

MPPT Menggunakan Metode Hibrid JST dan Algoritma Genetika Untuk Sistem Photovoltaic

Gunawan Wibisono, Sholeh Hadi Pramono dan Muhammad Aziz Muslim¹

Abstract---Maximum Power Point Tracking is a method to track power point of an energy source in order to generate maximum power. One of the MPPT method for photovoltaic system is fractional open voltage MPPT. In this paper the fractional open voltage MPPT is modified by using artificial neural network trained using genetic algorithm.

Artificial neural networks are successfully trained by using genetic algorithm. The best mean squared error (MSE) value obtained is 0.000453. The network tested using test data, yielding average error = 0.00949509 and MSE = 0.00012814. The neural network-based MPPT can improve the fractional open voltage MPPT by 4.79%.

Index Terms---Genetic Algorithm, MPPT, Neural Network, Photovoltaic

Abstrak---Maximum Power Point Tracking (MPPT) adalah suatu metode untuk menjejak (*track*) titik daya sebuah sumber energi agar menghasilkan daya maksimum. Salah satu metode MPPT yang bisa diterapkan pada sistem photovoltaic adalah metode *fractional open voltage*. Pada paper ini MPPT *fractional open voltage* dimodifikasi dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan yang dilatih dengan menggunakan algoritma genetika.

Jaringan syaraf tiruan yang digunakan telah berhasil dilatih dengan menggunakan algoritma genetika. Nilai MSE terbaik yang didapatkan adalah sebesar 0,000453. Pada pengujian menggunakan data uji didapatkan error rata-rata = 0,00949509 dan MSE = 0,00012814. Kendali MPPT berbasis JST-AG dapat memperbaiki kendali berbasis *fractional open voltage* dengan peningkatan daya sebesar 4,79%.

Kata kunci---Algoritma Genetika, Jaringan Syaraf Tiruan, MPPT, Photovoltaic

I. PENDAHULUAN

SISTEM *photovoltaic* (PV) adalah sebuah sistem untuk mengubah energi matahari langsung menjadi energi

Gunawan Wibisono adalah mahasiswa Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (email: wibisolid@gmail.com)

Sholeh Hadi Pramono adalah dosen Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia, (email: sholehhadi@ub.ac.id)

Muhammad Aziz Muslim adalah Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia, (email : muh_aziz@ub.ac.id).

listrik. Sistem PV merupakan salah satu alternatif energi terbarukan. Daya sinar matahari yang diterima oleh bumi di luar atmosfernya adalah sekitar 1300 watt/m².

Efisiensi konversi energi surya menjadi energi listrik melalui sel PV termasuk rendah, maksimal 20% pada sel PV komersial [1]. Salah satu upaya untuk meningkatkan efisiensi konversi energi sel *photovoltaic* adalah dengan menggunakan metode *Maximum Power Point Tracking* (MPPT).

MPPT adalah suatu metode/algoritma untuk menjejak (*track*) titik kerja sebuah sumber energi agar menghasilkan daya maksimum [2]. Pada kondisi beban dan kondisi atmosfer yang berbeda, daya output maksimum sel PV terjadi pada nilai arus dan tegangan tertentu yang berbeda-beda. Dengan kendali MPPT diharapkan terjadi konversi energi maksimal pada berbagai kondisi beban dan kondisi atmosfer.

Ada berbagai metode dan cara untuk mewujudkan kendali MPPT, antara lain dengan *perturb and observe*, *incremental conductance*, *constant voltage*, serta *parasitic capacitance*. Berbagai macam metode ini mempunyai berbagai kekurangan, antara lain cukup mahal dan sukar diimplementasikan. Ada berbagai metode untuk mewujudkan pengendali MPPT, salah satunya adalah dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan (JST).

Salah satu metode MPPT adalah metode *fractional open voltage*. Metode ini sederhana dan mudah diterapkan, namun kurang fleksibel, karena tidak mampu menyesuaikan dengan kondisi lingkungan. Metode ini bisa dikembangkan dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan yang dilatih dengan menggunakan algoritma genetika.

Dengan metode hibrida JST-AG ini diharapkan diperoleh kendali MPPT yang handal serta mudah diterapkan, sehingga efisiensi sistem PV dapat meningkat.

II. DASAR TEORI

Pada dasar teori akan dibahas tentang sistem *photovoltaic*, *maximum power point tracking*, *buck converter*, jaringan syaraf tiruan, dan algoritma genetika.

A. Sistem Photovoltaic

Sistem PV dapat diklasifikasikan menjadi dua grup yaitu sistem *stand-alone* dan sistem *grid-connected*. Pada sistem *stand-alone* energi tenaga surya yang

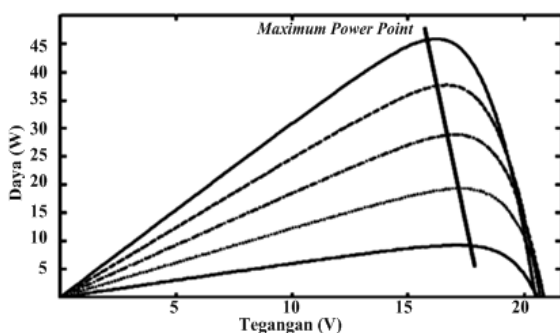
dihasilkan disesuaikan dengan permintaan energi. Karena energi tenaga surya yang dihasilkan tidak dapat memenuhi kebutuhan energi pada satu waktu, maka sistem penyimpanan tambahan (baterai) digunakan. Jika sistem PV dihubungkan dengan sumber daya lain (generator diesel atau angin) maka hal ini disebut dengan sistem PV *hybrid*.

Sistem PV *stand-alone* menggunakan baterai untuk menyimpan energi. Pada sistem ini dapat ditambahkan sebuah generator untuk daya pendukung atau *back-up power*. Pada sistem ini inverter mengubah tegangan DC baterai menjadi tegangan AC untuk keperluan listrik rumah tangga, akan tetapi untuk sistem yang sederhana sangat dimungkinkan peralatan untuk menggunakan tegangan DC sehingga tidak diperlukan adanya inverter.

Pada daerah yang terisolasi, sistem PV *stand-alone* dapat menjadi pilihan yang sangat efektif dibandingkan dengan menggunakan generator berbahan bakar minyak yang harganya sangat mahal. Akan tetapi sistem ini mempunyai beberapa kelemahan diantaranya rugi-rugi baterai dan fakta bahwa PV biasanya beroperasi tidak pada titik operasi yang efisien [3].

B. Maximum Power Point Tracking

MPPT adalah sebuah metode untuk mendapatkan daya maksimum dari sebuah sumber energi (energi matahari, angin, maupun yang lain) pada berbagai kondisi lingkungan dan kondisi beban. Titik daya maksimum pada berbagai kondisi pencahayaan ditunjukkan pada Gambar 1. Tingkat pencahayaan tertinggi ditunjukkan pada kurva paling atas, sementara tingkat pencahayaan yang lebih rendah ditunjukkan pada kurva di bawahnya. Titik daya maksimum dari berbagai kondisi pencahayaan ini dihubungkan dengan sebuah garis yang hampir vertikal.



Gambar 1. Titik daya maksimum

Teknik-teknik yang digunakan dalam MPPT antara lain, *protrude and observe*, *incremental conductance*, *fractional open-circuit voltage*, *fuzzy logic control*, *jaringan syaraf tiruan*, *ripple correlation control*, *current sweep*, dan lain sebagainya [4].

Tegangan *maximum power point* (V_{mpp}), bervariasi terhadap suhu dan intensitas cahaya matahari. Sebuah *converter DC-DC* dapat dipasang diantara panel surya dan beban. *Converter* ini digunakan untuk memaksimalkan transfer daya dari panel surya ke beban. *Converter DC-DC* yang digunakan tergantung dari spesifikasi panel surya dan beban yang dipasang.

Converter Salah satu metode cukup sederhana adalah

metode *fractional open voltage*. Pada sel PV yang terbuat dari bahan silikon tegangan titik daya maksimum berkisar 70 – 80% dari tegangan rangkaian terbukanya. Dengan memutuskan sel dari beban selama beberapa milidetik secara periodik dan mengukur tegangan rangkaian terbukanya, tegangan sel PV optimal dapat ditentukan dengan mengalikan tegangan rangkaian terbuka dengan faktor k sebesar 0,75.

Dengan metode ini titik daya maksimum tidak benar-benar tercapai, namun hanya didekati saja. Tegangan rangkaian terbuka juga dapat diperoleh dengan menggunakan sel PV *pilot*, yang memiliki karakteristik sama dengan sel PV utama. Dengan demikian tidak perlu dilakukan pemutusan daya secara periodik. Pendekatan yang serupa juga dapat dilakukan dengan menggunakan arus hubung singkat.

Metode lain dapat menggunakan jaringan syaraf tiruan. *Converter DC-DC* dikontrol dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan yang telah dilatih (*train*) terlebih dahulu, sehingga tegangan optimal dari sel PV dapat diperkirakan. Input jaringan syaraf tiruan dapat berupa suhu, iradians, arus hubung singkat, maupun tegangan rangkaian terbuka [5].

C. Jaringan Syaraf Tiruan

Jaringan Syaraf Tiruan (JST) adalah sistem pemroses informasi yang memiliki karakteristik mirip dengan jaringan syaraf biologi. JST dibentuk sebagai generalisasi model matematika dari jaringan syaraf biologi dengan asumsi-asumsi bahwa pemrosesan informasi terjadi pada banyak elemen sederhana (neuron), sinyal dikirimkan antara neuron-neuron melalui penghubung-penghubung, penghubung antar neuron memiliki bobot yang akan memperkuat atau memperlemah sinyal, dan untuk menentukan output setiap neuron menggunakan fungsi aktivasi.

JST ditentukan oleh 3 hal, pola hubungan antar neuron (arsitektur jaringan), metode untuk menentukan bobot penghubung (metode/algoritma pembelajaran/pelatihan), serta fungsi aktivasi.

D. Arsitektur Jaringan

Arsitektur yang sering dipakai dalam JST antara lain jaringan lapis tunggal, jaringan lapis jamak, dan jaringan *reccurent*. Pada jaringan lapis tunggal sekumpulan unit *input* dihubungkan langsung dengan sekumpulan unit *output*. Jaringan lapis jamak merupakan perluasan dari jaringan lapis tunggal. Dalam arsitektur ini terdapat unit-unit lain yang disebut dengan lapis tersembunyi. Dalam arsitektur ini dimungkinkan terdapat lebih dari satu lapis tersembunyi. Sebagaimana pada lapis *input* dan *output*, antar unit dalam satu lapis tidak saling berhubungan. Jaringan layar jamak dapat menyelesaikan masalah yang lebih rumit, meski proses pelatihan lebih rumit dan lebih lama [6].

E. Fungsi Aktivasi

Dalam JST, fungsi aktivasi dipakai untuk menentukan output neuron. Argumen fungsi aktivasi adalah *net input*. Beberapa fungsi aktivasi yang sering dipakai antara lain fungsi *threshold* (batas ambang),

fungsi *sigmoid*, dan fungsi identitas.

Fungsi *threshold* memberikan keluaran 0 atau 1 pada ambang batas tertentu. Fungsi *sigmoid* adalah fungsi dengan keluaran kontinu dengan nilai keluaran bernilai antara 0 dan 1. Fungsi *sigmoid* dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$Y_1 = \frac{1}{1+e^{-Y_{1.in}}} \quad (1)$$

Sedangkan fungsi identitas memberikan *output node* sama dengan *net inputnya*. Fungsi identitas sering dipakai jika keluaran jaringan berupa sembarang bilangan riil.

F. Algoritma Genetika

Algoritma genetika adalah sebuah algoritma pencarian yang didasarkan pada mekanisme seleksi alamiah dan genetika alamiah. Algoritma genetika adalah salah satu bagian dari Algoritma evolusioner. Variabel-variabel dari persamaan yang akan dicari nilai optimalnya dikodekan dengan representasi kromosom.

Satu kromosom mewakili satu 'individu' yang berisi sekumpulan variabel. Individu-individu ini selanjutnya mengalami proses perkawinan, pindah silang, dan mutasi, sebagaimana proses evolusi makhluk hidup. Individu yang mempunyai nilai *fitness* tinggi dipertahankan dan diteruskan untuk mendapatkan keturunan. Proses ini dilakukan terus-menerus dari generasi ke generasi hingga didapatkan individu dengan nilai *fitness* terbaik.

Algoritma genetika dapat diterapkan untuk melatih jaringan syaraf tiruan maupun untuk memilih topologi jaringan yang terbaik [7].

G. Seleksi Individu

Setiap individu dalam populasi dievaluasi nilai *fitness*-nya, individu-individu yang memenuhi syarat dipertahankan dan dijadikan induk untuk proses pindah silang dan mutasi, sedangkan yang tak memenuhi syarat dibuang.

H. Pindah Silang

Pindah silang adalah proses mempertukarkan sebagian kromosom dari satu individu, dengan individu lain. Dengan pertukaran sederhana ini setiap dua induk menghasilkan dua turunan. Secara garis besar ada dua jenis pindah silang, yaitu pindah silang sederhana dan pindah silang aritmatik.

I. Mutasi

Mutasi adalah proses mengubah nilai satu atau lebih kromosom dengan nilai lain. Mutasi menyuntikan sebuah struktur genetik baru pada populasi dengan sebuah nilai acak, sehingga keberagaman genetika tetap terjaga. Mutasi dilakukan agar solusi algoritma genetika tidak terjebak pada solusi maksimum/minimum lokal.

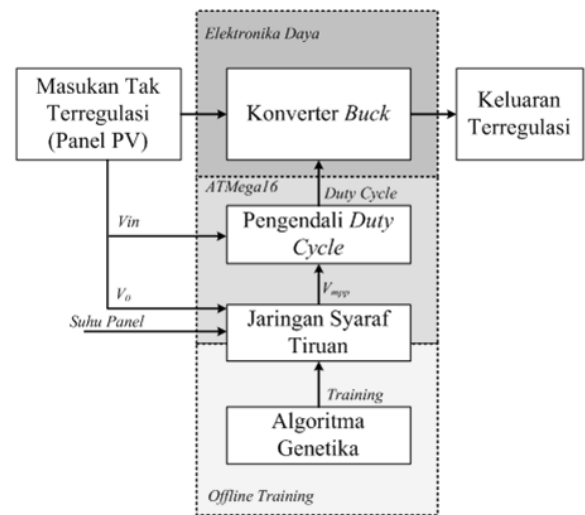
Pada pengkodean biner mutasi dilakukan dengan pembalikan nilai bit kromosom yang bersangkutan. Sementara pada pengkodean bilangan nyata, mutasi dilakukan dengan mengganti nilai kromosom berdasarkan skema probabilitas tertentu [8].

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini termasuk dalam bidang rekayasa perangkat lunak dan perangkat keras. Metode yang digunakan adalah dengan melakukan studi perbandingan, apakah terjadi peningkatan daya keluaran rata-rata sistem. Langkah-langkah yang dilakukan meliputi pengumpulan data awal, desain perangkat, pengujian perangkat, kemudian analisis perbandingan.

A. Jenis dan Cara Perolehan Data

Data yang digunakan untuk penelitian adalah berupa data primer. Data ini berupa data awal, data hasil pelatihan jaringan syaraf tiruan, dan data pengujian. Ketiga data ini diperoleh dari hasil percobaan.



Gambar 2. Diagram blok sistem

Data awal yang diambil adalah data tegangan dan arus *output* panel surya pada berbagai kondisi iradiasi dan suhu. Data arus dan tegangan ini kemudian diolah untuk mendapatkan daya puncak (P_{maks} dan tegangan *maksimum power point* (V_{mpp})).

Hasil analisis data awal ini kemudian dibagi menjadi dua. Sebagian besar digunakan sebagai masukan dalam pelatihan jaringan syaraf tiruan, disebut data latih. Sisanya, disebut dengan data uji, digunakan untuk menguji parameter jaringan syaraf tiruan hasil pelatihan.

Data pengujian diperoleh dari pengujian bagian-bagian sistem maupun pengujian alat secara keseluruhan. Bagian bagian sistem yang diuji terlebih dahulu adalah sensor suhu dan *buck converter*.

Diagram blok sistem ditunjukkan pada Gambar 2. Algoritma genetika digunakan untuk melatih jaringan syaraf tiruan. Hasil pelatihan JST dimasukkan ke dalam mikroprosesor ATMega16 untuk mendapatkan *duty cycle* yang diumpankan ke *buck converter*. Input sistem adalah tegangan rangkaian terbuka panel, tegangan sesaat panel, serta suhu panel.

B. Variabel dan Cara Analisis

Data awal yang diambil berupa data tegangan, arus, suhu serta iradiasi matahari. Dari arus dan tegangan didapatkan daya keluaran panel surya. Data awal ini kemudian diolah untuk mendapatkan data latih dan data uji untuk keperluan pelatihan/pengujian jaringan syaraf

tiruan menggunakan algoritma genetika.

Pelatihan dan pengujian jaringan syaraf tiruan menggunakan masukan berupa tegangan beban nol (V_0), suhu, dan tegangan *maximum power point* (V_{mpp}). Keluaran pelatihan berupa nilai MSE (mean squared error). Semakin kecil nilai MSE semakin baik hasil pelatihannya. Sementara parameter pengujian adalah nilai MSE dan nilai *error* rata-rata. Semakin kecil semakin baik.

Pengujian sensor suhu dilakukan untuk kalibrasi sensor tersebut. Hasil pengujian dibandingkan dengan teori, kemudian dilakukan regresi linier untuk mendapatkan persamaan karakteristik keluaran sensor. Pengujian *buck converter* dilakukan untuk mendapatkan nilai rugi tegangan dari *converter*. Semakin kecil rugi tegangan, semakin baik.

Pengujian alat secara keseluruhan dilakukan untuk mendapatkan nilai daya keluaran panel surya dan nilai daya beban pada berbagai nilai resistansi beban. Hasil ini kemudian akan dibandingkan dengan metode *fractional open voltage* untuk mendapatkan persentase kenaikan daya.

IV. PERANCANGAN

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan panel surya dengan spesifikasi sebagaimana tercantum pada Tabel I.

Kontroler MPPT dirancang menggunakan metode *fractional open voltage* yang dimodifikasi. Tegangan referensi didapatkan dari tegangan tanpa beban dan suhu panel dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan.

TABEL I
SPESIFIKASI PANEL SURYA

Nama	Nilai
Merk/Tipe	Wuhan Rixin MBF 75
Jenis	Polycrystalline Silicon
Daya Maksimum	75 W
Tegangan rangkaian terbuka	21,5 V
Tegangan optimal	17,5 V
Arus hubung singkat	4,72 A
Arus optimal	4,29 A

A. Jaringan syaraf tiruan

Jaringan syaraf tiruan dirancang dengan sebuah lapisan tersembunyi dengan tiga node. Diharapkan dengan rancangan ini output V_{ref} tidak linier. Masukan jaringan, V_0 dan T , berupa data 10-bit (0-1023), sesuai keluaran ADC pada mikrokontroler.

Fungsi masukan (net input) dari setiap node pada lapisan tersembunyi adalah sebagai berikut

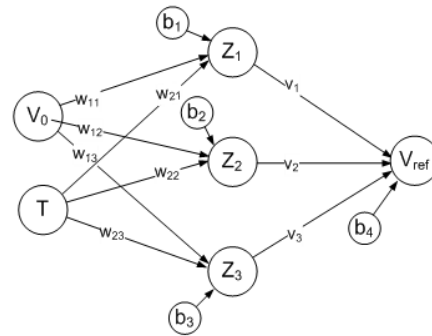
$$Z_p in = w_{1p} \cdot V_0 + w_{2p} \cdot T + b_p \quad (2)$$

dengan $p = 1$ s/d 3 , subskrip node

Fungsi aktifasi lapisan tersembunyi menggunakan fungsi sigmoid. Fungsi masukan (*net input*) dari node keluaran adalah sebagai berikut

$$V_{ref} in = v_1 \cdot Z_1 + v_2 \cdot Z_2 + v_3 \cdot Z_3 + b_4 \quad (3)$$

Fungsi aktifasi node keluaran menggunakan fungsi *sigmoid* dengan pengali sebesar 1023. Dengan demikian keluaran jaringan V_{ref} bernilai antara 0-1023.



Gambar 3. Jaringan syaraf tiruan yang digunakan

B. Algoritma genetika

Algoritma genetika yang digunakan untuk optimasi jaringan syaraf tiruan menggunakan 13 kromosom dengan pengkodean bilangan nyata. Kromosom-kromosom ini berisi bobot dan bias dari jaringan syaraf tiruan. Optimasi jaringan menggunakan software Matlab dengan menggunakan toolbox 'gaot'.

Parameter algoritma genetika yang digunakan untuk pelatihan adalah sebagai berikut:

- jumlah populasi: 2000
- batas generasi: 100
- mutasi: 0,5%
- pindah silang heuristik: 80%
- seleksi: *normalized geometry selection*

C. Mikrokontroler

Mikrokontroler yang digunakan adalah ATmega16 dengan 8 port ADC 10bit, 16kB EPROM, dan timer yang dapat dikonfigurasi sebagai modulator lebar pulsa. Port port yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Port A.0 dan A.1 digunakan sebagai port ADC
- Port D.5 sebagai keluaran trigger PWM
- Port B.0-B.7 sebagai keluaran *seven segmen*

V. PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pengujian alat dilakukan dalam beberapa tahap. Sebelum pengujian di mulai dilakukan pengambilan data primer berupa kurva daya panel surya pada berbagai suhu dan pencahayaan. Data primer ini kemudian dilatihkan kepada jaringan syaraf tiruan untuk mendapatkan parameter JST yang optimal. Tahap selanjutnya adalah pengujian sensor suhu dan pengujian *buck converter*. Paling akhir dilakukan pengujian alat secara keseluruhan.

A. Data primer kurva daya panel surya

Data primer diperoleh dengan uji lapangan panel surya. Untuk mendapatkan kurva daya, panel surya diberi beban berupa resistor geser, dimulai dengan rangkaian terbuka, kemudian resistansi 12 Ω , diturunkan beberapa tahap hingga beban hubung singkat (resistansi 0 Ω).

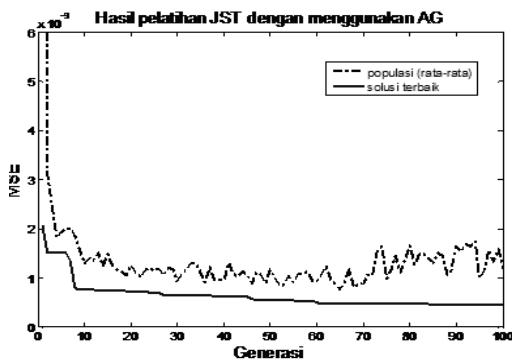
Pengujian dilakukan dengan berbagai kondisi pencahayaan dan berbagai kondisi suhu panel surya.

Karena keterbatasan alat ukur, suhu panel diukur dalam satuan °F. Kurva daya pada pencahayaan P_{mthr} 800 W/m^2 dan suhu 109 °F ditampilkan pada Gambar 6.1. Dari tiap kurva daya diperoleh data tegangan tanpa beban (V_{oc}), Tegangan saat daya maksimal (V_{mpp}), dan arus saat daya maksimal (I_{mpp}). Dari V_{mpp} dan I_{mpp} diperoleh daya maksimal panel pada kondisi yang bersangkutan P_{mpp}

B. Pelatihan jaringan syaraf tiruan

Dari hasil pelatihan sebanyak 60 kali percobaan didapatkan nilai *mean squared error* (MSE) antara 0,000453 – 0,002028, dengan frekuensi terbanyak antara 0,0007-0,0008. Contoh hasil tampilan program ketika dijalankan ditunjukkan pada Gambar 6.

Dari hasil percobaan tersebut nilai MSE terbaik sebesar 0,000453. Parameter jaringan syaraf tiruan yang diperoleh digunakan untuk pengujian dengan menggunakan data uji. Dari pengujian didapatkan *error* rata-rata = 0,00949509 dan MSE = 0,00012814. Dengan demikian parameter jaringan syaraf tiruan dari percobaan tersebut dipilih untuk diprogramkan ke mikrokontroler.



Gambar 4. Contoh hasil tampilan program

C. Pengujian alat secara keseluruhan

Pengujian alat dilakukan dengan menghubungkan solar panel sebagai sumber dan resistor geser sebagai beban. Nilai-nilai resistor yang digunakan adalah antara 6 Ω dan 0,5 Ω . Mikrokontroler diprogram dengan kendali MPPT JST-AG, dan kendali MPPT *fractional open voltage* sebagai pembanding.

Untuk mempermudah analisis, hasil pengujian disajikan dengan grafik-grafik, dan dibagi menjadi tiga bagian, yaitu:

- Analisis tegangan *output* panel
- Analisis daya *output* panel
- Analisis daya beban

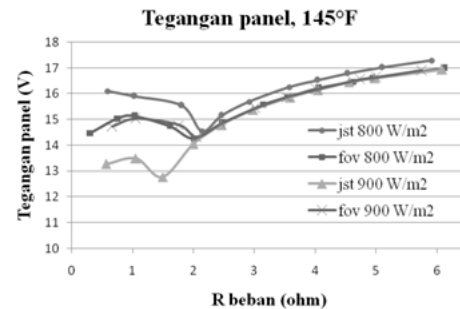
D. Analisis tegangan output panel

Gambar 5 menunjukkan bahwa metode MPPT JST-AG dan metode *fractional open voltage* memiliki *trend* yang kurang lebih sama. Pada beban di atas 2 Ω tegangan menurun ketika resistansi beban diturunkan. Pada rentang ini *buck converter*, bekerja pada *duty cycle* 100%, belum dapat mengkompensasi beban, sehingga sistem bekerja pada tegangan diatas V_{mpp} .

Sementara itu pada beban di bawah 2 Ω *converter*

dapat mempertahankan tegangan panel pada sekitar V_{mpp} yaitu pada rentang 14-16V untuk iradiasi 800 W/m^2 .

Pada iradiasi 900 W/m^2 , metode JST-AG, tegangan turun antara 13-14 V., secara teori nilai V_{mpp} lebih rendah daripada 800 W/m^2 , sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Kedua gambar tersebut menunjukkan bahwa kedua macam kendali MPPT ini telah berhasil mempertahankan tegangan panel surya pada sekitar V_{mpp} . Namun demikian MPPT metode *fractional open voltage* tidak dapat menyesuaikan V_{mpp} dengan perbedaan iradiasi.



Gambar 5. Grafik tegangan panel surya pada suhu 145°F

V_{mpp} yang dihitung oleh metode *fractional open voltage* selalu berkisar pada 14-15 V. Pada Gambar 6 juga terlihat bahwa pada resistansi beban 1,5 Ω tegangan panel turun di bawah 13 V, hal ini disebabkan kegagalan sistem dalam mendapatkan nilai V_0 , sehingga V_{mpp} yang dihitung oleh sistem di bawah 13 V.

Kegagalan ini terjadi karena adakalanya rangkaian *trigger* tidak dapat memutuskan rangkaian cukup lama untuk mendapatkan nilai V_0 dengan baik. Hal ini dapat diatasi dengan menambahkan panel pilot yang terpisah dari panel utama untuk mendapatkan nilai V_0 . Dengan demikian keakuratan nilai V_0 yang dibaca oleh sistem dapat terjamin.

E. Analisis daya output panel

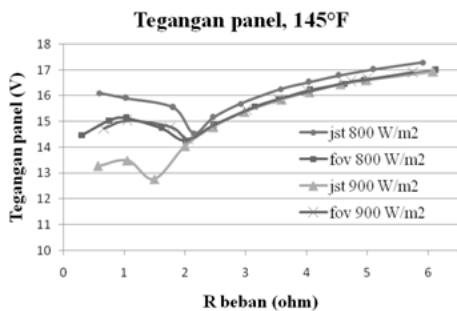
Daya *output* panel surya pada iradiasi 800 dan 900 W/m^2 ditunjukkan pada Gambar 6. Dari gambar tersebut terlihat bahwa secara umum daya keluaran metode JST-AG lebih tinggi pada metode *fractional open voltage*, kecuali pada beban resistansi di bawah 2 Ω .

Ketika beban resistor diturunkan dari 6 Ω , daya *output* panel surya naik sampai dengan beban 2 Ω . Pada kondisi ini arus *output* panel belum mencapai saturasi, sehingga daya naik secara perlahan. Daya *output* maksimal tercapai pada beban 2 Ω , selanjutnya daya menurun. Saat ini arus *output* panel mencapai maksimal. Tanpa MPPT tegangan *output* panel akan menurun drastis, namun dengan adanya kendali MPPT, tegangan dapat dijaga, sehingga penurunan daya tidak terlalu drastis.

Sebagaimana daya *output* untuk iradiasi 800 W/m^2 , pada 900 W/m^2 metode JST-AG juga lebih tinggi daripada metode *fractional open voltage*.

Pada beban 2 Ω , terlihat bahwa daya *output* MPPT

metode *fractional open voltage* lebih tinggi daripada metode JST-AG. Hal ini disebabkan oleh gagalnya sistem mendapatkan nilai V_0 yang tepat, sebagaimana disebutkan dalam analisis tegangan *output* di atas.

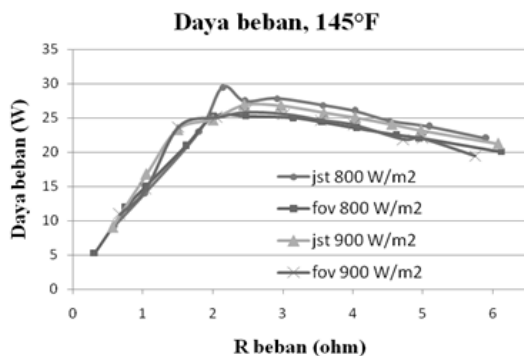


. Gambar 6. Grafik daya panel surya pada suhu 145°F

Karena daya berbanding lurus dengan tegangan, sehingga daya *output* panel metode JST-AG juga lebih rendah daripada metode *fractional open voltage*. Secara umum metode JST-AG berhasil memperbaiki metode *fractional open voltage*. Pada iradiasi 800 W/m² terjadi kenaikan daya rata-rata sebesar 4,59%, sementara pada iradiasi 900 W/m² kenaikannya sebesar 5,24%.

F. Analisis daya beban

Daya pada beban resistor ditunjukkan pada Gambar 7. Secara umum terlihat bahwa daya beban jauh di bawah daya *output* panel. Hal ini disebabkan karena kerugian pada *buck converter*, yang mempunyai kinerja kurang baik, sebagaimana telah dibahas di atas.



. Gambar 7. Grafik daya beban pada suhu 145°F

Kedua grafik menunjukkan bahwa pada beban di atas 2 Ω kinerja metode JST-AG sedikit lebih baik dari metode *fractional open voltage*, sementara pada beban di bawah 2 Ω , kinerjanya kurang lebih sama. Sebagaimana daya *output* panel, daya beban maksimal juga terjadi pada resistansi beban sebesar 2 Ω .

Sementara pada beban di bawah 2 Ω kinerja metode JST-AG kurang lebih sama dengan metode *fractional open voltage*. Daya beban menurun secara linier dengan menurunnya resistansi beban. Pada kondisi ini arus yang mengalir pada beban relatif konstan, karena arus *output*

panel surya telah mencapai puncak.

Secara umum MPPT metode JST-AG sedikit lebih baik daripada metode *fractional open voltage*. Pada iradiasi 800 W/m² terjadi kenaikan daya rata-rata sebesar 5,91%, sementara pada iradiasi 900 W/m² kenaikannya sebesar 3,43%.

Dari gambar-gambar di atas terlihat bahwa metode JST-AG sedikit lebih baik daripada metode *fractional open voltage*, baik dari segi tegangan *output* panel, daya *output* panel maupun daya beban. Secara keseluruhan ada peningkatan daya rata-rata sebesar 4,79%. Meskipun demikian terjadi beberapa anomali yang disebabkan oleh gagalnya sistem mengambil nilai V_0 serta fluktuasi tingkat iradiasi cahaya matahari ketika pengambilan data.

VI. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dan analisis dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Jaringan syaraf tiruan yang digunakan telah berhasil dilatih dengan menggunakan algoritma genetika. Nilai MSE terbaik yang didapatkan adalah sebesar 0,000453. Kemudian setelah dilakukan pengujian menggunakan data uji didapatkan *error* rata-rata = 0,00949509 dan MSE = 0,00012814.
2. Perangkat keras mikrokontroler sebagai pengendali utama telah berfungsi dengan baik, meskipun kadang-kadang terjadi kegagalan pengambilan data V_0 . *Buck converter* yang digunakan kinerjanya kurang baik. Pada *duty cycle* 100% rugi tegangannya berkisar 5 V (25%).
3. Kendali MPPT berbasis JST-AG dapat memperbaiki kendali berbasis *fractional open voltage* dengan peningkatan daya sebesar 4,79%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Markvart, T dan Castaner, L. 2003. *Practical Handbook of Photovoltaic, Fundamental and Application*. Elsevier Oxford, ISBN 1-85617-390-9
- [2]. Kerekes, T dkk. 2008. *MPPT algorithm for Voltage Controlled PV Inverters Maximum Power Point Tracking Controller for PV Systems using a PI Regulator with Boost DC/DC Converter*
- [3]. Masters, G.M. 2004. *Renewable and Efficient Electric Power Systems*. John Wiley & Sons. New Jersey
- [4]. Esham, T dan Chapman, P.L. 2007. *Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques*. IEEE Transactions On Energy Conversion, Vol. 22 No. 2, Juni.
- [5]. Khaligh, A dan Onar, O.C. 2010. *Energy Harvesting: Solar, Wind and Ocean Energy Conversion System*. CRC Press Florida
- [6]. Siang, Jong Jek. 2009. *Jaringan Syaraf Tiruan dan Pemrogramannya Menggunakan Matlab*. Andi Offset, Yogyakarta
- [7]. Suyanto. 2005. *Algoritma Genetika dalam Matlab*. Andi Offset, Yogyakarta
- [8]. Sivanandam, S.N. dan Deepa, S.N. 2008. *Introduction to Genetics Algorithm*. Springer-Verlag, Berlin ISBN 978-3-540-73189-4