

Penggunaan XL4015 Pada Proses Pengecasan Baterai Kering Kapasitas Kecil

Medi Yuwono Tharam¹, Widda Arifa², Irawan Suharto³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Pontianak, Pontianak

e-mail: *mytharam@yahoo.com, ²widdaarifa@gmail.com, ³suhartoIrawan@gmail.com

Abstrak

Masyarakat lebih sering menggunakan energi baru terbarukan menggunakan energi matahari untuk menghasilkan energi listrik. Secara umum di Indonesia saat ini harga per WP (Watt Peak) panel surya masih terbilang mahal berkisar Rp. 12000 – Rp 17000 per WP. Pemakaian panel surya sebagai sumber energi listrik memerlukan perangkat pengatur proses charge dan discharge baterai. Penggunaan modul XL4015 berteknologi Maximum Power Point Tracking (MPPT) untuk menjaga titik kerja proses charger menggunakan sel surya. Pada XL4015 menggunakan DC-DC Boost Converter sebagai pengatur tegangan keluarannya. Masukan diperoleh dari tegangan panel surya agar titik kerja tegangan keluaran panel surya tetap pada titik MPP. Modul XL4015 dapat mereregulasi tegangan yang dihasilkan sel surya menjadi 13,8 Volt dan arus charge rata rata 2,07 Ampere.

Kata kunci : Energi baru terbarukan, MPPT, modul XL4015.

Abstract

People more often use renewable energy using solar energy to produce electricity. In general in Indonesia at the moment the price per WP (Watt Peak) solar panels is still relatively expensive Rp. 12000 - Rp. 17000 per WP. Solar clothing panels as a source of electrical energy require a charge device and remove the battery. The use of XL4015 module with Maximum Power Point Tracking (MPPT) technology to request the work point of the process using solar cells. XL4015 uses DC-DC Boost Converter as regulator of the output voltage. Placed on the solar panel so that the working point of the solar panel voltage remains at the MPP point. The XL4015 module can regulate the voltage generated by solar cells to 13.8 Volts and an average current of 2.07 Amperes.

Keywords : Renewable Energy, MPPT, modul XL4015.

1. PENDAHULUAN

Bappenas di lamannya menyatakan bahwa Indonesia telah mengumumkan target capaian 19% pada tahun 2019 dalam bauran energi nasional akan berasal dari sektor energi baru dan terbarukan. Umumnya PLN mengoperasikan pembangkitnya untuk menghasilkan produk membutuhkan biaya yang besar, karena pembangkitnya sebagian besar berbasis diesel. Sementara itu, pembangunan pembangkit listrik berbasis energi terbarukan dinilai tidak akan berdampak negatif terhadap kelestarian lingkungan.

Laman Datakita.co.id dalam artikelnya mengenai konsumsi energi listrik menyatakan Secara nasional perubahan gaya hidup berdampak pada peningkatan konsumsi listrik. Menurut data Kementerian ESDM di tahun 2017 konsumsi listrik nasional sebesar 1.012 KWh, pada tahun

2018 pemerintah menargetkan rasio elektrifikasi sebesar 95,15%, diharapkan mencapai 100% di tahun 2025.

Masyarakat lebih sering menggunakan energi baru terbarukan menggunakan energi matahari untuk menghasilkan energy listrik, sebagai dampak dari pelepasan elektro akibat terpapar sinar matahari yang terjadi di panel surya. Secara umum di Indonesia saat ini harga per WP (Watt Peak) panel surya masih terbilang mahal berkisar Rp. 12000 – Rp 17000 per WP. Untuk dapat disimpan dalam baterai diperlukan tegangan DC yang dapat diatur sedemikian rupa hingga tidak merusak baterai tersebut. Perangkat pengaturan charger panel surya umumnya digunakan sudah ditetapkan pada tegangan tertentu seperti 12 Volt atau 24 Volt dengan kemampuan arus charge 10-20 Ampere.

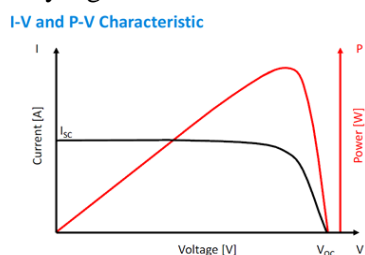
Menggalakan penggunaan energy baru terbarukan pada masyarakat luas dalam hal ini panel surya, perlu tersedianya perangkat pendukung yang sangat terjangkau oleh masyarakat, baik di sisi teknologi maupun harga. Dengan demikian minat akan energy baru terbarukan di masyarakat dapat meningkat. Penggunaan energy listrik untuk perangkat sederhana dan keperluan tegangan serta arus yang kecil, penggunaan perangkat pengaturan charge yang umum digunakan dirasakan berlebihan.

Melihat hal tersebut perlu dilakukan kajian penggunaan panel surya kecil, perangkat pengatur proses charge dan discharge untuk baterai kapasitas kecil, dimana tegangan perangkat dapat diatur keluarannya sesuai baterai yang digunakan.

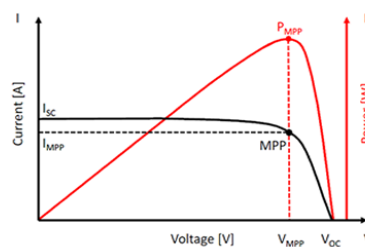
Mahmud Effendy dalam jurnalnya tentang penggunaan teknologi MPPT (maximum power point tracker) pada sistem pembangkit listrik tenaga angin. Dalam penelitiannya, digunakan MPPT untuk menaikkan efisiensi PLTB yang dibuktikan dengan hasil penelitiannya dimana teknologi tersebut mampu meningkatkan efisiensinya sebesar 20%. [1]

Energi surya merupakan suatu energi alternatif yang tersedia dalam jangka waktu yang lama, sementara sumber energi utama yang digunakan saat ini mempunyai keterbatasan. MPPT digunakan untuk menjaga kinerja panel sel surya. Disamping itu digunakan pula Boost Converter untuk mengatur tegangan keluaran yang dihasilkan sel surya agar senantiasa berada di MPP-nya. Dengan digunakannya teknologi MPPT terjadi kenaikan tegangan keluaran sebesar 51,22%. Di saat tanpa MPPT rata-rata keluarannya 19,84 Volt, dengan digunakannya MPPT menjadi 40,67 Volt dengan kondisi paparan sinar matahari berubah-ubah. [2]

Keluaran PV di pengaruhi oleh factor irradiance dan temperature, faktor-faktor tersebut sangat menentukan besarnya energy listrik yang dihasilkan. Sistem PV yang efisien tidak lepas dari teknologi MPPT, titik dimana yang dihasilkan oleh sistem PV paling maksimum. [3]

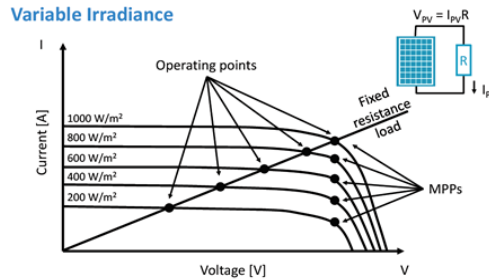


Gambar 1. Kurva Karakteristik I-V modul sel surya



Gambar 2. Kurva karakteristik maksimum power point

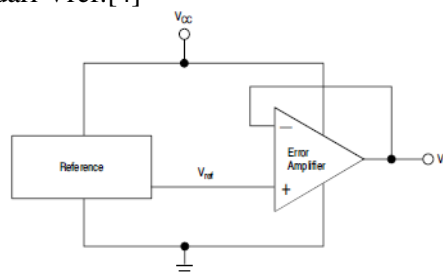
Gambar 1. menampilkan kurva I-V dari sel PV atau modul PV, output dinyatakan dari **daya P (watt) = tegangan V (volt) x arus I (ampere)**. Pada Gambar 2. Terdapat suatu titik yang menyatakan nilai maksimumnya, titik tersebut berhubungan dengan nilai besaran tertentu. Dari gambar tersebut, untuk senantiasa PV berada di performa terbaik harus beroperasi di titik P-MPP-nya. [3]



Gambar 3. Kurva System PV Dengan Irradiance berubah ubah

Pada gambar 3, dengan posisi *irradiance* yang berbeda-beda, sistem bekerja pada beberapa titik yang jauh dari titik *maximum power point*. Pada kondisi realita, kondisi beban R tidak selalu bernilai tetap karena pemakai bebas menggunakan perangkat listrik apa saja (gambar 5). Akibatnya daya keluaran makin tidak dapat diprediksi dan tentu saja makin memburuk. Oleh karena itu logika *maximum power point* MPP adalah **arus listrik I yang dikendalikan oleh tegangan V**. Artinya sistem harus menghasilkan tegangan V tepat pada (atau sedekat mungkin) dengan titik V-mpp. Bila sistem dapat menghasilkan tegangan V yang terdekat pada posisi V-mpp, bisa dipastikan arus yang mengalir pada beban R juga sebesar I-mpp, dengan demikian, sistem PV menghasilkan daya paling maksimal. MPPT dilakukan agar sistem mampu memberikan daya keluaran maksimum untuk setiap kondisi *irradiance*, sebagian modul PV tertutup bayangan gedung/pohon, ataupun perubahan suhu modul PV. Caranya dengan memisahkan (*decoupling*) tegangan beban dan tegangan PV dan menerapkan MPP tracker pada sistem PV.[3]

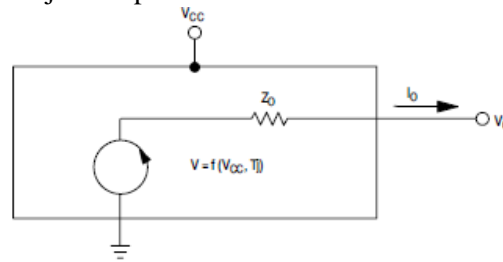
Mendapatkan tegangan DC secara umum dapat dihasilkan menggunakan rangkaian regulator. Secara ideal pengubah tegangan DC ke DC tidak ada perubahan baik pengurangan maupun penambahan daya masukan selama pengkonversian terjadi. Perubahan tegangan tersebut dapat berupa pengubah naik (Buck Converter) dan pengubah turun (Boost Converter). Regulasi tegangan adalah upaya bagaimana pengaturan keluaran dari suatu catu daya. Diagram blok fungsional dasar dari pengatur tegangan ditunjukkan pada Gambar 4. Ini terdiri dari referensi stabil, tegangan output V_{ref} , dan penguat kesalahan gain tinggi. Hasil tegangan (V_O), sama dengan atau kelipatan dari V_{ref} . [4]



Gambar 4. Blok Diagram Regulator Tegangan

Regulator akan cenderung menjaga V_O konstan dengan merasakan apapun perubahan dalam V_O dan mencoba mengembalikannya ke nilai aslinya. Oleh karena itu, regulator tegangan yang ideal bisa dianggap sebagai sumber tegangan dengan tegangan output yang

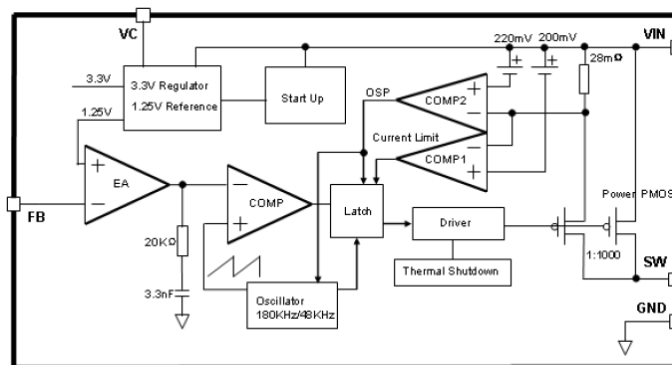
konstan. Namun, dalam prakteknya pengaturan tegangan keluaran lebih baik menggunakan IC seperti pemodelan yang ditunjukkan pada Gambar 5. berikut.



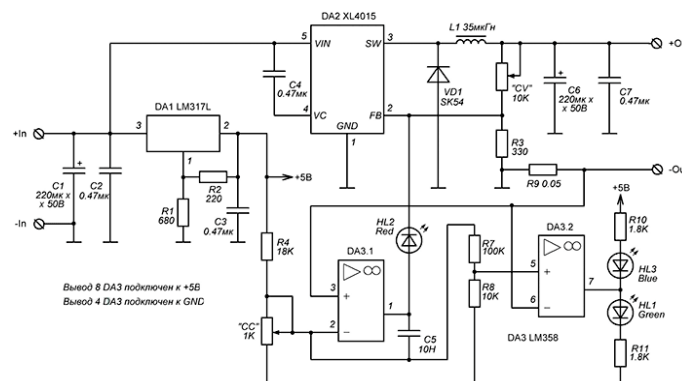
Gambar 5. Rangkaian ekivalen regulator tegangan

Pada gambar 5. regulator dimodelkan sebagai sumber tegangan dengan impedansi keluaran positif (Z_0). Nilai sumber tegangan (V) tidak konstan; melainkan bervariasi sesuai dengan perubahan tegangan suplai (V_{CC}) dan dengan perubahan suhu sambungan IC (T_J) yang disebabkan oleh perubahan suhu dan kekuatan lingkungannya. Juga, tegangan keluaran regulator (V_O) dipengaruhi oleh jatuh tegangan di Z_0 , yang disebabkan oleh arus keluaran (I_O). [4]

XL4015 adalah buck converter DC/DC yang mampu mendrive arus sebesar 5A frekwensi kerja 180Khz dengan regulasi tegangan beban yang sangat baik. Dengan menambahkan komponen eksternal seperti LM317 regulator variable dan LM358 komperator dapat dijadikan penjejak daya maksimum yang digunakan untuk proses charge kesegaran baterai dengan sumbernya surya sel. Gambar 6. berikut menampilkan bagian bagian dari XL4015. [5]



Gambar 6. Blok Diagram XL4015



Gambar 7. Rangkaian Switching Regulator XL4015 Sebagai Penjejak Daya Maksimum

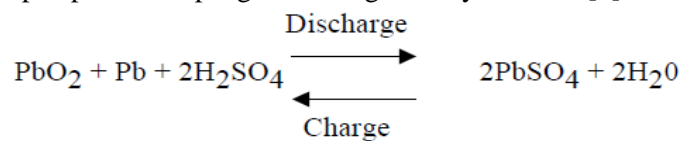
Pada perangkat ini, Variabel resistor "CV" adalah output regulator tegangan. Batas arus keluaran yang diatur pada penguat operasional DA3.1. Penguat ini membandingkan

penurunan tegangan pada resistor dengan sensor arus pada R9 dengan tegangan yang dapat diatur. Resistor variabel "CC" memilih level yang diinginkan dari regulator pembatas arus dalam beban. Jika nilai arus yang telah ditentukan terlampaui, output dari penguat akan menjadi sinyal tinggi, Red LED HL2 akan terbuka dan tegangan input 2 chip DA2 naik, yang akan menyebabkan pengurangan tegangan dan arus pada output stabilizer. Selanjutnya cahaya HL2 akan memberi sinyal, bahwa modul beroperasi dalam mode arus konstan (SS). Kapasitor C5 memiliki simpul kontrol untuk memberikan stabilitas. Penguat operasional kedua DA3.2 yang dirangkai sebagai alat untuk memberikan isyarat akan berkurangnya arus beban ke nilai kurang dari 9% oleh arus maksimum yang telah ditentukan. Jika melebihi nilai yang ditentukan, HL3 LED biru menyala, jika tidak HL1 LED hijau yang menyala. Pada DA1 digunakan untuk penstabil tegangan output digunakan untuk memberi daya pada penguat operasional DA3, karena digunakan untuk menghasilkan tegangan pembatas arus referensi dan pengurangan reduksi arus. Penurunan tegangan pada resistor sensor arus tidak dikompensasi, dengan peningkatan arus dalam tegangan output regulator beban jadi turun.[5]

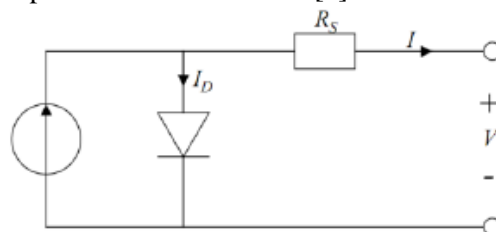
Cycle menyatakan masa pakai suatu baterai aki, dimana berisikan proses pengisian dan pengosongan pada satu saat. DoD merupakan ukuran yang menyatakan banyaknya muatan suatu baterai aki digunakan pada suatu waktu dan dinyatakan dalam persen. Besar kecilnya Depth Of Discharge (DoD) mempengaruhi masa pakai baterai aki.

Baterai aki 12 Volt, memiliki 6 sel. Tegangan satu sel umumnya 2.30V hingga 2.45V. Tegangan baterai aki 12 Volt berada diantara 13.8-14.7Volt. Pengosongan muatan baterai aki secara ekstrim tidak dianjurkan, kondisi tersebut mengurangi siklus hidup baterai aki tersebut.[6]

Dalam sel asam timbal, bahan aktifnya adalah timbal dioksida (PbO₂) pada plat positif, spons timbal (Pb) di piring negatif, dan larutan asam sulfat (H₂SO₄) dalam air sebagai elektrolit. Reaksi kimia selama pelepasan dan pengisian ulang biasanya tertulis:[7]



Pemodelan sel surya dapat digambarkan suatu sumber arus yang terpasang parallel dengan diode. Disaat tidak adanya paparan sinar, arus listrik yang ada adalah arus diode (I_D). Ketika menerima paparan cahaya, pada sel surya terjadi fotolistrik hingga menghasilkan energy listrik atau sel surya bertindak sebagai sumber energy. Sel surya dimodelkan dengan rangkaian pengganti satu diode seperti pada Gambar 8. berikut [8]



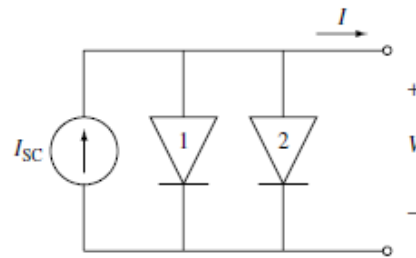
Gambar 8. Rangkaian Equivalent Sel Tunggal

Secara umum arus yang dihasilkan solar sel dinyatakan oleh persamaan berikut :

$$I = I_{SC} - I_{o1}(e^{qV/kT} - 1) - I_{o2}(e^{qV/2kT} - 1) \dots\dots\dots(2)$$

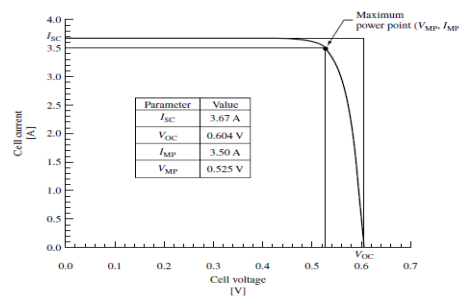
Arus hubung singkat dan arus saturasi gelap diberikan oleh ekspresi yang agak rumit yang bergantung pada struktur sel surya, bahan properti, dan kondisi operasi. Banyak yang bisa dipelajari tentang matahari operasi sel dengan memeriksa bentuk dasar persamaan (2). Dari perspektif sirkuit, jelas bahwa sel surya dapat dimodelkan oleh sumber arus ideal (I_{SC}) di sejajar

dengan dua dioda - satu dengan faktor idealitas "1" dan yang lainnya dengan idealitas faktor "2"[9], seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Pemodelan Rangkaian Sederhana Solar Sel

Perhatikan bahwa arah sumber menentang aliran arus dioda - artinya, berfungsi untuk memajukan bias dioda. Untuk kesederhanaan, arus karena daerah penipisan (dioda 2) telah diabaikan (asumsi yang wajar dan umum untuk sel surya silikon yang baik, terutama pada bias maju yang lebih besar). Itu menggambarkan beberapa angka penting manfaat untuk sel surya - arus hubung singkat, tegangan hubung terbuka, dan faktor pengisian. Pada tegangan yang diberikan kecil, arus dioda dapat diabaikan dan arus hanyalah arus hubung singkat, I_{sc} , seperti yang dapat dilihat ketika V diatur ke nol dalam persamaan (2). Ketika tegangan yang diberikan cukup tinggi sehingga arus dioda (Arus rekombinasi) menjadi signifikan, arus sel surya turun dengan cepat.[9]



Gambar 10. Kurva Karakteristik V-I Solar

2. METODE

Metode kuantitatif yang digunakan pada penelitian ini. Pengambilan data-data atau pengukuran tegangan PV, Tegangan charge dan arus charger selama 200 jam. Dimana durasi seharinya 10 jam. Pengukuran besaran tegangan yang dihasilkan oleh sel surya dan rangkaian pengecas baterai MPPT XL4015 sebagai buck regulator menggunakan alat ukur dalam hal ini multimeter digital KW06007 dan AVO meter YX360TRF. Keluaran perangkat buck regulator dengan berbagai input yang bervariasi selanjutnya diterapkan menjadi pengecasan ke baterai kering. Pengaturan awal tegangan charge sebesar 13,8 yang dihasilkan XL4015 dilakukan dengan menggunakan inputan dari tegangan DC variable. Pengukuran tegangan keluaran dan arus charge dari XL4015 sebagai akibat paparan sinar matahari yang mengenai PV dilakukan dengan jeda 30 menit tiap jamnya.

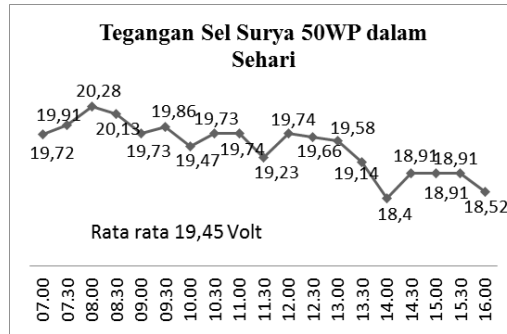
3. Hasil Dan Pembahasan

3.1. Sel Surya

Matahari memberikan energi dalam dua bentuk utama yaitu panas dan cahaya. Ada dua utama jenis sistem tenaga surya, yaitu sistem panas matahari yang memerangkap panas untuk menghangatkan air, dan sistem Photovoltaic surya yang mengubah sinar matahari

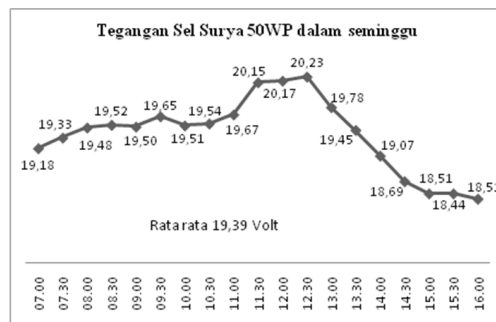
langsung menjadi listrik seperti yang ditunjukkan pada modul PV yang terkena sinar matahari, mereka menghasilkan arus searah ("DC") listrik.

Penggunaan sel surya dengan kapasitas sedang 50WP dapat digunakan untuk kebutuhan energi listrik berdaya rendah. Gambar 11 berikut menampilkan tegangan keluaran sel surya pada kondisi cuaca cerah



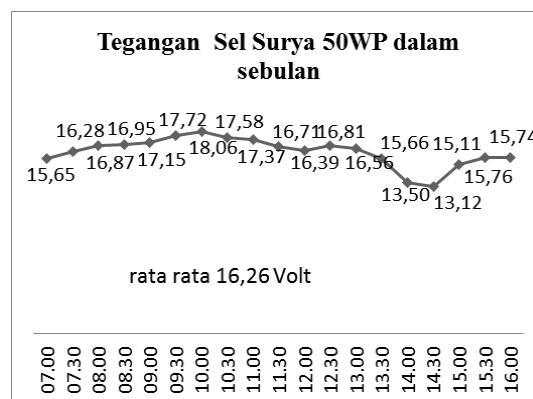
Gambar 11. Tegangan keluaran dalam 1(satu) hari cerah

Pada kondisi cuaca cerah, paparan sinar matahari yang mengenai sel surya menghasilkan tegangan rata rata sebesar 19,39 Volt seperti yang ditampilkan pada gambar 12. berikut.



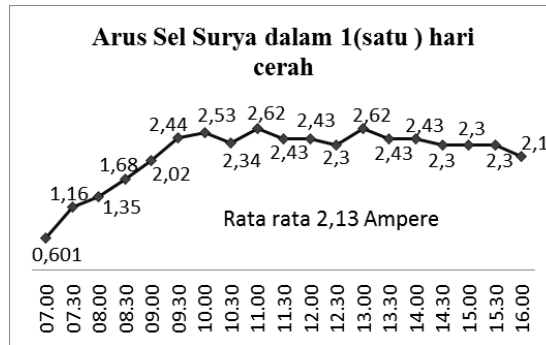
Gambar 12. Tegangan keluaran dalam seminggu

Dengan berfluktuasinya paparan dari sinar matahari mempengaruhi besarnya tegangan yang dihasilkan oleh sel surya. Pada gambar 15. berikut menampilkan tegangan keluaran sel surya yang digunakan dalam waktu 1(satu) bulan pengukuran. Karena dipengaruhi berubahnya paparan sinar matahari, rata-rata tegangan keluaran yang dihasilkan sebesar 16,26 Volt.



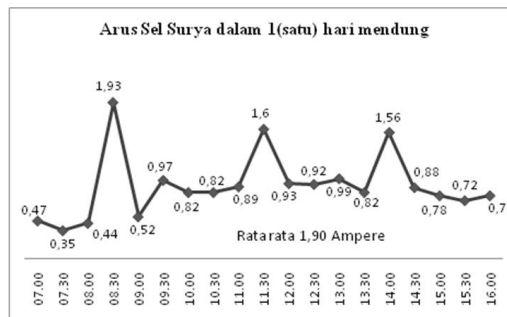
Gambar 13. Tegangan keluaran sel surya dalam sebulan

Dengan adanya paparan sinar matahari yang sampai pada permukaan sel surya, memicu terjadinya proses pelepasan foton yang membangkitkan arus listrik searah(DC). Pada gambar 14. menampilkan arus yang dibangkitkan oleh sel surya yang digunakan (50WP) selama 1(satu) hari dengan kondisi cuaca cerah.



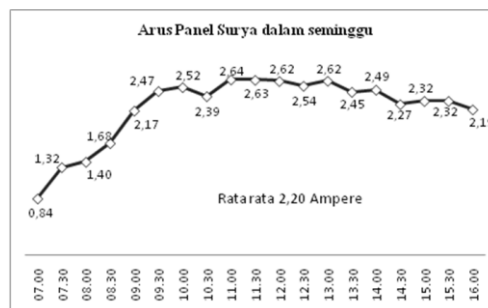
Gambar 14. Arus sel surya pada 1(satu) hari cerah

Sedikit banyaknya paparan sinar yang diterima oleh sel surya mempengaruhi pula tegangan dan arus yang mampu dibangkitkan oleh sel surya. Gambar 15. menampilkan arus listrik yang dihasilkan oleh sel surya dengan kondisi cuaca mendung.



Gambar 15. Arus listrik sel surya dengan kondisi mendung

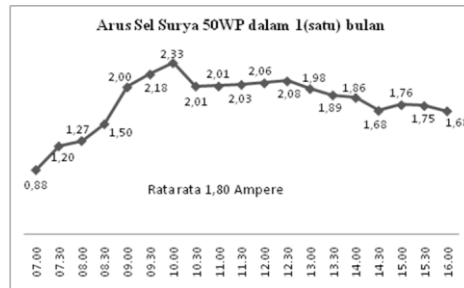
Dengan fluktuasinya paparan sinar matahari dalam kesehariannya, arus yang dihasilkan sel surya dalam 1(satu) minggu rata rata sebesar 2,20 Ampere seperti yang ditampilkan pada gambar 16 berikut.



Gambar 16. Arus sel surya dalam 1(satu) minggu

Selama melakukan pengukuran terjadi perubahan paparan sinar matahari yang diakibatkan oleh terhalangnya paparan sinar matahari akibat pergerakan awan atau akibat perubahan cuaca akibat kondisi alam. Keadaan tersebut mempengaruhi terjadinya proses

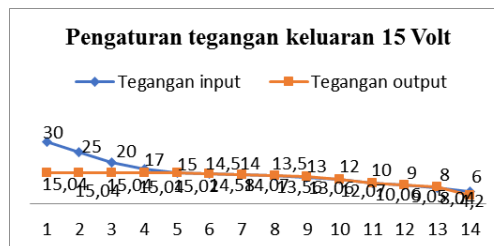
pembangkitan arus listrik searah pada sel surya. Kondisi tersebut disajikan pada gambar 17. berikut. Dimana rata rata arus listrik searah(DC) dihasilkan sel surya dalam 1(satu) bulan sebesar 1,80 Ampere.



Gambar 17. Arus sel surya selama 1(satu) bulan

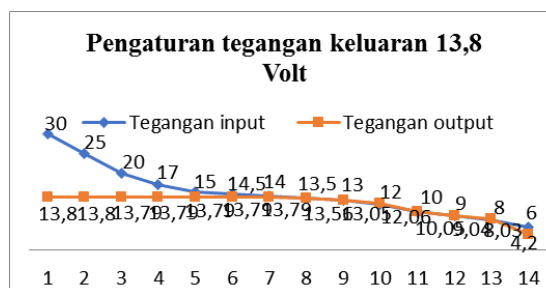
3.2. MPPT XL4015

Pengaturan keluaran dari MPPT Xl4015 yang merupakan control charger solar cell dilakukan dengan mensimulasikan tegangan input menggunakan catu daya variable. Simulasi tersebut menggambarkan fluktuasinya tegangan keluaran sel surya sebagai akibat berubah ubahnya paparan sinar matahari yang menerpa sel surya. Proses regulasi tegangan dapat dilakukan dengan baik jika tegangan masukan lebih besar atau sama dengan tegangan keluaran yang dikehendaki. Hal tersebut ditampilkan pada gambar 18 dan gambar 19.



Gambar 18. Pengaturan tegangan output Charger 15 Volt

Pada gambar 18. tersebut, tegangan keluaran yang dikehendaki sebesar 15 Volt. Disaat tegangan masukan dari XL4015 lebih besar dari 15 Volt, proses regulasi berjalan dengan semestinya. Namun disaat tegangan masukan sama dengan atau lebih kecil dari 15 Volt proses regulasi tidak berjalan dengan baik. Terlihat tegangan masukan 15 Volt tegangan keluarannya sebesar 15 Volt juga. Demikian halnya pada tegangan masukan 10 Volt, tegangan keluaran yang dihasilkan juga sekitar 10 Volt juga.



Gambar 19. Pengaturan tegangan output Charger 13,8 Volt

Pada gambar 19. menampilkan tegangan keluaran XL4015 diatur sebesar 13,8 Volt. Regulasi tegangan berjalan dengan baik disaat tegangan masukan lebih besar dari 13,8 Volt hingga 14 Volt.

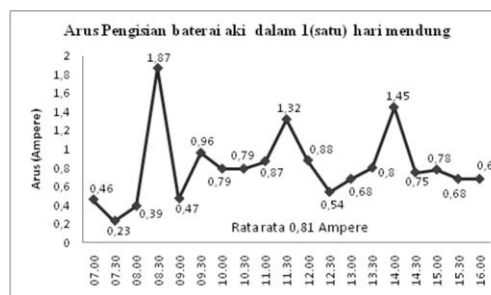
3.3. Pengisian Baterai

Untuk menjaga selalu tersedianya energi di dalam baterai dibutuhkan proses pengisian energi listrik tersebut. Proses pada penelitian ini dilakukan menggunakan modul control Charger solar cell yang berisikan XL4015 dan LM317. Tegangan charger/pengisian sebesar 13,8 Volt. Tegangan input pada proses charger berasal dari tegangan yang dihasilkan sel surya. Arus rata rata pengisian baterai aki pada 1(satu) hari yang cerah ditampilkan pada gambar 20. berikut.



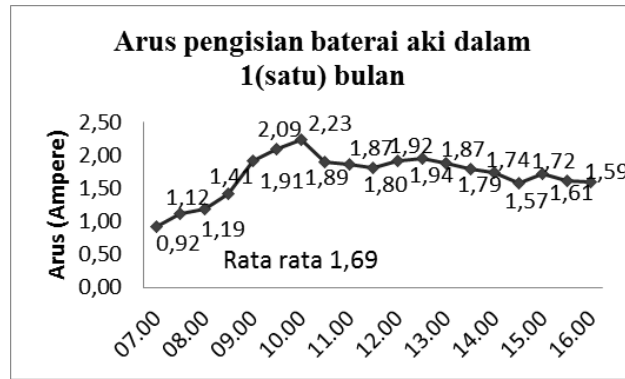
Gambar 20. Arus output Charger hari cerah

Sedangkan pada kondisi cuaca mendung yang terkadang di saat tertentu paparan sinar matahari tidak terhalang oleh awan mendung, rata rata besarnya arus pengisian baetrai aki ditunjukkan pada gambar 21. dibawah ini.



Gambar 21. Arus output Charger hari mendung

Sedangkan arus pengisian yang dilakukan selama 1(satu) bulan rata rata dihasilkan sebesar 1,69 A dengan segala kondisi paparan sinar matahari yang sampai ke permukaan sel surya yang digunakan, seperti yang ditampilkan pada gambar 22 berikut.



Gambar 22. Arus output Charger 1(satu) bulan

Kapasitas baterai diukur dalam ampere-Jam (AH) sedangkan daya baterai merupakan perbandingan lurus antara tegangan baterai dengan kapasitasnya. Pada penelitian ini baterai yang digunakan tipe BG-12120F2 Rechargeable Sealed Lead Acid 12V/12Ah.

Untuk keperluan energi listrik keseharian yang sederhana seperti untuk pemenuhan kebutuhan penerangan berbasis LED SMD 5050 atau penggunaan daya kecil lainnya. Pada LED SMD 5050 Warm White dengan banyaknya 6 led arus majunya 120 mA.[12]

Penggunaan modul led tersebut sebanyak 4 modul dengan waktu pemakaian 12 jam, arus yang dikonsumsi 5,76 A. Penggunaan baterai 12V/12Ah didukung pula dengan penggunaan perangkat charging berbasis XL 4015 yang memiliki arus charger sehari rata rata 2,07 A disaat cuaca cerah, cukup memadai untuk diterapkan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kebutuhan energi listrik dengan daya kecil dapat menggunakan baterai kering 12 V/12Ah sebagai sumber energinya. Penggunaan modul charger XL4015 MPPT dapat digunakan untuk melakukan proses charge baterai 12V/12Ah pada pemanfaatan energi baru terbarukan. Beban menggunakan led SMD 5050 selama 12 jam besarnya muatan baterai yang dikonsumsi sebesar 5,76 Ah. Modul XL4015 dapat meregulasi tegangan yang dihasilkan sel surya menjadi 13,8 Volt dan arus charge rata rata 2,07 Ampere pada hari cerah yang selanjutnya digunakan untuk mencharge baterai 12v/12Ah

Penggunaan XL1405 ini dapat diterapkan pada sistem penerangan jalan dilingkungan/pemukiman atau sistem penunjuk jalan/rambu. Modul charger XL4015 kurang baik digunakan sel surya yang arus keluaranya lebih dari 3 Ampere

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Effendy, “Rancang Bangun Maximum Power Point Tracking (MPPT) Solar Sel Untuk Aplikasi Pada Sistem Grid Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTAG),” J. Gamma, vol. 9, no. 1, pp. 170–178, 2015.
- [2] A. Faizal and B. Setyaji, “Desain Maximum Power Point Tracking (MPPT) pada Panel Surya Menggunakan Metode Sliding Mode Control,” vol. 14, no. 1, pp. 22–31, 2016.
- [3] netsolar, “Maximum Power Point Tracking (MPPT) – Energy Evolved,” 2018. [Online]. Available: <https://netsolar.wordpress.com/2018/02/26/maximum-power-point-tracking-mppt/>. [Accessed: 11-Nov-2019].
- [4] O. N. Semiconductor, Linear & Switching Voltage Regulator Handbook Linear & Switching Voltage Regulator Handbook. 2002.
- [5] XLSEMI, “Datasheet Buck DC to DC XL4013,” pp. 1–10.

- [6] panelsurya.com, "Charging dan Discharging Baterai Aki." [Online]. Available: <http://www.panelsurya.com/index.php/id/batere/charge-and-discharge>. [Accessed: 13-Nov-2019].
- [7] D. M. Bush, "Handbook of Secondary Storage Batteries and Charge Regulators in Photovoltaic Systems Final Report," vol. 2002, p. 180, 2002.
- [8] M. Zeman, Solar Cells Theory. 2014.
- [9] H. S. Luque Antonio, Handbook of Photovoltaic Science and Engineering. West Sussex England: Wiley, 2003.
- [10] Dunia Energi, "Pemerintah Tetapkan RUPTL 2019-2028, Pembangkit EBT Bertambah 1,8 GW - Dunia Energi." [Online]. Available: <https://www.dunia-energi.com/pemerintah-tetapkan-ruptl-2019-2028-pembangkit-ebt-bertambah-18-gw/>. [Accessed: 17-Nov-2019].
- [11] CNBCIndonesia, "RI Target 6500 MW Listrik PLTS, Begini Realisasinya." [Online]. Available: <https://www.cnbcindonesia.com/news/20190724133251-4-87226/ri-target-6500-mw-listrik-plts-begini-realisasinya>. [Accessed: 17-Nov-2019].
- [12] S. Led, "Data Sheet 5050 SMD 60 LED / m Indoor Strip LED," pp. 1–10.