

Penelusuran Daya Maksimum Pada Panel *Photovoltaic* Menggunakan Kontrol Logika Fuzzy Di Kota Surabaya

Kurnia M. Pebriningtyas, Ali Musyafa, Katherin Indriawati
Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111
e-mail: musyafa@ep.its.ac.id

Abstrak— Kebutuhan energi semakin lama semakin meningkat dan sumber energi utama yang digunakan saat ini mempunyai keterbatasan untuk memperbaruinya. *Photovoltaic* adalah komponen semikonduktor yang berfungsi mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Cahaya matahari yang termasuk sumber energi primer tersedia sepanjang tahun di semua tempat di permukaan bumi. Tingkat penyinaran yang berbeda-beda menyebabkan daya keluaran dari *photovoltaic* bervariasi. Karakteristik V-I sel surya adalah nonlinier, berubah terhadap intensitas dan temperatur permukaan *photovoltaic*. Secara umum, terdapat titik yang unik pada kurva V-I atau kurva P-V, yang dinamakan *Maximum Power Point (MPP)*. Titik MPP tersebut tidak diketahui namun dapat dicari dengan algoritma penjejak atau algoritma MPPT. Pada tugas akhir ini dilakukan perancangan penelusuran daya maksimum menggunakan kontrol logika fuzzy. Sistem penelusuran daya maksimum yang menggunakan modul BPSX-60 dapat menghasilkan daya 59,4W pada keadaan *standard condition* (intensitas 1000W/m^2 dan temperatur 25°C). Sistem penelusuran daya maksimum pada panel *photovoltaic* mampu menelusuri daya maksimum dengan kondisi lingkungan (intensitas cahaya matahari dan temperatur pada permukaan panel *photovoltaic*) yang berubah-ubah.

Kata kunci-*photovoltaic*, daya maksimum, kontrol logika fuzzy

I. PENDAHULUAN

Tren pertumbuhan energi semakin meningkat setiap tahunnya, hal ini dikarenakan pertumbuhan ekonomi dan peningkatan populasi. Namun di sisi lain, penyediaan energi konvensional semakin menurun. Dalam permasalahan ini, pemerintah dengan Perpres No.5 Tahun 2006 mencanangkan bahwa peranan energi baru dan terbarukan lainnya akan meningkat lima persen pada tahun 2025 termasuk energi matahari dengan menggunakan *photovoltaic*.

Photovoltaic adalah suatu komponen dengan bahan semikonduktor yang berfungsi untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Dalam penggunaannya *photovoltaic* dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari dan temperatur pada permukaan *photovoltaic*. Posisi matahari yang berubah-ubah setiap saat mempengaruhi intensitas yang diterima oleh *photovoltaic* sehingga membuat daya keluaran fluktuatif.

Photovoltaic mempunyai kurva karakteristik V-I, dimana di dalam kurva karakteristik tersebut terdapat titik istimewa yang biasa disebut titik MPP (*Maximum Power Point*). Pada titik tersebut *photovoltaic* berada pada keadaan optimal, baik dari

tegangan dan arus yang dihasilkan. Ketika tegangan dan arus yang dihasilkan maksimal maka akan mendapatkan keluaran daya yang maksimal. Titik MPP ini letaknya tidak diketahui, namun dapat dicari dengan algoritma penjejak yang biasa disebut algoritma MPPT. Algoritma MPPT bekerja untuk mencari titik optimum dari *photovoltaic* dan berusaha mempertahankannya pada keadaan optimum.

Dalam penelitian Trishan,E (2007)[6] dijelaskan terdapat 19 algoritma MPPT antara lain *Hill Climbing*, *Perturb and Observe*, *Fuzzy Logic Control*, *Neural Network*, dan lain-lain. Dengan algoritma MPPT tersebut dapat digunakan untuk menelusuri daya maksimal yang mampu dihasilkan *photovoltaic*. Pada penelitiannya Trishan,E (2007)[6] mengungkapkan bahwa algoritma MPPT dengan kontrol logika fuzzy mempunyai efisiensi lebih bagus jika dibandingkan dengan algoritma yang lain. Dalam tugas akhir ini akan digunakan metode kontrol logika fuzzy untuk menelusuri daya maksimum yang mampu dihasilkan oleh panel *photovoltaic*.

II. PHOTOVOLTAIC (SEL SURYA)

Photovoltaic adalah alat yang berfungsi untuk mengubah atau mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. *Photovoltaic* terbuat dari bahan semikonduktor, dalam hal ini bahan yang sering dipakai adalah silikon. Silikon dalam *photovoltaic* dapat berperan sebagai konduktor maupun isolator. Hal yang mempengaruhi dari kinerja *photovoltaic* dengan bahan silikon adalah temperatur dan intensitas cahaya matahari yang masuk ke dalam sel surya.

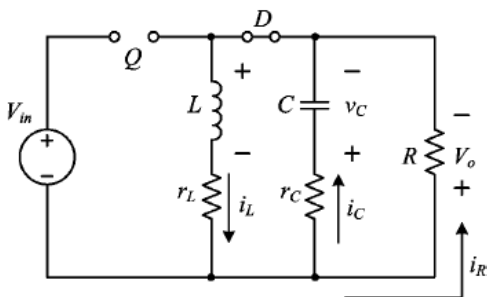
Ketika *photovoltaic* mendapat masukan berupa intensitas cahaya matahari dan temperatur akan dapat menghasilkan arus. Besar arus yang dihasilkan oleh *photovoltaic* berbanding lurus dengan besar intensitas cahaya matahari yang masuk ke dalam sel surya. Besar intensitas cahaya matahari berubah sesuai dengan pergeseran posisi matahari dan cuaca. Faktor cuaca seperti cuaca mendung dan cuaca cerah akan mempengaruhi besar intensitas cahaya matahari.

Dalam kenyataannya, modul *photovoltaic* yang selama ini digunakan memiliki banyak variasi meliputi daya maksimum, tegangan, dan arus yang mampu dihasilkan oleh modul saat operasi. Tiap modul *photovoltaic* memiliki parameter yang berbeda-beda. Perbedaan utama terlihat dari Voc (*open circuit voltage*) dan Isc (*short circuit current*). *Photovoltaic* mempunyai spesifikasi pemakaian dalam

keadaan ideal atau *standard condition* yaitu pada saat intensitas cahaya matahari 1000W/m^2 dan temperatur 25°C .

III. BUCK BOOST CONVERTER

Sebelum dihubungkan dengan beban, tegangan dan arus yang dihasilkan oleh modul *photovoltaic* akan diolah terlebih dahulu dengan perangkat yang dinamakan DC-DC converter. Perangkat tersebut berfungsi sebagai pengubah *level* tegangan yang dihasilkan oleh modul. Dalam tugas akhir ini, jenis DC-DC Converter yang digunakan adalah *buck-boost converter*. Secara komposisi rangkaian, jenis *converter* ini tidak memiliki perbedaan dengan jenis lainnya yaitu terdiri dari rangkaian R-L-C (resistor, induktor, dan kapasitor). Namun, perbedaan *converter* jenis ini terletak pada fungsinya yaitu dapat melakukan *step-up* dan *step-down* pada tegangan keluaran modul *photovoltaic*. Rangkaian *buck-boost converter* ditunjukkan pada gambar 1.

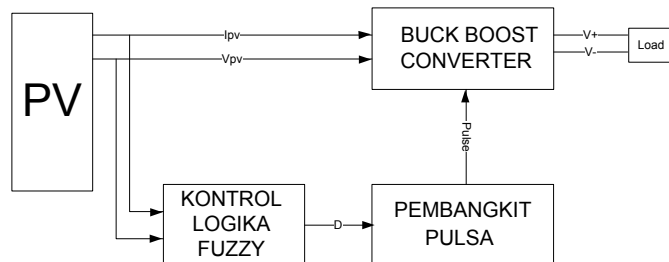


Gambar. 1. Rangkaian Buck Boost Converter (Chung Yu, 2009)

IV. SISTEM PENELUSURAN DAYA MAKSIMUM

Sistem penelusuran daya maksimum pada panel *photovoltaic* dirancang dengan beberapa komponen yaitu panel *photovoltaic*, pembangkit pulsa, *buck boost converter* dan kontrol logika fuzzy. Terdapat beberapa hal yang mempengaruhi kinerja sistem penelusuran daya antara lain, intensitas cahaya matahari dan temperatur permukaan. Intensitas cahaya matahari mempengaruhi besar arus keluaran *photovoltaic*, sedangkan temperatur mempengaruhi besarnya tegangan yang dihasilkan panel.

Perancangan kontrol logika fuzzy didasarkan oleh algoritma *maximum power point tracking*. *Maximum power point tracking* adalah sebuah algoritma yang digunakan untuk menemukan titik daya maksimum *photovoltaic* sehingga dapat menghasilkan daya keluaran maksimum. Fungsi dari algoritma ini adalah untuk mempertahankan tegangan agar tetap bertahan pada kondisi maksimal dari *photovoltaic*.



Gambar. 2. Diagram Skematik Sistem *Photovoltaic*

Menurut gambar 2 di atas, kontrol logika fuzzy terletak

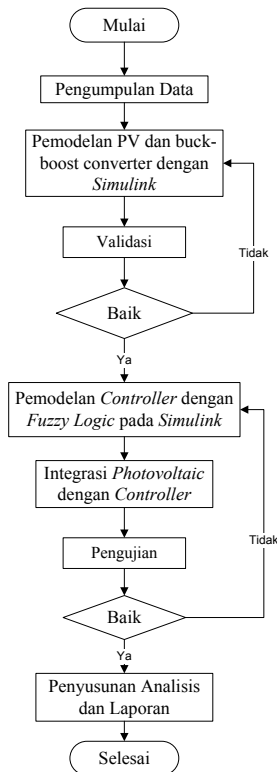
pada *buck-boost converter*. Dengan algoritma tersebut, sistem *photovoltaic* yang dirancang agar dapat menemukan kondisi dimana dapat menghasilkan daya maksimal sesuai dengan spesifikasi modul *photovoltaic*. Kontrol Logika Fuzzy akan dibahas pada sub-bab berikutnya. Keluaran dari kontrol logika fuzzy berupa *duty cycle* (D) *buck-boost converter*. *Duty cycle* tersebut digunakan untuk mengatur tegangan keluaran *converter* sehingga sistem dapat menghasilkan daya maksimum. *Duty cycle* akan memiliki nilai yang berbeda-beda sesuai dengan algoritma yang diterapkan. Dengan kontrol logika fuzzy ini, sistem *photovoltaic* diharapkan dapat menghasilkan dan mempertahankan daya maksimumnya meskipun kondisi lingkungan berubah-ubah.

V. KONTROL LOGIKA FUZZY

Logika *fuzzy* adalah suatu metode yang digunakan untuk memasukkan sebuah *input* ke *output* dengan menggunakan persamaan IF-THEN. Persamaan *if-then* merupakan *rule base* dari *fuzzy*, sebelum membuat *rule base* terlebih dahulu memasukkann *input - output fuzzy*. Di dalam *input* dan *output* terdapat fungsi keanggotaan yang biasa dinamakan *membership function*.

Fuzzy Inference System (FIS) menggunakan dua metode utama yaitu, *fuzzy Mamdani* dan *Sugeno*. Perbedaan dari penggunaan *Mamdani* dan *Sugeno* adalah dalam menentukan nilai *output* dari FIS. *Output FIS tipe Mamdani* berupa *Fuzzy set*, sedangkan *output tipe Sugeno* berupa konstanta atau persamaan linier. Fuzzifikasi adalah proses penentuan *crisp* masukan menjadi suatu himpunan *fuzzy*. *Rule base* adalah aturan yang digunakan sebagai acuan sistem. *Inference* adalah evaluasi aturan/*rule base* agar menghasilkan keluaran dari setiap aturan. Defuzzifikasi adalah proses perhitungan *crisp output*. Untuk lebih jelasnya, berikut ini adalah uraian singkat tentang istilah dan bagian-bagian dari logika fuzzy[4].

VI. METODOLOGI PENELITIAN



Gambar. 3. Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir

A. Pengumpulan Data

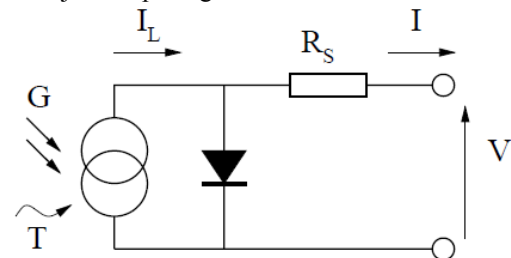
Data yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah data intensitas cahaya matahari di daerah Surabaya. Data ini akan digunakan sebagai masukan dari photovoltaic.

B. Pemodelan Sistem

Pemodelan sistem untuk tugas akhir ini terdiri dari modul photovoltaic (BPSX60), buck boost converter, dan kontrol logika fuzzy.

1) Pemodelan Photovoltaic (Sel Surya)

Model sederhana photovoltaic terdiri dari sebuah dioda yang dipasang paralel dengan sebuah sumber arus dan hambatan yang dipasang seri. Masukan dari sistem ini adalah intensitas cahaya matahari (G) dan dipengaruhi oleh temperatur (T). Model sederhana dari photovoltaic ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar. 4. Model sederhana photovoltaic [3]

Dengan menggunakan model sederhana PV pada gambar 4, maka persamaan yang digunakan adalah:

$$I = I_L - I_0 \left(e^{\frac{q(V+IR_s)}{nkT}} - 1 \right) \tag{1}$$

$$I_L = I_{L(T_1)} (1 + K_0(1 - T_1)) \tag{2}$$

$$I_{L(T_1)} = G * I_{sc(T_1,nom)} / G_{nom} \tag{3}$$

$$K_0 = (I_{sc(T_2)} - I_{sc(T_1)}) / (T_2 - T_1) \tag{4}$$

$$I_0 = I_{0(T_1)} * \left(\frac{T}{T_1} \right)^{3/n} * e^{-\left(\frac{qV_g}{nk \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_1} \right)} \right)} \tag{5}$$

$$I_{0(T_1)} = I_{sc(T_1)} / e^{qV_{oc(T_1)} / nkT_1} \tag{6}$$

$$R_s = - \frac{dV}{dI_{V_{oc}}} - 1 / X_v \tag{7}$$

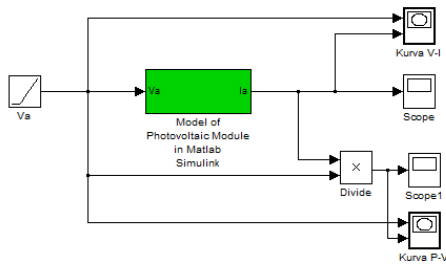
$$X_v = I_{0(T_1)} * \frac{q}{nkT_1} * e^{qV_{oc(T_1)} / nkT_1} \tag{8}$$

Semua konstanta pada persamaan (1) sampai dengan persamaan (8) dapat ditentukan dengan menggunakan parameter-parameter dari panel surya yang kemudian dapat digunakan untuk menentukan karakteristik kurva V-I pada panel photovoltaic yang digunakan. Pada tugas akhir ini menggunakan photovoltaic jenis BPSX60 dengan daya keluaran maksimal dari photovoltaic adalah 60W. Parameter photovoltaic BPSX60 ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Photovoltaic BPSX60[5]

Electrical Parameters		Keterangan
A	1.177	Ideality diode factor of PN junction
Eg	1.12eV	Band gap energy
n _p	1	Number of parallel-connected modules
n _s	36	Number of series-connected modules
P _{MAX}	60W	Maximum power at standard conditions
V _{MAX}	16.8V	Voltage at the maximum power point
I _{MAX}	3.56A	Current at the maximum power point
NOTC	47°C	Nominal Operating Cell Temperature
I _{SC}	3.87A	Short-circuit current at standard conditions
V _{OC}	21.0V	Open-circuit voltage at standard conditions
K _v	-80mV/°C	Voc temperature coefficient
K _i	0.065%/°C	Isc temperature coefficient

Pemodelan photovoltaic dilakukan dengan menggunakan software Matlab R2009a. Program dijalankan dengan menggunakan parameter-parameter yang terdapat pada Tabel 1 dengan menggunakan persamaan (1) sampai (8). dan disimulasikan menggunakan M-file dan simulink. M-file digunakan untuk memasukkan parameter pada tabel 1 yang akan diintegrasikan dengan simulink. Simulink digunakan untuk memodelkan persamaan (1) sampai (8) dengan output berupa arus dari photovoltaic.



Gambar. 5. Pemodelan photovoltaic pada simulink

2) Pemodelan Buck Boost Converter

Buck boost converter digunakan untuk mengubah level tegangan DC, baik ke tegangan yang lebih tinggi maupun tegangan yang lebih rendah. Dalam merancang sebuah buck boost converter dibutuhkan parameter-parameter untuk menentukan besar hambatan, induktansi dan kapasitor yang akan digunakan. Parameter tersebut disesuaikan dengan spesifikasi dari photovoltaic.

Parameter dari buck boost converter adalah sebagai berikut:

1. Daya maksimal : 60W
2. Tegangan input : 17V
3. Tegangan output : 24V
4. Tegangan ripple : 1%
5. Arus ripple : 5%
6. Frekuensi switching : 100 kHz

Perancangan buck boost converter diawali dengan menentukan nilai duty cycle maksimal dengan persamaan

$$V_o = \frac{D}{1-D} \times V_{in} \tag{9}$$

Nilai V_o dan V_{in} yang terdapat pada parameter dimasukkan ke dalam persamaan (3.9), sehingga didapatkan nilai duty cycle maksimum sebesar:

$$V_o = \frac{D}{1-D} \times V_{in}$$

$$24 = \frac{D}{1-D} \times 17$$

$$D = 0,59$$

Dengan didaptkannya nilai duty cycle dan hambatan sebesar 24Ω maka induktor minimal dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$L_{min} = \frac{(1-D)^2}{2f} \times R \tag{10}$$

$$L_{min} = \frac{(1 - 0,59)^2}{2 \times 10^5} \times 50$$

$$L_{min} = 17\mu H$$

Komponen selanjutnya yang dihitung adalah C yang digunakan sebagai filter tegangan untuk mengurangi ripple tegangan. Semakin besar nilai C maka semakin kecil ripple yang dihasilkan. Besar nilai C dipengaruhi oleh tegangan output, duty cycle, tegangan ripple, hambatan dan frekuensi switching.

$$C = \frac{V_o \times D}{V_r \times R \times f} \tag{11}$$

$$C = \frac{24 \times 0,59}{0,24 \times 50 \times 10^5}$$

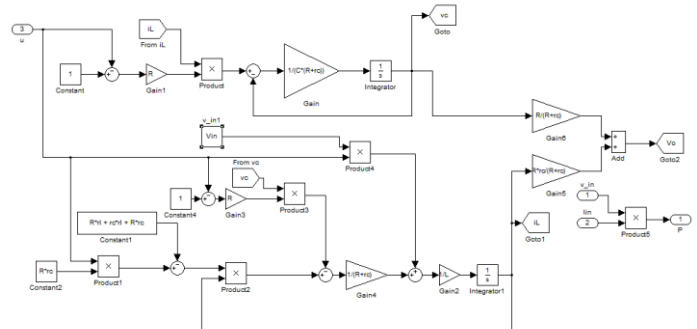
$$C = 40\mu F$$

Setelah menentukan besaran-besaran yang akan digunakan untuk buck boost converter, maka dapat dirancang converter pada simulink. Besaran-besaran yang telah dihitung akan dimasukkan pada sehingga converter dapat digunakan. Pemodelan buck boost converter dimodelkan dengan persamaan-persamaan sebagai berikut:

$$\frac{d i_L}{dt} = -\frac{1}{L} \left(\frac{R r_L + r_c r_L + R r_c}{R + r_c} i_L + \frac{R}{R + r_c} V_C \right) \tag{12}$$

$$\frac{d i_L}{dt} = \frac{1}{L} \{ V_i u + \frac{1}{R + r_c} [R r_c i_L u - (R r_L + r_c r_L + R r_c) i_L - R V_C + R V_C u] \} \tag{13}$$

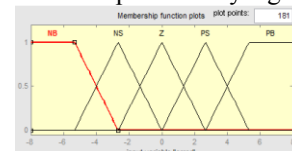
Hasil dari pemodelan buck boost converter ditunjukkan pada gambar 6.



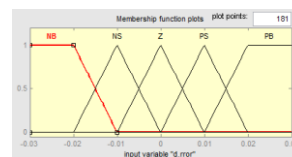
Gambar. 6. Tampilan buck boost converter

Langkah-langkah atau prosedur dalam perancangan kontrol logika fuzzy:

1. Menentukan variabel masukan dan keluaran.
 Penentuan variabel input masukan dan keluaran sangat berpengaruh pada perancangan kontrol logika fuzzy. Variabel input dalam controller ini adalah error dan delta error. Hasil dari kontrol logika fuzzy adalah delta duty cycle.
2. Menentukan membership function variabel
 Membership function menyatakan fungsi keanggotaan dari setiap variabel yang telah ditentukan.

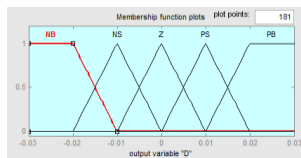


Gambar. 7. Membership function error(dP/dV)



Gambar. 8. Membership function delta error

Gambar 7 dan gambar 8 merupakan *membership function* dari *error* dan *delta error*. Fungsi keanggotaan dari output (*delta duty cycle*) ditunjukkan pada gambar 9.



Gambar. 9. Membership function duty cycle

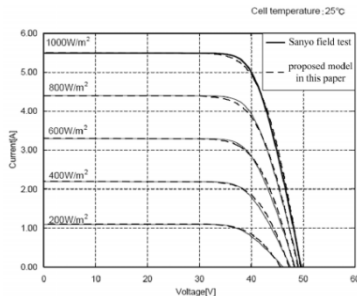
3. Menentukan *rule base* kontrol logika fuzzy *Rule base* pada kontrol logika fuzzy merupakan aturan yang digunakan untuk pengambilan keputusan. Data masukan berupa tegangan dan arus *photovoltaic* akan diolah dan menghasilkan keluaran berupa *delta duty cycle*. Dalam tugas akhir ini terdapat 25 *rule base* yang disusun berdasarkan dua input dengan masing-masing tujuh fungsi keanggotaan didalamnya.

VII. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

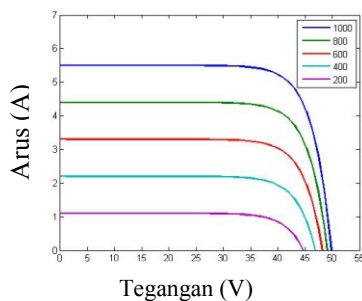
A. Pengujian Modul Photovoltaic

1) Validasi Pemodelan Photovoltaic

Validasi pemodelan *photovoltaic* dilakukan dengan membandingkan kurva karakteristik keluaran *photovoltaic* hasil simulasi dengan penelitian (Chung Yu, 2009)[2]. Validasi dilakukan menggunakan parameter yang sama dengan penelitian Chung Yu, yaitu dengan modul PV Sanyo yang menghasilkan daya maksimum sebesar 200W.



Gambar. 10. Kurva karakteristik V-I Modul Photovoltaic Sanyo (Chung Yu, 2009)



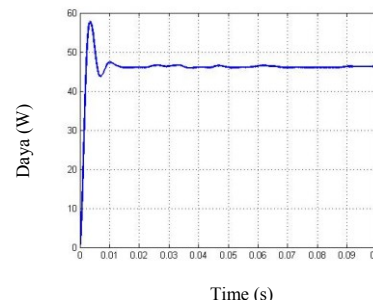
Gambar. 11. Kurva karakteristik V-I Modul Photovoltaic hasil simulasi

Kurva karakteristik V-I modul *photovoltaic* Sanyo hasil penelitian (Chung Yu, 2009)[2] ditunjukkan pada gambar 10. Pengujian dilakukan dengan variasi intensitas cahaya matahari dari 200-1000 W/m². Hasil simulasi ditunjukkan pada gambar 11 dengan variasi intensitas cahaya matahari yang sama. Kurva karakteristik yang dihasilkan dari simulasi jika

dibandingkan dengan penelitian Chung Yu memiliki respon yang sama. Perbedaan yang muncul dari hasil simulasi dengan penelitian Chung Yu dikarenakan terdapat beberapa parameter yang tidak disebutkan secara detail.

B. Pengujian Sistem Photovoltaic Tanpa Kontrol Logika Fuzzy

Pengujian pertama dilakukan tanpa menggunakan kontrol logika fuzzy. *Duty cycle* yang menjadi masukan dari converter dimasukkan secara konstan. Hasil pengujian sistem PV tanpa kontrol logika fuzzy pada intensitas 1000W/m² dan temperatur 25⁰C. ditunjukkan pada gambar 12, tegangan keluaran adalah 12,02V dan daya maksimum keluaran dari sistem adalah 46,47W. Spesifikasi dari modul PV BPSX-60 adalah memiliki daya keluaran maksimum 60W.

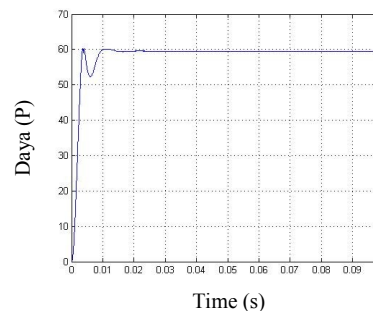


Gambar. 12. Daya keluaran dari PV tanpa kontrol pada saat intensitas 1000W/m² dan T=25⁰C

Pada gambar 12 dapat dilihat bahwa dengan pengujian *open loop* sistem mempunyai daya keluaran pada osilasi tertinggi di 58,9W. Setelah osilasi pertama terjadi penurunan pada daya keluaran *photovoltaic*, daya keluaran stabil pada 46,47 W. Sistem penelusuran daya maksimum pada panel *photovoltaic* tanpa menggunakan kontrol logika fuzzy kurang mampu menelusuri daya maksimum.

C. Pengujian Sistem Pada Intensitas 1000W/m²

Pengujian selanjutnya dilakukan saat keadaan *standard condition* dimana intensitas 1000 W/m² dan temperatur 25⁰C. Pada saat intensitas 1000 W/m² dan temperatur 25⁰C daya yang sistem dapat melakukan *tracking* daya dengan tegangan keluaran 15,96V dan daya maksimal sebesar 59,4W. Respon sistem ditunjukkan pada gambar 13.



Gambar 13. Respon Sistem PV saat Intensitas Cahaya Matahari 1000 W/m² dan T=25⁰C

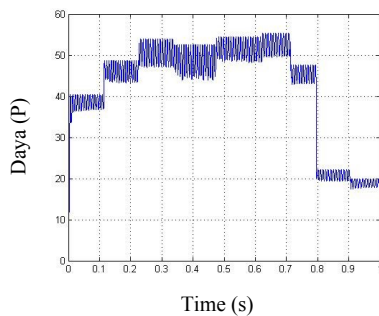
D. Penelusuran Daya Maksimum dengan Intensitas Cahaya Matahari Daerah Surabaya

Pengujian penelusuran daya maksimum selanjutnya dilakukan dengan data intensitas dan temperatur dari Tugas Akhir dari Yanuan Angga (2012)[1] tentang penerapan kontrol reflektor pada sistem penjejak matahari. Data-data tersebut diambil tanggal 10 Mei 2012 pada jam 08.00 WIB-16.00 WIB. Penelusuran daya maksimum dilakukan dengan intensitas dan temperatur pada setiap waktu.

Tabel 2.
Data Intensitas dan Temperatur tanggal 10 Mei 2012^[1]

Jam (WIB)	Intensitas Cahaya Matahari (W/m ²)	Suhu (°C)	Kondisi Cuaca (objektif Pengamat)
08.00	737,5	43	cerah, matahari terlihat
09.00	915,4	50	cerah, matahari terlihat
10.00	1017	47	cerah, matahari terlihat
11.00	1029	52	cerah, matahari terlihat
12.00	1070	45	cerah, matahari terlihat
13.00	1022	42	cerah, matahari terlihat
14.00	869,6	44	cerah, matahari terlihat
15.00	400	37	cerah, matahari terlihat
16.00	356	34	cerah, matahari terlihat

Dengan data pada tabel 2 dilakukan pengujian dengan masing-masing intensitas cahaya matahari dan temperatur pada panel *photovoltaic*.



Gambar. 14. Hasil pengujian penelusuran daya pada panel *photovoltaic*

Gambar 14 merupakan hasil penelusuran daya panel *photovoltaic* menggunakan modul BPSX-60. Sistem mampu melakukan penelusuran daya meskipun terdapat osilasi, hal ini dikarenakan temperatur pada permukaan panel yang tinggi dibandingkan dengan temperatur pada saat *standard condition* (25°C).

VIII. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Validasi pemodelan *photovoltaic* dilakukan dengan membandingkan kurva karakteristik hasil simulasi dengan kurva karakteristik hasil penelitian Chung Yu(2009). Hasil dari validasi tersebut adalah kurva

karakteristik V-I yang dihasilkan mempunyai kesamaan tren. Selain hal tersebut titik MPP yang dihasilkan dengan intensitas 1000W/m² sama yaitu pada saat tegangan keluaran 40V dan arus keluaran sebesar lima *ampere*.

2. Sistem penelusuran daya maksimum yang menggunakan modul PV BPSX-60 dapat menghasilkan daya maksimal 59,4W pada keadaan *standard condition* (intensitas cahaya matahari 1000W/m² dan temperatur 25°C).
3. Sistem *photovoltaic* dapat menelusuri daya maksimum mengikuti keadaan lingkungan (intensitas cahaya matahari dan temperatur permukaan panel *photovoltaic*) yang berubah-ubah.

IX. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada seluruh dosen dan staff pengakar jurusan Teknik Fisika, dan seluruh Mahasiswa Teknik Fisika, atas kesan-kesan yang pernah saya buat di jurusan ini bersama beliau-beliau dan teman-teman sekalian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Angga, Y. (2012). *Penerapan Kontrol Reflektor Pada Sistem Penjejak Matahari Dua Sumbu Berbasis Fuzzy Logic*. Surabaya: ITS.
- [2] Chung Yu, C. S. (2009). Analysis and Simulation of Characteristic and Maximum Power Point Tracking. *IEEE*, 1-6.
- [3] Gonzalez, L., & Francisco. (2005). Model of Photovoltaic Module in Matlab. *2do Congreso Ibero Americano de Estudiantes de Ingenieria Electrica, Electronica Y Computation (II Cibelec 2005)*, (pp. 1-6). Perancis.
- [4] Kovacic Zdenko, B. (2006). *Fuzzy Controller Design Theory And Applications*. CRC Press.
- [5] Solar, B. *Katalog Produk BPSX-60*. BP Solar.
- [6] Trishan E., C. P. (2007). Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Trackin Techniques. *35th Annual IEEE Power Electron*.