

PROTOTIPE BATTERY CHARGE CONTROLLER SOLAR HOME SYSTEM DI DESA ULAK KEMBAHANG 2 KECAMATAN PEMULUTAN BARAT KABUPATEN OGAN ILIR

M. Suparlan^{1*}, A. Sofijan², dan M.B. Akbar³

^{1,2,3}Teknik Elektro, Universitas Sriwijaya, Palembang
Corresponding author: a_sofijan@ft.unsri.ac.id

ABSTRAK : *Battery charge controller* merupakan perangkat yang berfungsi untuk mengatur pengisian daya dari modul surya ke baterai, agar tidak terjadi *overcharge*, serta mengatur *output* yang keluar dari baterai, agar tidak terjadi *under charger*, maka digunakan sistem *bulking* pengisian baterai dengan cepat saat tegangan pada baterai dibawah 13,5 v lalu *floating* ini bekerja dengan pengisian normal agar baterai tidak rusak sistem ini bekerja saat tegangan pada baterai diatas 13,5 v dan *bypass* ini akan bekerja saat tegangan baterai telah mencapai 13,8 v atau kondisi baterai penuh kemudian tegangan yang berasal dari panel surya akan langsung dialirkan ke beban, sehingga dapat memperpanjang *life time* dari baterai itu sendiri. Pengabdian ini menghasilkan *prototype battery charge control* untuk *solar home system* yang mana penyuluhan dan sosialisasi pengetahuan tentang energi baru terbarukan ini dapat meningkatkan pengetahuan siswa dan menambah wawasan untuk para guru di desa Ulak Kambahang 2 Kecamatan Pemulutan Barat Kabupaten Ogan Ilir.

Kata Kunci: *Solar Home System, Solar Charge Controller, Baterai, Overcharge, Overdischarge.*

ABSTRACT: *Battery charge controller* is a device that functions to regulate the charging of the solar module to the battery, so doesn't to *overcharge*, and regulate the output from the battery, occurred under the charger, then the battery charging *bulking* system is used quickly when the voltage on the battery is below 13,5v then this *floating* works with normal charging so that the battery is not damaged the system works when the voltage on the battery is above 13,5 v and this *bypass* will work when the battery voltage has reached 13,8 v or the condition of the battery is full then the voltage coming from the solar panel will be directly supplied to the load, so to extend the life time of the battery itself. This dedication resulted in a *prototype battery charge control* for solar home systems in which counseling and information dissemination on new renewable energy could increase student knowledge and add insight to teachers in Ulak Kambahang 2 village, Pemulutan Barat District, Ogan Ilir Regency.

Keywords: *Solar Home System, Solar Charge Controller, Battery, Overcharge, Overdischarge.*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Penggunaan system pembangkit listrik tenaga surya pada skala rumahan (*solar home system*) memberikan dampak yang baik untuk memenuhi keperluan akan tenaga listrik khususnya untuk masyarakat yang berada jauh dari sumber listrik konvensional seperti yang dimiliki oleh PLN (Arota, Kolibu, & Lumi, 2013).

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) memanfaatkan energi surya untuk dapat menghasilkan energi listrik dengan bantuan modul surya atau solar panel. Biasanya energi surya yang telah dikonversikan

menjadi energi listrik disimpan dahulu kedalam baterai sebelum disalurkan ke beban, hal ini dilakukan agar tidak terjadi *losses* energi pada saat tidak terhubung beban.

Baterai merupakan suatu tempat penyimpanan sel listrik, yang mengalami proses elektrokimia yang *reversible*, yang artinya pada baterai, energi listrik dapat berubah menjadi energi kimia (proses pengisian muatan), serta sebaliknya, energi kimia dapat berubah menjadi energi listrik (proses pengosongan muatan). Daya listrik pada suatu baterai dapat diisi ulang dengan regenerasi elektroda yang digunakan, dengan jalan melewatkan arus listrik dengan polaritas tertentu, dengan syarat harus berlawanan dalam sel tersebut. Pada sistem pembangkit listrik tenaga surya, baterai dimanfaatkan untuk media

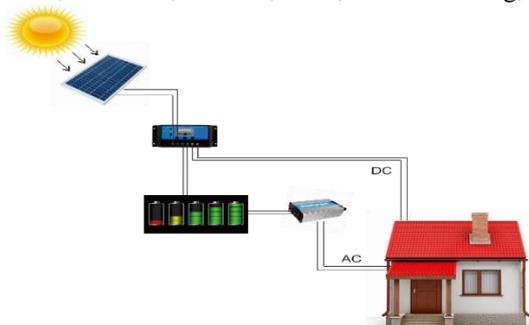
penyimpanan energi listrik, akan tetapi daya pada baterai adalah terbatas, dan harus dilakukan pengisian berulang kali, hal ini dapat mempengaruhi *lifetime* dari baterai tersebut, terlebih lagi apabila pada saat pengisian daya tersebut baterai mengalami kelebihan muatan (*overcharge*) atau baterai yang telah mendapat daya maksimal dari kapasitasnya masih menerima pengisian daya, maka dari itu pada sistem pembangkit listrik tenaga surya diperlukan perangkat yang mengontrol pengisian baterai. Perangkat yang digunakan untuk mengatur daya masukan dan keluaran pada baterai agar tidak mengalami *overcharge* ataupun *overdischarge* sehingga dapat meningkatkan *lifetime* baterai tersebut adalah *battery charge controller*. (Arota et al., 2013; Erickson & Cutsor, 2016; Kurnifan Adhi Prasetyo, Nurhening Yuniarti, 2018; Permana & Desrianty, 2015)

BATTERY CONTROL SOLAR HOME SYSTEM.

Solar home system

Solar home system merupakan penerapan dalam penggunaan panel surya, yang pada dasarnya *solar home system* ini sering disebut juga dengan sistem instalasi *stay alone*, sistem ini pada penerapannya memanfaatkan panel surya hanya dalam skala kecil yang mampu memenuhi kebutuhan kelistrikan rumah tangga dalam pemakaian normal. *Solar home system* ini terdiri dari beberapa komponen dalam perancangannya seperti panel surya, *battery charge controller*, *battery*, dan *inverter* (Dautta, Chowdhury, Bipu, Nain, & Khan, 2015).

Setelah semua komponen diatas dipasang dengan sesuai rancangan sistem PLTS maka hal ini bisa dikatakan dengan *solar home system*, dalam penerapan penggunaan pembangkit dengan tenaga surya komponen yang sering mengalami kerusakan adalah baterai yang mana dalam penggunaan *solar home system* ini baterai merupakan komponen yang sangat dibutuhkan sebagai penyimpanan energi listrik, dalam penggunaan baterai harus menjaga range kerja baterai agar bekerja dalam kondisi normal tidak terjadi *overvoltage* dan *overdischarge* (Sano, Ito, Hirose, Takeuchi, & Aone, 2016; T. Wu & Wang, 2017).



Gambar 1. skema sistem *battery charge controller*

Pada gambar 1 ini bisa dilihat skema dari *solar home system*, skema ini menjelaskan alur dan gambaran dari *prototipe* yang akan dibuat nantinya, skema ini mulai dari sumber energi yang berasal dari panel surya sampai dapat digunakan pada kebutuhan rumahan

Panel Surya

Panel surya merupakan suatu perangkat pembangkit listrik yang mampu mengkonversi energi radiasi matahari yang diubah menjadi energi listrik. Panel surya juga memiliki kelebihan menjadi sumber energi yang praktis dan ramah lingkungan mengingat tidak membutuhkan transmisi seperti jaringan listrik konvensional, karena dapat dipasang secara modular di setiap lokasi yang membutuhkan. (Mohammad Bagher, 2016)



Gambar 2. panel surya Thin film amorphous

Panel surya pada umumnya terbagi tiga jenis (Mohammad Bagher, 2016)

- *Monocrystalline*
- *Polycrystalline*
- *Thin Film Amorphous*

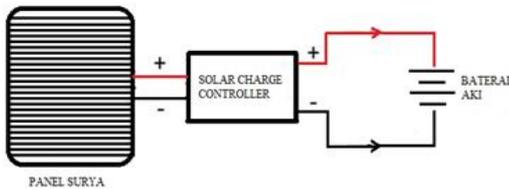
solar charge controller



Gambar 3. *solar charge controller*

Solar charge controller adalah suatu alat yang berfungsi untuk mengatur arus tegangan DC yang masuk ke baterai agar tidak terjadinya *overcharge* atau pun ketidakstabilan tegangan yang masuk ke baterai, alat ini merupakan alat cas baterai yang digunakan khusus untuk

pada panel surya. *Solar charge controller* sebagai mengatur tegangan dan arus masuk ke dalam baterai agar baterai tetap aman dan awet, selain itu *solar charge controller* merupakan peranan penting dalam suatu pengecasan baterai aki maupun pengaturan tegangan ke baterai dan tegangan beban. Sistem yang terdiri dari sel surya dibuat dengan konstruksi yang bersifat *portable*, baterai aki dan *solar charge controller*. Sel surya berfungsi mengkonversi energi cahaya matahari menjadi listrik melalui proses *photovoltaic effect*. Listrik yang di hasilkan dari sel surya disimpan pada baterai aki. *Solar charge controller* berfungsi sebagai mengendalikan pengisian bateai agar proses pengeisian tersebut dapat memberi kondisi yang aman terhadap baterai aki. (Dan, Nandi, & Tech, 2015)



Gambar 4. Rancangan Konsep *Solar Charger Controller*

Solar charge controller memiliki fungsi sebagai memonitoring arus, tegagangan panel dan tegangan baterai. *Solar charge controller* terdiri dari 1 input (2 terminal) yang terhubung dengan output sel surya, 1 output (2 terminal) yang terhubung dengan baterai aki dan 1 output (2 terminal) yang terhubung dengan beban (load). Beberapa *solar charge controller* menyediakan monitoring agar kinerja PLTS dapat diperkirakan.

Solar charge controller secara umum memiliki dua jenis sebagai berikut :

1. Pulse Width Modulation (PWM)

PWM (Pulse width modulation) adalah suatu teknik modulasi yang mengatur lebar pulsa-pulsa keluaran. Pada mikrokontroller sumber pulsa di hasilkan melalui *clock internal* lalu dimodulasikan dengan gelombang yang dihasilkan dari pembangkit gelombang. Pada *charge controller* ini, gelombang pulsa yang dihasilkan diatur dengan menggunakan PWM melalui *microcontroller* agar dapat menyesuaikan dengan kondisi baterai yang akan di isi ulang. Jenis satu ini merupakan cara yang paling efektif untuk mencapai pengisian baterai tegangan konstan dengan mengalihkan perangkat daya pengendali sistem surya. Ketika di PMW regulasi arus dari *array* surya mengecil menurut ke kondisi baterai dan kebutuhan daya. Pengontrolan muatan menggukan arduino untuk mengatur tegangan baterai.

2. *Maximum Power Point Traker Controller*(MPPT)

MPPT (*Maximum Power Point Tracker*) adalah sistem elektronik yang mengoperasikan Modul *Photovoltaic* (PV) yang memungkinkan modul menghasilkan sistem elektronik yang dapat mengatur variasi titik operasi listrik dari modul sehingga modul dapat menyampaikan daya maksimum yang tersedia. Tenaga tambahan yang dihasilkan dari modul tersebut kemudian dibuat menjadi tersedia peningkatan arus pengisian baterai. Jenis MPPT ini sangat unggul dengan karakteristik maksimum daya untuk mengisi baterai yang dihasilkan oleh solar sel jenis ini dapat mengambil dan menyimpan maksimum daya yang dihasilkan panel surya. MPPT memiliki kelebihan dibanding jenis jenis lain yaitu pada tegangan sel surya dapat disesuaikan lebih tinggi dari pada tegangan baterai. Keuntungan lain yang dimiliki jenis ini yaitu juga dapat bergantung pada suhu solar sel saat operasi dan level tegangan baterai(Srun, Samman, & Sadjad, 2018).

Untuk melakukan perhitungan dan mengetahui kapasitas *Charge Controller* yang dibutuhkan yaitu melalui persamaan berikut

$$I_{maks} = \frac{P_{maks}}{V_s} \dots\dots\dots(1)$$

- keterangan :
- I_{maks} = Arus maksimum *charge controller* (Ampere)
 - P_{maks} = Beban maksimum yang terjadi (Watt)
 - V_s = Tegangan sistem (Volt)

Untuk mengetahui kapasitas ketahanan arus yang bisa dihasilkan dari solar charge controller dapat menggunakan persamaan berikut :

$$I_{sc \text{ charge controller}} = I_{sc_{panel}} + n_{panel} \quad (2)$$

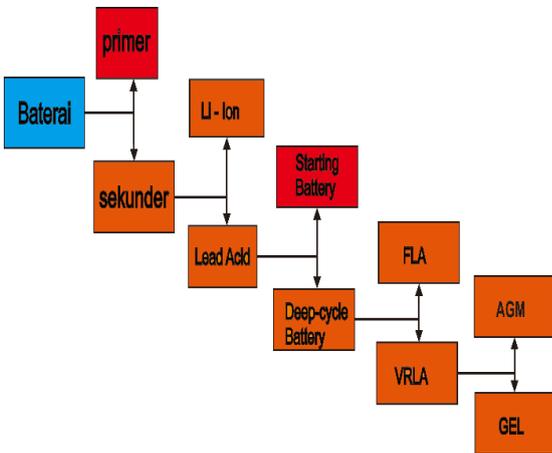
- Keterangan :
- I_{sc} = Arus *short circuit*
 - $I_{sc \text{ charge controller}}$ = Arus *short circuit charge controller*
 - $I_{sc_{panel}}$ = Arus *short circuit* panel surya
 - n_{panel} = Jumlah panel

Baterai

Pada dasarnya batterai merupakan suatu komponen yang terdiri dari beberapa sel elektrokimia yang dapat menyimpan energi kimia, dan mengubah energi kimia tersebut menjadi energi listrik. Elektro kimia memiliki kutub positif yang juga disebut dengan katoda dan kutub negatif yang juga disebut dengan anoda. Pada reaksi

kimia ini terjadi proses perpindahan *ion* yang disimpan dalam baterai, perpindahan *ion* pada baterai inilah yang akan mengalirkan arus listrik keluar dari baterai. (Linden, 2007)(Mezei, 2011)

Dalam penggunaannya baterai merupakan sebagai wadah penyimpanan energi listrik yang dihasilkan dari kerja pembangkit listrik, pada umumnya penggunaan baterai digunakan pada komponen kerja pembangkit listrik yang menggunakan panel surya dan generator yang dalam penggunaannya hanya dapat bekerja dengan batas waktu tertentu, seperti pada penggunaan dalam panel surya yang dimana baterai dibutuhkan dalam pemanfaatan energi listrik saat matahari sudah tenggelam atau cuaca yang kurang mendukung untuk pemanfaatan maksimal dari panel surya.



Gambar 5. bagan jenis-jenis baterai

Pada dasarnya baterai terbagi menjadi dua jenis yaitu :

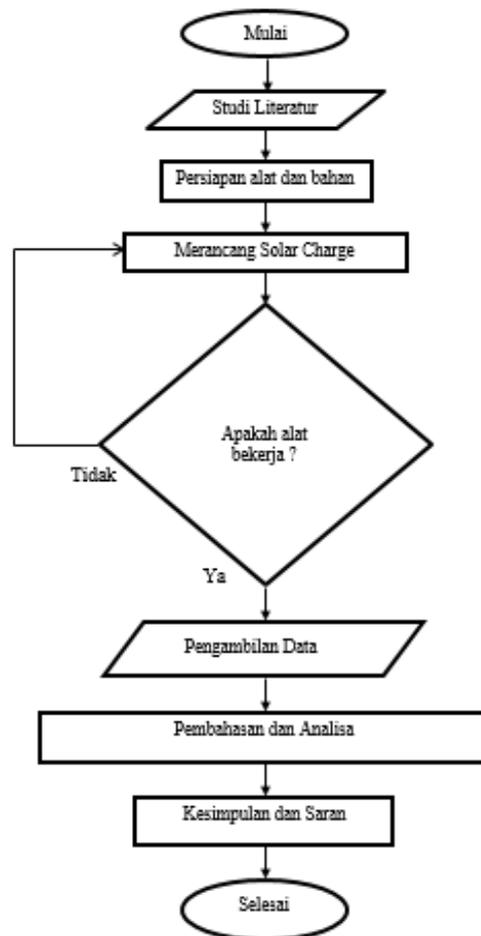
- Baterai primer
Baterai primer merupakan jenis baterai yang digunakan untuk sekali pemakaian, yang dimaksud dengan satu kali pemakaian ini dimana saat energi pada baterai telah habis tidak dapat di gunakan kembali ataupun dilakukan pencasan.
- Baterai sekunder
Baterai sekunder merupakan baterai yang dapat digunakan berulang kali saat energy pada baterai tersebut habis, baterai ini dapat digunakan kembali dengan cara dilakukan pencasan pada baterai ini, baterai sekunder ini memiliki beberapa kelebihan guna menunjang dari pembuatan *solar home system* yang akan dibuat dikarenakan baterai ini dapat digunakan sebagai penyimpan energy listrik yang dihasilkan dari panel surya yang dipasang pada *solar home system* yang akan dibuat.

Inverter

Inverter merupakan peralatan kelistrikan yang berfungsi untuk mengubah tegangan listrik DC (*dirrect*

current) menjadi tegangan listrik AC (*Alternating current*). Alat ini sangat berguna dalam pemanfaatan energi listrik yang telah didapatkan dalam system solar home system yang telah dibuat dikarenakan dalam pembuatan sistem ini memerlukan alat pengubah tegangan AC yang dihasilkan menjadi tegangan AC agar dapat digunakan untuk alat rumah tangga yang membutuhkan tegangan AC (W. Wu, Ji, & Blaabjerg, 2015).

METODE PENELITIAN



Gambar .6. Diagram Alir

Peneliti dalam merancang memiliki langkah-langkah proses penelitian yang akan dilakukan:

1. Menghitung total beban energi listrik yang akan digunakan, agar mengetahui daya yang akan dibangkitkan oleh pembangkit listrik *solar home system*.
2. Mempersiapkan komponen utama *solar home system* diantaranya: panel surya, baterai (*lead acid*), dan inverter. Semua komponen ini harus

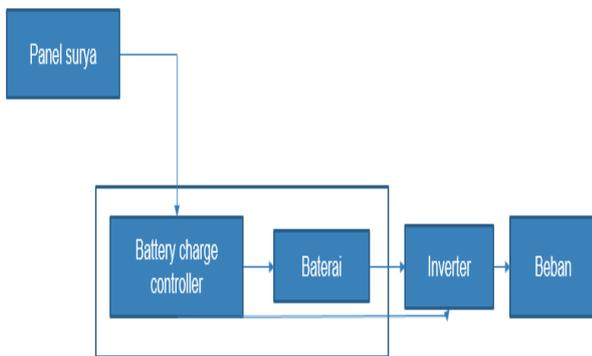
- memiliki kapasitas yang sesuai dengan daya yang akan dibangkitkan.
- Merancang dan membuat *solar charge controller* yang sesuai dengan spesifikasi pembangkit listrik yang akan dibangkitkan.
 - Melakukan pengujian pada *solar charge controller* yang sudah dibuat untuk melihat apakah alat tersebut sudah sesuai seperti yang diinginkan.
 - Mendata tegangan, dan arus dari *photovoltaik* serta mendata tegangan, dan arus yang dialirkan ke baterai dan waktu pengisian baterai.

dayanya kepada baterai dan sebagian daya yang berlebih akan diteruskan ke beban secara langsung.

Tabel 1 Pengujian *Overcharge*

Waktu	Tegangan input	Tegangan baterai	Kondisi
10:00	22,64 V	13,32 V	Bulking
11:00	23,54 V	13,75 V	Float
12:00	23,67 V	13,87 V	Bypass

HASIL DAN PENELITIAN



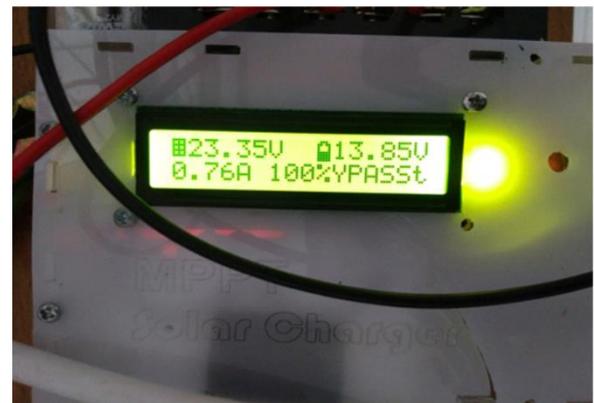
Gambar .7. Block diagram *solar home system*

Berdasarkan skema diatas dapat dijelaskan bahwa dalam penelitian ini hal yang paling di utamakan yaitu baterai dan *battery charge controller*, dalam pembuatan dan pengujian alat kontrol baterai ini, alat-alat yang digunakan yaitu :

- Solar cell amorphous 40 watt.
- Sensor tegangan DC.
- Modul ACD712 sensor arus.
- Buck converter.
- Arduino UNO R3.
- Modul RTC (Real Time Clock) DS1307.
- Modul SD Card.
- LCD (Liquid Crystal Display).
- Baterai Aki.
- Sensor tagangan DC.

Pengujian *Overcharge*

Pada pengujian *overchage* ketika baterai mengalami *overcharging* dan kondisi baterai penuh maka otomatis panel surya akan secara langsung memberikan daya pada beban atau disebut *bypass* tapi panel surya tidak langsung memberikan daya kepada beban tetapi masih memberikan



Gambar 8 Display saat Baterai Penuh

Pengujian *Overdischarge*

Pengujian *overdischarge* merupakan suatu ketika kondisi baterai memiliki tegangan dibawah setting. Proteksi *overdischarge* ini berfungsi sebagai pengaman baterai agar baterai tetap sehat serta menjaga umur baterai dalam keadaan baterai normal. Pengujian ini menggunakan baterai 12 V 10 Ah satu buah. Pada saat pengujian tegangan diatur terendah pada angka 11,1 volt apabila tegangan berada di bawah 11,1 volt maka proteksi akan bekerja. Proteksi *overdischarge* ini dinamakan low voltage disconnected (LVD).

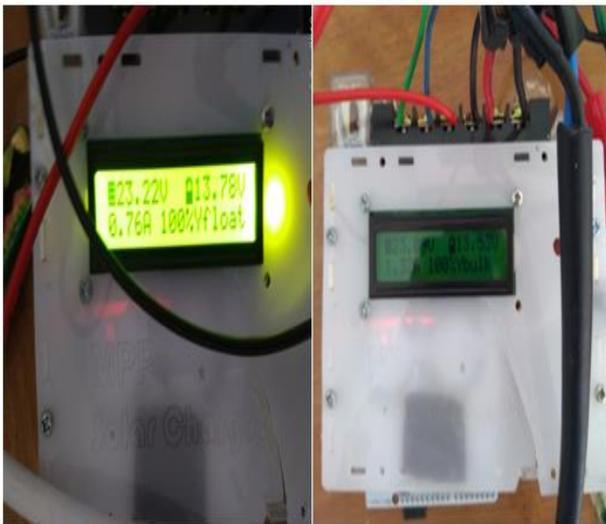


Gambar 9 Saat keadaan baterai *low voltage disconnected* Pengujian Tahap Pengecasan Baterai

Tahapan pengecasan dari solar charge controller menuju ke baterai terdiri dari 3 tahap yaitu on dimana ketika *solar charge controller* mendapatkan tegangan dan arus dari solar cell, pengecasan bulking ketika tegangan dibawah 13,53 volt yang akan berfungsi sebagai pengecasan baterai dengan cara cepat dan pengecasan floating yaitu ketika tegangan diatas 13,53 sudah hampir mendekati tahap baterai penuh maka pengecasan ini dilakukan dengan cara memperlambat pengecasan *solar charge controller* menjaga baterai tidak langsung penuh. Pengujian tahapan pengecasan ini dilakukan supaya dapat melihat tahapan pengecasan yaitu tahapan *bulking* dan *floating* dengan metode pengecasan ini diharapkan tegangan baterai dapat terjaga tidak merusak baterai dan menjaga umur baterai.

Tabel 2. Pengujian Tahap Pengecasan Baterai

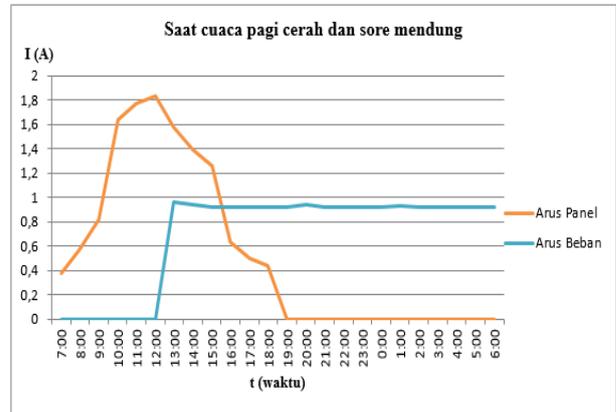
Waktu	Tegangan sumber	Tegangan baterai	Tahapan pengecasan
10.00	22,00 V	13,43 V	Bulking
11.00	22,26 V	13,70 V	Floating
12.00	22,64 V	13,87 V	Bypass



Gambar 10 Saat keadaan Kondisi *Floating* & Kondisi *Bulking*

Data Hasil Penelitian

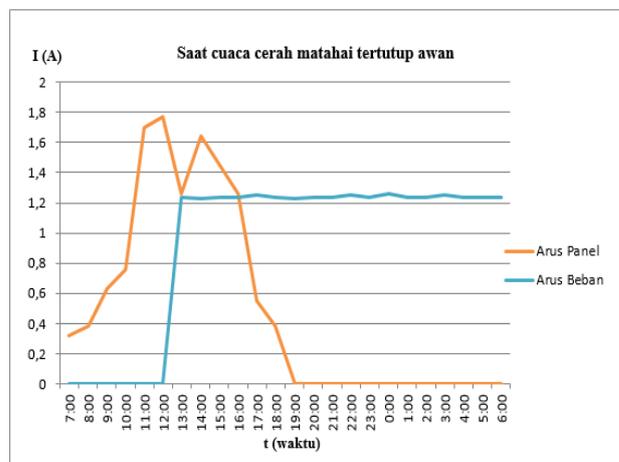
Pada perancangan *Battery Charge Controller Solar Home System* digunakan panel surya *Amorphous* dengan kapasitas 80 watt sebanyak 1 unit dan baterai berkapasitas 120 AH, alat ini akan diaplikasikan dengan beban lampu led 10 watt, lampu 15 watt dan 20 watt, dari pengujian ini



akan dapat dilihat ketahanan baterai yang digunakan dengan variasi beban diatas.

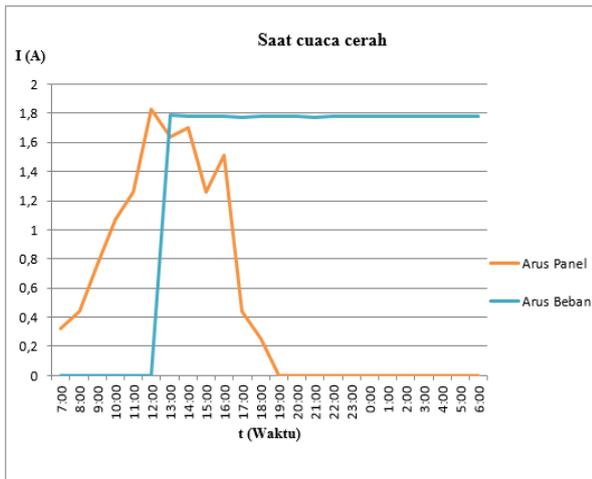
Gambar 11. Grafik pada saat menggunakan beban 10 watt

Berdasarkan gambar grafik 11 menunjukkan arus yang disuplai oleh panel surya pada kondisi cerah dapat dilihat arus naik secara kontinyu dimulai dari jam 9 pagi sampai dengan jam 12 siang dan puncaknya pada jam 12 siang, arus panel berada pada puncaknya dan mulai menurun secara kontinyu dimulai dari jam 3 sore sampai dengan jam 6 sore yang tidak bisa menghasilkan arus lagi dikarenakan cuaca mendung. Untuk bebannya mulai dimasukkan pada jam 1 siang yaitu berupa beban Led 10 watt. arus beban mengalami naik turun sekitar 0.92 ampere sampai dengan 0.96 ampere dan dibiarkan menyala sampai dengan jam 6 pagi.



Gambar 12. Grafik pada saat menggunakan beban 15 watt

Berdasarkan gambar grafik 12. Cuaca pada saat ini cerah dan matahari tertutup oleh awan. Pada pagi hari dimulai jam 7 sampai dengan jam 10 pagi dan hanya bisa menghasilkan arus panel sebesar 0,76 A arus terbesar di jam 12 siang yaitu 1,77 A pada saat jam 1 cuaca tertutup awan sehingga mempengaruhi arus dan tegangan yang dihasilkan yaitu 1,26 A hanya naik sesaat pada jam 2 siang 1,64 A dan turun kembali di jam 4 menjadi 1,26 A. Untuk beban kami memasukkan beban led 15 watt pada jam 1 siang sampai jam 6 arus beban dari 1,24 A sampai dengan 1,25 A dikarenakan beban yang konstan juga.



Gambar 13. Grafik pada saat menggunakan beban 20 watt

Berdasarkan gambar grafik 13. Cuaca cerah menghasilkan arus maksimal pada jam 12 sampai jam 4 cuaca cerah dapat memberikan arus sebesar 1,83 A di jam 12. Pada jam 1 siang arus menurun menjadi 1,64 dikarenakan pengisian baterai sudah memasuki tegangan 13,53 V yang artinya solar charge controller bekerja dalam keadaan float. Pada jam 5 arus panel mulai menurun 0,44 ampere sampai jam 6 dengan arus 0,25 ampere. Beban mulai dimasukkan pada jam 1 siang yaitu Led 20 watt sampai jam 6 pagi. arus beban melonjak diawal 1,79 ampere dan mulai stabil di 1,78 dan 1,77 ampere. Beban hidup sampai dengan jam 6 pagi.

KESIMPULAN

Solar Charge Controller ini akan berfungsi untuk menjaga pengisian baterai, solar charge controller mengecah dengan cara mode pengisian cepat (*bulking*) saat tegangan berada dibawah 13,5 volt, pengisian perlahan (*floating*) saat tegangan berada diatas 13,5 volt dan berhenti pengisian atau langsung dialiri kebeban (*bypass*) saat tegangan berada diatas 13,8 volt, maka alat

ini dapat digunakan untuk menjaga ketahanan kerja baterai pada solar home system.

DAFTAR PUSTAKA

- Arota, A. S., Kolibu, H. S., & Lumi, B. M. (2013). Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Hibrida (Energi Angin Dan Matahari) Menggunakan Hybrid Optimization Model For Electric Renewables (HOMER). *Jurnal MIPA*, 2(2), 145. <https://doi.org/10.35799/jm.2.2.2013.3193>
- Dan, A. K., Nandi, S., & Tech, M. (2015). *DESIGN OF A BATTERY CHARGE CONTROLLER OF PV SYSTEM*.
- Dautta, M., Chowdhury, S. M. S. M., Bipu, M. R. H., Nain, M. Z., & Khan, S. I. (2015). Testing and performance analysis of charge controllers for Solar Home System. *8th International Conference on Electrical and Computer Engineering: Advancing Technology for a Better Tomorrow, ICECE 2014*, (04), 313–316. <https://doi.org/10.1109/ICECE.2014.7026923>
- Erickson, L. E., & Cutsor, J. (2016). Batteries and Energy Storage. *Solar Powered Charging Infrastructure for Electric Vehicles*, 53–59. <https://doi.org/10.1201/9781315370002-6>
- Kurnifan Adhi Prasetyo, Nurhening Yuniarti, E. P. (2018). Pengembangan Alat Control Charging Panel Surya Menggunakan Aduino Nano Untuk Sepeda Listrik Niaga. *Jurnal Edukasi Elektro*, 2(1), 50–58.
- Linden, D. & R. T. B. R. (2007). *Topics Covered in Chapter 12*.
- Mezei, F. (2011). Basics Concepts. In *Neutrons in Soft Matter*. <https://doi.org/10.1002/9780470933886.ch1>
- Mohammad Bagher, A. (2016). Types of Solar Cells and Application. *American Journal of Optics and Photonics*, 3(5), 94. <https://doi.org/10.11648/j.ajop.20150305.17>
- Permana, E., & Desrianty, A. (2015). Rancangan Alat Pengisi Daya Dengan Panel Surya (Solar Charging Bag) Menggunakan Quality Function Deployment (Qfd) *. *Jurnal Online Institut Teknologi*, 03(04).
- Sano, S., Ito, Y., Hirose, Y., Takeuchi, H., & Aone, S. (2016). Development of long cycle life valve-regulated lead-acid battery for large-scale battery energy storage system to utilize renewable energy. *INTELEC, International Telecommunications Energy Conference (Proceedings)*, 2016-Sept. <https://doi.org/10.1109/INTLEEC.2015.7572367>
- Srun, C., Samman, F. A., & Sadjad, R. S. (2018). A High Voltage Gain DC-DC Converter Design based on Charge Pump Circuit Configuration with a Voltage Controller. *2018 2nd International Conference on Applied Electromagnetic Technology, AEMT 2018*, 79–84. <https://doi.org/10.1109/AEMT.2018.8572403>
- Wu, T., & Wang, J. (2017). Battery Power Modules with

Charge Equalization. *2017 IEEE 26th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, 500–504.

Wu, W., Ji, J., & Blaabjerg, F. (2015). Aalborg inverter - A new type of “buck in buck, boost in boost” grid-tied inverter. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 30(9), 4784–4793.
<https://doi.org/10.1109/TPEL.2014.2363566>