

# Optimalisasi Daya Sistem Sel Surya Menggunakan *Solar Tracker Dual Axis*

Wahyu Kusuma Raharja dan Kennedy

Teknik Elektro Universitas Gunadarma

Jl. Margonda Raya No. 100, Depok

E-mail : wahyukr@staff.gunadarma.ac.id, k3nn3d1zzz@gmail.com

## Abstrak

Kebutuhan energi setiap tahunnya semakin meningkat, hal ini tentu tidak sebanding dengan semakin menipisnya bahan bakar fosil. Masalah ini dapat diatasi dengan menggunakan sumber energi alternatif, berupa energi terbarukan menggunakan sel surya. Daya keluaran pada sistem panel surya dengan gerakan yang statis atau diam belum memberikan daya yang optimal. Peningkatan daya dapat dilakukan dengan menggunakan suatu sistem kontrol yang dapat mengikuti arah datangnya cahaya matahari. Pada penelitian ini menghasilkan *solar tracker dual axis* yang tersusun atas empat buah LDR untuk mendeteksi arah datangnya sinar matahari, sebuah modul kit arduino untuk memproses data, sebuah *driver motor* L298N untuk mengendalikan arah putaran motor DC sebagai penggerak panel surya. Sistem ini dilengkapi dengan sebuah aki sebagai menyimpan dan menyediakan daya, dan sebuah *solar charge controller* untuk mengendalikan keluaran daya dari panel ke aki. Berdasarkan pengujian bekerjanya sistem *solar tracker* telah berhasil mengikuti sinar matahari yang menghasilkan daya maksimum sebesar 7,1 W pada intensitas cahaya 71516,17 Lux. Sedangkan hasil pengukuran daya keluaran alat ini mampu memberikan peningkatan daya keluaran sebesar 27,91 %. Daya optimal terbesar terjadi pada pukul 07.00-10.00 WIB dan 14.00-17.00 WIB..

**Kata Kunci** : *Solar Tracker Dual Axis*, Panel Surya, LDR, L298N, Modul Kit Arduino

## Pendahuluan

### Latar Belakang

Penggunaan energi setiap tahunnya semakin meningkat, hal ini dikarenakan pertumbuhan infrastruktur, perkembangan teknologi dan peningkatan jumlah penduduk. Hal ini tentu tidak sebanding dengan jumlah bahan bakar fosil yang semakin menipis, maka diperlukan sumber energi alternatif untuk dapat mendukung kebutuhan energi saat ini. Salah satu energi alternatif yang banyak dikembangkan saat ini adalah energi surya atau energi matahari.

Salah satu pemanfaatan energi matahari yaitu panel surya dikenal juga dengan istilah panel surya dan *solar cell/photovoltaic cell*. Walaupun merupakan salah satu energi yang mudah dipakai, penggunaan panel surya memiliki masalah tersendiri juga. Seperti yang diketahui posisi bumi terhadap matahari selalu berubah setiap saat, hal ini tentu juga

akan mempengaruhi posisi panel surya terhadap arah cahaya matahari. Jika cahaya matahari tidak mengenai panel secara optimal maka daya yang dihasilkan akan semakin kecil. Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan menggunakan suatu sistem untuk mengoptimalkan penerimaan cahaya matahari.

Penelitian sebelumnya mengenai *solar tracker* telah dilakukan dengan menghasilkan penggerak panel surya otomatis berdasarkan rotasi waktu [1]. Alat *solar tracker* yang dihasilkan dengan mengendalikan panel surya dengan bergerak dengan sudut sebesar 15° perjam. Alat tersebut masih belum optimal dengan menghasilkan daya dan kurang akurat dalam mengikuti efek pergerakan semu tahunan matahari, dimana pada beberapa negara waktu matahari bersinar lebih lama dari biasanya untuk musim tertentu. Panel Surya dengan design sistem *solar tracker* yang dinamis dapat menghasilkan daya 40% lebih besar dari solar panel statis sepanjang tahun [2].

Pada penelitian ini diusulkan untuk merancang dan membangun pengendali panel surya dengan sistem *solar tracker dual axis* yang dapat melacak dan mengikuti arah datang cahaya matahari. Axis pertama sebagai gerakan timur ke barat, sedangkan axis kedua untuk gerakan arah utara dan selatan. Alat yang telah dihasilkan pada penelitian ini, diharapkan dapat meningkatkan daya keluaran sistem panel surya yang konvensional atau panel surya yang tidak bergerak (statis).

Berdasarkan latar belakang masalah diatas, maka pada penelitian ini di rumuskan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana cara merancang dan membuat *Solar Tracker* yang pergerakan panel suryanya dapat mengikuti arah datangnya cahaya matahari ?
2. Bagaimana peningkatan daya yang dihasilkan panel surya dengan sistem *solar tracker dual axis*?

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan sistem kendali solar panel menggunakan *solar tracker dual axis* yang dapat mengikuti posisi cahaya matahari secara otomatis yang diharapkan dapat meningkatkan daya keluaran panel surya secara optimal

## Tenaga Surya, Photovoltaic dan Alat Pengendali

### Tenaga Surya

Matahari merupakan sumber energi yang luar biasa yang setiap hari, disetiap negara di dunia, terbit di timur dan terbenam di barat. Kita menggunakan matahari untuk mendefinisikan hari, matahari diperlukan oleh tumbuhan dan tanaman pangan untuk tumbuh, matahari memberikan cahaya untuk dimanfaatkan, matahari mempengaruhi cuaca dan berfungsi mendatangkan angin. Tanpa matahari, kehidupan di dunia tidak mungkin terjadi. Di samping fakta-fakta yang penting ini, matahari atau surya juga memberikan energi/tenaga [3].

Cahaya matahari mengandung tenaga yang sedemikian banyaknya, sehingga bahkan sebagian cahaya matahari yang jatuh di gurun Sahara akan cukup memenuhi kebutuhan energi untuk semua kebutuhan energi umat manusia. Pada saat matahari tengah hari, tenaga surya

mencapai permukaan bumi dengan nilai energi puncak sebesar satu kilowatt (1 kW) permeter persegi perjam. Jadi, jika semua energi ini bisa ditampung, maka akan bisa menyediakan semua kebutuhan tenaga listrik disetiap negara yang ada di bumi ini. Pendek kata, tenaga surya adalah energi yang berasal dari matahari.

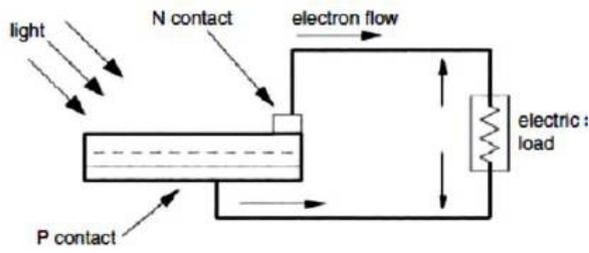
### Modul Photovoltaic (Panel Surya)

Modul surya fotovoltaik (PV) yang mengkonversi cahaya matahari menjadi listrik. Jumlah energi listrik yang dihasilkan oleh modul PV bergantung kepada tenaga surya yang tersedia, dan yang sangat khususnya, bergantung kepada arah modul surya terhadap matahari. Jika modul surya dipasang di selatan ekuator, maka harus menghadap utara dan sebaliknya. Modul PV akan menghasilkan *output* terbanyak jika diarahkan langsung ke matahari.

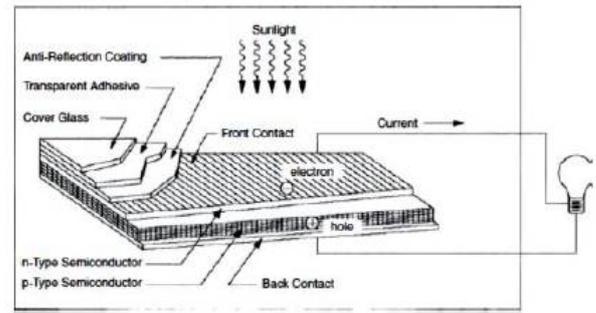
Konversi modul PV surya adalah energi dari cahaya matahari yang diubah menjadi energi listrik. Dengan kata lain, photovoltaic(PV) adalah teknologi berdasarkan semi-konduktor dalam kondisi padat yang mengkonversi energi cahaya matahari secara langsung menjadi energi listrik, tanpa ada bagian yang berputar, tidak menimbulkan kebisingan, dan tanpa mengeluarkan gas buangan. Modul ini tersedia dalam berbagai kapasitas, mulai dari 1 watt hingga 300 watt.

Bentuk fisik sel PV sangat mirip dengan diode klasik dengan *pn junction*. Pada gambar 1 dapat dilihat proses konversi energi foton menjadi tegangan melewati *pn junction*. Ketika *junction* menyerap cahaya, energi foton yang terserap akan di transferkan ke sistem *electron - foton* dari bahan, menciptakan pembawa muatan yang dipisahkan di *junction*. Pembawa operator mungkin sepasang *electron-ion* di dalam cairan elektrolit atau sepasang *electron-hole* di dalam bahan solid semikonduktor [4].

Pembawa muatan di daerah *junction* akan menciptakan tengangan gradient, mendapatkan akselrasi di bawah medan listrik, dan beredar sebagai arus memalului sirkuit eksternal. Kuadrat dari arus itu akan dikalikan dengan resistansi dari rangkaian sirkuit adalah daya yang diubah menjadi listrik. Daya yang tersisa dari foton akan meningkatkan suhu sel dan menghilang ke sekitarnya.



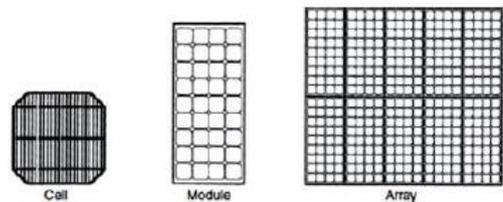
Gambar 1: PV Menkonversi Daya Foton Menjadi Tegangan [4]



Gambar 2: Konstruksi Sel PV dengan Fitur Tambahan [4]

Asal usul tegangan PV adalah perbedaan dalam tegangan kimia, yang disebut dengan Fermi level, dari electron-elektron dalam dua bahan yang diisolasi. Ketika mereka bergabung, maka *junction* akan mendekati kesetimbangan termodinamika yang baru. Keseimbangan seperti itu bisa dicapai hanya ketika fermi level sama dalam dua bahan. Ini terjadi dari aliran elektron dari satu material ke yang lain sampai perbedaan tegangan didirikan di antara mereka, yang memiliki tegangan sama dengan perbedaan awal fermi level. Potensi ini menggerakkan arus foton di sirkuit PV. Gambar 2 menunjukkan konstruksi sel PV sederhana. Satu Kontak logam disediakan kedua sisi persimpangan untuk mengumpulkan arus listrik yang diinduksi oleh impinging foton.

Untuk memperoleh daya tinggi, banyak sel PV dihubungkan secara seri dan paralel pada panel (modul) dengan luas beberapa meter persegi. Array atau panel surya didefinisikan sebagai sekelompok beberapa modul secara elektrik terhubung dalam kombinasi seri-paralel untuk menghasilkan arus yang diperlukan dan tegangan. Beberapa dari sel PV akan menjadi modul PV dan beberapa modul akan membentuk array PV, bentuk hubungan tersebut akan diperlihatkan pada gambar 3.

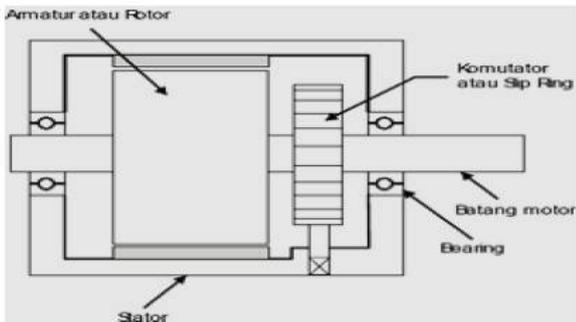


Gambar 3: Bentuk-bentuk dari PV Sel [4]

Sebuah jaring tipis serat perak di atas permukaan yang diterangi mengumpulkan arus dan membiarkan cahaya masuk. Jarak dari serat konduktor dalam mesh adalah masalah kompromi antara memaksimalkan konduktansi listrik dan meminimalkan penyumbatan cahaya. Selain elemen dasar, beberapa fitur tambahan juga termasuk dalam konstruksi. Sebagai contoh, bagian depan sel memiliki lapisan anti reflektif untuk menyerap cahaya sebanyak mungkin dengan meminimalkan pantulan. Mekanis perlindungan disediakan oleh kaca penutup yang diaplikasikan dengan perekat transparan.

### Motor DC

Motor DC adalah sebuah aktuator yang mengubah besaran listrik menjadi sistem gerak mekanis. Motor DC beroperasi dengan prinsip-prinsip kemagnetan dasar. Polaritas arus yang mengalir melalui kawat lilitan akan menentukan arah putaran motor. Prinsip penting lainnya adalah nilai arus yang mengalir melalui lilitan. Nilai arus pada lilitan akan menentukan nilai torsi dan kecepatan putaran motor. Konstruksi motor dc ditunjukkan pada gambar 4 [5].



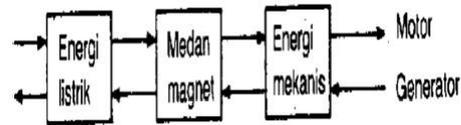
Gambar 4: Konstruksi Motor DC [5]

Motor DC terdiri dari beberapa bagian, yaitu :

- a) Kutub medan. Secara sederhana digambarkan bahwa interaksi dua kutub magnet akan menyebabkan perputaran pada motor DC. Motor DC memiliki kutub medan yang stasioner dan dinamo yang menggerakkan bearing pada ruang diantara kutub medan. Motor DC sederhana memiliki dua kutub medan: kutub utara dan kutub selatan.
- b) Rotor. Bila arus masuk menuju rotor (bagian motor yang bergerak), maka arus ini akan menjadi elektromagnet. Rotor yang berbentuk silinder, dihubungkan ke as penggerak untuk menggerakkan beban. Untuk kasus motor DC yang kecil, rotor berputar dalam medan magnet yang dibentuk oleh kutub-kutub, sampai kutub utara dan selatan magnet berganti lokasi. Jika hal ini terjadi, arusnya berbalik untuk merubah kutub-kutub utara dan selatan dinamo.
- c) Komutator. Komponen ini terutama ditemukan dalam motor DC. Kegunaannya adalah untuk membalikan arah arus listrik dalam dinamo. Commutator juga membantu dalam transmisi arus antara dinamo dan sumber daya.

Pada motor DC, kumparan medan yang dialiri arus listrik akan menghasilkan medan magnet yang melingkupi kumparan jangkar dengan arah tertentu. Konverter energi baik energi listrik menjadi energi mekanik (motor) maupun sebaliknya dari energi mekanik menjadi energi listrik (generator) berlangsung melalui medium medan magnet. Energi yang akan diubah dari suatu sistem ke

sistem yang lain, sementara akan tersimpan pada medium medan magnet untuk kemudian dilepaskan menjadi energi system lainnya. Dengan demikian, medan magnet disini selain berfungsi sebagai tempat penyimpanan energi juga sekaligus proses perubahan energi, proses tersebut dapat dilihat pada gambar 5 [6].



Gambar 5: Proses Perubahan Energi pada Mesin Listrik [6]

## Arduino Mega

Arduino mega adalah salah satu variasi produkboardmikrokontroler yang dikeluarkan oleh Arduino. Arduino mega menggunakan ATmega 2560 dan didukung dengan crystal osilator 16 MHz yang didesain untuk tugas yang lebih kompleks dibandingkan dengan variasi Arduino yang lainnya. Hal ini dapat dilihat dari jumlah pin I/O yang berjumlah 54 pin. Dengan 16 pin diantaranya merupakan pin input analog, 15 pin merupakan *output* PWM, dan 4 pin UART. Arduino mega memiliki flash memory sebesar 256 KB (8 KB digunakan untuk Bootloader) 8 KB dari SRAM dan 4 KB EEPROM (yang dapat dibaca dan ditulis dengan EEPROM library) yang tentukan sudah cukup besar untuk sebuah mikrokontroler berbeda dengan Arduino uno yang memiliki flash memory sebesar 32 KB saja [11].

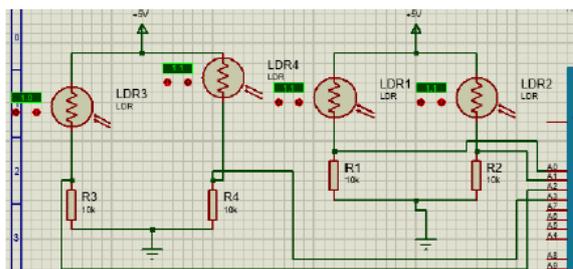
Penyuplaian daya pada Arduino mega dapat menggunakan koneksi USB, jack DC, atau menggunakan pin Vin dan GND. Tegangan kerja Arduino mega sebesar 5V dengan tegangan *input* rekomendasi sebesar 7 – 12 V. dengan nilai tegangan dibawah 7V tegangan pada pin 5V rendah sekitar 3,8 V – 4 V dan tidak stabil, jika diberi lebih dari 12V Arduino akan panas berlebihan dan dapat menyebabkan kerusakan pada perangkatnya. Arduino mega dapat memberikan daya pada perangkat kecil lainnya sebesar 5V. setiap pin Arduino dapat memberikan arus sebesar 40 mA.



Gambar 6: Bentuk fisik Arduino Mega R3 [11]

### Sensor Cahaya LDR

Rangkaian sensor LDR digunakan untuk mendeteksi perubahan besaran intensitas cahaya matahari, dengan begitu kita dapat mengetahui perubahan arah datangnya sinar matahari. Proses ini dapat terjadi karena LDR memiliki nilai resistansi yang berubah-ubah terhadap intensitas cahaya yang diterimanya. Semakin besar sinar matahari yang diterima LDR, maka semakin kecil juga nilai resistansi LDR. Rangkaian sensor LDR memiliki nilai resistansi kira-kira sebesar 50 Ω dalam kondisi terang dan 1MΩ dalam kondisi gelap. LDR dipilih sebagai sensor cahaya karena mudah didapatkan. Rangkaian sensor LDR dapat dibuat dengan menggunakan skema rangkaian pembagi tegangan seperti pada gambar 7 yang merupakan skema rangkaian sensor LDR yang dibuat dengan menggunakan software proteus 8.



Gambar 7: Skematik Rangkaian Sensor Cahaya LDR

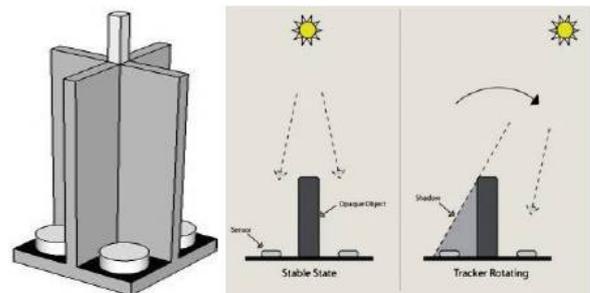
Pada gambar 7 dapat dilihat bahwa LDR, resistor 10 KΩ, dan terminal *output* dirangkai paralel kemudian pada bagian LDR diberikan Vcc dari arduino sebesar 5V dan pada bagian resistor dihubungkan ke *ground* pada arduino juga. Terminal *output* dari sensor cahaya LDR

akan disambungkan ke pin analog. Nilai tegangan pada rangkaian sensor cahaya dapat dicari dengan menggunakan persamaan pembagi tegangan pada persamaan 1, yaitu :

$$V_{LDR} = \frac{R_{LDR}}{(R_{LDR}+10K)} \times 5 V \dots\dots\dots(1)$$

Perancangan mekanik pada sensor akan digunakan design yang mirip dengan gambar 8(a). Sensor dengan design ini memanfaatkan efek bayangan pada *balancer* yang memisahkan ke-4 sensor LDR, gambar mengenai efek bayangan pada rangkaian mekanik sensor dapat dilihat pada gambar 8(b).

Pada saat sinar datang dari matahari mengenai sensor cahaya secara langsung maka bayangan dari *balancer* di tengah tidak akan menutupi permukaan LDR sehingga nilai tegangan yang dihasilkan masing-masing LDR relatif sama. Akan tetapi jika bumi telah berotasi maka sinar datang dari matahari akan bergeser dan karenanya bayangan dari *balancer* yang ada ditengah akan menutupi salah satu dari permukaan LDR yang membuat nilai tegangan dari LDR tersebut lebih kecil dari toleransi yang ditentukan, sehingga motor DC akan berputar ke arah sinar matahari bergeser untuk menghilangkan bayangan *balancer*.



Gambar 8: (a) Design Sensor Cahaya[9] (b) Efek Bayangan pada Rangkaian Mekanik Sensor Cahaya [7].

Dari penjelasan sebelumnya dapat di pahami bagaimana cara kerja efek bayangan pada design mekanik sensor cahaya yang dibuat. Efek bayangan akan bekerja selama ada cahaya matahari yang mengenai *balancer*, sehingga efek bayangan ini tidak akan bekerja pada saat malam atau tidak ada cahaya matahari.

## Baterai (*Battery*)

*Battery* atau Aki adalah alat yang berfungsi untuk menyimpan Arus/Energi listrik yang dihasilkan suatu alat yang lain. *Battery* kegunaan di sistem PLTS sangat berguna untuk menyimpan arus/energi yang dihasilkan dari *Solar Cell/Panel* pada waktu siang hari dan dapat digunakan ke beban yang dibutuhkan selanjutnya. Memfokuskan penggunaan *Battery* jenis kering (VRLA, MF-SLA) untuk sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya dan tidak menggunakan *battery* jenis basah biasa (aki mobil) karena untuk menjaga kualitas dan keawetan komponen-komponen PLTS itu sendiri. Baterai adalah obyek kimia penyimpan arus listrik. Gambar aki kering dapat dilihat pada gambar 9 [9].



Gambar 9: Tampilan Fisik Aki Kering [9]

## *Solar Charge Controller*

*Solar charge controller* adalah suatu komponen yang berfungsi mengatur aliran energi panel surya ke *battery* maupun aliran energi dari *battery* ke beban sehingga bisa melindungi *battery* dan peralatan lainnya dari kerusakan. *Solar charge controller* mengantisipasi *over charging* dan kelebihan voltase dari panel surya. Kelebihan voltase dan pengisian akan mengurangi umur baterai. Panel surya 12 volt umumnya memiliki tegangan *output* 16 - 21 volt. Sedangkan Baterai umumnya di-charge pada tegangan 14 - 14.7 volt. Jadi tanpa *solar charge controller*, baterai akan rusak oleh *overcharging* dan ketidakstabilan tegangan [10].

Secara detail fungsi dari *solar charge controller* adalah sebagai berikut:

- a) Mengatur arus untuk pengisian ke baterai untuk menghindari *overcharging*,

dan *overvoltage*

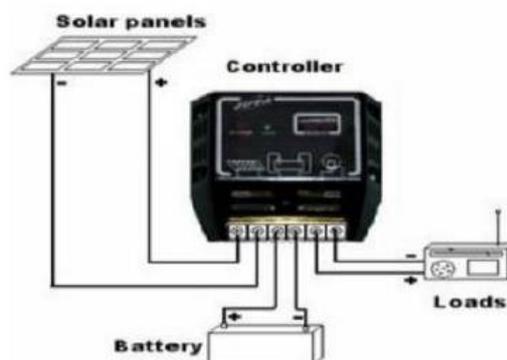
- b) Mengatur arus yang dibebaskan/diambil dari baterai agar baterai tidak *full discharge* dan *overloading*
- c) Monitoring temperature baterai.

Dalam pemilihan *solar charge controller* yang harus diperhatikan adalah:

- a) tegangan 12 Volt DC/24 Volt DC
- b) kemampuan (dalam arus searah) dari controller
- c) full charge dan low voltage cut

*Solar charge controller* yang baik biasanya mempunyai kemampuan mendeteksi kapasitas baterai. Bila baterai sudah penuh terisi maka secara otomatis pengisian arus dari panel surya berhenti. Cara deteksi adalah melalui monitor level tegangan baterai. *Solar charge controller* akan mengisi baterai sampai level tegangan tertentu, kemudian apabila level tegangan drop, maka baterai akan diisi kembali.

*Solar charge controller* biasanya terdiri dari satu *input* (2 terminal) yang terhubung dengan keluaran panel surya, satu *output* (2 terminal) yang terhubung dengan baterai dan satu *output* (2 terminal) yang terhubung dengan beban, seperti yang ditunjukkan pada gambar 10. Arus listrik DC yang berasal dari baterai tidak mungkin masuk ke panel sel surya karena biasanya ada *diode protection* yang hanya melewatkan arus listrik DC dari panel surya ke baterai, bukan sebaliknya.



Gambar 10: Posisi *Input* dan *Output Solar Charge Controller* [10]

Terdapat dua jenis *solar charge controller* berdasarkan teknologi yang digunakan, yaitu:

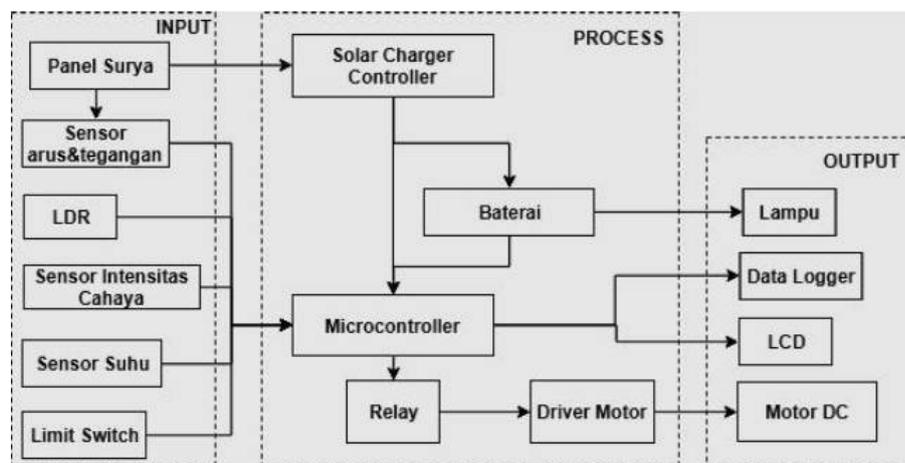
- 1) PWM (*Pulse Wide Modulation*), seperti namanya menggunakan lebar pulse dari ON dan OFF elektrik, sehingga menciptakan seakan-akan *sine wave electrical form*. *Solar charge controller* jenis ini harganya lebih murah tetapi efisiensi konversi energinya lebih rendah.
- 2) MPPT (*Maximun Power Point Tracker*), yang lebih efisien konversi DC to DC. MPPT dapat mengambil maximum daya dari PV. MPPT *charge controller* dapat menyimpan kelebihan daya yang tidak digunakan oleh beban ke dalam baterai, dan apabila daya yang dibutuhkan beban

lebih besar dari daya yang dihasilkan oleh PV, maka daya dapat diambil dari baterai.

## Metode Penelitian

### Rancangan Hardware Alat

Perancangan alat ini akan diawali dengan melakukan perencanaan alur kerja alat menggunakan diagram blok. Jika diagram yang dibuat sudah sesuai dengan sistematika perancangan, maka tahap selanjutnya yang akan dilakukan, yaitu : perancangan *hardware* dan *software*.



Gambar 11: Diagram Blok *Solar Tracker*

Pada gambar 11 dapat dilihat bahwa diagram blok *solar tracker* terbagi menjadi 3 bagian, yaitu : *Input*, *Process*, dan *Output*. Pada bagian *input* terdapat LDR yang digunakan sebagai sensor cahaya untuk mendeteksi perubahan intensitas cahaya pada tiap kondisi pencahayaan, sensor intensitas cahaya digunakan untuk mendeteksi nilai intensitas cahaya yang diterima panel surya, sensor suhu dipakai untuk mendeteksi berapa suhu lingkungan sekitar panel surya, dan juga terdapat sensor arus dan tegangan yang digunakan untuk mendeteksi nilai arus dan tegangan yang dihasilkan oleh panel surya sebelum diarahkan ke *solar charger controller*. *Micro limit switch* juga digunakan untuk membatasi sudut putar motor. *Input*-an yang didapat dari bagian *input* akan diteruskan ke bagian *process*.

Pada bagian *process* akan terjadi proses

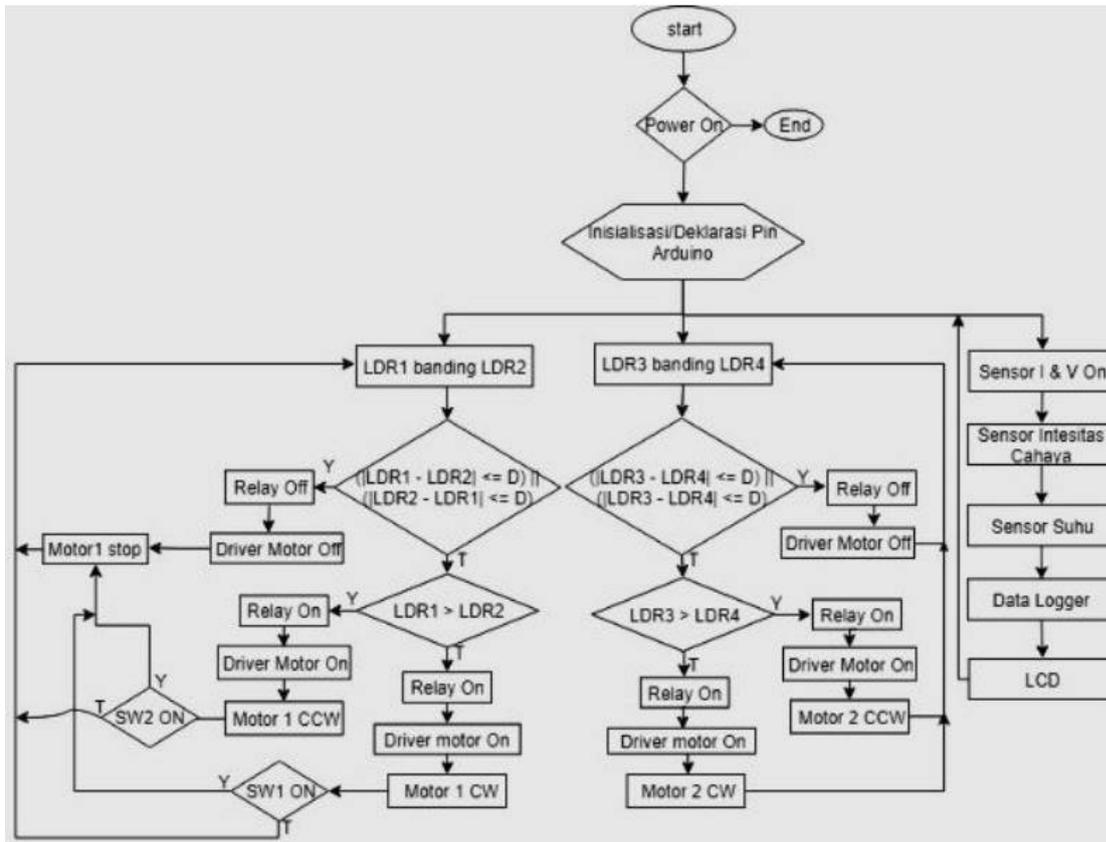
penyesuaian arus dan tegangan pada *solar charge controller* sebelum disimpan pada baterai. Selanjutnya daya yang tersimpan dalam baterai akan digunakan untuk men-supply daya pada mikrokontroler arduino atau dapat digunakan supply daya langsung dari panel surya yang telah diubah oleh *Solar Charge Controller*, mikrokontroler arduino akan memproses data yang diterima dari bagian *input*. Driver motor DC akan menerima perintah dari mikrokontroler untuk menggerakkan motor DC sesuai dengan intensitas cahaya matahari yang diterima pada LDR yang dayanya di dapat dari baterai. Instruksi dari bagian proses akan diterima pada bagian output.

Pada bagian output akan motor DC akan berputar mengikuti instruksi dari *driver motor* untuk mengikuti arah datangnya cahaya matahari. LCD akan digunakan untuk memantau

nilai tegangan dan arus yang di hasilkan oleh panel, semua parameter pengukuran nilai akan disimpan nilai pada micro SD card melalui *data logger*. Lampu akan digunakan sebagai beban untuk menguji daya yang dihasilkan dari panel surya dengan sistem *solar tracker*. Konsumsi daya oleh sistem *solar tracker* diusahakan semuanya akan menggunakan daya yang dihasilkan oleh panel surya.

### Rancangan *Software Program* Alat

Perancangan dan cara kerja program yang akan dibuat dapat dilihat pada sebuah flowchart. Flowchart merupakan langkah awal dalam pembuatan program, sehingga perlu diperelajari terlebih dahulu. dengan adanya *flowchart*, maka urutan dan hubungan antara proses dan instruksi akan lebih mudah dipahami.



Gambar 12: Flowchart Program *Solar Tracker*

Penjelasan dari flowchart pada gambar 12 adalah sebagai berikut :

Mula-mula *system solar tracker* diberikan sumber tegangan, dan dilanjutkan dengan proses inisialisasi dan deklarasi pin-pin arduino berdasarkan fungsinya. Setelah itu dilakukan pengukuran arus dan tegangan yang dihasilkan oleh *solar panel*, pengukuran intensitas cahaya, pengukuran suhu, dan pengukuran posisi sudut *solar panel* yang datanya akan disimpan pada data logger dan ditampilkan pada LCD.

Motor akan bergerak sesuai dengan pengkondisian pada program arduino, dengan proses perbandingan nilai masing-masing LDR.

Jika nilai selisih tegangan LDR1 dan LDR2 atau sebaliknya masih lebih kecil sama dengan dari nilai toleransi D maka *relay* akan OFF dan driver motor DC 1 tidak akan aktif.

Jika selisih antara LDR1 dan LDR2 lebih besar dari nilai toleransi D maka *relay* akan ON sehingga Driver motor DC akan memutar motor DC 1 berlawanan arah jarum jam sampai selisih nilai tegangan LDR1 dan LDR2 lebih kecil sama dengan dari nilai toleransi D, dan jika selisih antara LDR2 dan LDR1 lebih besar dari nilai toleransi maka *Relay* akan ON sehingga driver motor DC 1 akan memutar motor DC searah jarum jam sampai selisih ni-

lai tegangan LDR2 dan LDR1 lebih kecil sama dengan dari nilai toleransi D.

Jika sudut putar motor DC 1 sudah mencapai batas yang ditentukan maka *micro limit switch* 1(SW1) akan aktif karena tertekan oleh panel yang digerakkan motor DC1, sehingga menyebabkan motor DC 1 berputar berlawanan arah jarum jam sampai *micro limit switch* 2 (SW2) tertekan. Ketika SW2 tertekan maka motor DC2 akan OFF. Jika SW1 atau SW2 tidak aktif maka sistem berjalan seperti biasa.

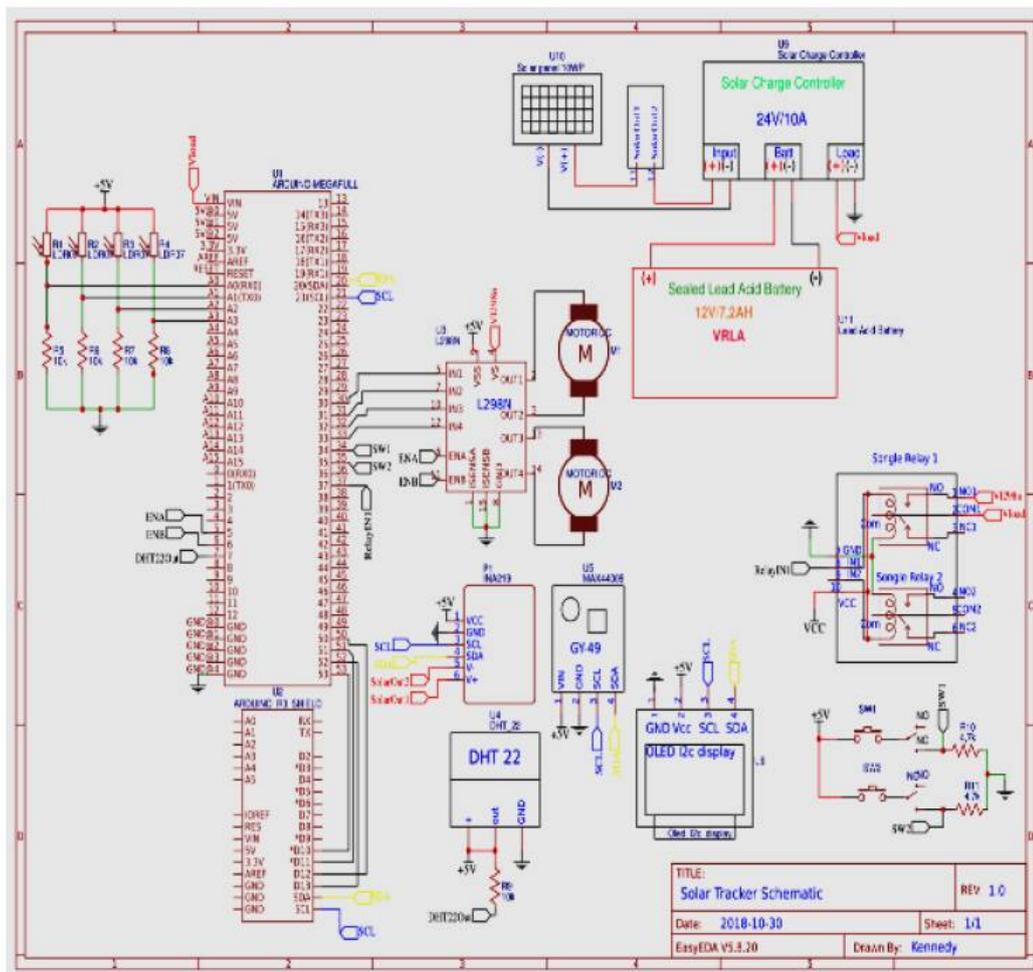
Penkondisian dan instruksi diatas belaku juga untuk LDR3 dan LDR4 dimana, jika nilai selisih tegangan LDR3 dan LDR4 atau sebaliknya masih lebih kecil sama dengan dari nilai toleransi D maka *relay* akan OFF dan driver motor DC tidak akan aktif, jika selisih antara LDR3 dan LDR4 lebih besar dari nilai toleransi D maka *relay* akan ON, sehingga *driver mo-*

*tor* DC akan memutar motor DC 2 berlawanan arah jarum jam sampai selisih nilai tegangan LDR3 dan LDR4 lebih kecil sama dengan dari nilai toleransi D.

Jika selisih antara LDR4 dan LDR3 lebih besar dari nilai toleransi maka *relay* akan ON sehingga driver motor DC akan memutar motor DC 2 searah jarum jam sampai selisih nilai tegangan LDR3 dan LDR4 lebih kecil sama dengan dari nilai toleransi D.

### Rangkaian Pembuatan *Solar Tracker*

Skematik rangkaian secara keseluruhan pada sistem *solar tracker* diperlihatkan seperti gambar 13. Skema ini digunakan untuk mempermudah proses perakitan *solar tracker*. Gambar 14 menunjukkan tampilan fisik dari *solar tracker* yang telah dibuat dan gambar 15 merupakan tampilan fisik *solar tracker* saat pengujian.



Gambar 13: Rangkaian Skematik Panel Surya dengan Sistem *Solar Tracker*



Gambar 14: Rangkaian Fisik Panel Surya dengan Sistem *Solar Tracker*



Gambar 15: Rangkaian Fisik Panel Surya dengan Sistem *Solar Tracker* saat Pengujian

## Hasil dan Pembahasan

### Pengujian Sensor LDR

Pengujian rangkaian sensor cahaya LDR dilakukan dengan meletakkan sensor LDR pada posisi  $90^{\circ}$  sehingga tersinari cahaya matahari. LDR memiliki karakteristik untuk mengubah besaran hambatan berdasarkan intensitas yang diterimanya, sehingga akan mempengaruhi tegangan yang dihasilkan dari rangkaian sensor cahaya. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan sensor LDR bekerja atau tidak, dengan melihat tegangan pada masing-masing LDR.

Tegangan LDR akan diukur menggunakan multimeter dan untuk mengetahui nilai Analog to Digital Converter (ADC) dapat dilihat langsung pada serial monitor arduino. Pada awalnya LDR memberikan masukan analog pada arduino dengan nilai 10 bit, yaitu antara 0 sampai 1023, setelah itu akan diproses oleh arduino. Hasil pengujian rangkaian sensor cahaya dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1: Data Hasil Pengujian Rangkaian Sensor Cahaya terhadap Waktu

Waktu uji (WIB)	LDR 1 (Utara)		LDR 2 (Selatan)		LDR 3 (Timur)		LDR 4 (Barat)	
	(V)	ADC	(V)	ADC	(V)	ADC	(V)	ADC
06.20	3,85	789	4,72	965	4,27	873	3,54	724
07.05	4,6	941	4,92	1004	4,51	922	4,38	896
08.03	4,61	942	4,94	1010	4,75	970	4,62	945
09.06	4,65	951	4,95	1012	4,82	985	4,68	957
10.02	4,62	943	4,95	1012	4,86	994	4,66	953
11.01	4,7	961	4,9	1002	4,85	992	4,78	977
12.05	4,86	994	4,92	1006	4,87	996	4,91	1000
13.02	4,83	988	4,91	1002	4,84	989	4,90	1000
14.01	4,71	963	4,8	981	4,61	943	4,72	965
15.04	4,66	953	4,78	977	4,58	936	4,71	963
16.01	4,12	842	4,28	875	3,63	742	4,11	840

Dari tabel 1 dapat dilihat bahwa masing-masing LDR aktif dan memiliki nilai LDR, serta nilai ADC yang bervariasi. Nilai tegangan dan ADC LDR 2(selatan) selalu lebih besar dari tegangan dan ADC LDR 1(utara) pada setiap jam, hal ini dikarenakan arah revolusi tahunan matahari berlawanan dengan arah jarum jam atau cenderung ke arah selatan pada waktu dan lokasi pengujian berlangsung. LDR 3(timur) memiliki nilai tegangan dan ADC lebih besar dari pada LDR 4 (barat) dari jam 06.00 – 11.00 dan LDR 4(barat) nilai tegangan dan ADC lebih besar daripada LDR 3(timur) pada jam 12.00 – 16.00 yang dikarenakan bumi berotasi dari barat ke timur, sehingga matahari terbit di timur dan terbenam di barat.

### Pengujian Sensor INA219

Pengujian sensor arus dan tegangan dilakukan dengan memberikan tegangan dan arus pada sensor dan menghubungkan semua pinnya ke arduino, kemudian tegangan dan arus tersebut akan diukur nilainya. Nilai tersebut dapat dilihat pada serial monitor arduino. Setelah itu pengukuran dari sensor arus dan tegangan akan dibandingkan dengan pengukuran menggunakan multimeter untuk mengetahui kinerja dari sensor arus dan tegangan. Hasil pengujian dan perbandingan data sensor tegangan dan arus tersebut dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2: Data Hasil Pengujian dan Perbandingan Sensor Arus dan Tegangan

Tegangan (V)	Menggunakan Multimeter		Menggunakan Sensor		Error V (%)	Error I (%)
	Tegangan (V)	Arus (mA)	Tegangan (V)	Arus (mA)		
6	5,35	210	5,35V	209,8	0	0,095
9	7,77	340	7,77	339,7	0	0,088
12	12,45	3100	12,45	3115	0,16	0,481

Error pengukuran tegangan dengan sensor terhadap pengukuran tegangan dengan multimeter dapat dicari dengan persamaan 2, dengan contoh perhitungan menggunakan sampel data pengukuran tegangan adaptor 12 V, sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Error } V(\%) &= \frac{|V_{\text{Sensor}} - V_{\text{Multimeter}}|}{V_{\text{Sensor}}} \times 100\% \quad \dots(2) \\
 &= \frac{|12,45 - 12,43|}{12,45} \times 100\% \\
 &= \frac{|0,02|}{12,45} \times 100\% \\
 &= 0,16 \%
 \end{aligned}$$

Error pengukuran arus dengan sensor terhadap pengukuran arus dengan multimeter dapat dicari dengan persamaan 3, dengan contoh perhitungan menggunakan sampel data pengukuran arus baterai 6V, sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Error } I(\%) &= \frac{|I_{\text{Sensor}} - I_{\text{Multimeter}}|}{I_{\text{Sensor}}} \times 100 \quad \dots(3) \\
 &= \frac{|209,8 - 210|}{209,8} \times 100\% \\
 &= \frac{|- 0,2|}{209,8} \times 100\% \\
 &= 0,095 \%
 \end{aligned}$$

Pengujian ini menunjukkan bahwa hasil pengukuran dengan menggunakan multimeter dan sensor memiliki hasil yang hampir sama dengan selisih pengukuran dibawah 1 %, sehingga penggunaan sensor arus dan tegangan INA219 untuk mendeteksi besaran *output* panel surya cukup akurat.

### Pengujian Driver Motor DC

Pengujian driver L298N dilakukan bersamaan dengan motor DC, hal ini dilakukan karena *output* dari *driver motor* berupa kecepatan dan arah putar motor DC. Pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan terminal motor DC dengan pin-pin pada driver motor yang juga telah dihubungkan dengan arduino mega sebagai pemberi perintah, pin EN1, EN2, EN3, dan EN4 akan dihubungkan dengan pin digital 4,5,8, dan 9.

Hasilnya adalah motor DC akan berputar sesuai dengan perintah yang diberikan arduino mega kepada motor DC, tabel 3 menunjukkan hasil pengujian motor DC dan *driver motor*. Putaran motor DC akan searah jarum jam jika *output* 1 atau *output* 3 dihubungkan dengan fasa positif dan *output* 2 atau *output* 4 dihubungkan dengan fasa negatif.

Jika *output* 1 atau *output* 3 dihubungkan dengan fasa negatif dan *output* 1 atau *output* 3 dihubungkan dengan terminal positif,

maka putaran motor DC akan berlawanan jarum jam. Polaritas pada pin *output driver motor* L298N diatur oleh pin EN. Jika EN1 atau EN3 HIGH(4,9V) maka polaritas *output* 1 atau *output* 3 akan positif dan jika EN2 atau EN4 LOW(0V) maka polaritas *output* 2 dan *output* 4 akan negatif.

Tabel 3: Hasil Pengujian Motor DC dan *Driver Motor*

Kondisi Pin	Polaritas	Arah Motor
EN1 HIGH EN2 LOW	Output 1 (+) output 2(-)	Motor 1 : CW
EN1 LOW EN2 HIGH	Output 1(-) Output 2(+)	Motor 1 : CCW
EN3 HIGH EN4 LOW	Output 3(+) output 4(-)	Motor 2 : CW
EN3 LOW EN4 HIGH	Output 3(-) output 4(+)	Motor 2 : CCW

Keterangan :

CW (*Clock Wise*) : searah jarum jam

CCW (*Counter Clock Wise*) : berlawanan arah jarum jam

### Pengujian Modul *Relay*

Tujuan Pengujian modul relay adalah untuk mengetahui apakah *relay* dapat bekerja sesuai dengan kondisi yang diberikan. Pengujian modul *relay* dilakukan dengan menghubungkan modul *relay* dengan sumber tegangan DC dengan *driver motor* L298N. Tipe *contact* yang akan digunakan pada modul *relay* adalah tipe NO. Pin tegangan 12V akan dihubungkan dengan pin NO dan pin gnd dengan pin COM. INT1 dihubungkan ke bagian pin digital 36 arduino mega.

Maka hasilnya modul *relay* akan aktif dengan menghantarkan daya pada driver motor L298N sesuai dengan kondisi yang dikehendaki arduino mega. Hasil pengujian dilakukan dengan kondisi dimana jika terjadi perubahan intensitas antara sensor LDR yang melewati batas toleransi yang digunakan, maka *relay* akan ON dan jika tidak maka *relay* akan OFF.

Tabel 4: Data Hasil Pengujian *Relay* terhadap Perubahan Nilai Tegangan LDR

Toleransi	LDR1 (V)	LDR2 (V)	LDR3 (V)	LDR4 (V)	Respon <i>Relay</i>
0,489	1,44	3,22	3,26	3,1	ON
	3,20	1,40	3,26	3,12	ON
	3,19	3,23	1,58	3,11	ON
	3,20	3,22	3,26	1,49	ON
	3,19	3,22	3,25	3,11	OFF

Pada tabel 4 dapat dilihat bahwa *relay* akan ON jika ada selisih nilai tegangan antara LDR1 dan LDR2 atau LDR3 dan LDR4 yang melewati nilai toleransi yang ditentukan, dan *relay* akan OFF jika selisih nilai tersebut sudah dibawah nilai toleransi.

### Pengujian *Micro Limit Switch*

Pengujian *micro limit switch* dilakukan untuk mengetahui apakah *micro limit switch* dapat berfungsi sebagai pembatas putaran motor DC dengan baik atau tidak. Pada pengujian untuk *micro limit switch* dilakukan dengan menghubungkan *micro limit switch* dengan arduino, resistor 1kΩ, dan motor DC yang berputar karena diberi daya.

Jika *micro limit switch* ditekan maka sinyal HIGH(4,88V) akan diberikan kepada arduino, dan sinyal LOW(0V) yang akan diberikan kepada arduino jika limit switch tidak ditekan. Hasil pengujian *micro limit switch*, yaitu jika *micro limit switch* 1 atau 2 tertekan maka motor akan berhenti berputar dan jika tidak ada yang tertekan maka motor akan berputar. Data hasil pengujian *micro limit switch* dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5: Data Hasil Pengujian Micro Limit Switch

Kondisi Switch	Kondisi Motor
Switch 1 dan 2	Motor akan berputar
Switch 1 ON	Motor Berhenti
Switch 2 ON	Motor Berhenti

### Pengujian *Solar Charge Controller (SCC)* dan Aki

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai tegangan *output* yang diubah oleh SCC

dan yang diberikan pada aki. Pengujian SCC dilakukan dengan menggunakan sumber catu daya dengan tegangan yang bervariasi dengan range tegangan antara 12 – 18 V, lalu dilihat output dari SCC. Hasil dari pengujian SCC dapat dilihat pada tabel 6.

Pengujian SCC ini akan dilakukan sebanyak dua kali yaitu pada kondisi LED pada SCC merah yang berarti tegangan pada aki rendah sebesar 9,5 V dan pada kondisi LED SCC hi-

jau sebesar 11,9 V yang berarti tegangan pada aki dalam keadaan bagus. Pengambilan nilai tegangan *solar charge controller* dilakukan pada pin *input* panel surya dan nilai tegangan aki pada pin *output solar charge controller* untuk aki. Untuk mengukur tegangan yang diubah oleh SCC maka pertama set VCC pada tegangan yang diinginkan lalu hubungkan dengan SCC, kemudian ukur kembali nilai tegangan tersebut.

Tabel 6: Data Hasil Pengujian SCC

VCC	Tegangan yang diubah	Kondisi LED merah		Tegangan yang diubah	Kondisi LED hijau	
		V SCC (V)	V Aki (V)		V SCC (V)	V Aki(V)
12	12,01 V	11,58	11,58	12,04 V	12,00	12
13	12,96 V	11,81	11,81	13,04 V	12,20	12,2
14	13,90 V	12,02	12,00	13,91 V	12,36	12,34
15	14,63 V	12,2	12,17	14,84 V	12,54	12,51
16	14,68 V	12,23	12,20	14,91 V	12,63	12,6
17	14,72 V	12,25	12,21	14,94 V	12,66	12,66
18	14,83 V	12,26	12,23	14,95 V	12,73	12,70

Hasil pergujian SCC menunjukkan bahwa SCC mengambil tegangan dari VCC diantara range 12-18V menjadi nilai tegangan charge aki pada umumnya.

### Pengujian Keseluruhan Sistem *Solar Tracker*

Pengujian panel surya dengan sistem *solar tracker* dilakukan setelah semua modul dan komponen yang digunakan sudah diuji, setelahnya pengujian dilakukan dengan meletakkan panel surya dengan sistem *solar tracker* yang telah dibuat ditempat yang cukup mendapatkan cahaya matahari. Pengujian dilakukan untuk mendapatkan data tentang nilai tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan oleh panel surya dengan sistem *solar tracker*, serta data tentang sudut perputaran *solar tracker* dan intensitas cahaya yang didapat oleh panel surya.

Proses pengambilan parameter output dilakukan dengan mengaktifkan *solar tracker* pada jam yang telah ditentukan selama 1-10 menit dengan kondisi tegangan aki sekitar 9,4 V, hal ini dilakukan karena jika *solar tracker* terus diaktifkan maka aki akan terus terisi yang menyebabkan nilai tegangan aki naik, jika

tegangan aki hampir mendekati range tegangan normalnya maka arus yang masuk akan dibatasi secara otomatis oleh SCC.

Pengambilan data parameter *output* masing-masing akan diambil sebanyak dua kali, yaitu untuk pengambilan data sistem panel surya dengan *solar tracker* dan tanpa *solar tracker*. Pengujian dilakukan dari pukul 07.00 sampai pukul 17.00 WIB pada hari rabu tanggal 24 bulan Oktober tahun 2018. Lokasi pengujian dilakukan pada titik koordinat 6°21'46" S (Lintang Selatan) 106°50'04"E (Bujur Timur), titik koordinat diambil dengan menggunakan aplikasi Google Earth. Data hasil pengujian sistem panel surya dengan *solar tracker* dapat dilihat pada tabel 7 dan untuk tanpa *solar tracker* dapat dilihat pada tabel 8. Daya sementara per jam yang dihasilkan dapat dihitung menggunakan persamaan 4, dengan contoh perhitungan menggunakan sampel dari tabel 7 pada jam 10.00 WIB dengan nilai tegangan 11,68 V dan arus 608,3 mA.

$$\begin{aligned}
 P &= V \times I \dots\dots\dots(4) \\
 P &= 11,68 \times 608,3 \times 10^{-3} \\
 P &= 7,104944 \text{ W} \approx 7,10 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Tabel 7: Hasil Pengujian Panel Surya dengan Sistem *Solar Tracker* terhadap Waktu

Pukul (WIB)	Kondisi cuaca	Panel Surya dengan sistem <i>Solar Tracker</i>					
		Intensitas (Lux)	Suhu (°C)	Sudut (°)	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (W)
7.09	Cerah	49397,76	29,1	23	11,13	398,6	4,44
8.06	Cerah	61562,33	30,1	35	11,22	432,1	4,85
9.05	Cerah	73728	34	50	11,56	586,01	6,77
10.02	Cerah	76308,49	33,1	64	11,68	608,3	7,10
11.05	Cerah	71516,17	35,6	79	11,72	555,2	6,60
12.02	Cerah	63037,44	35,6	91	11,79	515,1	6,07
13.03	Cerah	43499,49	36,7	112	11,64	387,8	4,51
14.03	Cerah	49397,76	35,2	128	11,68	419,3	4,9
15.01	Cerah	30965,74	33,4	148	11,42	277,3	3,17
16.02	Cerah	8248,31	32,1	160	11,19	98,8	1,10
17.01	malam	2062	31,2	168	6,75	11,2	0,075
ΣP=							49,59

Tabel 8: Hasil Pengujian Panel Surya Statis terhadap Waktu

Pukul (WIB)	Kondisi cuaca	Panel Surya Statis Tanpa sistem <i>Solar Tracker</i>					
		Intensitas (Lux)	Suhu (°C)	Sudut (°)	Tegangan	Arus (mA)	Daya (W)
7.08	Cerah	17602,5	29,1	90	10,27	162,1	1,66
8.04	Cerah	23500,78	30,1	90	10,94	261,3	2,87
9.02	Cerah	58263,24	34	90	11,27	468,26	5,28
10.03	Cerah	69672,36	33,1	90	11,5	553,5	6,37
11.03	Cerah	67829,77	35,6	90	11,59	535,9	6,20
12.00	Cerah	62997,44	35,6	90	11,79	513,5	6,05
13.03	Cerah	35307,42	36,7	90	11,49	342,3	3,93
14.00	Cerah	39075,81	35,2	90	11,51	336,1	3,87
14.58	Cerah	18892,79	33,4	90	11,24	192,2	2,17
16.02	Cerah	5806,08	32,1	90	5,53	58,8	0,325
16.56	malam	1589,12	31,2	90	6,72	7,4	0,05
ΣP=							38,77

Dari tabel 7 dapat dilihat bahwa nilai maksimum daya yang dihasilkan panel surya dengan sistem *solar tracker* didapat pada pukul 10.05 WIB sebesar 7,10 W dengan sudut kemiringan panel surya sebesar 64°, serta nilai intensitas cahaya matahari sebesar 76308,49 Lux. Sedangkan untuk nilai minimum daya yang dihasilkan sebesar 0,075 W pada pukul 17.02 WIB dengan sudut kemiringan panel surya sebesar 168°, serta nilai intensitas cahaya matahari sebesar 2062 Lux.

Tabel 8 menunjukkan hasil pengujian panel surya statis yang tidak bergerak, dimana nilai

maksimum daya didapat pada pukul 10.03 WIB sebesar 6,37 W dengan sudut kemiringan yang tetap sebesar 90°, serta nilai intensitas cahaya matahari sebesar 69672,36 Lux. Sedangkan untuk nilai minimum tegangan dan arus yang dihasilkan sebesar V dan A pada pukul 16.55 WIB dengan sudut kemiringan yang tetap sebesar 0,05 W, serta nilai intensitas cahaya matahari sebesar 1589,12 Lux.

Dari tabel 7 dan 8 dapat dilihat bahwa *output* dengan sistem *solar tracker* lebih besar dari pada tanpa sistem *solar tracker*, dapat dilihat bahwa *solar tracker* memberikan optimalisasi

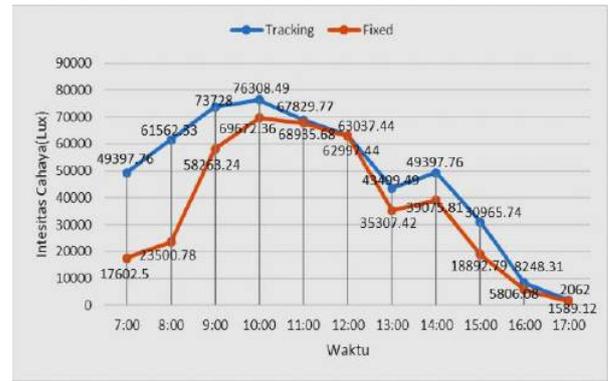
terbesar pada jam 07.00 – 10.00 dan 14.00-17.00 WIB. Hal ini dikarenakan pada jam tersebut *solar tracker* mengikuti arah datangnya matahari yang sudut datangnya masih berbeda terlalu jauh dengan sudut panel surya statis yang 90<sup>o</sup>, sehingga intensitas cahaya yang didapat lebih optimal. pada jam 12.00 WIB *ouput* daya panel akan hampir sama baik dengan *solar tracker*, hal ini dikarenakan memang pada jam tersebut arah datngnya sinar matahari sudah hampir sama dengan posisi panel surya statis.

Dari tabel 7 dan 8 dapat dibandingkan bahwa nilai tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan oleh panel surya dengan sistem *solar tracker* lebih besar dari panel surya yang statis, perbedaan nilai daya ini tentu dikarenakan penyerapan yang diterima dengan sistem *solar tracker* lebih maksimal. Gambar 16 menunjukkan grafik perbedaan daya antara metode *solar tracker* dengan metode statis



Gambar 16: Grafik Perbandingan Daya antara Metode *Solar Tracker* dengan Metode Statis

Maksimalnya intensitas cahaya yang diterima oleh panel surya dengan sistem *solar tracker* karena panel mengikuti arah datangnya cahaya matahari yang diterima oleh rangkaian sensor cahaya LDR, seperti yang ditunjukkan oleh grafik perbandingan intensitas cahaya antara metode *solar tracker* dengan metode statis pada gambar 17. Hal ini tentu berbeda dengan panel surya statis dengan sudut kemiringan 90<sup>o</sup> sehingga tidak dapat mengikuti arah datangnya cahaya matahari. Perubahan arah datangnya sinar matahari akan diikuti oleh panel surya dengan sistem *solar tracker* melalui motor DC.



Gambar 17: Grafik Perbandingan Intensitas Cahaya Matahari antara metode *Solar Tracker* dengan Metode Statis

Peningkatan daya *solar panel* dengan menggunakan sistem *solar tracker* terhadap *solar panel* statis dapat dicari menggunakan persamaan 3.4, dengan menggunakan nilai rata-rata total daya hasil pengujian dengan *solar tracker* dari tabel 7 sebesar 49,59 W dan panel statis dari tabel 8 sebesar 38,77 W. hasil perhitungan menunjukkan pengoptimalan daya panel surya yang didapat sebesar 27,91 %.

$$\eta = \frac{P_{tracker} - P_{statis}}{P_{statis}} \times 100\% \dots\dots(5)$$

Contoh perhitungan sebagai berikut :

$$\eta = \frac{49,59 - 38,77}{38,77} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{10,82}{38,77} \times 100\%$$

$$\eta = 27,91 \%$$

## Penutup

Penelitian ini telah menghasilkan sistem *solar tracker dual axis* yang tersusun atas komponen modul panel surya, sensor LDR, sensor arus dan tegangan, sensor intensitas cahaya, sensor suhu, dan *limit switch* sebagai masukan sistem. Modul *arduino*, *solar charger controller*, *relay* dan *driver motor* sebagai bagian pemroses. Penampil LCD dan motor DC sebagai bagian keluaran sistem. Berdasarkan pengujian bekerjanya sistem *solar tracker* telah berhasil mengikuti sinar matahari yang menghasilkan daya maksimum sebesar 7,1 W pada intensitas cahaya 71516,17 Lux. Sedangkan

hasil pengukuran daya keluaran alat ini mampu memberikan peningkatan daya keluaran sebesar 27,91 %. Daya optimal terbesar terjadi pada pukul 07.00-10.00 WIB dan 14.00-17.00 WIB.

## Daftar Pustaka

- [1] Hartono, Wahyu Kusuma R., M. Karjadi, "Rancang Bangun Alat Pengendali Posisi Panel Surya Berdasarkan Rotasi Waktu", Skripsi Teknik Elektro, Universitas Gunadarma, Jakarta, 2015.
- [2] Lady Ada, "DHT11, DHT22, and AM2302 Sensor", Adafruit Learning System, 2018.
- [3] Anonim, "Buku Panduan Energy Terbarukan", Contained Energy Indonesia, 270190 460933 ISBN 1-885203-29-2.
- [4] Mukund R. Patel, "Wind and Solar Power Systems Design, Analysis, and Operation", 2th ed, Boca Raton: CRC Press, 2006.
- [5] Hamdani. Muhammad, "Pengendalian Kecepatan Putaran Motor DC Terhadap Perubahan temperatur Dengan Sistem Modulasi Lebar Pulsa", Depok: Universitas Indonesia, 2010.
- [6] Zuhail, "Dasar teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya", Jakarta: PT. Gramedia, 2000.
- [7] Geo. Bruce, "Arduino Solar Tracker," [Online]. Available: <https://www.instructables.com/id/Arduino-Solar-Tracker/>. [Accessed 28 Oktober 2018].
- [8] Teresna, Sugiarta, dan Suparta, "Pengujian Charger Modul Solar Cell untuk Menyuplai Warning Light," Buletin Fisika, vol. 15, no. 2, pp. 31-39, 2014.
- [9] Anonim, "Voz 12V 7.2 Ah VRLA AGM", [Online]. Available: <https://www.voz.co.id/voz-12v-7-2-vrla-agm/>. [Accessed 24 Oktober 2018].
- [10] Muhammad Fahmi Hakim, "Perancangan Rooftop Off Grid pada Rumah Tinggal sebagai Alternatif Sumber Tenaga Listrik", Dinamika DotCom, vol. 8, no. 1, pp. 1-11, 2017.
- [11] Anonim, "Arduino BoardMega2560", <http://www.arduino.cc/en/Main/Arduino-BoardMega2560>, diakses tanggal 22 Juli 2018.