

# Rancang Bangun *Maximum Power Point Tracking* pada Panel *Photovoltaic* Berbasis Logika Fuzzy di *Buoy Weather Station*

Bayu Prima Juliansyah Putra, Aulia Siti Aisjah, dan Syamsul Arifin

Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: auliasa@ep.its.ac.id

**Abstrak**—Salah satu aplikasi yang sering digunakan dalam bidang energi terbarukan adalah panel *photovoltaic*. Panel ini memiliki prinsip kerja berdasarkan efek *photovoltaic* dimana lempengan logam akan menghasilkan energi listrik apabila diberi intensitas cahaya. Untuk menghasilkan daya keluaran panel yang maksimal, maka diperlukan suatu algoritma yang biasa disebut *Maximum Power Point Tracking* (MPPT). MPPT yang diterapkan pada sistem *photovoltaic* berfungsi untuk mengatur nilai tegangan keluaran panel sehingga titik kerjanya beroperasi pada kondisi maksimal. Algoritma MPPT pada panel ini telah dilakukan dengan menggunakan logika fuzzy melalui mikrokontroler Arduino Uno sebagai pem-bangkit sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) yang akan dikirimkan menuju DC-DC *Buck Boost Converter*. Keluaran dari *buck boost converter* akan dihubungkan secara langsung dengan *buoy weather station* untuk menyuplai energi listrik tiap komponen yang berada di dalamnya. Untuk menguji performansi dari algoritma MPPT yang telah dirancang, maka sistem akan diuji menggunakan variasi beban antara metode *direct-coupled* dengan MPPT menggunakan logika fuzzy. Hasil pengujian menunjukkan bahwa MPPT dengan logika fuzzy dapat menghasilkan daya maksimum daripada *direct-coupled*. Pada sistem panel *photovoltaic* ini memiliki *range* efisiensi 33.07589 % hingga 74.25743 %. Daya maksimum dapat dicapai oleh sistem untuk tiap variasi beban dan efisiensi maksimal dapat dicapai pada beban 20 Ohm dari hasil pengujian sistem MPPT.

**Kata Kunci**—*Maximum Power Point Tracking* (MPPT), Panel *Photovoltaic*, Logika Fuzzy, *Buck Boost Converter*, *Buoy Weather Station*.

## I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara maritim dimana komposisi lautan yang lebih besar daripada daratannya. Dengan komposisi lautan yang ada, transportasi laut memiliki peran yang cukup tinggi dalam kehidupan sehari-hari. Untuk mendukung adanya transportasi laut tersebut, terdapat Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) yang berfungsi untuk memantau kondisi lingkungan lautan sehingga transportasi laut dapat berjalan dengan lancar [1]. Badan tersebut melakukan pemantauan dengan cara mendirikan stasiun cuaca atau meteorologi di berbagai titik.

*Buoy Weather Station* merupakan suatu perangkat yang berperan dalam hal prediksi cuaca di lautan [2]. Se-lama ini, *buoy weather station* yang ada mendapatkan sumber tenaga listrik dari sel surya yang memanfaatkan prinsip

*photovoltaic*. *Photovoltaic* merupakan sebuah lempengan logam yang menghasilkan sejumlah arus listrik jika dikenai cahaya (foton) [3,4]. Arus yang dihasilkan oleh *photovoltaic* tersebut dipengaruhi oleh beberapa besaran fisis yaitu intensitas cahaya (iradiansi) dan temperatur dari modul *photovoltaic* itu sendiri. Semakin besar intensitas cahaya yang mengenai *photovoltaic* tersebut, maka arus yang dihasilkan akan semakin besar [5]. Namun, kekurangan yang dimiliki oleh PV dan di *buoy weather station* khususnya adalah masih belum dapat menghasilkan daya maksimal sebagaimana spesifikasi PV. Hal itu disebabkan banyak faktor yang mempengaruhi PV dalam beroperasi antara lain suhu, intensitas, gelombang arus laut yang menyebabkan *buoy weather* seringkali berubah posisi.

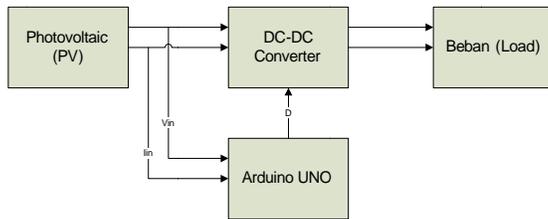
Maka dari itu, dalam makalah ini telah dirancang sebuah sistem panel *photovoltaic* yang diletakkan pada *buoy weather station* yang berfungsi sebagai sumber energi listrik bagi *buoy weather* dalam beroperasi sehingga kebutuhan energi listrik dapat terpenuhi. Selain itu, untuk menghasilkan daya keluaran optimal maka akan digunakan metode *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) untuk mengontrol *duty cycle* pada DC-DC *converter*. MPPT merupakan suatu algoritma yang digunakan untuk melacak dimana letak titik tegangan dan arus listrik optimal PV sehingga daya optimal dapat tercapai. Pada umumnya, MPPT biasa digunakan dengan algoritma *Per-turbation and Observation* (P&O). Namun, pada tugas akhir ini dirancang sel surya akan dibuat dengan menggunakan logika fuzzy untuk mengontrol besar pulsa sinyal PWM yang diberikan kepada DC-DC *buck boost converter*. Masukan logika fuzzy sistem berupa variasi intensitas dan suhu PV. Sedangkan, keluaran fuzzy berupa pulsa PWM untuk mengatur *switch* pada DC-DC *buck boost converter*.

## II. URAIAN PENELITIAN

### A. Perancangan Perangkat Keras

Langkah awal yang dilakukan dalam penelitian ini adalah merancang desain sistem panel dengan menanamkan algoritma *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) dalam sistem tersebut. Sistem panel surya yang dirancang dalam penelitian ini telah diintegrasikan atau digabungkan dengan beberapa komponen rangkaian elektronik seperti sensor arus (ACS712 5A), sensor tegangan (*voltage divider*), DC-DC *converter*, dan mikrokontroler sebagai pusat pengaturan dari sistem panel *photovoltaic*.

Komponen-komponen tersebut dapat dijelaskan dalam sebuah diagram blok pada gambar 1 di bawah ini.



Gambar. 1. Diagram blok sistem MPPT pada panel photovoltaic[6]

Dari gambar 1 di atas, keluaran dari panel photovoltaic berupa tegangan dan arus listrik akan menjadi masukan ADC dari mikrokontroler Arduino Uno. Kedua macam keluaran tersebut akan diolah oleh logika fuzzy yang telah ditanamkan di dalam mikrokontroler. Selain itu, keluaran tersebut dihubungkan dengan DC-DC converter dan disalurkan menuju beban sistem yang terintegrasi. Dalam sistem ini, variabel yang dimanipulasi berupa duty cycle (D). duty cycle merupakan perbandingan waktu sinyal PWM untuk bernilai ON atau switch on dengan waktu sinyal PWM untuk bernilai OFF atau switch off. Untuk lebih jelasnya, persamaan duty cycle dapat ditunjukkan pada persamaan 1 di bawah ini.

$$D = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}}$$

Keterangan :

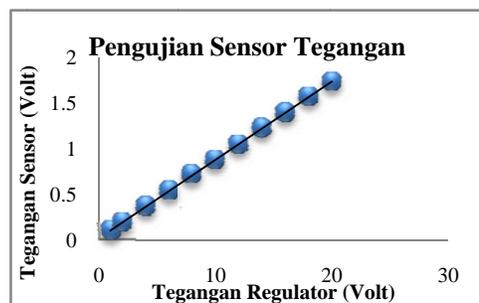
D = Duty Cycle

t<sub>on</sub> = Waktu pulsa bernilai ON (sekon)

t<sub>off</sub> = Waktu pulsa bernilai OFF (sekon)

### B. Perancangan Sensor Tegangan

Sistem panel dengan algoritma MPPT pada penelitian ini membutuhkan masukan berupa tegangan. Maka dari itu, digunakan rangkaian elektrik yang dirancang agar dapat membaca nilai tegangan pada keluaran panel photovoltaic berupa voltage divider. Voltage divider merupakan rangkaian berupa resistor yang disusun secara seri dengan perbandingan resistansi tertentu. Dari karakteristik photovoltaic, tegangan keluaran panel berkisar antara 16 Volt hingga 20 Volt. Dari nilai tegangan seperti itu, maka resistansi yang digunakan adalah 10 kOhm dengan 100 kOhm untuk menghasilkan tegangan 0 Volt – 5 Volt sebagai pembacaan ADC pada mikrokontroler. Untuk dapat melihat linearitas rangkaian sensor, pengujian sensor dilakukan dengan menggunakan regulator DC untuk mengubah masukan tegangan voltage divider. Hasil pengujian sensor dapat dilihat pada gambar 2 di bawah ini.

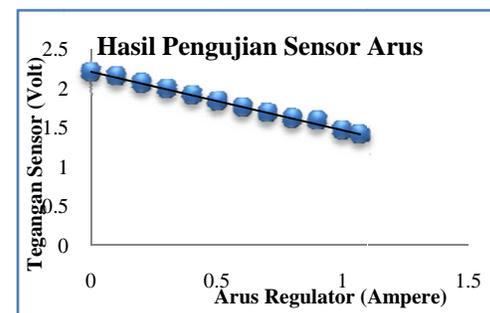


Gambar. 2. Hasil pengujian sensor tegangan

Menurut hasil pengujian, sensor tegangan dapat membaca tegangan dari ADC mikrokontroler untuk masukan dari 0 Volt hingga 20 Volt. Dengan demikian, sensor tegangan dapat digunakan dalam sistem MPPT tersebut.

### C. Perancangan Sensor Arus

Panel photovoltaic SPM-20 yang digunakan dalam penelitian ini memiliki spesifikasi keluaran arus listrik hingga 1,25 Ampere. Sebuah rangkaian elektronik dibutuhkan agar mikrokontroler dapat membaca besar arus listrik yang mengalir pada keluaran panel. Sensor arus ACS712 merupakan salah satu sensor berbentuk modul rangkaian yang bekerja sesuai dengan prinsip dari efek hall. Keluaran sensor ACS712 ini memiliki tegangan yang proporsional dengan arus masukan sensor. Untuk menguji kinerja sistem, maka telah dilakukan menguji dengan regulator DC. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar. 3. Hasil Pengujian Sensor Arus

Hasil pengujian sensor arus di atas menunjukkan bahwa tegangan keluaran sensor ACS712 proporsional terhadap arus yang melewati sensor. Semakin tinggi arus yang melewati sensor, maka semakin rendah tegangan keluaran sensor. Besar arus yang melewati sensor dipengaruhi oleh besar intensitas radiasi matahari yang diterima oleh panel. Pengaruh dari intensitas radiasi tersebut dapat dijelaskan dengan kurva karakteristik photovoltaic. Selain itu, tegangan sensor masih berada dalam range pembacaan ADC mikrokontroler.

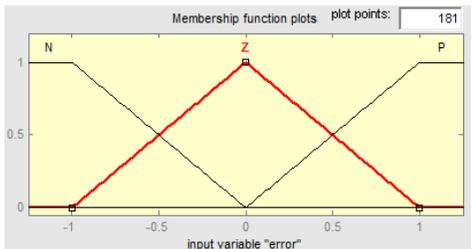
### D. Perancangan Buck Boost Converter

Komponen ini merupakan komponen terpenting dalam sistem MPPT karena dengan inilah tegangan kerja sistem dapat diubah melalui dutycycle (D) [11]. Buckboostconverter sendiri memiliki fungsi untuk menaikkan atau menurunkan level tegangan. DC-DC converter yang digunakan dalam sistem MPPT ini diuji terlebih dahulu untuk mengetahui nilai efisiensi yang dapat dihasilkan oleh rangkaian converter secara keseluruhan. Pengujian dilakukan dengan melihat daya yang diberikan kepada buck boost dan daya yang dihasilkan pada variasi duty cycle. Pengaturan dari besar duty cycle dilakukan dari pemrograman Arduino dan dihubungkan menuju rangkaian opto coupler dan totempole. Data hasil pengujian dapat dilihat pada tabel di bawah ini. Dari data tersebut, efisiensi dari rangkaian memiliki range antara 31.6 % hingga 57.8 %. Efisiensi masih dapat dikategorikan rendah dikarenakan

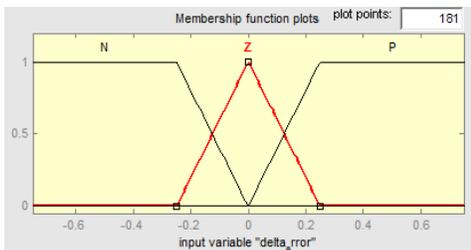
faKtor komponen induktor yang terdapat pada rangkaian masih belum optimal dan efisien.

*E. Perancangan Logika Fuzzy*

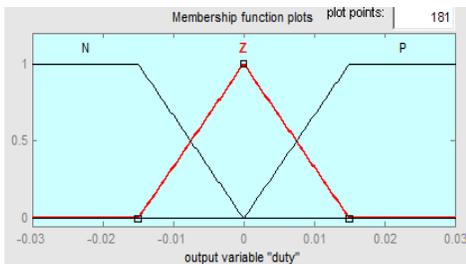
Langkah pertama dalam merancang suatu logika fuzzy adalah menentukan masukan dan keluaran fuzzy [10]. Dalam penelitian ini, masukan-masukan sistem berupa nilai *error* dan selisih (*delta*)*error* yang diperoleh dari hasil pembacaan tegangan dan arus pada pin *analoginput* Arduino. Keluaran dari logika fuzzy berupa *dutycycle* yang akan diberikan kepada *converter*. Masukan dan keluaran logika fuzzy dinyatakan dalam fungsi keanggotaan (*membershipfunction*) untuk mengelompokkan variabel-variabel yang ada. Berikut adalah *membershipfunction* dari masukan dan keluaran fuzzy.



Gambar. 5. *MembershipFunction* Masukan Fuzzy Berupa *Error*



Gambar. 6. *MembershipFunction* Masukan Fuzzy Berupa *DeltaError*



Gambar. 7. *MembershipFunction* Keluaran Fuzzy Berupa *DutyCycle*

Jumlah fungsi keanggotaan yang digunakan dalam setiap masukan dan keluaran adalah berjumlah tiga buah dengan tipe fungsi trapezium dan segitiga. Pada masukan *error* ( $dP/dV$ ), memiliki *range* masukan mulai dari -1.25 hingga 1.25 dengan fungsi keanggotaan antara lain *Negative* (N), *Zero* (Z), dan *Positive* (P). Untuk *deltaerror* ( $E[n] - E[n-1]$ ), memiliki *range* masukan mulai dari -0.75 hingga 0.75 dengan nama fungsi keanggotaan yang sama dengan variabel *error*. Keluaran logika berupa *dutycycle* memiliki *range* 0 hingga 1 yang akan direpresentasikan berupa pulsa PWM (*Pulse Width Modulation*) 0-5 volt yang merupakan keluaran dari Arduino pada pin *DigitalOutput*. Masukan fuzzy berupa numerik akan di-fuzzifikasi sehingga berubah menjadi *crisp* untuk diolah dalam *inference engine*. Di

dalam perancangan ini, digunakan 9 buah rule base yang diadaptasi dari algoritma *Perturbation and Observation* (P&O) dimana titik daya maksimum sistem telah dicapai saat perbandingan antara selisih daya dengan selisih tegangan sama dengan nol [8]. Logika fuzzy berperan untuk mencari dan mempertahankan titik kerja panel pada titik daya maksimum [7,9].

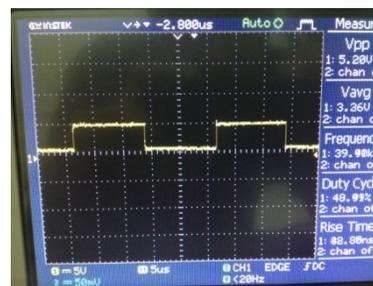
III. HASIL DAN DISKUSI

A. Hasil Pengujian Rangkaian Opto-Coupler dan Totem-Pole

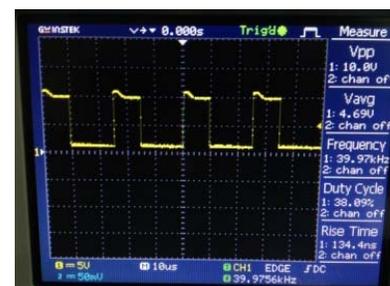
Gambar di bawah ini merupakan hasil pengujian *optocoupler* dan *totem-pole*. Rangkaian ini berfungsi untuk memisahkan dan pembangkit sinyal pulsa PWM 12 Volt dengan IC TLP250. Pulsa PWM 12 Volt digunakan untuk mengaktifkan MOSFET IRFP460. Pengujian ini dilakukan untuk melihat sinyal PWM yang dikirimkan oleh Arduino menuju pin MOSFET pada *buckboostconverter*. Pe-ngujian dilakukan dengan menggunakan osiloskop untuk melihat sinyal PWM. Tata letak dan hasil pengujian dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar. 9. Rangkaian Pengujian PWM



Gambar. 10. Tampilan Osiloskop pulsa PWM 40 kHz



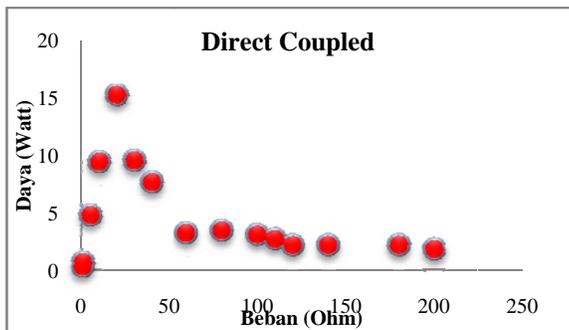
Gambar. 11. Hasil Pengujian Rangkaian Opto Coupler dan Totem Pole

Hasil pengujian menunjukkan bahwa rangkaian berhasil membangkitkan pulsa PWM frekuensi 40 kHz dengan tegangan puncak 10 Volt. Pada puncak pulsa PWM ter-

sebut, terdapat tegangan yang naik sehingga puncak pulsa tidak tepat pada 10 Volt. Hal ini dapat disebabkan oleh suplai tegangan yang kurang stabil dan rangkaian pemisah sinyal dan pembangkit tegangan yang kurang sempurna.

**B. Pengujian Sistem Tanpa MPPT (Direct-Coupled)**

Sistem tanpa menggunakan MPPT atau yang lebih dikenal dengan *direct-coupled* dilakukan untuk mengetahui daya keluaran panel *photovoltaic* jika langsung dihubungkan dengan variasi beban. Beban yang digunakan adalah resistor 5 Watt dengan besar resistansi mulai dari 0.33 Ohm hingga 200 Ohm. Pengujian data dilakukan pada tanggal 4 Juni 2013 pukul 10.00. Data hasil pengujian sistem tanpa MPPT dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

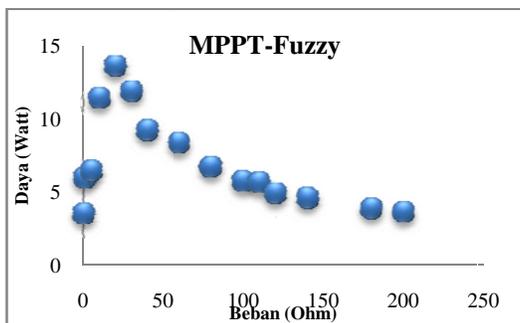


Gambar. 12. Grafik Daya Keluaran Sistem *Direct-Coupled*

Daya keluaran panel saat diberikan beban 20 Ohm adalah sebesar 15.2475 Watt dengan tegangan 16.05 Volt dan arus sebesar 0.95 ampere. Dengan sistem *direct-coupled* ini, panel hanya dapat menghasilkan daya di atas 10 WP pada beban 20 Ohm saja.

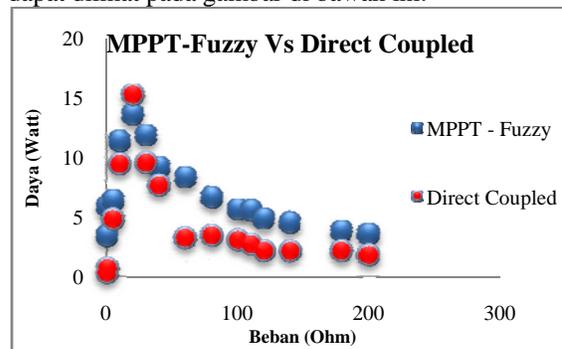
**C. Pengujian Sistem Dengan MPPT-Logika Fuzzy**

Pengujian dengan MPPT – fuzzy berbeda dengan pengujian yang sebelumnya. Pada kali ini seluruh rangkaian yang terlibat dalam sistem MPPT dihubungkan seluruhnya sesuai dengan diagram blok [7]. Keluaran dari panel *photovoltaic* dihubungkan secara seri dengan sensor arus (ACS712) dan paralel dengan sensor tegangan (*voltage divider*). Keluaran dari *buck boost converter* dihubungkan dengan beban yang bervariasi untuk menguji performansi sistem saat diberikan algoritma MPPT dengan logika fuzzy dari mikrokontroler Arduino Uno. Beban yang digunakan sama dengan pengujian sistem *direct-coupled* yang telah dilakukan sebelumnya.



Gambar. 13. Grafik Daya Keluaran Panel Menggunakan MPPT – Fuzzy

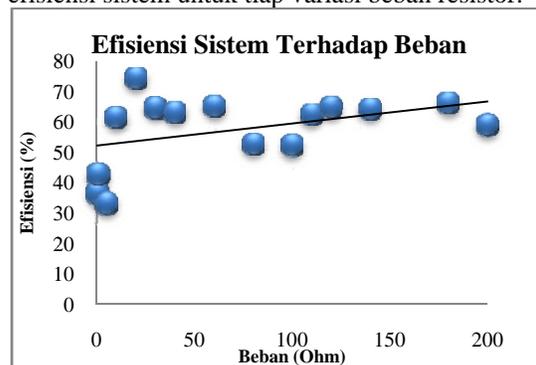
Untuk melihat perbandingan antara daya keluaran dari panel menggunakan algoritma MPPT dan *direct-coupled* dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar. 14. Grafik Perbandingan Daya Keluaran Panel Surya Menggunakan MPPT dan *Direct-Coupled*

Dari gambar 14 di atas, dapat terlihat secara jelas perbedaan hasil daya keluaran antara kedua percobaan. Daya keluaran dari sistem yang menggunakan algoritma MPPT dilengkapi logika fuzzy dapat menghasilkan daya yang lebih tinggi untuk tiap variasi beban, kecuali daya pada beban 20 Ohm dimana daya keluaran dari sistem menggunakan algoritma tersebut lebih rendah daripada *direct-coupled*. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor antara lain, disipasi daya saat *buck boost converter* bekerja, induktor *converter* yang kurang baik, dan rangkaian sensor yang masih dapat dikatakan sederhana sehingga pembacaan ADC pada Arduino masih belum dapat menghasilkan efisiensi yang cukup tinggi.

Untuk mengukur performansi dari algoritma MPPT – Fuzzy yang diterapkan, maka nilai efisiensi merupakan hal yang penting untuk dibahas. Efisiensi sistem dapat dihitung dari perbandingan daya keluaran sistem dengan daya yang masuk dari panel *photovoltaic*[3]. Perhitungan efisiensi dilakukan pada tiap beban yang diberikan kepada sistem secara keseluruhan. Gambar 15 di bawah ini merupakan efisiensi sistem untuk tiap variasi beban resistor.



Gambar 15. Grafik Efisiensi Sistem Menggunakan MPPT Fuzzy

Dari gambar di atas, dapat dijelaskan bahwa sistem mampu menghasilkan efisiensi dalam range 33.07589 % hingga 74.25743 %. Efisiensi tertinggi tercapai saat beban yang diberikan sebesar 20 Ohm. Rata-rata efisiensi sistem adalah sebesar 54.45913 %.

Tabel 1.  
Nilai Efisiensi Sistem Pada Tiap Variasi Beban

Beban (Ohm)	Efisiensi (%)
0.33	36.420
0.66	42.504
5	33.075
10	61.345
20	74.257
30	64.683
40	63.170
60	65.171
80	52.574
100	52.087
110	62.507
120	64.862
140	64.165
180	66.152
200	58.908

Efisiensi sistem pada kisaran  $\pm 50\%$  ini masih dikatakan rendah dikarenakan beberapa hal antara lain, faktor kualitas dari *buck boost converter*, rangkaian sistem yang masih sederhana, dan daya panel yang kecil dibandingkan dengan panel yang memiliki daya lebih.

Dari tabel 1 dan gambar 15 di atas, dapat dijelaskan bahwa sistem mampu menghasilkan efisiensi dalam range 33.07589 % hingga 74.25743 %. Efisiensi tertinggi tercapai saat beban yang diberikan sebesar 20 Ohm. Rata-rata efisiensi sistem adalah sebesar 54.45913 %. Efisiensi dari *buck boost converter* lebih tinggi dari hasil pengujian disebabkan oleh pengujian *buck boost* dilakukan pada daya yang relatif kecil. Namun, percobaan sistem menggunakan MPPT memiliki nilai daya sebesar 20 WP (*WattPeak*). Efisiensi sistem pada kisaran  $\pm 50\%$  ini masih dikatakan rendah dikarenakan beberapa hal antara lain, faktor kualitas dari *buck boost converter*, rangkaian sistem yang masih sederhana, dan daya panel yang kecil dibandingkan dengan panel yang memiliki daya lebih.

Selain mengetahui efisiensi dari algoritma MPPT yang telah dirancang, untuk mengukur nilai performansi dari MPPT tersebut, dapat ditinjau dari nilai daya rata-rata yang dapat ditingkatkan oleh sistem secara keseluruhan. Data peningkatan daya keluaran panel dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.  
Tabel Peningkatan Daya Keluaran Panel *Photovoltaic*

Daya Tanpa MPPT (Watt)	Daya MPPT (Watt)
0.336	3.425
0.693	5.865
4.801	6.359
9.424	11.356
15.247	13.575
9.537	11.837
7.645	9.147

3.231	8.302	
3.456	6.661	
3.094	5.687	
2.721	5.594	
2.181	4.869	
2.174	4.545	
2.181	3.845	
1.818	3.611	
<b>Rata-Rata</b>	4.569 Watt	6.978 Watt
<b>Selisih</b>	2.409 Watt	
<b>Peningkatan</b>	52.720 %	

Dari tabel di atas, dapat dijelaskan bahwa daya rata-rata dari metode *direct-coupled* adalah 4.56 Watt. Untuk daya rata-rata yang dapat dihasilkan oleh MPPT dengan logika fuzzy adalah 6.97 Watt untuk tiap variasi beban. Jika kedua metode dibandingkan, metode MPPT dengan logika fuzzy mampu meningkatkan daya rata-rata keluaran dari panel surya sebesar 52.72 % untuk tiap variasi beban.

#### IV. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Algoritma MPPT yang dilengkapi dengan logika fuzzy dapat menghasilkan daya maksimum rata-rata dibandingkan dengan *direct-coupled* untuk masing-masing variasi beban.
- Efisiensi *buck-boost converter* yang mampu dicapai adalah dalam range 33.075 % hingga 74.257 %. Efisiensi maksimum dapat dicapai pada beban resistansi 20 Ohm.
- Algoritma MPPT dengan logika fuzzy mampu menaikkan daya rata-rata keluaran panel *photovoltaic* sebesar 52.720 % untuk tiap variasi beban.
- Algoritma MPPT menggunakan logika fuzzy dapat meningkatkan efisiensi panel rata-rata sebesar 1.4 % pada irradiansi sebesar 980.6 W/m<sup>2</sup>.

#### V. SARAN

*Converter* yang digunakan memiliki induktor dengan kualitas yang lebih tinggi dengan memperhatikan aspek lilitan kawat *email*, jenis *core* yang digunakan, dan efek *skin* yang terjadi saat induktor bekerja. Kemudian, sisi disipasi daya yang terjadi saat sistem bekerja dapat dipertimbangkan untuk menghasilkan efisiensi yang lebih baik.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada seluruh dosen dan staf pengajar 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] BMKG, "Dokumen Standar Operasional Prosedur Peringatan Dini Pelaporan Dan Diseminasi Informasi Cuaca Ekstrem," BMKG, Jakarta, 2010.
- [2] LLC, Down East Instrumentation, "Automated Buoy Weather Station," LLC, 2002.
- [3] S. A. Kalogirou, "Solar Thermal Collectors And Applications," vol. 231–295, 2004.
- [4] P. Takun, "Maximum Power Point Tracking using Fuzzy Logic Control for Photovoltaic Systems," *IMECS*, 2011.
- [5] M. M. Algazar, "Maximum Power Point Tracking Using Fuzzy Logic Control," *El Sevier*, 2012.
- [6] Y. Yongchang and Y. Chuanan, "Implementation of a MPPT Controller Based on AVR Mega 16 for Photovoltaic Systems," International Conference on Future Electrical Power and Energy Systems , Zhengzhou, 2012.
- [7] G. Balasubramanian and S. Singaravelu, "Fuzzy Logic Controller for The Maximum Power Point Tracking in Photovoltaic System," International Journal of Computer Applications (0975-8887), Annamalaiagar, 2012.
- [8] R. F. a. S. Leva, "Energy comparison of MPPT techniques for PV Systems," *ISSN 1790-5060*, 2008.
- [9] M.A.S.Masoum and M.Sarvi, "A New Fuzzy-Based Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic Applications," Iranian Journal of Electrical and Electronic Engineering Vol.1, Tehran, 2005.
- [10] S. Kusumadewi, Artificial Intelligence, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2003.
- [11] R. M, Power Electronics Handbook, New York: Academic Press, 2001.