional light detecting circuit*), amplifier circuit, dan sebuah magnet permanen motor step DC untuk menyesuaikan arah dari modul *PV* terhadap arah tegak lurus cahaya matahari (Louvros dan Kaplanis, 2006). Input dari sistem adalah posisi cahaya matahari dan outputnya berupa arah dari modul *PV* tersebut dalam besaran radian.

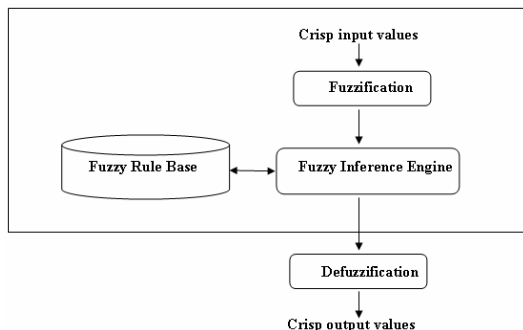


Gambar 2. Sistem Tracking matahari pada PV

Sistem pengontrol yang biasa digunakan adalah sistem pengontrol konvensional seperti PID namun pada makalah ini diusulkan menggunakan sistem pengontrol Logika Fuzzy.

2. DASAR TEORI

Perancangan yang dibangun pada makalah ini terkait sistem pengontrol Logika Fuzzy. Perlu diketahui terlebih dahulu bahwa model logika Fuzzy merupakan hubungan input-output yang berisi *fuzzifier*, mesin *inference*, *defuzzifier* dan sebuah basis aturan fuzzy (*fuzzy rule base*). Diagram hubungan antar komponen tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.

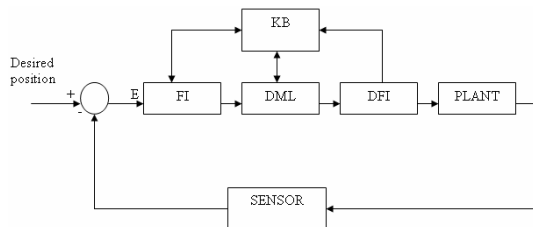


Gambar 3. Diagram hubungan antar komponen.

Pada *fuzzifier* input akan difuzzifikasi ke dalam nilai linguistik (*Linguistik values*) untuk

diasosiasikan menjadi variable input linguistik. Setelah fuzzyfikasi, mesin inference akan menunjuk fuzzy rule base yang berisi aturan fuzzy IF-THEN untuk memperoleh nilai linguistik dari variabel *intermediate* dan variabel output linguistik. Sekali nilai variabel linguistik didapatkan, *defuzzifier* akan menghasilkan nilai akhir dari nilai output linguistik. Dasar dari *Fuzzy Logic controller* (FLC) ditunjukkan pada Gambar 4, terdiri dari empat komponen dasar, yaitu :

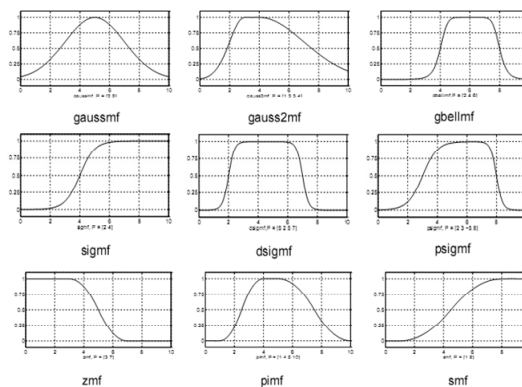
- Fuzzy interface*, berupa A/D converter pada Kontrol digital
- Pembuat logika keputusan (*decision-making logic*, DML), berfungsi layaknya pengontrol digital.
- Defuzzification interface* (DFI), yang berfungsi seperti teorema digital.
- Knowledge base* (KB), yang terdiri dari pengetahuan tentang aplikasi domain dan hasil dari pengontrolan.



Gambar 4. Diagram Fuzzy Logic controller.

Pada perancangan pengontrol konvensional seperti pengontrol PID, dimana yang menjadi objek dari model adalah sistem atau proses yang dikontrol. Namun pada perancangan pengontrol logika fuzzy, fokusnya adalah kebiasaan (*behavior*) dari operator manusia.

Fungsi keanggotaan menyatakan sejauh mana batasan suatu elemen untuk masuk ke dalam suatu keanggotaan dalam suatu sistem. Besarnya peluang suatu elemen masuk ke dalam keanggotaan suatu sistem disimbolkan dengan " μ ". Contoh fungsi keanggotaan ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram contoh fungsi keanggotaan.

Pada makalah ini digunakan metode Fuzzy Inference Sugeno yang memiliki kesamaan dengan metode *Fuzzy Inference* yang sering digunakan yaitu Mamdani. Dua bagian pertama dari proses *Fuzzy Inference*, yaitu memfuzzykan input dan penggunaan operator Fuzzy secara umum sama. Perbedaan utama antara Mamdani dan Sugeno adalah fungsi keanggotaan output dari sugeno adalah linear dan konstan. Tipe aturan (*rule*) dari model Fuzzy Sugeno memiliki bentuk :

If Input 1 = x and Input 2 = y ,
then Output is $z = ax + by + c$

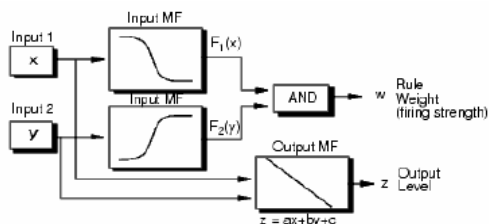
Untuk model Sugeno berorde nol (*zero-order*), output level z adalah a konstan ($a=b=0$). Output level z_i pada masing-masing *rule* dibebankan oleh nilai daya (*firing strength*) w_i pada aturan (*rule*). Sebagai contoh, untuk sebuah aturan (*rule*) AND dengan Input 1 = x and Input 2 = y , nilai *firing strength* adalah :

$$w_i = \text{AndMethod} (F_1(x), F_2(y))$$

dimana $F_{1,2}(\cdot)$ adalah fungsi keanggotaan untuk input 1 dan 2. Output akhir dari sistem adalah daya rata-rata (*weighted average*) dari semua aturan output, dikomputasikan sebagai :

$$\text{Final Output} = \frac{\sum_{i=1}^N w_i z_i}{\sum_{i=1}^N w_i}$$

Operasi dari aturan Sugeno terlihat pada gambar diagram 44 (Mathworks, 2007) :



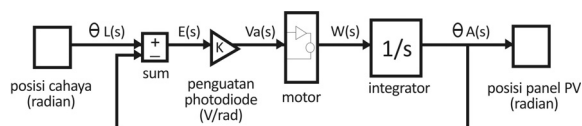
Gambar 6. Diagram operasi Sugeno.

Sistem Sugeno lebih lengkap dan memiliki representasi komputasional yang lebih efisien daripada sistem mamdani. Sistem Sugeno memberikan kemungkinan untuk penggunaan teknik-teknik yang adaptif dalam membangun model Fuzzy. Teknik-teknik adaptif tersebut dapat digunakan untuk merancang fungsi keanggotaan (*membership function*), sehingga sistem Fuzzy dapat memberikan model data yang terbaik. Kelebihan dari penggunaan sistem Sugeno adalah dapat dikomputasikan secara efisien, bekerja dengan baik pada teknik linear (pada kontrol PID), lebih optimal dan adaptif. Selain itu sistem Sugeno memiliki

kontinuitas pada output serta sesuai dengan analisis secara matematis. Sedangkan pada Mamdani, kelebihan yang dimiliki adalah memiliki persebaran yang lebih luas, intuitif, dan sesuai dengan input manusia.

3. METODE

Sistem *Tracking Matahari* (*Sun Tracking System*) memiliki blok diagram seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Blok diagram sistem *tracking* matahari.

Sistem tersebut terdiri dari :

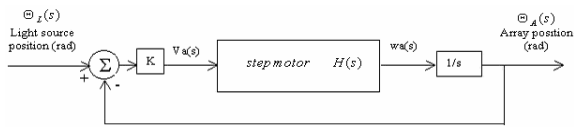
1. Rangkaian pendeteksi cahaya langsung, yang terdiri dari dua photo-resistor yang ditempelkan ke dalam panel untuk melakukan perbedaan pengukuran dari arah datangnya radiasi matahari
2. Rangkaian penguat untuk menguatkan perbedaan tegangan dan mengendalikan motor
3. Sebuah magnet permanen motor step DC untuk meluruskan arah dari panel PV menjadi radiasi tegak lurus cahaya matahari.

Model persamaan matematis dari motor step DC yang dikaji dalam makalah ini adalah (Louvros dan Kaplanis, 2006) :

$$H(s) = \frac{Va(s)}{Wa(s)} = \frac{\frac{k_t}{La \cdot I}}{s^2 + \left[\frac{Ra \cdot I + La \cdot D}{La \cdot I} \right] \cdot s + \left[\frac{Ra \cdot D + k_t \cdot k_v}{La \cdot I} \right]}$$

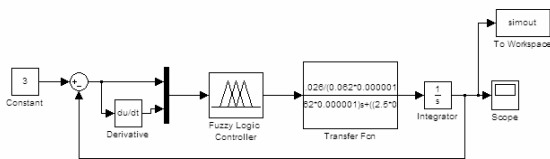
dengan $Va(s)$ adalah transformasi laplace dari input tegangan yang memotong *coil* armatur, $Wa(s)$ adalah transformasi dari kecepatan rotasional armatur motor, Induktansi (La) diserikan dengan resistansi (Ra) membentuk persamaan elektrik dari armatur coil. k_v merupakan kecepatan konstan yang diturunkan oleh kerapatan (*density*) flux dari magnet permanen, reluktansi dari inti besi armatur, dan nilai dari perubahan lilitan armatur motor. k_t adalah torsi konstan yang bergantung pada kerapatan flux dari magnet, reluktansi inti besi dan nilai perubahan dari lilitan armatur motor. I , menunjukkan inersia motor dan D koefisien peredam (*dampner*) yang disinkronkan dengan sistem rotasi dari rotor.

Blok diagram dari sistem tersebut menghasilkan:



Gambar 8. Blok diagram penuh sistem tracking matahari.

Berikut adalah blok diagram dari sistem tracking matahari menggunakan logika Fuzzy yang dirancang pada makalah ini :



Gambar 9. Blok diagram sistem tracking matahari menggunakan kontrol Fuzzy

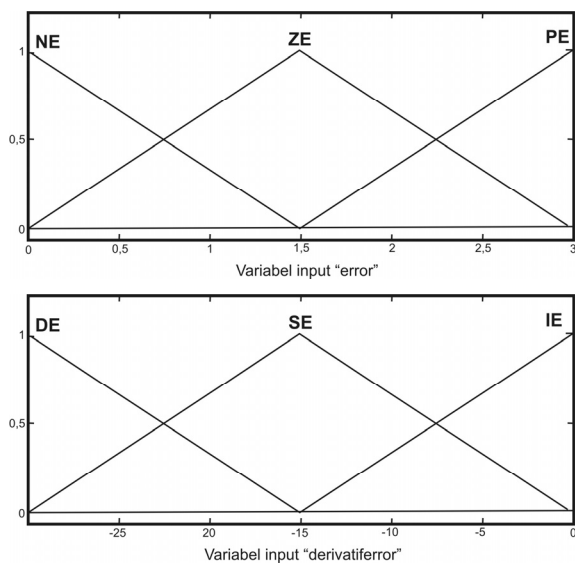
Fungsi transfer dari persamaan matematis motor step DC memiliki nilai-nilai tetapan sebagai berikut :

$$k_v = 1.10^{-3}, k_t = 0,026 \text{ Nm/A}, L_a = 0,062 \text{ H}, R_a = 2,5 \Omega, J = 1.10^{-6} \text{ kg/m}^2, D = 5.10^{-6} \text{ Ns/m}$$

menghasilkan nilai fungsi transfer :

$$H(s) = \frac{0,026}{s^2 + \left[\frac{2,5 \cdot 1.10^{-6} + 0,062 \cdot 5.10^{-6}}{0,062 \cdot 1.10^{-6}} \right] \cdot s + \left[\frac{2,5 \cdot 1.10^{-6} + 0,026 \cdot 1.10^{-3}}{0,062 \cdot 1.10^{-6}} \right]}$$

dengan fungsi keanggotaan dari sistem untuk variable input “error” dan “derivatiferror” :



Gambar 10. Diagram fungsi keanggotaan “error” dan derivatiferror” dari sistem.

Keterangan : NE (Negative Error), ZE (Zero Error), PE (Positive Error), DE (Decreasing Error), SE (Stationary Error), dan IE (Increasing Error).

Berikut adalah aturan yang diterapkan pada sistem ini :

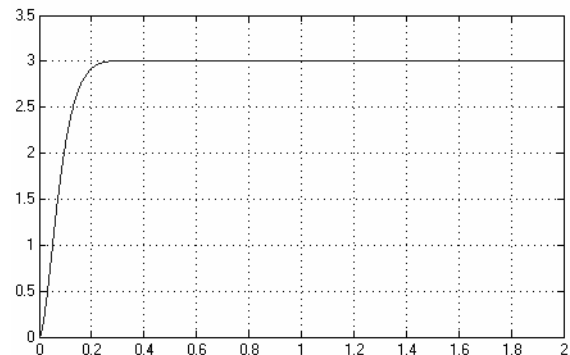
Tabel 1. Aturan yang dipakai pada sistem

| error | DE | SE | IE |
|----------------|----------|----------|----------|
| derivatiferror | | | |
| NE | -0.02901 | -0.02908 | -0.02916 |
| ZE | 8.985 | 8.985 | 8.985 |
| PE | 18 | 18 | 18 |

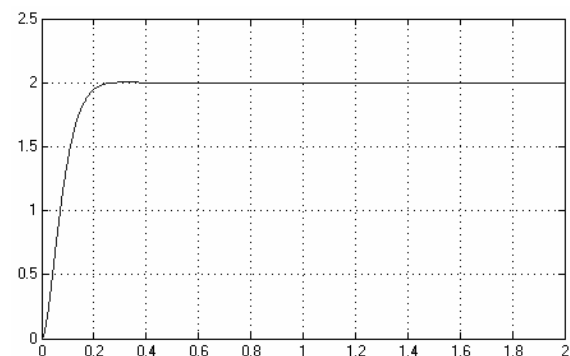
Simulasi dari kontrol Logika Fuzzy dilakukan menggunakan software MATLAB™/SIMULINK®

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

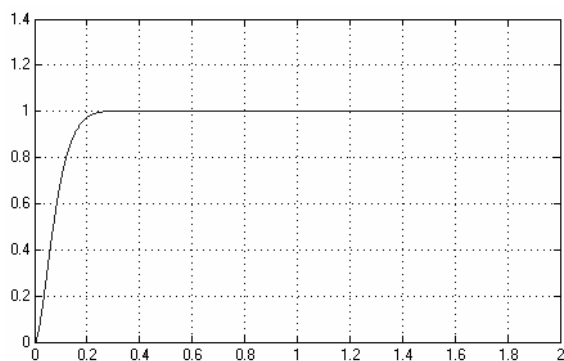
Hasil simulasi dari sistem tracking matahari yang telah dilakukan ditunjukkan pada Gambar 10, 11 dan 12.



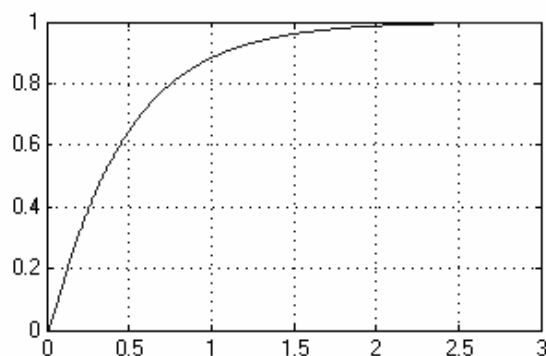
Gambar 11. Output sistem kontrol fuzzy pada posisi matahari 3 radian (171°)



Gambar 12. Output sistem kontrol fuzzy pada posisi matahari 2 radian (114°).

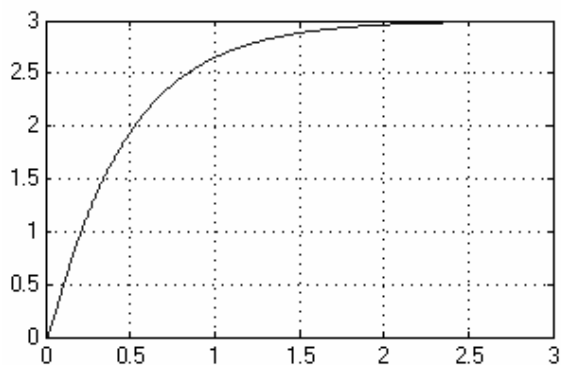


Gambar 13. Output sistem kontrol fuzzy pada posisi matahari 1 radian (57°)

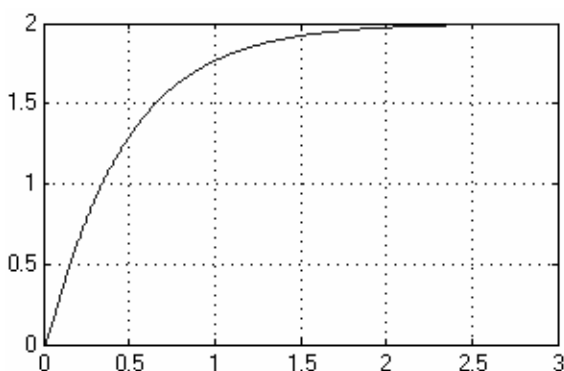


Gambar 16. Output sistem tanpa pengontrol pada posisi matahari 1 radian (57°).

Sebagai pembandingan, dilakukan sistem *tracking* matahari tanpa menggunakan pengontrol yang hasilnya ditunjukkan pada Gambar 14, 15 dan 16.



Gambar 14. Output sistem tanpa pengontrol pada posisi matahari 3 radian (171°)



Gambar 15. Output sistem tanpa pengontrol pada posisi matahari 2 radian (114°).

5. KESIMPULAN

Sistem *tracking* dengan menggunakan kontrol logika Fuzzy memiliki respon yang lebih cepat jika dibandingkan dengan sistem tanpa pengontrol. Hal ini terlihat pada *settling time* untuk posisi matahari 3 radian (171°), 2 radian (114°), dan 1 radian (57°) adalah 0,25 detik. Sebagai perbandingan sistem *tracking* matahari tanpa menggunakan pengontrol memiliki *settling time* 2 detik untuk posisi matahari 3 radian (171°), 2 radian (114°), dan 1 radian (57°).

Hal tersebut memperlihatkan bahwa sistem *tracking* matahari dengan menggunakan kontrol logika Fuzzy memberikan nilai kestabilan dan respon yang lebih baik untuk mengoptimalisasikan kinerja panel PV.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sihana, *Rekayasa Energi Surya*, Jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, 2006
- [2] _____, *Fuzzy Logic Toolbox User's Guide*, The MathWorks, Inc., www.mathworks.com, 2007
- [3] S Louvros and S Kaplanis, *The design of sun tracking systems for P.V. generators*, European Summer School on I.C.T. tools: PV-systems engineering: Teaching & Learning, T.E.I. of Patra, Greece, 2006
- [4] Pitowarno E, *Robotika : Disain, Kontrol, dan Kecerdasan Buatan*, Andi:Yogyakarta, 2006
- [5] Kusuma, *Aplikasi Fuzzy untuk Sistem Kontrol*, Jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, 2008
- [6] _____, *Tracker 200™ : Passive Tracking Rack for Two PV Modules*, UniRac Inc, www.unirac.com, 2002

