

SISTEM PELACAKAN MATAHARI SUMBU GANDA PADA MODUL FOTOVOLTAIK BERBASIS SENSOR ULTRAVIOLET

Denny Prabowo Sasmita

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia
e-mail : dennysasmita@mhs.unesa.ac.id

Mahendra Widyartono

Dosen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia
e-mail : mahendrawidyartono@unesa.ac.id

Abstrak

Indonesia berada di daerah ekuator yang artinya Indonesia merupakan salah satu daerah yang memiliki nilai surplus sinar matahari karena mendapat sinar matahari sepanjang tahun. Namun harga modul fotovoltaik yang masih mahal dengan efisiensi yang rendah menjadikan pembangkitan energi listrik jenis ini belum bisa dimanfaatkan secara massal. Dalam rangka mengoptimalkan kinerja dari modul fotovoltaik untuk meningkatkan efisiensi modul fotovoltaik salah satu caranya adalah dengan menerapkannya sistem pelacakan matahari secara otomatis, sehingga mampu menjaga agar modul fotovoltaik selalu berada tegak lurus terhadap sinar matahari, sehingga dapat menghasilkan energi listrik yang maksimal. Terbukti dalam pengujian sistem pelacakan matahari sumbu ganda pada modul fotovoltaik menggunakan sensor ultraviolet mampu menghasilkan total rata-rata daya keluaran modul fotovoltaik sebesar 18.32 Watt perhari, Sedangkan pada sistem pelacakan matahari sumbu ganda pada modul fotovoltaik menggunakan sensor LDR mampu menghasilkan daya keluaran modul fotovoltaik sebesar 17.7 Watt perhari. Ada peningkatan daya keluaran oleh modul fotovoltaik sebesar 3.5% ketika menggunakan sensor ultraviolet dalam sistem pelacakan matahari sumbu ganda pada modul fotovoltaik.

Kata Kunci: Modul Fotovoltaik, Efisiensi Elektrik, Sistem Pelacakan Matahari Sumbu Ganda, Radiasi Matahari, ultraviolet, Arduino.

Abstract

Indonesia is in the equatorial region which means that Indonesia is one of the areas that have a surplus value of sunlight because Indonesia get sunshine all year round. But the price of photovoltaic modules that are still expensive with low efficiency makes the generation of electrical energy of this type cannot be used massively yet. In order to optimize the performance of a photovoltaic module to improve the efficiency of a photovoltaic module one way is to implement a solar tracking system automatically, so as to be able to keep the photovoltaic module always perpendicular to the sun's rays, so as to produce maximum electrical energy. Evidently in testing the dual axis tracking system on a photovoltaic module using an ultraviolet sensor capable of producing an average total output power of a photovoltaic module of 18.32 Watt everyday, while in a dual axis solar tracking system on a photovoltaic module using an LDR sensor is able to produce an output power of a 17.7 Watt photovoltaic module everyday. There is an increase in output power by a photovoltaic module by 3.5% when using ultraviolet sensors in a dual axis solar tracking system on a photovoltaic module.

Keywords: Photovoltaic Modules, Electrical Efficiency, Dual Axis Solar Tracking Systems, Solar Radiation, Ultraviolet, Arduino.

PENDAHULUAN

Semakin tingginya kurva elektrivitas di Indonesia dari tahun ke tahunnya menunjukkan bahwa penggunaan energi listrik di Indonesia dari tahun ke tahunnya semakin meningkat pula. Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan manusia yang sangat penting dan vital. Kekurangan energi listrik dapat mengganggu aktivitas manusia. Oleh sebab itu kesinambungan dan ketersediaan energi listrik harus dipertahankan. Saat ini kebutuhan

energi listrik semakin meningkat seiring dengan penambahan jumlah penduduk dan kemajuan teknologi serta informasi.

Namun pada waktu yang sama timbul masalah dalam upaya penyediaan energi listrik itu sendiri. Hal ini disebabkan semakin menipisnya persediaan bahan bakar pembuatan energi listrik di Indonesia. Perkembangan teknologi dan perindustrian serta pertumbuhan penduduk yang pesat membuat kebutuhan akan listrik terus

meningkat setiap tahunnya. Satu-dua abad lalu manusia menjadi amat bergantung kepada bahan bakar fosil seperti minyak, batubara, dan gas alam untuk menghasilkan listrik. Namun tidak menutup kemungkinan sumber BBM itu akan menipis bahkan lama kelamaan akan habis.

Oleh karena itu diperlukan sebuah inovasi perihal pembangkitan listrik tenaga terbarukan, salah satu energi listrik tenaga terbarukan adalah pembangkit listrik tenaga surya yang secara geografis, Indonesia berada di daerah ekuator. Hal ini menyebabkan Indonesia adalah salah satu daerah yang memiliki nilai surplus sinar matahari karena mendapat sinar matahari sepanjang tahun. Berbeda halnya dengan negara-negara di Benua Eropa yang mempunyai 4 musim.

Berbagai upaya telah dilakukan untuk memaksimalkan potensi energi surya yang ada di Indonesia. Oleh karena itu, pada penelitian kali ini, upaya dalam memaksimalkan kinerja dari modul fotovoltaik yakni dengan menerapkan sistem pelacakan matahari sumbu ganda pada modul fotovoltaik berbasis sensor ultraviolet. Adapun pertimbangan menggunakan sensor ultraviolet adalah matahari memancarkan beberapa jenis sinar salah satu diantaranya adalah sinar ultraviolet yang nantinya akan dibaca oleh sensor ultraviolet sebagai acuan dalam dual axis solar tracking system. Sebagai upaya dalam mengoptimalkan energi surya yang ada di Indonesia.

KAJIAN TEORI

Modul Fotovoltaik

Modul fotovoltaik atau *solar cell* adalah alat untuk mengkonversi tenaga matahari menjadi energi listrik. fotovoltaik adalah teknologi yang berfungsi untuk mengubah atau mengkonversi radiasi matahari menjadi energi listrik secara langsung. fotovoltaik biasanya dikemas dalam sebuah unit yang disebut modul. Dalam sebuah modul fotovoltaik terdiri dari banyak *cell* surya yang bisa disusun secara seri maupun paralel. Untuk jenis atau type *solar cell* dibagi menjadi 3 macam berdasarkan bahan dasar pembuatannya diantaranya adalah *Monocrystalline*, *Polycrystalline* dan *Silicon Amorphous*.

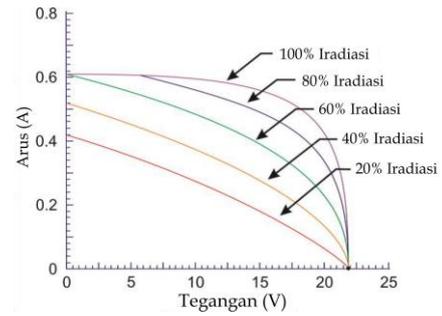
Faktor faktor yang mempengaruhi produksi energi listrik oleh modul fotovoltaik

Dalam hal memproduksi energi listrik, modul fotovoltaik dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor. Diantara faktor faktor yang mampu mempengaruhi daya keluaran dari suatu modul fotovoltaik adalah sebagai berikut :

1. Iradiasi

Ketika nilai iradiasi matahari menurun, maka arus yang dihasilkan oleh modul fotovoltaik akan ikut menurun dengan proporsional, sedangkan variasi dari tegangan tanpa beban sangatlah kecil. Adapun

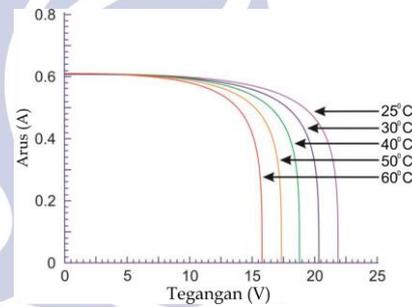
pengaruh iradiasi terhadap kurva I-V dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1 Karakteristik Kurva I-V Terhadap Iradiasi

2. Suhu

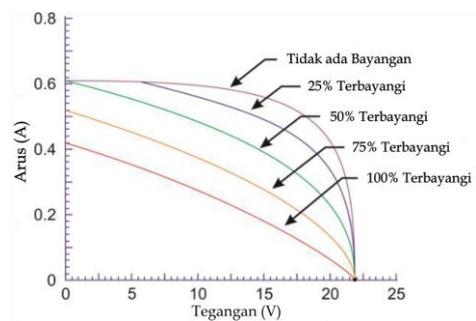
Seperti semua perangkat semikonduktor lainnya, *solar cell* juga sensitif terhadap perubahan suhu. Panas akan mengakibatkan aliran elektron pada modul fotovoltaik akan terganggu sehingga daya yang dihasilkan akan menurun seiring dengan peningkatan suhu *solar cell*. Adapun pengaruh suhu terhadap kurva I-V dapat dilihat pada Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2 Karakteristik Kurva I-V Terhadap Suhu

3. Shading

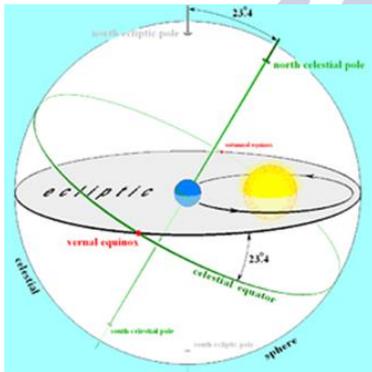
Sebagian dari modul fotovoltaik (satu atau lebih sel) mungkin dibayangi atau terhalangi oleh pepohonan, daun yang jatuh, gedung dan lain-lain. Pada khusus *shading* ini, *cell* surya yang tertutupi akan berhenti memproduksi energi listrik dan berubah menjadi beban pasif. Adapun karakteristik kurva I-V terhadap adanya *Shading* dapat dilihat pada Gambar 3 berikut ini.



Gambar 3 Karakteristik Kurva I-V Terhadap Shading

Solar Tracking

Sistem pelacak energi surya adalah sebuah sistem yang mampu untuk menggerakkan sebuah panel surya supaya dapat mengikuti pergerakan dari arah datangnya sinar matahari. Dalam rangka untuk mendapatkan arah datang sudut matahari, perlu mendefinisikan kerangka acuan yang sesuai. Adapun tiga pokok kerangka acuan yang akan digunakan diantaranya adalah garis edar semu matahari (ekliptika), garis khayal keliling bumi atau yang sering disebut dengan garis khatulistiwa dan bingkai referensi cakrawala. Kerangka acuan ini berpusat atau dirujuk ke pusat bumi dan jelas gerak matahari dianggap untuk perhitungan. Matahari dan benda langit lainnya diasumsikan berbaring di falak sebuah bola dengan jari-jari besar. Adapun skema pergerakan bumi mengelilingi matahari dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Skema Pergerakan Bumi

Adapun komponen elektrik yang dibutuhkan dalam perancangan sistem ini adalah sebagai berikut :

Arduino Mega 2560

Pada penelitian ini mikrokontroler yang digunakan ialah Arduino Mega 2560 dengan Arduino IDE sebagai *software* pemrogramannya. Arduino Mega 2560 adalah piranti mikrokontroler menggunakan atmega 2560. Modul ini memiliki 54 digital input atau output. Arduino Mega kompatibel dengan shield yang dirancang untuk arduino Duemilanove, Decimila, maupun UNO.

LCD 16x2

Liquid Crystal Display (LCD) 16X2 adalah salah satu alat yang digunakan sebagai tampilan. M1632 merupakan modul dot-matrix tampilan kristal cair (LCD) dengan tampilan 16x2 baris dengan konsumsi daya rendah. Modul LCD ini telah dilengkapi dengan mikrokontroler yang didesain khusus untuk mengendalikan LCD.

Sensor ML8511

Sensor UV ML8511 yang berfungsi mendeteksi sinar UV dan mengubahnya menjadi besaran tegangan. Sensor

ini menghasilkan output analog dengan range 0 – 5 VDC dan bekerja pada suhu -20 0C hingga 85 0C. Sensor UV ML8511 mampu mendeteksi sinar UV (A dan B) dengan panjang gelombang 280 nm – 390 nm dengan tingkat sensitivitas yang tinggi.

Modul INA219

IC INA219 sebagai sensor untuk membaca nilai tegangan dan arus dari suatu sumber. Modul ini mampu untuk membaca tegangan dengan batas maksimal 26 V dan mampu untuk membaca arus sampai 3.2A, sehingga modul ini juga mampu untuk membaca daya sampai dengan 80 Watt.

Motor DC

Motor DC (*Direct Current*) adalah peralatan elektromekanik dasar yang berfungsi untuk mengubah tenaga listrik menjadi tenaga mekanik yang desain awalnya diperkenalkan oleh Michael Faraday lebih dari seabad yang lalu (Pitowarno, 2006: 76). Motor DC ini digunakan sebagai aktuator dalam sistem ini.

Driver Motor L298N

L298 adalah komponen elektronik yang dipergunakan untuk mengontrol arah putaran motor DC. IC driver L298 memiliki kemampuan menggerakkan motor DC sampai arus 2A dan tegangan maksimum 40 volt DC untuk satu kanalnya. Pengaturan kecepatan motor digunakan teknik PWM (pulse width modulation).

Daya dan Efisiensi

Performa pada suatu modul fotovoltaik dapat dilihat berdasarkan daya output yang dihasilkan. Modul fotovoltaik akan bekerja secara optimal pada suhu atau temperatur lingkungan berada di angka 25°C. Daya output yaitu daya terukur yang dihasilkan oleh modul PV pada saat kondisi berbeban. Efisiensi elektrik modul PV (Akarlan, 2012 : 118) ditunjukkan pada persamaan 1 dibawah ini.

$$\eta = \frac{P_{out}}{E \times A_c} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan :

- η = Efisiensi Modul Fotovoltaik (%)
- P_{out} = Daya Keluaran Modul Fotovoltaik (Watt)
- E = intensitas matahari (Watt/m²)
- A_c = luas penampang panel surya (m²)

Berdasarkan Standart Test Conditions (STC), dimana nilai radiasi dianggap 1000 W/m², suhu standar modul sebesar 25⁰ C, dan standar spektrum cahaya sebesar AM 1.5. Dari kondisi tersebut panel surya 1000 Wp dengan luas

penampang 1 m² mampu menghasilkan daya sebesar 1000 Watt. Jika dibandingkan dengan modul Fotovoltaik yang digunakan 20 Wp dengan luas 0.196 m², maka dengan luas modul fotovoltaik 0.196 m² tersebut harus mampu menghasilkan daya keluaran sebesar 196 Watt untuk mendapatkan efisiensi 100 %. Sehingga didapatkan persamaan untuk efisiensi modul fotovoltaik.

$$\eta - STC = \frac{P_{out}}{196 W} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan :

η -STC = Efisiensi Berdasarkan STC (%)

P_{out} = Daya Keluaran Modul Fotovoltaik (Watt)

METODE PENELITIAN

Pendekatan Penelitian

Pada penelitian ini, pendekatan penelitian yang digunakan adalah penelitian kuantitatif. (Arikunto 2006:12) yang mengemukakan bahwa penelitian kuantitatif adalah pendekatan penelitian yang banyak dituntut menggunakan angka, mulai dari pengumpulan data, penafsiran terhadap data tersebut, serta penampilan hasilnya.

Penelitian ini menggunakan modul fotovoltaik dengan kapasitas 20 Wp dan tipe modul fotovoltaik adalah *polycrystalline*. Adapun detail spesifikasi dapat dilihat pada tabel 1 berikut ini.

Spesifikasi Modul Fotovoltaik

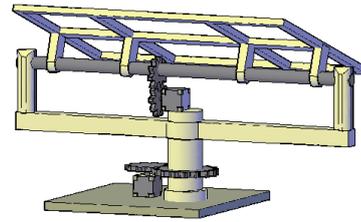
Tabel 1 Spesifikasi modul fotovoltaik 20Wp:

Besaran	Satuan
Daya Maksimum (P _{max})	20W
Tegangan Maksimum (V _{mp})	17.5V
Arus Maksimum (I _{mp})	1.15A
Tegangan Terbuka (V _{oc})	21.6V
Arus Terbuka (I _{sc})	1.26A
Ukuran Panel Surya	350 x 560 x 25 mm

Pada penelitian ini dengan menggunakan modul fotovoltaik yang spesifikasinya telah dicantumkan di tabel 1 diatas, akan diambil beberapa data hasil pengujian sistem pelacakan matahari sumbu ganda pada modul fotovoltaik berbasis sensor ultraviolet dan juga akan dibandingkan ketika sistem pelacakan matahari sumbu ganda ketika menggunakan sensor LDR.

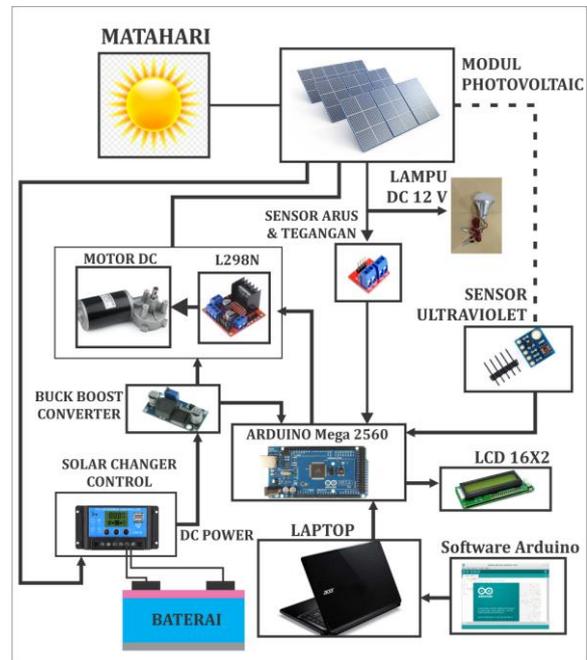
Desain Sistem

Desain sistem yang digunakan pada sistem pelacakan matahari sumbu ganda pada modul fotovoltaik berbasis sensor ultraviolet ini didesain agar mampu bergerak bebas pada sumbu horizontal dan sumbu vertikal dengan bantuan motor DC sebagai aktuatornya, adapun desain sistem seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Desain Sistem Pelacakan

Untuk mendukung kerja dari sistem pelacakan matahari sumbu ganda pada modul fotovoltaik berbasis sensor ultraviolet dengan desain seperti yang tampak pada gambar 11 sebelumnya, diperlukan sistem yang bagus sehingga mampu menjalankan sistem pelacakan matahari ini sesuai dengan harapan. Adapun diagram blok keseluruhan sistem pelacakan matahari sumbu ganda pada modul fotovoltaik berbasis sensor ultraviolet dapat dilihat pada Gambar 12 berikut ini.



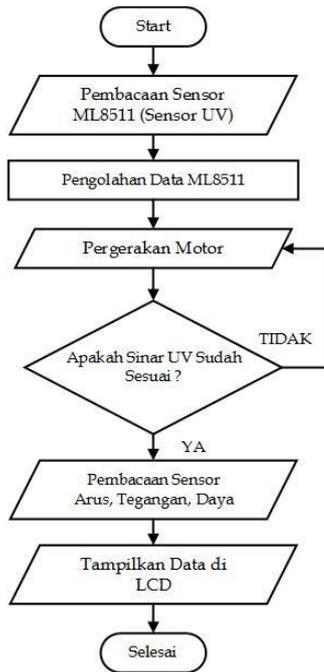
Gambar 12 Diagram Blok Sistem

Pada gambar 12 diagram blok diatas menunjukkan sistem pelacakan matahari sumbu ganda pada modul fotovoltaik berbasis sensor ultraviolet tidak menggunakan catu daya dari PLN akan tetapi menggunakan baterai aki.

Perancangan Software

Pertama, akan Dilakukan pembacaan keempat sensor ultraviolet oleh mikrokontroller arduino. Setelah didapatkan data tersebut maka data pembacaan sensor diolah oleh arduino dan dimasukkan pada logika pemrograman untuk perintah menggerakkan motor DC sebagai aktuator. Ketika pembacaan masing masing sensor

ultraviolet tidak memenuhi syarat dari total rata-rata pembacaan keempat sensor ultraviolet maka motor DC akan bergerak untuk mencari sudut arah sinar datang matahari yang sesuai. Akan tetapi ketika sudut telah sesuai maka motor akan berhenti, akan dilakukan pengukuran arus dan tegangan oleh sensor arus dan tegangan INA219 dan ditampilkan pada LCD.



Gambar 13 Flowchart Software

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan membahas tentang Hasil Perancangan dan hasil pengujian Sistem baik ketika menggunakan sensor ultraviolet atau sensor LDR.

Rancangan Sistem Pelacakan Matahari Sumbu Ganda Pada Modul Fotovoltaik Berbasis Sensor Ultraviolet

Bentuk *real* sistem pelacakan matahari sumbu ganda pada modul fotovoltaik dengan menyesuaikan Desain sistem pada gambar 11 sebelumnya seperti tampak pada Gambar 13 dibawah ini.



Gambar 13 Desain Real Sistem

Sensor ultraviolet ataupun sensor LDR akan diletakkan di bagian atas dan tengah modul fotovoltaik. Pada setiap sensornya diberi sekat untuk memberikan efek bayangan (*shading*) ketika berada pada posisi yang tidak tegak lurus terhadap sinar datang matahari, dari kondisi tersebut sensor memberi signal ke arduino dan dari arduino akan memberi perintah untuk menggerakkan motor. agar sesuai dengan arah datang sinar matahari.

Pengujian sistem pelacakan matahari sumbu ganda pada modul fotovoltaik baik ketika menggunakan sensor ultraviolet ataupun sensor LDR, akan diujikan masing masing 3 hari dari setiap sensornya. Adapun hasil dan penjelasan mengenai setiap hasil pengujian akan dijelaskan di bawah ini.

Pengujian Sistem Menggunakan Sensor UV

Adapun data hasil pengujian sistem pelacakan matahari sumbu ganda pada modul fotovoltaik menggunakan sensor ultraviolet dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2 Hasil Pengujian Hari Pertama Sistem Pelacakan Matahari Sumbu Ganda pada Modul Fotovoltaik Berbasis Sensor Ultraviolet.

Jam	Iradiasi (W/m ²)	Vout (V)	Iout (A)	Pout (W)	η - STC (%)	I _{sc} (A)
09.00	968	18.03	1	18.03	9.2	1.02
09.30	1072	18.12	1.1	19.932	10.17	1.08
10.00	1006	18.18	1.1	19.998	10.2	1.02
10.30	968	18.14	1	18.14	9.26	1
11.00	1008	18.19	1.2	21.828	11.14	1.01
11.30	1011	18.21	1.1	20.031	10.22	0.98
12.00	997	18.13	1	18.13	9.25	1.07
12.30	994	18.31	1	18.31	9.34	1.08
13.00	988	18.08	1.1	19.888	10.15	1.08
13.30	967	18.11	1	18.11	9.24	1
14.00	933	18.16	0.9	16.344	8.34	0.98
14.30	928	18.5	0.8	14.8	7.55	0.98
15.00	869	18.34	0.8	14.672	7.49	0.95
Rata-rata	978	18.19	1.01	18.32	9.35	1.02

Dari tabel 2 di atas diketahui bahwa pada pengujian hari pertama didapatkan total rata rata tingkat iradiasi matahari yang diterima modul fotovoltaik sebesar 978 W/m², Daya keluaran modul fotovoltaik sebesar 18.32 Watt dan untuk efisiensi berdasarkan *Standart Test Control* adalah sebesar 9.35 % dari efisiensi maksimal sebesar 10.2 %.

Adapun lama waktu pengisian baterai aki dengan kapasitas 5Ah oleh sistem ini diperhitungkan dengan arus keluaran dari *solar charger control* ke baterai, sesuai dengan data hasil pengujian pada tabel 2 kolom I_{sc} diatas diketahui total rata rata arus pengisian barterai adalah 1.02 A, sehingga dibutuhkan waktu 4 jam 54 menit untuk mengisi baterai hingga penuh.

Tabel 3 Hasil Pengujian Hari Kedua Sistem Pelacakan Matahari Sumbu Ganda pada Modul Fotovoltaik Berbasis Sensor Ultraviolet.

Jam	Iradiasi (W/m ²)	Vout (V)	Iout (A)	Pout (W)	η - STC (%)	I _{sc} (A)
09.00	1064	18.12	1.1	19.932	10.17	1.06
09.30	1086	18.22	1.1	20.042	10.23	1.18
10.00	1015	18.16	1	18.16	9.27	1.07
10.30	985	18.18	1.1	19.998	10.2	1.06
11.00	996	18.19	1	18.19	9.28	1.04
11.30	990	18.09	1	18.09	9.23	1.07
12.00	992	18.12	1	18.12	9.24	1.03
12.30	978	18.11	1	18.11	9.24	1.09
13.00	975	18.08	1.1	19.888	10.15	1.01
13.30	961	18.03	0.9	16.227	8.28	0.94
14.00	926	18.45	0.8	14.76	7.53	0.85
14.30	915	18.42	0.8	14.736	7.52	0.88
15.00	881	18.57	0.7	12.999	6.63	0.79
Rata-rata	982	18.21	0.97	17.63	9	1.01

Dari tabel 3 di atas diketahui bahwa pada pengujian hari kedua didapatkan total rata rata iradiasi matahari yang diterima modul fotovoltaik sebesar 982 W/m², Daya keluaran modul fotovoltaik sebesar 17.63 Watt dan efisiensi berdasarkan *Standart Test Control* sebesar 9 %.

Pada pengujian hari kedua ini terdapat beberapa data yang tidak sesuai dengan teori contohnya pada pukul 14.00 WIB hingga pukul 15.00 WIB dimana ketika tingkat iradiasi yang diterima modul fotovoltaik menurun, arus keluaran modul fotovoltaik juga ikut menurun akan tetapi tegangan keluaran modul fotovoltaik tidak ikut menurun. Hal ini membuktikan bahwa kinerja modul fotovoltaik tidak cukup hanya dipengaruhi oleh tingkat iradiasi saja karena ada beberapa aspek yang juga mempengaruhi kinerja modul fotovoltaik diantaranya suhu dan *shading*, Untuk *shading* ini sudah dipastikan oleh peneliti bahwa pada pengujian kali ini ditempatkan pada tempat yang tidak terhalang dengan apa pun, sehingga kemungkinan besar kasus ini terjadinya karena adanya pengaruh suhu pada permukaan modul yang menjadikan tegangan keluaran modul fotovoltaik yang meningkat.

Sedangkan untuk lama waktu pengisian baterai aki dengan kapasitas 5Ah oleh sistem ini diperhitungkan dengan arus keluaran dari *solar charger control* ke baterai, sesuai dengan data hasil pengujian pada tabel 3 kolom I_{sc} diatas diketahui total rata rata arus pengisian barterai adalah 1.01 A, sehingga dibutuhkan waktu 4 jam 57 menit untuk mengisi baterai hingga penuh.

Tabel 4 Hasil Pengujian Hari Ketiga Sistem Pelacakan Matahari Sumbu Ganda pada Modul Fotovoltaik Berbasis Sensor Ultraviolet.

Jam	Iradiasi (W/m ²)	Vout (V)	Iout (A)	Pout (W)	η - STC (%)	I _{sc} (A)
09.00	897	18.09	0.8	14.472	7.38	0.84
09.30	956	18.29	0.9	16.461	8.4	1
10.00	957	18.16	0.9	16.344	8.34	0.96
10.30	938	17.67	1	17.67	9.02	1.02
11.00	955	17.8	1	17.8	9.08	1.03

Lanjutan Tabel 4 Hasil Pengujian Hari ketiga Sistem Pelacakan Matahari Sumbu Ganda pada Modul Fotovoltaik Berbasis Sensor Ultraviolet.

Jam	Iradiasi (W/m ²)	Vout (V)	Iout (A)	Pout (W)	η - STC (%)	I _{sc} (A)
11.30	959	17.67	1	17.67	9.02	1.06
12.00	963	17.41	1	17.41	8.88	1.14
12.30	957	17.47	1.1	19.217	9.8	1.15
13.00	968	16.39	1.3	21.307	10.87	1.3
13.30	947	17.08	1.1	18.788	9.59	1.21
14.00	969	16.8	1.1	18.48	9.43	1.22
14.30	889	16.28	1.1	17.908	9.14	1.1
15.00	862	16.5	1.1	18.15	9.26	1.07
Rata-rata	940	17.35	1.03	17.82	9.09	1.08

Dari tabel 4 di atas diketahui bahwa jika tingkat iradiasi yang diterima oleh modul fotovoltaik telah pada tingkat maksimal akan tetapi jika tidak dibarengi dengan suhu permukaan modul fotovoltaik yang standart maka akan menyebabkan penurunan pada arus dan tegangan yang cukup besar. Namun terlepas dari itu semua pada pengujian hari ketiga ini didapatkan total rata rata tingkat iradiasi matahari yang diterima modul fotovoltaik sebesar 940 W/m², Daya keluaran modul fotovoltaik sebesar 17.82 Watt dan efisiensi berdasarkan *Standart Test Control* adalah sebesar 9.09 %.

Adapun lama waktu pengisian baterai aki dengan kapasitas 5Ah oleh sistem ini diperhitungkan dengan arus keluaran dari *solar charger control* ke baterai, sesuai dengan data hasil pengujian pada tabel 4 kolom I_{sc} diatas, diketahui total rata rata arus pengisian barterai adalah 1.08 A, sehingga dibutuhkan waktu 4 jam 37 menit untuk mengisi baterai hingga penuh.

Pengujian Sistem Menggunakan Sensor LDR

Pengujian sistem pelacakan matahari sumbu ganda menggunakan LDR dilakukan pada tempat dan cara yang sama ketika menggunakan sensor ultraviolet. Adapun data hasil pengujian sistem pelacakan matahari sumbu ganda berbasis sensor LDR dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 5 Hasil Pengujian Hari Pertama Sistem Pelacakan Matahari Sumbu Ganda pada Modul Fotovoltaik Berbasis Sensor LDR.

Jam	Iradiasi (W/m ²)	Vout (V)	Iout (A)	Pout (W)	η - STC (%)	I _{sc} (A)
09.00	887	16.89	1	16.89	8.62	1.04
09.30	945	16.99	1.1	18.689	9.54	1.1
10.00	932	16.7	1	16.7	8.52	1.01
10.30	956	16.95	1.1	18.645	9.51	1.13
11.00	989	16.88	1.2	20.256	10.33	1.17
11.30	946	16.46	1.1	18.106	9.24	1.22
12.00	899	16.35	1.1	17.985	9.18	1.19
12.30	932	16.47	1.2	19.764	10.08	1.3
13.00	936	16.53	1.2	19.836	10.12	1.16
13.30	916	16.65	1	16.65	8.49	1.21
14.00	904	16.59	1	16.59	8.46	1.08
14.30	846	16.78	0.9	15.102	7.71	1.11
15.00	772	16.57	0.9	14.913	7.61	0.95
Rata-rata	912	16.68	1.06	17.7	9.03	1.13

Diterapkannya Sistem pelacakan matahari sumbu ganda pada modul fotovoltaik dimaksudkan agar modul fotovoltaik mampu melacak arah sinar datang matahari sehingga modul fotovoltaik selalu berada pada posisi tegak lurus terhadap arah datang sinar matahari, yang dari kondisi tersebut modul fotovoltaik akan mendapatkan iradiasi matahari yang maksimal. Dimana dari iradiasi maksimal yang diterima oleh modul fotovoltaik juga akan mampu menjadikan modul fotovoltaik dapat menghasilkan energi listrik yang maksimal pula.

Dari tabel 5 di atas diketahui bahwa pada pengujian hari pertama didapatkan total rata rata iradiasi matahari yang diterima modul fotovoltaik sebesar 912 W/m², Daya keluaran modul fotovoltaik sebesar 17.7 Watt dan efisiensi berdasarkan *Standart Test Control* adalah sebesar 9.03 % dari efisiensi maksimal sebesar 10.2 %.

Adapun lama waktu pengisian baterai aki dengan kapasitas 5Ah oleh sistem ini diperhitungkan dengan arus keluaran dari *solar charger control* ke baterai, sesuai dengan data hasil pengujian pada tabel 5 kolom I_{sc} diatas diketahui total rata rata arus pengisian barterai adalah 1.13 A, sehingga dibutuhkan waktu 4 jam 25 menit untuk mengisi baterai hingga penuh.

Tabel 6 Hasil Pengujian Hari Kedua Sistem Pelacakan Matahari Sumbu Ganda pada Modul Fotovoltaik Berbasis Sensor LDR.

Jam	Iradiasi (W/m ²)	Vout (V)	Iout (A)	Pout (W)	η - STC (%)	I _{sc} (A)
09.00	918	17.68	0.8	14.144	7.22	0.92
09.30	930	17.41	1	17.41	8.88	1.04
10.00	943	17.19	0.9	15.471	7.89	1.04
10.30	948	17.27	0.9	15.543	7.93	1.1
11.00	960	17.39	1	17.39	8.87	1.15
11.30	965	17.21	1.1	18.931	9.66	1.15
12.00	960	17.05	1.1	18.755	9.57	1.21
12.30	956	16.75	1.1	18.425	9.4	1.21
13.00	906	16.74	1	16.74	8.54	1.16
13.30	856	16.62	1	16.62	8.48	1.09
14.00	870	17.4	0.9	15.66	7.99	1.09
14.30	818	16.9	0.9	15.21	7.76	0.88
15.00	730	16.75	0.9	15.075	7.69	0.72
Rata-rata	905	17.1	0.97	16.57	8.45	1.06

Dari tabel 6 di atas diketahui bahwa pada pengujian hari kedua didapatkan total rata rata iradiasi matahari yang diterima modul fotovoltaik sebesar 905 W/m², Daya keluaran modul fotovoltaik sebesar 16.57 Watt dan efisiensi berdasarkan *Standart Test Control* adalah sebesar 8.45 % dari efisiensi maksimal sebesar 10.2 %.

Adapun lama waktu pengisian baterai aki dengan kapasitas 5Ah oleh sistem ini diperhitungkan dengan arus keluaran dari *solar charger control* ke baterai. Sesuai dengan data hasil pengujian pada tabel 6 kolom I_{sc} diatas diketahui total rata rata arus pengisian barterai adalah 1.06 A, sehingga dibutuhkan waktu 4 jam 43 menit untuk mengisi baterai hingga penuh.

Tabel 7 Hasil Pengujian Hari Ketiga Sistem Pelacakan Matahari Sumbu Ganda pada Modul Fotovoltaik Berbasis Sensor LDR.

Jam	Iradiasi (W/m ²)	Vout (V)	Iout (A)	Pout (W)	η - STC (%)	I _{sc} (A)
09.00	882	17.4	0.9	15.66	7.99	0.97
09.30	939	18.16	0.9	16.344	8.34	1.09
10.00	968	18.11	1	18.11	9.24	1.02
10.30	989	18.03	1	18.03	9.2	1.09
11.00	978	18.19	1	18.19	9.28	0.94
11.30	975	18.31	1	18.31	9.34	1.03
12.00	973	18.12	1	18.12	9.24	1.09
12.30	957	18.14	1	18.14	9.26	0.96
13.00	969	17.47	1.1	19.217	9.8	1.15
13.30	977	17.87	1	17.87	9.12	1.09
14.00	978	17.41	1	17.41	8.88	1.14
14.30	904	17.27	0.9	15.543	7.93	0.93
15.00	871	18.45	0.8	14.76	7.53	0.87
Rata-rata	951	17.92	0.97	17.36	8.86	1.03

Dari tabel 7 di atas diketahui bahwa pada pengujian hari ketiga sistem pelacakan matahari sumbu ganda pada modul fotovoltaik berbasis sensor LDR didapatkan total rata rata tingkat iradiasi matahari yang diterima modul fotovoltaik sebesar 951 W/m², Daya keluaran modul fotovoltaik sebesar 17.36 Watt dan efisiensi berdasarkan *Standart Test Control* adalah sebesar 8.86 %.

Adapun lama waktu pengisian baterai aki dengan kapasitas 5Ah oleh sistem ini diperhitungkan dengan arus keluaran dari *solar charger control* ke baterai. Sesuai dengan data hasil pengujian sistem pada tabel 6 kolom I_{sc} diatas diketahui total rata rata arus pengisian barterai adalah 1.03 A, sehingga dibutuhkan waktu 4 jam 51 menit untuk mengisi baterai hingga penuh.

ANALISIS PERBANDINGAN HASIL PENGUJIAN MENGGUNAKAN SENSOR ULTRAVIOLET & LDR.

Pada sub bab ini akan dibandingkan hasil pengujian ketika sistem pelacakan matahari sumbu ganda pada modul fotovoltaik baik ketika menggunakan sensor ultraviolet ataupun sensor LDR selama pengujian. adapun data yang akan dibandingkan adalah sebagai berikut :

1. Intensitas Radiasi Matahari

Diterapkannya Sistem pelacakan matahari sumbu ganda pada modul fotovoltaik baik ketika menggunakan sensor ultraviolet ataupun sensor LDR ini dengan maksud agar modul fotovoltaik selalu berada tegak lurus terhadap arah datang sinar matahari yang akhirnya modul fotovoltaik akan menerima iradiasi matahari yang maksimal, dari modal iradiasi yang maksimal tersebut modul fotovoltaik akan mampu menghasilkan energi listrik yang maksimal juga sesuai dengan karakteristik kurva I-V terhadap tingkat iradiasi seperti yang tampak pada gambar 1 diatas. Adapun hasil pengujian sistem pelacakan ini menggunakan sensor ultraviolet dapat

dilihat pada Tabel 8 dan hasil pengujian menggunakan sensor LDR pada Tabel 9 berikut ini.

Tabel 8 Hasil Pengujian Tingkat Iradiasi pada Sistem Pelacakan Matahari Sumbu Ganda pada Modul Fotovoltaik Berbasis Sensor Ultraviolet.

Jam	Hari Pengujian – Iradiasi (W/m ²)		
	Hari Pertama	Hari Kedua	Hari Ketiga
09.00	968	1064	897
09.30	1072	1086	956
10.00	1006	1015	957
10.30	968	985	938
11.00	1008	996	955
11.30	1011	990	959
12.00	997	992	963
12.30	994	978	957
13.00	988	975	968
13.30	967	961	947
14.00	933	926	969
14.30	928	915	889
15.00	869	881	862
Rata-rata	978	982	940

Tabel 9 Hasil Pengujian Tingkat Iradiasi pada Sistem Pelacakan Matahari Sumbu Ganda pada Modul Fotovoltaik Berbasis Sensor LDR.

Jam	Hari Pengujian – Iradiasi (W/m ²)		
	Hari Pertama	Hari Kedua	Hari Ketiga
09.00	887	918	882
09.30	945	930	939
10.00	932	943	968
10.30	956	948	989
11.00	989	960	978
11.30	946	965	975
12.00	899	960	973
12.30	932	956	957
13.00	936	906	969
13.30	916	856	977
14.00	904	870	978
14.30	846	818	904
15.00	772	730	871
Rata-rata	912	905	951

Dari tabel 8 diketahui bahwa total rata-rata iradiasi pada pengujian menggunakan sensor ultraviolet yakni, hari pertama sebesar 978 W/m², hari kedua sebesar 982 W/m², dan hari ketiga sebesar 940 W/m². Sedangkan pada tabel 9 diketahui total rata rata iradiasi pada pengujian sistem menggunakan sensor LDR adalah hari pertama sebesar 912 W/m², hari kedua sebesar 905 W/m², dan hari ketiga sebesar 951 W/m².

2. Daya Keluaran Modul Fotovoltaik

Modul fotovoltaik yang mendapatkan iradiasi yang maksimal juga akan mampu menghasilkan daya keluaran yang maksimal (*Maximum Power Point*) sesuai dengan spesifikasi dari tiap modul fotovoltaik, begitu juga sebaliknya. Pada penelitian kali ini modul fotovoltaik yang digunakan yakni kapasitas 20 Wp sehingga mampu

menghasilkan energi litrik (Pmax) sebesar 20 W. Adanya sistem pelacakan matahari ini merupakan salah satu cara untuk dapat memaksimalkan kinerja modul fotovoltaik untuk dapat menghasilkan energi listrik yang maksimal juga. Adapun hasil pengujian sistem pelacakan matahari baik ketika menggunakan sensor ultraviolet ataupun sensor LDR dapat dilihat pada Tabel 10 dan Tabel 11 berikut ini.

Tabel 10 Hasil Pengujian Daya Keluaran Modul Fotovoltaik pada Sistem Pelacakan Matahari Sumbu Ganda Berbasis Sensor Ultraviolet.

Jam	Hari Pengujian – Pout (Watt)		
	Hari Pertama	Hari Kedua	Hari Ketiga
09.00	18.03	19.932	14.472
09.30	19.932	20.042	16.461
10.00	19.998	18.16	16.344
10.30	18.14	19.998	17.67
11.00	21.828	18.19	17.8
11.30	20.031	18.09	17.67
12.00	18.13	18.12	17.41
12.30	18.31	18.11	19.217
13.00	19.888	19.888	21.307
13.30	18.11	16.227	18.788
14.00	16.344	14.76	18.48
14.30	14.8	14.736	17.908
15.00	14.672	12.999	18.15
Rata-rata	18.32	17.63	17.82

Tabel 11 Hasil Pengujian Daya Keluaran Modul Fotovoltaik pada Sistem Pelacakan Matahari Sumbu Ganda Berbasis Sensor LDR.

Jam	Hari Pengujian – Pout (Watt)		
	Hari Pertama	Hari Kedua	Hari Ketiga
09.00	16.89	14.144	15.66
09.30	18.689	17.41	16.344
10.00	16.7	15.471	18.11
10.30	18.645	15.543	18.03
11.00	20.256	17.39	18.19
11.30	18.106	18.931	18.31
12.00	17.985	18.755	18.12
12.30	19.764	18.425	18.14
13.00	19.836	16.74	19.217
13.30	16.65	16.62	17.87
14.00	16.59	15.66	17.41
14.30	15.102	15.21	15.543
15.00	14.913	15.075	14.76
Rata-rata	17.7	16.57	17.36

Dari tabel 10 dapat diketahui bahwa dari masing masing hari pengujian menggunakan sensor ultraviolet didapatkan total rata rata daya keluaran sebesar hari pertama sebesar 18.32 Watt, hari kedua sebesar 17.63 Watt, dan hari ketiga sebesar 17.82 Watt. Sedangkan dari tabel 11 diketahui pula total rata rata daya keluaran pada pengujian menggunakan sensor LDR adalah hari pertama sebesar 17.7 Watt, hari kedua sebesar 16.57 Watt, dan hari ketiga sebesar 17.36 Watt.

3. Efisiensi Modul Fotovoltaik

Sesuai dengan STC (*Standart Test Condition*), setelah diketahui daya keluaran dari tiap tiap pengujian menggunakan sensor baik ultraviolet ataupun sensor LDR, sehingga didapatkan efisiensi modul fotovoltaik yang tampak pada Tabel 12 dan Tabel 13 berikut ini.

Tabel 12 Hasil Pengujian Efisiensi Modul Fotovoltaik pada Sistem Pelacakan Matahari Sumbu Ganda Berbasis Sensor Ultraviolet.

Jam	Hari Pengujian – Efisiensi (%)		
	Hari Pertama	Hari Kedua	Hari Ketiga
09.00	9.2	10.17	7.38
09.30	10.17	10.23	8.4
10.00	10.2	9.27	8.34
10.30	9.26	10.2	9.02
11.00	11.14	9.28	9.08
11.30	10.22	9.23	9.02
12.00	9.25	9.24	8.88
12.30	9.34	9.24	9.8
13.00	10.15	10.15	10.87
13.30	9.24	8.28	9.59
14.00	8.34	7.53	9.43
14.30	7.55	7.52	9.14
15.00	7.49	6.63	9.26
Rata-rata	9.35	9	9.09

Tabel 13 Hasil Pengujian Efisiensi Modul Fotovoltaik pada Sistem Pelacakan Matahari Sumbu Ganda Berbasis Sensor LDR.

Jam	Hari Pengujian – Efisiensi (%)		
	Hari Pertama	Hari Kedua	Hari Ketiga
09.00	8.62	7.22	7.99
09.30	9.54	8.88	8.34
10.00	8.52	7.89	9.24
10.30	9.51	7.93	9.2
11.00	10.33	8.87	9.28
11.30	9.24	9.66	9.34
12.00	9.18	9.57	9.24
12.30	10.08	9.4	9.26
13.00	10.12	8.54	9.8
13.30	8.49	8.48	9.12
14.00	8.46	7.99	8.88
14.30	7.71	7.76	7.93
15.00	7.61	7.69	7.53
Rata-rata	9.03	8.45	8.86

Dari grafik tabel 12 dapat diketahui efisiensi modul fotovoltaik dari pengujian sistem pelacakan matahari sumbu ganda menggunakan sensor ultraviolet yakni dengan total rata rata efisiensi setiap harinya adalah hari pertama sebesar 9.35 %, hari kedua sebesar 9 %, dan hari ketiga sebesar 9.09 %. Sedangkan pada tabel 13 dapat diketahui juga efisiensi modul fotovoltaik dari hasil pengujian menggunakan sensor LDR dengan total rata rata efisiensi setiap harinya yakni hari pertama sebesar 9.03 %, hari kedua sebesar 8.45 %, dan hari ketiga sebesar 8.86 %.

PENUTUP

Simpulan

Hasil perbandingan kinerja dari sistem pelacakan matahari sumbu ganda pada modul fotovoltaik baik ketika menggunakan sensor ultraviolet ataupun sensor LDR, diambil data terbaik hasil pengujian dari setiap *variable* yang dibandingkan sehingga didapatkan kesimpulan bahwa pengujian sistem pelacakan matahari sumbu ganda pada modul fotovoltaik menggunakan sensor ultraviolet mampu meningkatkan iradiasi yang diterima oleh modul fotovoltaik sebesar 3.3%, daya keluaran modul fotovoltaik sebesar 3.5 %, dan efisiensi modul fotovoltaik sebesar 3.5% dibandingkan ketika sistem pelacakan matahari sumbu ganda menggunakan sensor LDR.

Saran

Berdasarkan hasil pengujian ada beberapa saran yang dapat dilakukan untuk mengembangkan sistem agar didapatkan hasil yang lebih maksimal yaitu dengan me-*Redesign* sistem agar mampu memutar 360⁰ secara horizontal.

Daftar Pustaka

- A. Goetzberger, V.U. Hoffmann. 2005. *Photovoltaic Solar Energy Generation*, Springer Berlin Heidelberg, New York.
- Adityawan, Eki. 2010. *Studi Karakteristik Pencatutan Solar Cell terhadap Kapasitas Sistem Penyimpanan Energi Baterai*. Depok: Universitas Indonesia.
- Akarslan, Feyza. 2012. *Modelling and Optimization of Renewable Energy System*. In Tech, 2012, 110-120.
- Arikunto. 2006. *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktek*. Jakarta : PT. Rineka Cipta.
- Chhoton, A.C., Narayan .R.C, “*Dual Axis Solar Tracking System A Comprehensive Study*”, Computer Science and Engineering. ICAEE. Sep.2017.
- Mayfield, Ryan. 2010. *Photovoltaic Design and Installation for Dummies*. Kanada : Wiley Publishing, Inc.
- Pitowarno, E.(2006). *Robotika: Desain, Kontrol, dan Kecerdasan Buatan*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Robert D, Gerro Prinsloo. 2015. *Solar Tracking (Sun Position, Sun Tracking n’ Sun Following)*. Stellenbosch University. South Africa.
- Tiwani, G.N. ,Swapnil Dubay. 2010. *Fundamental of Photovoltaic Modules and their Applications*. Inggris : Royal Society of Chemistry.
- White, Sean. 2015. *Solar Photovoltaic Basics*. New York : Routledge