

Perancangan Panel Surya Pelacak Arah Matahari Berbasis Arduino Uno

Brigita Sitorus.⁽¹⁾, Ir. Hans Tumaliang, MT.⁽²⁾, Lily S. Patras ST., MT.⁽³⁾
 (1)Mahasiswa, (2)Pembimbing 1, (3)Pembimbing 2,

Jurusan Teknik Elektro-FT. UNSRAT, Manado-95115, Email: brigitasitorus93@gmail.com

Abstrack-- In this thesis, testing and measuring instruments in the field to prove the output of solar panels using solar trackers direction is superior in terms of power output compared to not using tracker toward the sun. In the test, the authors made a prototype solar panels and solar trackers simple way by using arduino uno as the brain's control system. From field testing the bright sun with a radiation intensity of ± 1000 watts / m², using a load of 50 watts can be generated power at a certain point up to 49.94 watts compared without the tracker toward the sun only reaches the maximum 49.21 watts (at the position almost perpendicular to the direction of the sun) , That is, by using a tracker toward the sun to charge the battery 12 Volt batteries of 100 ampere just in need of time compared to ± 24 hours without using a tracker toward the sun is ± 31.5 hours.

Keywords -- Alternative Energy, Electrical Energy, Maximum Power Point, Tracking sunlight

*Abstrak-- Dalam tugas akhir ini, dilakukan pengujian dan pengukuran alat di lapangan untuk membuktikan keluaran panel surya dengan menggunakan Pelacak arah matahari lebih unggul dalam segi keluaran daya dibandingkan dengan tidak menggunakan Pelacak arah matahari. Di dalam pengujian, penulis membuat *prototype* panel surya dan Pelacak arah matahari sederhana dengan menggunakan arduino uno sebagai otak pengontrol system ini.*

Dari pengujian lapangan matahari cerah dengan radiasi intensitas ± 1000 watt/m², dengan menggunakan beban 50 Watt dapat dihasilkan daya pada titik tertentu hingga mencapai 49.94 Watt dibandingkan tanpa Pelacak arah matahari hanya mencapai paling maksimal 49.21 Watt (pada posisi hampir tegak lurus dengan arah matahari). Artinya, dengan menggunakan Pelacak arah matahari untuk men-charge baterai aki 12 Volt 100 Ampere hanya di perlukan waktu ± 24 jam dibandingkan tanpa menggunakan Pelacak arah matahari yaitu ± 31.5 jam

Kata Kunci -- Energi Alternatif, Energi Listrik, Pelacak arah matahari, Titik Daya Maksimum

I. PENDAHULUAN

Dengan berkembangnya kemajuan ekonomi dan teknologi membuat kebutuhan akan energi listrik juga semakin meningkat. Para peneliti dan ilmuwan khusus pada bidangnya terus menerus mencari sumber energi alternatif untuk mendapatkan energi listrik yang mampu memenuhi kebutuhan. Telah ditemukan sebuah sel surya yang ramah lingkungan dan terbarukan yang mengubah energi surya menjadi energi listrik

yang ketersediaannya tidak terbatas dan akan bertahan lama hingga masa yang akan datang.

Sel surya tersebut telah banyak dijumpai dan dipakai sebagai pemenuhan kebutuhan listrik suatu daerah. tapi permasalahannya adalah, panel surya yang telah terpasang di jalan-jalan ibukota tidak mendapatkan keluaran listrik yang optimal karena panel surya yang dipasang pada posisi tertentu tidak bergerak. Kita misalkan panel surya terpasang menghadap keatas dengan permukaan yang rata. Jika cahaya matahari sebagai input terbit, maka cahaya yang masuk pada panel surya tidak maksimal dibandingkan cahaya matahari pada posisi tegak lurus dengan panel surya yang dipasang, dengan mengurangnya cahaya matahari yang diterima oleh panel surya, maka jelas akan mengurangi energi listrik yang dikeluarkan oleh panel surya tersebut. Untuk itu perlu adanya pengaturan arah panel sel surya agar selalu tegak lurus dengan arah sinar matahari. Pengaturan arah panel sel surya kurang efektif jika dilakukan secara manual oleh manusia. Dengan demikian perlu dibuat sebuah sistem kontrol yang dapat mengatur arah panel sel surya tersebut secara otomatis. Adapun judul dari penulisan ini adalah "*Perancangan panel surya pelacak arah matahari berbasis Arduino Uno*".

II. LANDASAN TEORI

A. Energi dan Daya

Arus listrik adalah banyaknya muatan listrik yang mengalir tiap satuan waktu. Muatan listrik bisa mengalir melalui kabel atau penghantar listrik lainnya. Arah arus listrik yang mengalir dalam suatu konduktor adalah dari potensial tinggi ke potensial rendah (berlawanan arah dengan gerak elektron). Tegangan listrik (kadang disebut sebagai Voltase) adalah perbedaan potensial listrik antara dua titik dalam rangkaian listrik, dan dinyatakan dalam satuan volt. Besaran ini mengukur energi potensial dari sebuah medan listrik yang mengakibatkan adanya aliran listrik dalam sebuah konduktor listrik. Tergantung pada perbedaan potensial listriknya, suatu tegangan listrik dapat dikatakan sebagai ekstra rendah, rendah, tinggi atau ekstra tinggi. Energi Listrik adalah energi akhir yang dibutuhkan bagi peralatan listrik untuk menggerakkan motor, lampu penerangan, memanaskan, mendinginkan ataupun untuk menggerakkan kembali suatu peralatan mekanik untuk menghasilkan bentuk energi yang lain. Energi yang dihasilkan ini dapat berasal dari berbagai sumber misalnya, air, minyak, batu bara, angin, panas bumi, nuklir, matahari dan lainnya. Energi ini besarnya dari beberapa volt sampai ribuan hingga jutaan volt. Jika sebuah sumber tegangan melakukan

usaha dengan mengalirkan arus listrik, maka sumber tegangan itu akan melepaskan energi.

Daya listrik adalah besarnya usaha yang dilakukan oleh sumber tegangan dalam 1 sekon. Jika dalam waktu t sekon sumber tegangan telah melakukan usaha sebesar W , maka daya alat tersebut adalah

$$P = W/t \quad (1)$$

Dengan:

W = Usaha (Joule)

t = Waktu (Sekon)

P = Daya (Joule/Sekon)

1 joule/sekon = 1 watt

Karena $W = VIt$, maka;

$$P = VIt/t \text{ atau } P = VI \quad (2)$$

Dengan:

V = beda potensial (volt)

I = kuat arus yang mengalir (ampere)

P = Daya (watt)

B. Sel Surya

Modul fotovoltaik tersusun dari beberapa sel fotovoltaik yang dihubungkan secara seri dan paralel. Secara sederhana, proses pembentukan gaya gerak listrik (ggl) pada sebuah Modul sel surya adalah sebagai berikut:

- 1) Foton dari cahaya matahari menumbuk panel surya kemudian diserap oleh material semikonduktor seperti silikon
- 2) Elektron (muatan negatif) terlempar keluar dari atomnya, sehingga mengalir melalui material semikonduktor untuk menghasilkan listrik. Muatan positif yang disebut *hole* (lubang) mengalir dengan arah yang berlawanan dengan elektron pada panel surya silikon

Susunan beberapa panel surya mengubah energi surya menjadi sumber daya listrik DC. Perkembangan Sel Surya ditinjau dari lapisan pembentuknya:

Mono-crystalline (Si)

Dibuat dari silikon kristal tunggal yang didapat dari peleburan silikon dalam bentuk bujur. Sekarang *Mono-crystalline* dapat dibuat setebal 200 mikron dengan nilai efisiensi sekitar 24%.

Poly-crystalline atau *Multi-crystalline* (Si)

Dibuat dari peleburan silikon dalam tungku keramik, kemudian pendinginan perlahan untuk mendapatkan bahan campuran silikon yang akan timbul diatas lapisan silikon. Sel ini kurang efektif dibanding dengan sel *polycrystalline* (efektifitas 18%), tetapi biaya lebih murah.

Gallium Arsenide (GaAs)

Sel surya III-V semikonduktor yang sangat efisien sekitar 25%.

Performansi Panel Sel Surya dapat kita lihat dari daya listrik yang dihasilkan. Daya listrik modul Sel Surya adalah sebanding dengan tegangan operasi dan dikalikan dengan arus operasinya. Arus dan tegangan yang dihasilkan panel sel surya berbeda-beda tergantung dari intensitas cahaya yang diterimanya. Karakteristik outputnya dapat dilihat dari kurva performansi arus dan tegangannya gambar 1.

Parameter nilai kurva dalam *Standar Test Conditions* (STC)

1) *Maximum Power Point* (PMP), adalah titik operasi daya maksimum yang dihasilkan oleh Panel Sel Surya saat kondisi operasional. V_{mp} dan I_{mp} diukur pada saat Panel Sel Surya diberi beban pada suhu 25°C atau 77°F dengan radiasi 1000w/m² (satu matahari puncak dibagi one peak sun hour).

2) *Open Circuit Voltage* (Voc), adalah pengukuran tegangan keluarnya maksimum pada rangkaian terbuka tanpa beban dengan besar nilai arus = nol ($I = 0$). Dapat diukur dilapangan dalam berbagai macam keadaan pada pagi hari atau sore hari.

3) *Short Circuit Current* (Isc), adalah arus keluaran maksimum pada rangkaian tertutup tanpa beban dengan besar nilai tegangan = nol ($V = 0$).

Pengoperasian maximum Sel Surya sangat tergantung pada:

Suhu lingkungan (air temperature)

Sebuah Sel Surya dapat beroperasi secara maximum jika suhu elemen sel surya normal (25°C), hubungan antara suhu lingkungan dengan suhu normal elemen sel surya adalah berbanding terbalik. Setiap kenaikan suhu pada elemen sebesar 1°C terhadap suhu normal maka daya yang dihasilkan elemen akan berkurang ±0.4% atau akan melemah 2x lipat untuk kenaikan temperatur sel @10°C

Radiasi Matahari

Radiasi matahari di bumi dan di berbagai lokasi bervariasi, faktor ini akan banyak berpengaruh pada besar nilai arus daripada besar nilai tegangan elemen sel surya.

Kecepatan angin bertiup

Kecepatan tiup angin disekitar lokasi elemen sel surya dapat membantu mendinginkan permukaan temperatur kaca-kaca elemen tersebut.

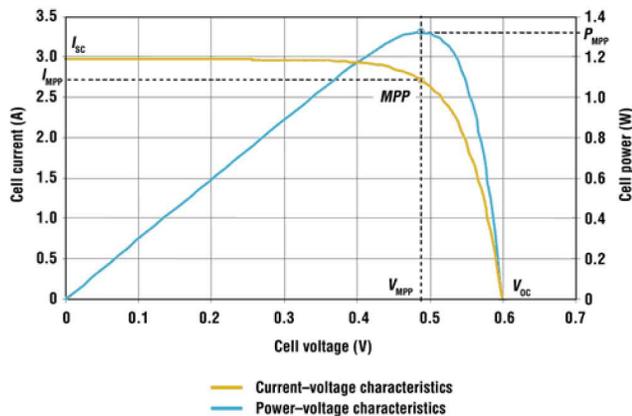
Letak Elemen

Posisi letak elemen sel surya terhadap sudut kemiringan matahari (*tilt angle*).

C. Karakteristik Sel Surya

Sel surya menghasilkan arus yang beragam tergantung pada tegangan sel surya. Karakteristik tegangan-arus biasanya menunjukkan hubungan tersebut. Ketika tegangan sel surya sama dengan nol atau digambarkan sebagai “sel surya hubung pendek”, “arus rangkaian pendek” atau *Isc* (*short circuit current*), yang sebanding dengan irradiansi terhadap sel surya dapat diukur. Nilai *Isc* naik dengan meningkatnya temperatur, meskipun temperatur standar yang tercatat untuk arus rangkaian pendek adalah 25°C. Jika arus sel surya sama dengan nol, sel surya tersebut digambarkan sebagai “rangkaiannya terbuka”. Tegangan sel surya kemudian menjadi “tegangan rangkaian terbuka”, *Voc* (*Open Circuit Voltage*). Oleh sebab itu, daya maksimum sel surya dan efisiensi sel surya menurun dengan peningkatan temperatur. Pada kebanyakan sel surya, peningkatan temperatur dari 25°C mengakibatkan penurunan daya sekitar 10%.

Sel surya menghasilkan daya maksimumnya pada tegangan tertentu. Gambar 1 menunjukkan tegangan arus dan karakteristik tegangan-daya.



Gambar 1. Grafik arus terhadap tegangan dan daya terhadap tegangan sebagai karakteristik sel surya (Quashning, 2004)

Gambar 1 menunjukkan dengan jelas bahwa kurva daya memiliki titik datitik daya maksimum yang disebut MPP (*Maximum Power Point*). Tegangan titik daya maksimum (V_{mpp}) biasanya kurang dari tegangan rangkaian terbuka dan arusnya (I_{mpp}) lebih rendah dibandingkan dengan arus rangkaian pendek. Efisiensi sel surya (η) adalah perbandingan antara daya listrik maksimum sel surya dengan daya pancaran (*radiant*) pada bidang sel surya.

$$\eta = \frac{I_{mpp} \times V_{mpp}}{(Intensitas\ Cahaya)(Luas\ Panel)} \times 100\% \quad (3)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} I_{mpp} &= \text{Arus maksimum} \\ V_{mpp} &= \text{Tegangan maksimum} \end{aligned}$$

D. Radiasi Harian Matahari pada Permukaan Bumi

Radiasi matahari yang tersedia diluar atmosfer bumi atau sering disebut konstanta radiasi matahari sebesar 1353 W/m^2 dikurangi intensitasnya oleh penyerapan dan pemantulan oleh atmosfer sebelum mencapai permukaan bumi. Ozon di atmosfer menyerap radiasi dengan panjang gelombang pendek (ultraviolet) sedangkan karbon dioksida dan uap air menyerap sebagian radiasi dengan panjang gelombang yang lebih panjang (inframerah). Selain pengurangan radiasi bumi yang langsung atau sorotan oleh penyerapan tersebut, masih ada radiasi yang dipancarkan oleh molekul-molekul gas, debu dan uap air dalam atmosfer sebelum mencapai bumi yang disebut radiasi sebaran (Jansen, 1995).

Dengan adanya faktor-faktor diatas menyebabkan radiasi yang diterima permukaan bumi memiliki intensitas yang berbeda-beda setiap saat. Besarnya radiasi haria yang diterima permukaan bumi. Pada waktu pagi dan sore radiasi yang sampai permukaan bumi intensitasnya kecil. Hali ini disebabkan arah sinar matahari tidak tegak lurus dengan permukaan bumi (membentuk sudut tertentu) sehingga sinar matahari mengalami peristiwa difusi oleh atmosfer bumi.

E. Arduino Uno

Sebuah *code* program Arduino umumnya disebut dengan istilah *sketch*. Kata *sketch* digunakan secara bergantian dengan “kode program” di mana keduanya memiliki arti yang sama.

```

Blink | Arduino 1.6.0
File Edit Sketch Tools Help

Blink

/*
 * Blink
 * Turns on an LED on for one second, then off for one second, repeatedly.
 *
 * Most Arduinos have an on-board LED you can control. On the Uno and
 * Leonardo, it is attached to digital pin 13. If you're unsure what
 * pin the on-board LED is connected to on your Arduino model, check
 * the documentation at http://arduino.cc
 *
 * This example code is in the public domain.
 *
 * modified 8 May 2014
 * by Scott Fitzgerald
 */

// the setup function runs once when you press reset or power the board
void setup() {
  // initialize digital pin 13 as an output.
  pinMode(13, OUTPUT);
}

// the loop function runs over and over again forever
void loop() {
  digitalWrite(13, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
  delay(1000);           // wait for a second
  digitalWrite(13, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW
  delay(1000);           // wait for a second
}

```

Gambar 2. Contoh tampilan IDE arduino

Gambar 2 adalah contoh tampilan IDE Arduino dengan sebuah *sketch* yang sedang diedit. Pembuatan *prototype* atau *prototyping* adalah kegiatan yang sangat penting di dalam proses *physical computing* karena pada tahap inilah seorang perancang melakukan eksperimen dan uji coba dari berbagai jenis komponen, ukuran, parameter, program komputer dan sebagainya berulang-ulang kali sampai diperoleh kombinasi yang paling tepat. Dalam hal ini perhitungan angka-angka dan rumus yang akurat bukanlah satu-satunya faktor yang menjadi kunci sukses di dalam mendesain sebuah alat karena ada banyak faktor eksternal yang turut berperan, sehingga proses mencoba dan menemukan/mengoreksi kesalahan perlu melibatkan hal-hal yang sifatnya non-eksakta. *Prototyping* adalah gabungan antara akurasi perhitungan dan seni. Proses *prototyping* bisa menjadi sebuah kegiatan yang menyenangkan atau menyebalkan, itu tergantung bagaimana kita melakukannya. Misalnya jika untuk mengganti sebuah komponen, merubah ukurannya atau merombak kerja sebuah *prototype* dibutuhkan usaha yang besar dan waktu yang lama, mungkin *prototyping* akan sangat melelahkan karena pekerjaan ini dapat dilakukan berulang-ulang sampai puluhan kali – bayangkan betapa frustasinya perancang yang harus melakukan itu. Idealnya sebuah *prototype* adalah sebuah sistem yang fleksibel dimana perancang bisa dengan mudah dan cepat melakukan perubahan-perubahan dan mencobanya lagi sehingga tenaga dan waktu tidak menjadi kendala berarti. Dengan demikian harus ada sebuah alat pengembangan yang membuat proses *prototyping* menjadi mudah. Sehubungan dengan pembahasan untuk saat ini *software* Arduino yang akan digunakan adalah *driver* dan IDE, walaupun masih ada beberapa *software* lain yang sangat berguna selama pengembangan Arduino. IDE Arduino adalah *software* yang sangat canggih ditulis dengan menggunakan Java.

F. Rangkaian Rectifier

Hampir semua peralatan elektronik memerlukan sumber tegangan searah untuk dapat bekerja. Alat-alat elektronik dengan daya yang relatif kecil dapat menggunakan batere atau aki. Tetapi untuk peralatan yang relatif memerlukan daya besar lebih baik digunakan sumber tegangan yang berasal dari PLN. Mengingat listrik dari PLN bolak-balik tentu saja memerlukan rangkaian penyearah. Komponen elektronik yang berfungsi sebagai penyearah tadi adalah dioda. Dioda mempunyai sifat dapat menghantarkan arus listrik hanya pada satu arah. Apabila kaki anoda (A) dihubungkan dengan kutub positif dan kaki katoda (K) dihubungkan dengan kutub negatif dari suatu sumber tegangan dc (atau tegangan A lebih positif dari pada tegangan K), maka arus dapat mengalir dan pada keadaan yang demikian dikatakan dioda terpanjar maju (*forward bias*).

Pada pemasangan yang sebaliknya, anoda dihubungkan dengan kutub negatif sedangkan katoda dengan kutub positif, maka arus tidak dapat mengalir asalkan tidak melebihi batas tegangan dadalnya. Pemasangan yang demikian dikatakan dioda terpanjar mundur (*reverse bias*). Apabila sebuah dioda dipasang pada sumber tegangan bolak-balik, misalnya PLN (setelah melewati transformator *step-down*), maka oleh dioda tegangan itu akan diubah menjadi tegangan searah. Dari 0 sampai dengan π arus dapat diteruskan karena pada saat itu dioda terpanjar maju. Tetapi dari π hingga 2π dioda terpanjar mundur, oleh karenanya arus tidak dapat mengalir. Rangkaian yang demikian tadi disebut sebagai rangkaian penyearah gelombang setengah (*half wave rectifier*). Jika masukannya (V_i) sebagai gelombang sinus, maka keluarannya dapat dituliskan:

$$V_o = V_m \sin \omega t \text{ untuk } 0 < \omega t < \pi \tag{4}$$

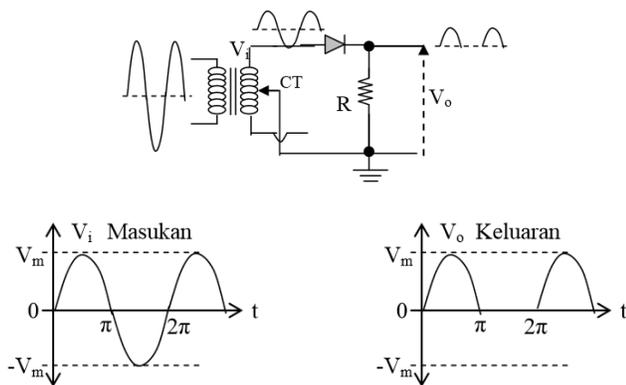
$$V_o = 0 \text{ untuk } \pi < \omega t < 2\pi \tag{5}$$

Dimana:

V_o = Tegangan Keluaran

V_m = Tegangan Maksimum

Suatu voltmeter dc analog dibuat sedemikian hingga simpangan jarumnya menunjukkan tegangan reratanya saja untuk masukan yang berupa gelombang sinus.



Gambar 3. Rangkaian penyearah setengah gelombang dan bentuk keluarannya

dengan demikian tegangan yang terbaca pada voltmeter dc adalah :

$$V_{dc} = V_m / \pi = V_{rerata} \tag{6}$$

Dimana:

V_{dc} = Tegangan dc

V_{rerata} = Tegangan rerata

(resistansi transformator dan dioda diabaikan).

Sedangkan voltmeter ac analog mengukur tegangan rms (harga efektifnya) pada ujung-ujung sebelum disearahkan, dan tegangan yang terbaca adalah :

$$V_{ac} = V_m / \sqrt{2} = V_{eff} \tag{7}$$

Dimana:

V_{ac} = Tegangan ac

V_{eff} = Tegangan efektif

Penyearah yang sedikit lebih baik menggunakan dua buah dioda. Rangkaian ini dapat dipikirkan sebagai dua rangkaian penyearah gelombang setengah yang bekerja secara bergantian. Jika ujung-ujung keluarannya dihubungkan dengan voltmeter dc, maka jarum voltmeter yang menunjukkan tegangan reratanya akan berharga :

$$V_{dc} = 2V_m / \pi = V_{rerata} \tag{8}$$

(resistansi dari transformator dan dioda diabaikan).

Tegangan keluaran yang dihasilkan oleh kedua rangkaian penyearah di atas belum rata, tetapi masih berbentuk gelombang sinus yang selalu positif (searah). Untuk mendapatkan tegangan keluaran yang lebih rata diperlukan suatu tapis (*filter*). Tapis yang paling sederhana adalah sebuah kapasitor yang dipasang paralel dengan ujung-ujung keluarannya. Ingat untuk kapasitor berkutub cara pemasangannya jangan sampai terbalik.

Mengingat sifat kapasitor (C) yang dapat diisi muatan maupun dikosongkan, dengan terpasangnya C, tegangan keluaran (V_o) tidak segera turun meskipun tegangan masukan (V_i) sudah turun. Ini dikarenakan kapasitor memerlukan waktu untuk mengosongkan muatannya. Sebelum tegangan kapasitor turun ke nol, tegangan kapasitor tersebut segera naik lagi oleh tegangan masukan. Dengan demikian sekecil apapun, tegangan keluaran belum rata sempurna, tetapi masih terdapat riak (*ripple*). Besar riak dinyatakan sebagai tegangan riak (V_r) yang besarnya dapat dibuktikan secara teoritis sebagai :

$$V_r = V_m / fRLC \text{ (Untuk penyearah gelombang setengah)} \tag{9}$$

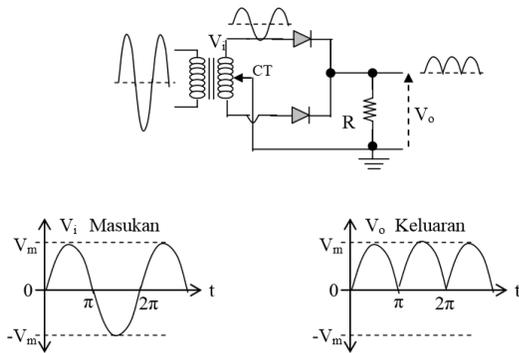
$$V_r = V_m / 2 fRLC \text{ (Untuk penyearah gelombang penuh)} \tag{10}$$

Dimana:

V_r = Tegangan riak

f = frekuensi

V_m = Tegangan maksimum



Gambar 4. Rangkaian penyearah gelombang penuh dan bentuk keluarannya

Tampak bahwa tegangan riak (V_r) makin kecil untuk nilai C yang semakin besar. Setelah melalui tapis, tegangan dc (V_{dc}) pada keluarannya dapat ditentukan, diukur ataupun dihitung. Besar tegangan dc tersebut tergantung pada RL , C , V_m , dan f . Dari gambar 4 dapat ditentukan :

$$V_{dc} = V_m - \frac{1}{2} V_r \tag{11}$$

Ada beberapa besaran yang menunjukkan kualitas suatu penyearah dan 2 (dua) di antaranya adalah faktor riak (r) dan regulasi tegangan (R) yang masing-masing didefinisikan sebagai berikut :

$$r = \frac{V_{r,rms}}{V_{dc}}$$

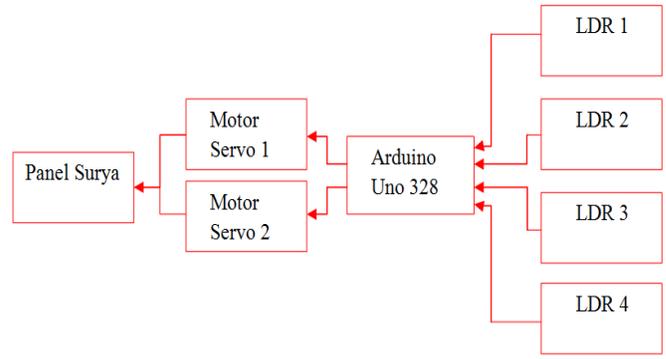
$$R = \frac{V_o(\tan\alpha - R_L) - V_o(dengan - R_L)}{V_o(dengan - R_L)} \tag{12}$$

III. METODE PENELITIAN

A. Sistem Panel Surya Pelacak Arah Matahari

Suatu sistem kontrol memerlukan mekanisme pengolahan algoritma. Pengolahan algoritma sistem kontrol bisa diselesaikan dengan komputer, mikrokontroler dan alat lain. Pengolah algoritma yang berkembang pesat saat ini adalah mikrokontroler. Mikrokontroler merupakan suatu terobosan teknologi mikroprosesor dan mikrokomputer yang hanya membutuhkan ruang kecil serta dapat diproduksi secara massal. Dan sistem ini bergantung erat pada mikrokontroler yang digunakan.

Dengan adanya sinar matahari yang mengenai permukaan LDR yang akan mengaktifkan sistem pada mikrokontroler yang mana komputer pribadi telah membuat program yang kemudian diupload ke mikrokontroler kemudian mikrokontroler mengirimkan sinyal kepada motor servo untuk menggerakkan panel sel surya sesuai program yang dibuat.



Gambar 5. Skema rancangan alat sistem pelacak panel sel surya

Tapi terlebih dahulu telah dibuat suatu sistem yang diprogram khusus dengan menggunakan bahasa pemrograman bahasa C yang komunikasinya dilakukan pada personal computer. Setelah itu, Arduino uno yang telah menerima program tersebut secara otomatis membaca perbandingan tahanan yang disinari dan yang tidak di sinari pada permukaan sensor ke empat LDR tersebut dan diolah untuk menggerakkan motor servo 1 dan motor servo 2 secara searah jarum jam atau berlawanan arah jarum jam. Gambar 5 menunjukkan skema rancangan alat system pelacak panel sel surya

B. Pengujian Pengaruh sudut Cahaya Matahari yang datang terhadap Keluaran Sel Surya

Pada penelitian ini pertama dilakukan adalah pengujian pengaruh sudut cahaya matahari yang datang terhadap keluaran sel surya. Hal ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh sudut cahaya matahari yang datang terhadap keluaran sel surya dan juga seberapa besar pengaruh sudut tersebut dapat diabaikan. Dengan melakukan pengujian ini, dapat dikumpulkan data yang diperlukan dimana data-data tersebut akan dianalisa menjadi perbandingan antara keluaran panel surya dengan posisi matahari tegak lurus dan dengan posisi matahari miring. Pengujian ini dilakukan dengan cara memposisikan panel sel surya tegak lurus dengan arah cahaya matahari yang datang mengenai permukaan panel sel surya dan dengan cara memposisikan panel sel surya miring dengan arah cahaya matahari yang datang mengenai permukaan panel sel surya.

Pemasangan sebuah panel surya dengan posisi tegak lurus terhadap arah sinar matahari dilakukan untuk mengetahui keluaran maksimum panel sel surya, sedangkan untuk mengetahui pengaruh arah sinar matahari terhadap keluaran panel dilakukan dengan merubah arah panel sel surya tiap 10° hingga mencapai 60° terhadap sudut datang matahari. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan perbedaan keluaran tegangan antara panel sel surya yang selalu tegak lurus dengan arah cahaya matahari dengan keluaran tegangan panel surya yang tidak mengikuti arah cahaya matahari. Dari langkah-langkah tersebut dapat diketahui pengaruh arah sinar matahari terhadap keluaran panel sel surya.

Port USB tersebut selain untuk loader ketika memprogram, bisa juga difungsikan sebagai port komunikasi serial. Arduino menyediakan 20 pin I/O, yang terdiri dari 6 pin input analog dan 14 pin digital input/output. Untuk 6 pin analog sendiri bisa juga difungsikan sebagai output digital jika diperlukan output digital tambahan selain 14 pin yang sudah tersedia. Untuk mengubah pin analog menjadi digital cukup mengubah konfigurasi pin pada program. Dalam board kita bisa lihat pin digital diberi keterangan 0-13, jadi untuk menggunakan pin analog menjadi output digital, pin analog yang pada keterangan board 0-5 kita ubah menjadi pin 14-19. dengan kata lain pin analog 0-5 berfungsi juga sebagai pin output digital 14-16.

Sifat *open source* arduino juga banyak memberikan keuntungan tersendiri untuk kita dalam menggunakan board ini, karena dengan sifat open source komponen yang kita pakai tidak hanya tergantung pada satu merek, namun memungkinkan kita bisa memakai semua komponen yang ada dipasaran.

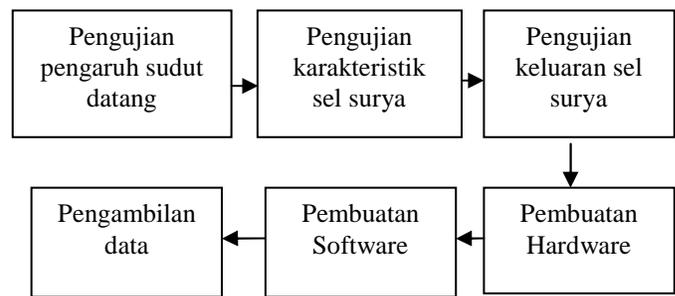
Bahasa pemrograman arduino merupakan bahasa C yang sudah disederhanakan syntax bahasa pemrogramannya sehingga mempermudah kita dalam mempelajari dan mendalami mikrokontroler. Arduino dapat diberikan power melalui koneksi USB atau *power supply*. Powernya diselek secara otomatis. *Power supply* dapat menggunakan adaptor DC atau baterai. Adaptor dapat dikoneksikan dengan mencolok jack adaptor pada koneksi port input *supply*. *Board* arduino dapat dioperasikan menggunakan *supply* dari luar sebesar 6 - 20 volt. Jika *supply* kurang dari 7V, kadangkala pin 5V akan menyuplai kurang dari 5 volt dan *board* bisa menjadi tidak stabil. Jika menggunakan lebih dari 12 V, tegangan di regulator bisa menjadi sangat panas dan menyebabkan kerusakan pada board.

C. Diagram Alir (Flow Chart)

Secara garis besar diagram alir program utama sistem pelacak ini dapat dilihat pada gambar 9.

D. Prosedur Penelitian

Langkah kerja dalam melakukan pengujian harus dipertimbangkan sebagai penentu untuk mendapatkan data-data yang diperlukan demi memenuhi tujuan-tujuan utama pada penelitian perbandingan tegangan keluaran dengan *solar tracker* dan tanpa *solar tracker*. Gambaran umum langkah-langkah kerja dalam penelitian ini dapat dilihat dalam diagram blok pada Gambar 6 setelah mendapatkan hasil pengujian pengaruh sudut datang matahari, kita dapat melakukan pengujian karakteristik sel surya, dimana, dari hasil pengujian keluaran sel surya dapat mengambil pola bentuk perangkat keras (*Hardware*) yang bisa di gambarkan sebagai pendukung perancangan *solar tracker* nantinya. Setelah pembuatan *Hardware* dapat dipenuhi, maka dapat dibuatlah *software* untuk membantu pemenuhan tujuan *solar tracker*. Dari semua pengujian dan pembuatan pemenuhan langkah kerja, maka dapat diambil data-data perbandingan keluaran tegangan tanpa *solar tracker* dan dengan *solar tracker*.



Gambar 6. Diagram blok langkah-langkah penelitian

E. Pembuatan Perangkat Keras

Berdasarkan konstruksi *solar tracker* dijelaskan terdapat 3 lapisan baja. Panel surya diletakkan pada lapisan baja pertama atau lapisan baja teratas yang dipasangkan motor servo yang telah diprogram untuk bergerak secara vertikal dan motor servo ini diletakkan di sebelah kiri panel, sedangkan pada sisi sebaliknya digunakan *bearing* untuk mengikuti arah putaran motor vertikal. Untuk sisi lain panel surya terdapat sensor cahaya yang akan memberikan sinyal pada mikrokontroler untuk menggerakkan panel surya berdasarkan arah cahaya matahari yang mengenai permukaan sensor. Kemudian, ditambahkan lapisan baja kedua atau lapisan baja tengah yang dimana pada bagian bawah lapisan ini telah dipasangkan motor servo yang diprogram untuk bergerak secara horizontal. Motor servo ini diletakkan tepat dititik seimbang lapisan baja kedua. Sedangkan *body* motor servo diletakkan pada lapisan baja ketiga atau lapisan baja terbawah yang telah dipahat sesuai ukuran *body* motor servo agar tidak ikut bergeser dari titik seimbang saat motor beroperasi. Ditambahkan roda sebanyak 4 buah pada bagian bawah lapisan baja kedua agar dapat membantu perputaran motor servo horizontal untuk tetap berada pada posisi yang seimbang. Bentuk skematik sistem pelacak panel sel surya dapat dilihat pada gambar 10.

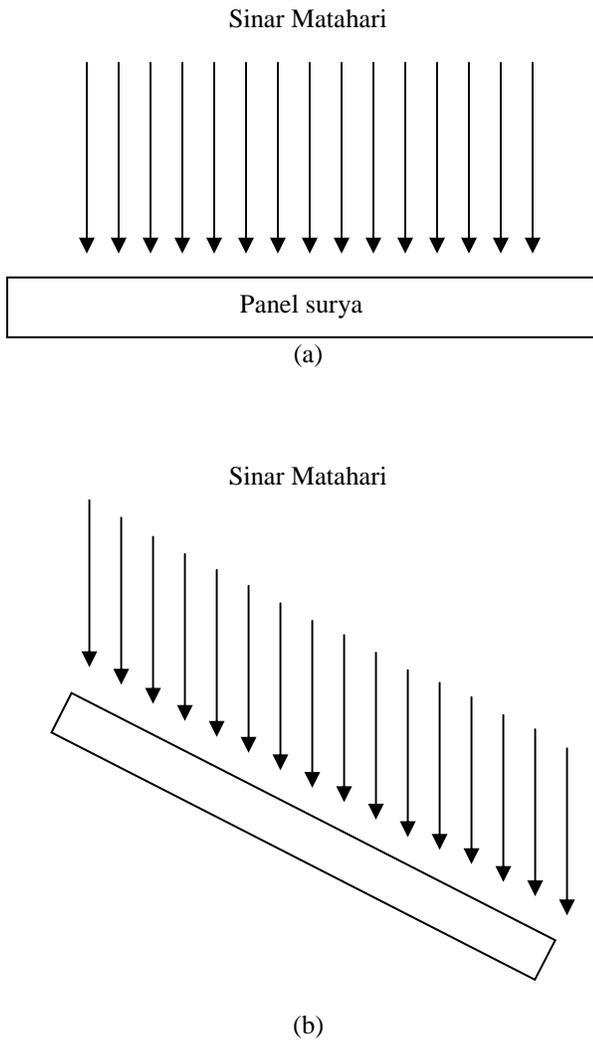
F. Arduino Uno

Arduino adalah sebuah board mikrokontroler yang berbasis ATmega328. Arduino memiliki 14 pin input/output yang mana 6 pin dapat digunakan sebagai output PWM, 6 analog input, crystal osilator 16 MHz, koneksi USB, jack power, kepala ICSP, dan tombol reset. Arduino mampu *support* mikrokontroler; dapat dikoneksikan dengan komputer menggunakan kabel USB.

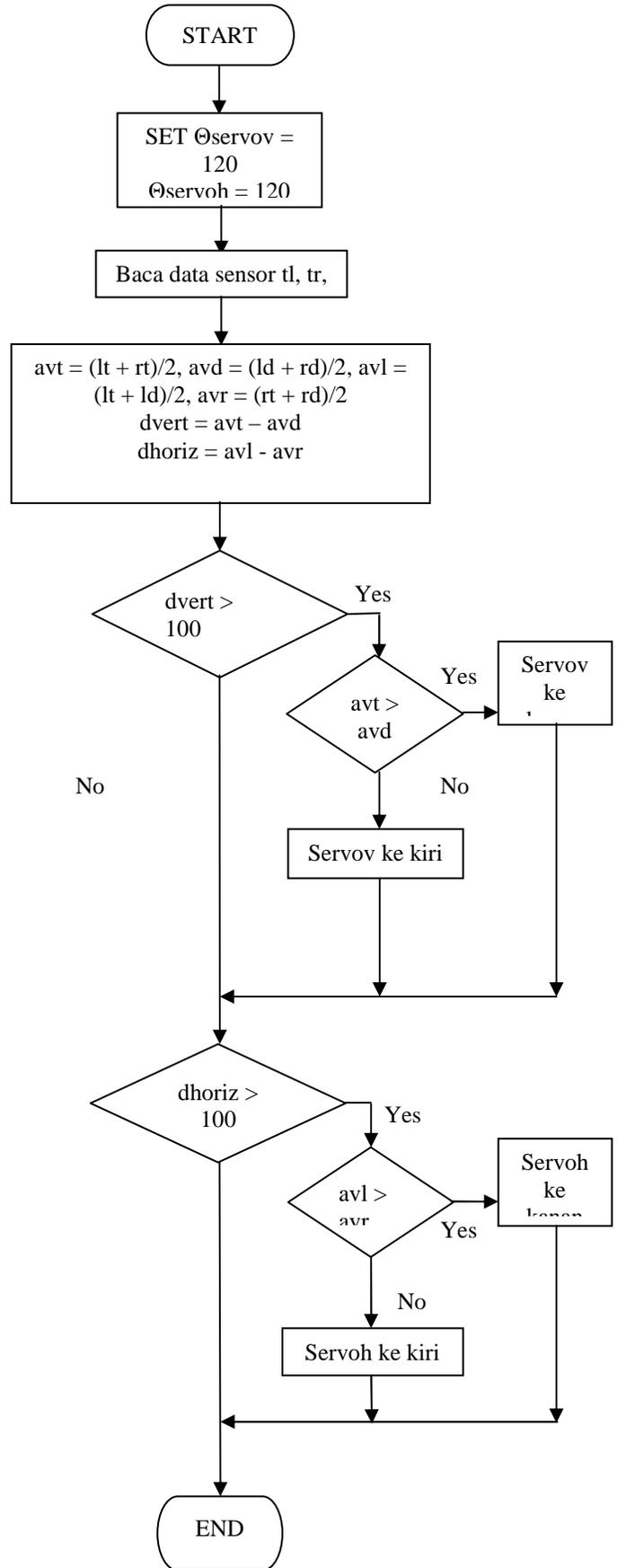
Arduino adalah merupakan sebuah board minimum system mikrokontroler yang bersifat open source. Didalam rangkaian board arduino terdapat mikrokontroler AVR seri ATmega 328 yang merupakan produk dari Atmel. Arduino memiliki kelebihan tersendiri disbanding board mikrokontroler yang lain selain bersifat open source, arduino juga mempunyai bahasa pemrogramannya sendiri yang berupa bahasa C. Selain itu dalam board arduino sendiri sudah terdapat loader yang berupa USB sehingga memudahkan kita ketika kita memprogram mikrokontroler didalam arduino. Sedangkan pada kebanyakan board mikrokontroler yang lain yang masih membutuhkan rangkaian loader terpisah untuk memasukkan program ketika kita memprogram mikrokontroler.



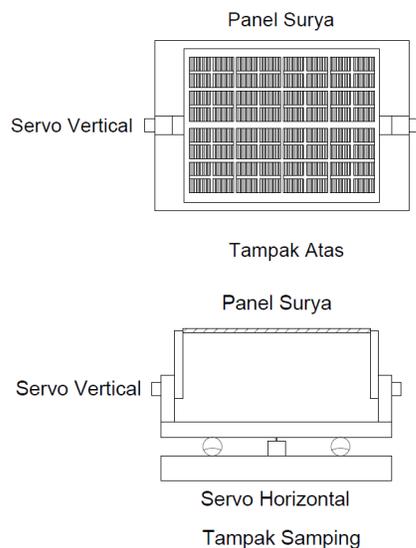
Gambar 7. Gambar Rangkaian nyata Mikrokontroler ATmega328 (Arduino Uno)



Gambar 8. Pengujian pengaruh arah sudut matahari terhadap keluaran sel surya (a) arah sinar tegak lurus panel (b) arah sinar membentuk sudut tertentu



Gambar 9. Tampilan monitoring closing MCCB deskripsi kerja manual



Gambar 10. Skematik Sistem Pelacak Panel Sel Surya

G. Light Dependent Resistor (LDR)

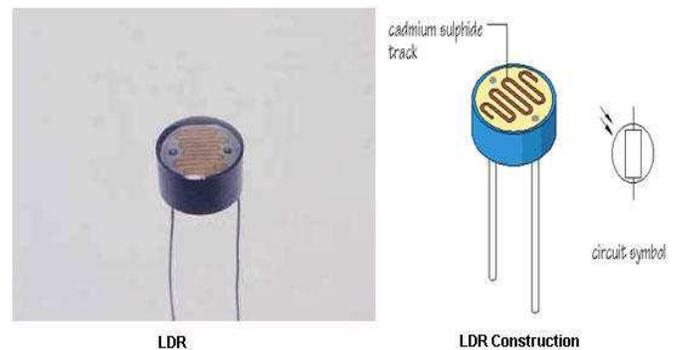
LDR (*Light Dependent Resistor*) adalah komponen elektronika yang pada dasarnya mempunyai sifat yang sama dengan resistor, hanya saja nilai resistansi dari LDR berubah-ubah sesuai dengan tingkat intensitas cahaya yang diterimanya. LDR merupakan sensor yang bekerja apabila terkena cahaya. LDR memiliki hambatan yang sangat tinggi jika tidak terkena cahaya dan memiliki hambatan yang sangat kecil jika terkena cahaya. Dari pengujian resistansi LDR, nilai resistansinya bisa mencapai 50Ω (ohm) dan batas resistansi tertinggi tak terhingga dalam *data sheet* resistansi LDR bisa mencapai lebih dari $1 \text{ M}\Omega$. LDR yang memiliki hambatan tinggi saat cahaya kurang bisa mencapai $1 \text{ M}\Omega$, akan tetapi saat LDR terkena cahaya hambatan LDR akan turun drastis hingga mencapai $1,5 \Omega - 0$. (Suleman, 2010). Berikut ini adalah gambar rangkaian sensor cahaya LDR.

H. Motor DC Servo

Motor servo adalah sebuah motor dengan sistem umpan balik tertutup di mana posisi dari motor akan diinformasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada di dalam motor servo. Motor servo merupakan salah satu jenis motor DC. Berbeda dengan motor stepper, motor servo beroperasi secara *close loop*. Poros motor dihubungkan dengan rangkaian kendali, sehingga jika putaran poros belum sampai pada posisi yang diperintahkan maka rangkaian kendali akan terus mengoreksi posisi hingga mencapai posisi yang diperintahkan. Motor servo banyak digunakan pada peranti R/C (*remote control*) seperti mobil, pesawat, helikopter, dan kapal, serta sebagai aktuator robot maupun penggerak pada kamera.

Spesifikasi:

Berat	: 55g
Dimensi	: 40.7 x 19.7 x 42.9 mm
Torka	: 9.4 kgf.cm (4.8V), 11 kgf.cm (6V)
Kecepatan Operasi	: 0.17 s/60° (4.8V), 0.14 s/60° (6V)
Tegangan Operasi	: 4.8V sampai 7.2V
Arus Operasi	: 500mA – 900mA (6V)
Arus Maksimum	: 2.5A (6V)
Temperatur	: 0 °C – 55 °C



Gambar 11. Light Dependent Resistor (LDR)

IV. DATA PENGAMATAN DAN ANALISA DATA

A. Umum

Bab ini membahas mengenai hasil pengujian dan pembahasan pada sistem secara keseluruhan untuk membandingkan tegangan keluaran panel surya tanpa menggunakan pelacak arah matahari (*Solar Tracker*) dan tegangan keluaran panel surya dengan menggunakan pelacak arah matahari berdasarkan pengujian di lapangan dan analisa pada rangkaian-rangkaian pembentuk sistem seperti Modul Sel Surya (*PV Module*), LDR Sensor, Arduino Uno 328 dan Motor Servo.

B. Pengujian Rangkaian Pada Alat

Pengujian Sel Surya yang digunakan pada sistem ini jenis *Array PV* dengan Model eS50236-PCM, merk 'Himawari', tipe polikristalin jumlah sel sebanyak 144 buah dengan kombinasi rangkaian penguat arus (dihubungkan secara paralel) dan tegangan (dihubungkan secara seri). Modul ini dibuat oleh Chinayard Co., LTD, dan didistribusikan di indonesia oleh PT. Citrakaton Dwitama.

Pmp	=	<i>Power Maximum Point</i> (titik puncak maksimum kerja daya)
Isc	=	<i>Current Short Circuit</i> (Arus hubung singkat)
Imp	=	<i>Current Maximum point</i> (titik puncak maksimum kerja arus)
Voc	=	<i>Voltage Open Circuit</i> (Tegangan rangkaian terbuka)
Vmp	=	<i>Voltage Maximum Point</i> (titik puncak maksimum Tegangan)

(Mp = *maximum point* = titik puncak maksimum kerja

Sc = *short circuit* = rangkaian hubung singkat

Oc = *open circuit* = rangkaian terbuka

Arus rangkaian pendek atau *ISC (short circuit current)* terjadi pada saat tegangan sel surya sama dengan nol. Besarnya nilai *Isc* pada pengukuran ini adalah 1.5 Ampere . Tegangan rangkaian terbuka atau *Voc (open circuit voltage)* terjadi pada saat arus sel surya sama dengan nol. Besarnya nilai *Voc* pada pengukuran ini adalah 10.16. Pada pengujian ini intensitas cahaya yang mengenai panel adalah 85 Watt/m^2 yang dihasilkan dari 2 buah bohlam 100 watt.

TABEL I. PENGUKURAN KARAKTERISTIK ARUS-TEGANGAN

Arus	Tegangan	Daya
1.5	0.1	0.15
1.45	3	4.35
1.4	6	8.4
1.34	8.28	11.0952
1.3	8.5	11.05
1.25	8.7	10.875
1.15	8.8	10.12
1	8.9	8.9
0.85	9	7.65
0.75	9.1	6.825
0.65	9.2	5.98
0.5	9.3	4.65
0.35	9.4	3.29
0.25	9.65	2.4125
0.15	9.8	1.47
0.1	9.9	0.99
0	10.16	0

Nilai titik daya maksimum (Pmp) adalah

$$\begin{aligned} P_{mp} &= V_{mp} \times I_{mp} \\ &= 8.28 \times 1.34 \\ &= 11.09 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan didapatkan efisiensi panel sel surya adalah

$$\eta = \frac{I_{mp} \times V_{mp}}{(Intensitas\ Cahaya)(Luas\ Panel)} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{1.34 \times 8.28}{200 \times 0.425} \times 100\%$$

$$\eta = 13.04 \%$$

Pengujian ini (Tabel I) dilakukan untuk mencari tahu nilai titik daya maksimum keluaran panel surya guna untuk mengetahui karakteristik arus-tegangan keluaran panel surya yang digunakan. Pengujian ini dilakukan dengan merubah nilai beban.

Dan dengan melakukan pengujian karakteristik arus-tegangan, kita juga dapat menghitung efisiensi panel surya tersebut pada keadaan diam (tanpa *solar tracking system*)

TABEL II. PENGUJIAN MODUL SEL SURYA PADA SAAT TIDAK ADA BEBAN DAN TANPA MENGGUNAKAN SOLAR TRACKER HARI PERTAMA

No	Waktu	Suhu (°C)	Tegangan Open Circuit (Voc)
1	9.00	28	20.46
2	9.30	28	19.88
3	10.00	28	19.65
4	10.30	28	19.67
5	11.00	29	19.69
6	11.30	29	19.60
7	12.00	29	19.44
8	12.30	30	19.59
9	13.00	30	19.83
10	13.30	29	19.83
11	14.00	29	19.11

TABEL III. PENGUJIAN MODUL SEL SURYA PADA SAAT TIDAK ADA BEBAN DAN TANPA MENGGUNAKAN SOLAR TRACKER HARI KEDUA

No	Waktu	Suhu (°C)	Tegangan Open Circuit (Voc)
1	9.00	26	20.00
2	9.30	26	19.50
3	10.00	27	19.55
4	10.30	26	19.52
5	11.00	26	19.51
6	11.30	27	19.55
7	12.00	27	19.54
8	12.30	28	19.59
9	13.00	28	19.83
10	13.30	28	19.82
11	14.00	28	19.10

Pengujian Tabel II sampai dengan Tabel XIII dilakukan berurutan dari hari pertama hingga hari ketiga untuk mendapatkan perbandingan antara besar nilai-nilai tegangan keluaran (hasil konversi energi modul *solar* sel) terhadap luas permukaan elemen modul *solar* sel penerima dan perbandingan antara besar nilai-nilai tegangan keluaran terhadap suhu saat pengukuran selama 3 hari pada *solar* sel dan waktu yang sama dengan suhu yang berbeda.

TABEL IV. PENGUJIAN MODUL SEL SURYA PADA SAAT TIDAK ADA BEBAN DAN TANPA MENGGUNAKAN *SOLAR TRACKER* HARI KETIGA

No	Waktu	Suhu (°)	Tegangan Open Circuit (Voc)
1	9.00	28	20.46
2	9.30	28	20.22
3	10.00	28	20.00
4	10.30	29	20.00
5	11.00	30	19.79
6	11.30	31	19.60
7	12.00	31	19.59
8	12.30	31	19.59
9	13.00	31	19.88
10	13.30	31	19.88
11	14.00	31	19.11

TABEL VI. PENGUJIAN MODUL SEL SURYA PADA SAAT BERBEBAN DAN TANPA MENGGUNAKAN *SOLAR TRACKER* HARI KEDUA

No	Waktu	Tegangan (V)	Arus (I)	Daya (W)
1	9.00	10.8	0.66	7.13
2	9.30	10.9	0.66	7.19
3	10.00	12.7	1.9	24.13
4	10.30	12.0	1.5	18.00
5	11.00	12.2	1.54	18.79
6	11.30	12.7	2.05	26.04
7	12.00	12.7	2.05	26.04
8	12.30	14.45	2.10	30.35
9	13.00	14.45	2.10	30.35
10	13.30	14.45	2.10	30.35
11	14.00	10.5	1.2	12.60

TABEL V. PENGUJIAN MODUL SEL SURYA PADA SAAT BERBEBAN DAN TANPA MENGGUNAKAN *SOLAR TRACKER* HARI PERTAMA

No	Waktu	Tegangan (V)	Arus (I)	Daya (W)
1	9.00	11.6	0.86	9.98
2	9.30	15.15	2.12	32.12
3	10.00	16.7	2.2	36.74
4	10.30	16.92	2.75	46.53
5	11.00	17	2.79	47.43
6	11.30	17.4	2.8	48.72
7	12.00	17.45	2.82	49.21
8	12.30	17.45	2.82	49.21
9	13.00	17.45	2.82	49.21
10	13.30	15.15	2.12	32.12
11	14.00	11.2	1.4	15.68

TABEL VII. PENGUJIAN MODUL SEL SURYA PADA SAAT BERBEBAN DAN TANPA MENGGUNAKAN *SOLAR TRACKER* HARI KETIGA

No	Waktu	Tegangan (V)	Arus (I)	Daya (W)
1	9.00	10.8	0.66	7.13
2	9.30	10.9	0.66	7.19
3	10.00	12.7	1.9	24.13
4	10.30	12.0	1.5	18.00
5	11.00	12.2	1.54	18.79
6	11.30	12.7	2.05	26.04
7	12.00	12.7	2.05	26.04
8	12.30	14.45	2.10	30.35
9	13.00	14.45	2.10	30.35
10	13.30	14.45	2.10	30.35
11	14.00	10.5	1.2	12.60

Pada pengujian ini didapati perubahan nilai tegangan *open circuit* bergantung pada suhu lingkungan sekitar. Naik-turunnya keluaran tegangan *open circuit* berbanding terbalik dengan nilai suhu lingkungan yang terukur.

Pada pengujian modul sel surya pada saat berbeban dan tanpa menggunakan *solar tracker* hari pertama sampai dengan hari ketiga berbeda dipengaruhi oleh suhu lingkungan yang berbeda.

TABEL VIII. PENGUJIAN MODUL SEL SURYA PADA SAAT BERBEBAN DENGAN MENGGUNAKAN *SOLAR TRACKER* HARI PERTAMA

No	Waktu	Tegangan (V)	Arus (I)	Daya (W)
1	9.00	15.46	1.3	20.10
2	9.30	16.3	2.1	34.23
3	10.00	17.1	2.8	47.88
4	10.30	17.3	2.8	48.44
5	11.00	17.36	2.86	49.65
6	11.30	17.5	2.85	49.88
7	12.00	17.48	2.83	49.47
8	12.30	17.47	2.84	49.61
9	13.00	17.34	2.88	49.94
10	13.30	17.45	2.88	50.26
11	14.00	17.4	2.83	49.24

TABEL X. PENGUJIAN MODUL SEL SURYA PADA SAAT BERBEBAN DENGAN MENGGUNAKAN *SOLAR TRACKER* HARI KETIGA

No	Waktu	Tegangan (V)	Arus (I)	Daya (W)
1	9.00	15.5	1.3	20.15
2	9.30	15.7	2.1	32.97
3	10.00	17.3	2.8	48.44
4	10.30	17.4	2.8	48.72
5	11.00	17.5	2.86	50.05
6	11.30	17.45	2.8	48.86
7	12.00	17.49	2.85	49.85
8	12.30	17.45	2.8	48.86
9	13.00	17.5	2.86	50.05
10	13.30	17.45	2.88	50.26
11	14.00	17.4	2.83	49.24

TABEL IX. PENGUJIAN MODUL SEL SURYA PADA SAAT BERBEBAN DENGAN MENGGUNAKAN *SOLAR TRACKER* HARI KEDUA

No	Waktu	Tegangan (V)	Arus (I)	Daya (W)
1	9.00	14.95	1.25	18.69
2	9.30	15.8	2.1	33.18
3	10.00	16.5	2.4	39.60
4	10.30	16.95	2.5	42.38
5	11.00	17.5	2.8	49.00
6	11.30	17.45	2.8	48.86
7	12.00	17.48	2.85	49.82
8	12.30	17.4	2.85	49.59
9	13.00	17	2.5	42.50
10	13.30	17.2	2.7	46.44
11	14.00	17.2	2.7	46.44

Pada pengujian pelacakan arah matahari ini, pergerakan pelacakan di atur oleh mikrokontroler arduino uno 328 dengan sensor masukan LDR 1, LDR 2 dan LDR 1. LDR 3 untuk memutar motor DC secara horizontal. Motor DC akan memutar dengan 3 kondisi yaitu:

- 1) Putar searah jarum jam (*clock wise*) yang akan menggerakkan mekanik ke atas.
- 2) Diam sehingga mekanik tidak akan bergerak dan akan mempertahankan kondisinya.
- 3) Putar berlawanan jarum jam (*counter clock wise*) yang akan menggerakkan mekanik kebawah

TABEL XI. PENGUJIAN MODUL SEL SURYA PADA SAAT TIDAK ADA BEBAN DENGAN MENGGUNAKAN *SOLAR TRACKER* HARI PERTAMA

No	Waktu	Suhu (°)	Tegangan Open Circuit (Voc)
1	9.00	28	20.46
2	9.30	28	20.22
3	10.00	28	20.00
4	10.30	29	20.00
5	11.00	30	19.79
6	11.30	31	19.60
7	12.00	31	19.59
8	12.30	31	19.59
9	13.00	31	19.88
10	13.30	31	19.88
11	14.00	31	19.11

Dengan menggunakan persamaan 2 didapatkan daya keluaran panel surya bergerak

$$\begin{aligned}
 P &= V \times I \\
 P &= 15.46 \times 1.3 \\
 P &= 20.1 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

TABEL XII. PENGUJIAN MODUL SEL SURYA PADA SAAT TIDAK ADA BEBAN DENGAN MENGGUNAKAN *SOLAR TRACKER* HARI KEDUA

No	Waktu	Suhu (°)	Tegangan Open Circuit (Voc)
1	9.00	26	20
2	9.30	26	19.7
3	10.00	27	19.72
4	10.30	26	19.7
5	11.00	26	19.6
6	11.30	27	19.65
7	12.00	27	19.65
8	12.30	28	19.7
9	13.00	28	19.75
10	13.30	28	19.78
11	14.00	28	19.7

TABEL XIII. PENGUJIAN MODUL SEL SURYA PADA SAAT TIDAK ADA BEBAN DENGAN MENGGUNAKAN *SOLAR TRACKER* HARI KETIGA

No	Waktu	Suhu (°)	Tegangan Open Circuit (Voc)
1	9.00	28	20.53
2	9.30	28	20.00
3	10.00	28	20.05
4	10.30	29	20.10
5	11.00	30	21.00
6	11.30	31	21.20
7	12.00	31	20.54
8	12.30	31	20.55
9	13.00	31	20.56
10	13.30	31	20.55
11	14.00	31	21.00

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Perbandingan daya keluaran panel surya tanpa pelacak dan panel surya dengan pelacak dengan menggunakan beban yang sama yaitu 50 watt mencapai angka 7.432 Watt. Sedangkan Daya titik maksimal dengan intensitas cahaya 470.58 Watt/m² mencapai 11.09 Watt.

Dengan data-data tersebut, bahwa kita dapat memaksimalkan keluaran panel surya dengan menggunakan *solar tracker* hingga pada titik tertentu dapat mencapai 49.94 Watt dengan daya rata-rata hingga mencapai 45.33 watt dibandingkan dengan panel surya tanpa *solar tracker* hanya mencapai 49.21 pada titik tertentu dengan daya rata-rata 37.9 Watt.

B. Saran

- 1) Prospek untuk mengoptimisasi keluaran panel surya dengan menggunakan *Solar Tracker* pada jalan-jalan ibu kota yang telah menggunakan panel sel surya maupun pada pembangkit listrik tenaga surya sebaiknya diterapkan mengingat kebutuhan listrik yang terus meningkat.
- 2) Penulis mengakui bahwa dalam pembuatan tugas akhir ini, masih banyak kekurangan baik dalam pembuatan prototype *Solar Tracker*, maupun penyusunan laporan skripsi. Berangkat dari hal itu, penulis menyarankan agar penelitian ini dapat dilanjutkan oleh pihak-pihak yang mempunyai hubungan dalam kasus yang terjadi. Adapun hal-hal yang penulis sarankan yaitu dudukan atau konstruksi *solar tracker* sebaiknya terbuat dari bahan yang tidak mudah rusak terkena air dan panas matahari mengingat alat ini akan diletakkan pada ruangan terbuka. Dilakukan ujicoba pada setiap peralatan sebelum dilakukan pengoperasian baik pada lokasi arah terbitnya matahari maupun terbenamnya matahari.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A.S. Lubis, *Listrik Tenaga Surya Fotovoltaik*. Penerbit BPPT Pres, Jakarta, 2006
- [2] A.S. Sinamo, *Mengenal Solar Cell Sebagai Energi Alternatif*. Puslitbang Iptekhan Balitbang Dephan, 2007.
- [3] Anonim, *Photovoltaic Fundamentals*. tersedia di: <http://www.fsec.ucf.edu/pvt/pvbasics/index.html>, 2005
- [4] Anonim: *Data Sheet Arduino Uno 328*. tersedia di: <http://www.atmel.com>, 2004
- [5] D. Pruit.: *The Simulation Of Building Integrated Photovoltaics In Commercial Office Building*. Seventh International IBPSA Conference, Rio De Janeiro, 2001
- [6] Karmon, *Pengantar Pembangkit Listrik Tenaga Surya*. Tarsito, Bandung, 1994
- [7] Laughton M. A, Baker A.C, Boddy J. C, Chenhall A. T, Clare R, Gray D. A, Grubb M. J, Hackett R. S, Hall D. O, Lennard D. E, Lewis C. W, Lindley D, Lidgate D. L, Long G, McVeigh J. C, Moorhead H. J, Surman P. L, Swift-Hook D T, Walker J. F, Webster S. H, Wyman P. R.. *Renewable Energy Sources*. Laughton Michael A, Editor. London. Taylor & Francis Books, Inc. 2003
- [8] N.R. Malik.: *Electronic Circuits Analisis, Simulation, and Design*. Prenticehall, New Jersey, 1995
- [9] W. Rusminto Tjatur: *Solar Cell Sumber Energi masa depan yang ramah lingkungan*. Berita Iptek, Jakarta, 2003
- [10] T.J. Jansen.: *Teknologi Rekayasa Sel Surya*. PT Pradnya Paramita, Jakarta, 1995
- [11] V. Quaschnig.: *Renewable Energy World*. Science Publisher, German, 2004
- [12] W.W. Wilson.: *Teknologi Sel Surya : Perkembangan Dewasa Ini dan yang Akan Datang*. Edisi ke empat, Elektro Indonesia, Jakarta, 1996