

Kendali dan Monitoring *Charger* Baterai dari Panel Surya Berbasis Human Machine Interface

Sonia Anjeli^{1,*}, Muldi Yuhendri^{1,2}, Risfendra^{1,2}, Hambali²

¹ Instrument, Control and Automation Research Group (ICARG), Universitas Negeri Padang

² Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

*)Corresponding author, soniaanjeli10@gmail.com

Abstrak

Beragam peralatan listrik maupun elektronik yang beroperasi dengan tegangan searah menggunakan baterai sebagai sumber energi listriknya. Sebagian besar baterai tersebut dapat diisi ulang dengan *charger* sehingga dapat digunakan dalam jangka waktu yang lama. Pengisian baterai dengan *charger* perlu dikendalikan dan dimonitor agar tidak terjadi sesuatu yang tidak diinginkan seperti adanya kasus *overcharging* pada baterai. Paper ini mengusulkan sistem kendali dan monitoring *charger* baterai dengan menggunakan panel surya sebagai sumber daya listriknya. Sistem kendali dan monitoring *charger* baterai ini dirancang dengan menggunakan *Programable Logic Controller* (PLC) S7 1200 1215C DC/DC/Relay dan *Human Machine Interface* (HMI) Simatic KTP 700 Basic PN untuk display dari parameter yang dimonitor, yakni arus, tegangan dan *State of Charge* (SOC) dari baterai. Sistem kendali dilengkapi dengan solar *charger*, sensor tegangan, sensor arus dan relay sebagai pemutus rangkaian *charger* ketika pengisian baterai telah penuh. Sistem kendali dan monitoring *charger* baterai yang diusulkan ini diimplementasikan pada dua buah baterai 100 Ah 12 Volt yang disuplai dengan tegangan panel surya 50 WP. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa sistem kendali dan monitoring baterai yang diusulkan telah bekerja dengan baik sesuai dengan tujuan. HMI sudah berhasil menampilkan data tegangan, arus dan SOC baterai dan juga telah sukses mengendalikan *charger* baterai agar tidak terjadi *overcharging*.

Abstract

Various electrical and electronic equipment that operates with direct voltage use batteries as a source of electrical energy. Most of these batteries can be recharged with a charger so that they can be used for a long time. Charging the battery with a charger needs to be controlled and monitored so that something unwanted does not occur, such as *overcharging* the battery. This paper proposes a battery charger control and monitoring system using solar panels as a power source. This battery charger control and monitoring system is designed using the S7 1200 1215C DC/DC/Relay Programmable Logic Controller (PLC) and the Human Machine Interface (HMI) Simatic KTP 700 Basic PN for display of the parameters being monitored, namely current, voltage and State of Charge (SOC) from the battery. The control system is equipped with a solar charger, voltage sensor, current sensor and relay as a breaker for the charger circuit when the battery is fully charged. The proposed battery charger control and monitoring system is implemented on two 100 Ah 12 Volt batteries which are supplied with eight 50 WP. The experimental results show that the proposed battery control and monitoring system has worked well in accordance with the objectives. The HMI has succeeded in displaying data on voltage, current and SOC of the battery and has also succeeded in controlling the battery charger so that *overcharging* does not occur.

INFO.

Info. Artikel:

No. 359

Received. January, 24, 2023

Revised. February, 02, 2023

Accepted. February, 09, 2023

Page. 105 – 114

Kata kunci:

- ✓ Baterai
- ✓ Charger
- ✓ Panel Surya
- ✓ HMI
- ✓ SOC

PENDAHULUAN

Energi listrik adalah salah satu jenis energi yang banyak dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan di dunia ini. Energi listrik ini dapat dikonversikan ke berbagai bentuk energi lain, seperti energi gerak, energi cahaya, panas dan sebagainya, sehingga banyak digunakan manusia untuk memenuhi berbagai kebutuhannya. Berbagai jenis peralatan telah diciptakan untuk mengkonversikan

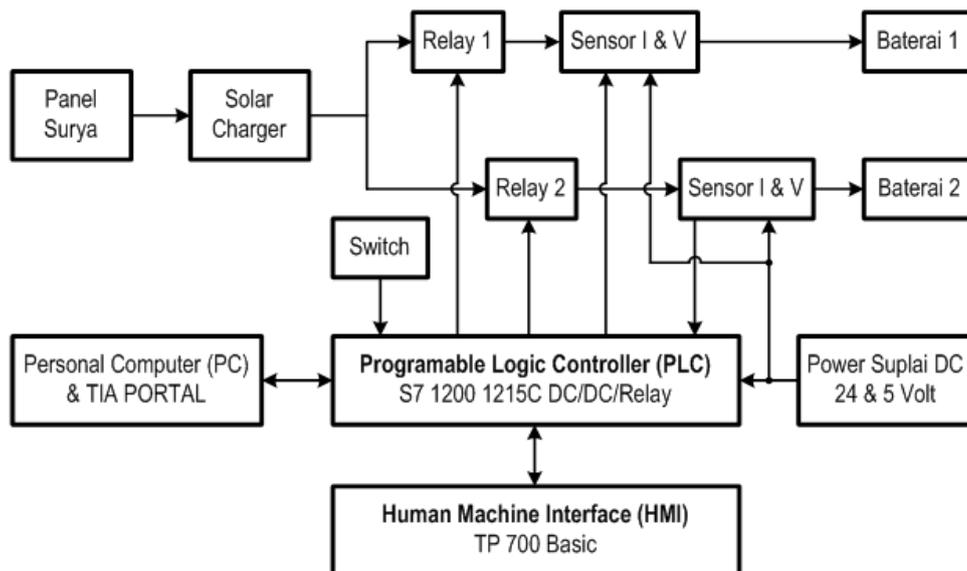
energi listrik ini sesuai dengan kebutuhan. Berdasarkan jenis tegangan yang digunakan, peralatan-peralatan listrik tersebut dapat dikategorikan dengan peralatan listrik yang menggunakan tegangan searah dan peralatan listrik yang menggunakan tegangan bolak-balik. Sebagian besar peralatan listrik yang beroperasi dengan tegangan searah dan berdaya kecil menggunakan baterai sebagai sumber energi listriknya [1]. Baterai merupakan peralatan yang dapat menyimpan dan menyalurkan daya listrik berdasarkan prinsip elektrokimia [2]. Baterai-baterai yang digunakan untuk penyuplai daya listrik umumnya dapat dikategorikan atas baterai yang dapat diisi ulang dan baterai yang tidak dapat diisi ulang [3]. Baterai yang dapat diisi ulang, seperti accumulator merupakan baterai yang bisa diisi kembali dengan menggunakan *charger* baterai ketika energi listrik yang tersimpan dalam baterai tersebut sudah berkurang. *Charger* akan mengalirkan arus listrik dari sumber ke baterai sesuai dengan kebutuhan untuk pengisian baterai. Beragam jenis sumber daya listrik yang digunakan untuk pengisian baterai baik dalam bentuk tegangan searah maupun bolak balik. Sumber tegangan searah yang banyak digunakan untuk pengisian baterai antara lain panel surya, generator DC, fuel cell dan sebagainya [4][5][6].

Agar baterai dapat diisi ulang dengan *charger*, maka tegangan *charger* harus lebih tinggi dari tegangan nominal baterai, misalnya baterai 12 Volt diisi dengan menggunakan *charger* dengan tegangan 13,5 Volt. Dengan konsep ini, maka arus akan mengalir dari *charger* ke baterai, sehingga baterai dalam kondisi mengisi. Pengisian baterai dengan *charger* harus aman untuk baterai, *charger* ataupun penggunaannya. Tegangan *charger* tidak boleh melebihi batas tegangan yang diizinkan untuk pengisian baterai. Pengisian baterai juga tidak boleh melebihi kapasitas baterai, di mana jika terjadi kelebihan pengisian (*over charging*) dapat mengakibatkan kerusakan pada baterai [7][8]. Oleh sebab itu, untuk menghindari kerusakan baterai akibat proses pengisian, maka pengisian baterai dengan *charger* perlu dikendalikan. Beberapa parameter yang perlu dikendalikan dalam pengisian baterai antara lain tegangan *charger*, arus *charger* dan kapasitas pengisian baterai atau disebut juga dengan *State of Charge* (SOC) dari baterai [9] [10]. Sistem kendali *charger* baterai yang baik akan memberikan proses *charger* baterai yang aman dan handal serta akan memberikan proteksi yang bagus dalam proses pengisian baterai.

Untuk meningkatkan kehandalan dari sistem kendali, maka dewasa ini juga telah dikembangkan sistem monitoring parameter yang dikendalikan. Sistem monitoring ini akan menampilkan data-data yang dibutuhkan, sehingga pengguna dapat mengamati parameter-parameter yang dikendalikan [11]. Selain itu, sistem monitoring juga akan memudahkan pengguna untuk mengambil tindakan jika ada suatu gejala tidak normal atau gangguan pada sistem [12][13]. Beberapa peralatan yang dapat digunakan dalam sistem monitoring ini antara lain sistem monitoring berbasis komputer dengan menggunakan Labview [14] dan GUI Matlab [15], *smartphone* Android [16], Sistem Human Machine Interface (HMI) [17][18][19] dan sebagainya. Semua sistem monitoring yang telah dikembangkan sebelumnya memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masingnya. Sistem kendali dan monitoring berbasis HMI merupakan salah satu sistem monitoring yang banyak diimplementasikan di industri karena memiliki kelebihan dalam kehandalan dan kapasitasnya yang lebih besar [20]. Penggunaan HMI untuk monitoring biasanya dilengkapi dengan PLC sebagai prosesor data. Sistem kendali dan monitoring berbasis PLC dan HMI ini juga telah diterapkan untuk *charger* baterai yang dibahas dalam [21]. Oleh sebab itu, dalam penelitian ini diusulkan sistem kendali dan monitoring *charger* baterai menggunakan PLC dan HMI, dimana sumber *charger* baterai diambil dari panel surya. Diharapkan sistem kendali dan monitoring *charger* baterai menggunakan PLC dan HMI ini dapat meningkatkan kehandalan dan keamanan sistem dalam pengisian baterai.

METODE PENELITIAN

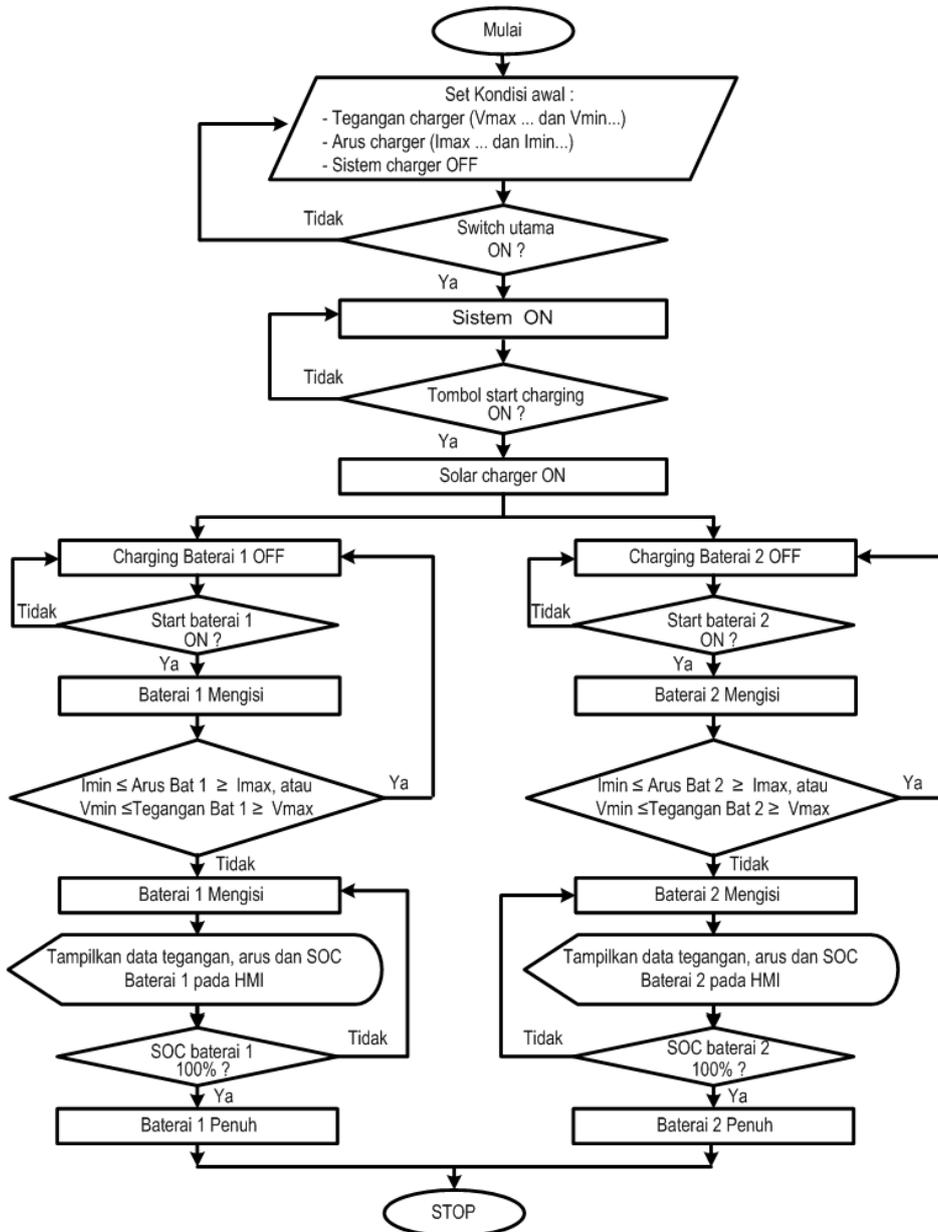
Penelitian tentang sistem kendali dan monitoring baterai menggunakan panel surya berbasis HMI yang diusulkan dalam paper ini dilakukan dalam bentuk eksperimen, yang mencakup perancangan dari sistem kendali dan monitoring *charger* baterai dengan HMI, perakitan *hardware*, pembuatan PLC dan HMI serta pengujian. Sistem kendali dan monitoring baterai menggunakan panel surya berbasis HMI yang diusulkan dapat dilihat pada blok diagram yang ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Blok diagram kendali dan monitoring *charger* baterai berbasis HMI

Gambar 1 menunjukkan bahwa sistem kendali dan monitoring *charger* baterai menggunakan panel surya berbasis HMI yang diusulkan dalam *paper* dirancang untuk pengisian dua buah baterai yang dipasang secara parallel. sistem kendali dan monitoring *charger* baterai ini dirancang dengan menggunakan PLC S7 1200 1215C DC/DC/Relay yang dilengkapi dengan modul input analog empat channel 13 bit sebagai alat kontrol dan alat pengolah data. Untuk menampilkan data yang dimonitor digunakan HMI TP 700 Basic. Data yang ditampilkan pada layar HMI mencakup tegangan, arus dan SOC dari masing-masing baterai. Data monitoring ditampilkan dalam bentuk grafik dan angka. Setiap baterai dilengkapi dengan sensor arus dan sensor tegangan serta relay sebagai alat untuk memutuskan dan menghubungkan baterai dari *charger*. Sebagai sumber energi listrik untuk *charger* baterai digunakan delapan buah panel surya 50 WP yang dihubungkan secara parallel. Panel surya ini dilengkapi dengan solar *charger* yang berfungsi sebagai alat untuk pengisian baterai, dimana solar *charger* ini akan mengkonversikan tegangan panel surya menjadi tegangan *charger*, dimana tegangan *charger* ini lebih besar dari tegangan baterai. Tegangan *charger* ini dapat diset di layar HMI sesuai dengan tegangan yang dibutuhkan untuk pengisian baterai. Untuk mengaktifkan sistem *charger* terdapat switch utama yang dipasang di depan box panel yang merupakan input bagi PLC untuk mengaktifkan sistem. Untuk ditampilkan di layar HMI. Sistem kendali dan monitoring *charger* baterai ini menggunakan power suplai DC 24 Volt untuk PLC, HMI dan sensor tegangan serta suplai 5 Volt untuk sensor arus.

Prinsip kerja dari alat ini adalah pertama sistem kendali dan monitoring *charger* baterai diaktifkan melalui switch utama. Setelah itu diatur tegangan maksimum dan minimum *charger*, arus dan waktu. Pengaktifan solar *charger* dapat dilakukan dengan menekan tombol *start charging* di layar HMI, sedangkan untuk mengaktifkan pengisian setiap baterai dapat dilakukan dengan menekan tombol start yang terdapat pada masing-masing layar baterai. Sistem kendali *charger* baterai ini dilengkapi dengan proteksi kelebihan pengisian baterai atau *over charging*. Ketika pengisian baterai mencapai maksimal atau SOC bernilai 100%, maka akan memutuskan aliran arus ke baterai yang sudah penuh. Selain itu, sistem kendali *charger* baterai ini juga dilengkapi dengan proteksi arus lebih dan tegangan lebih. Relay akan memutuskan aliran arus ke baterai jika terjadi arus hubung singkat atau tegangan lebih. Dengan konsep ini, maka sistem *charger* baterai menjadi lebih aman dari gangguan yang akan mungkin terjadi. Prinsip kerja dari alat yang diusulkan ini dapat dilihat dari diagram alir pada Gambar 2.



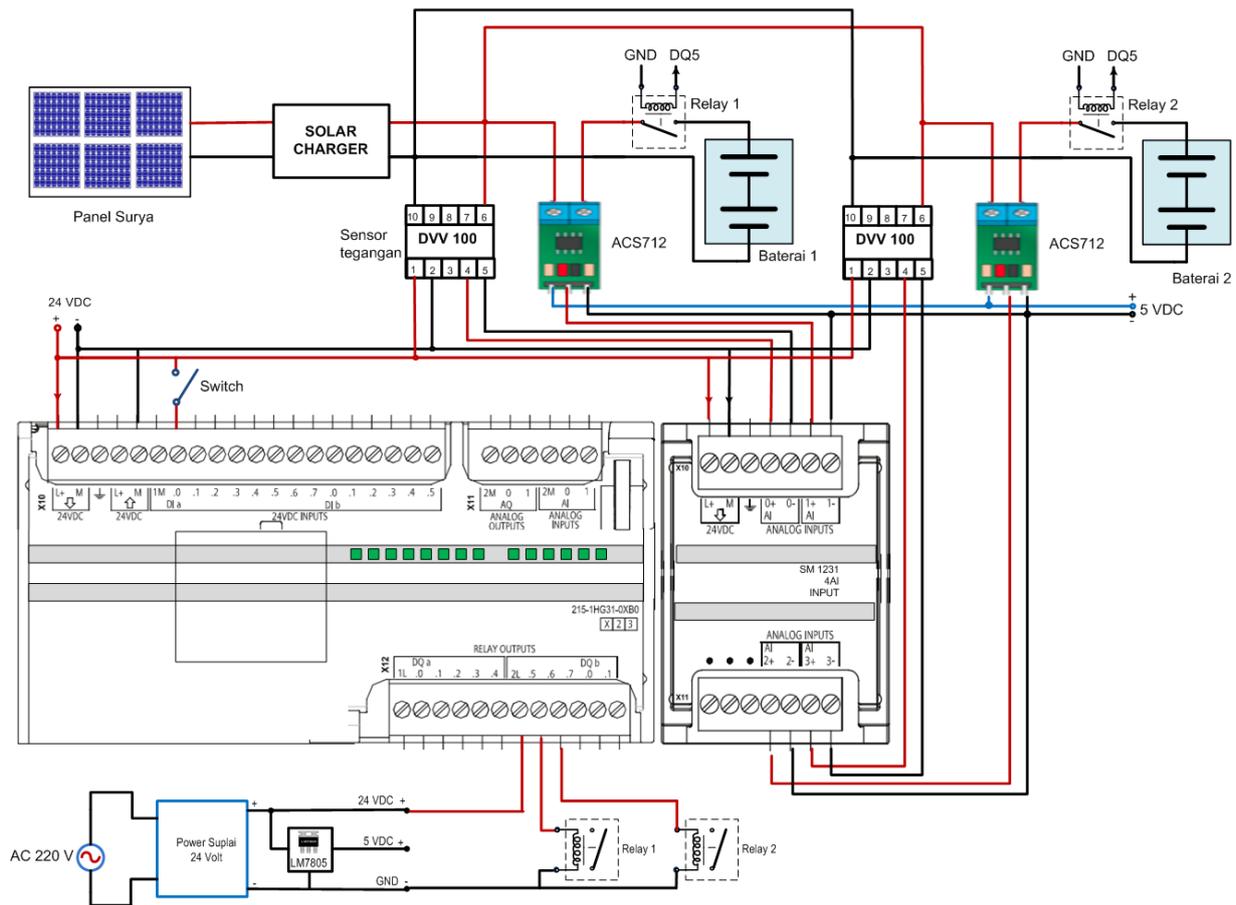
Gambar 2. Flowchart program

Gambar 2 menunjukkan bahwa pengisian baterai akan dilakukan sampai kapasitas baterai menjadi penuh dengan SOC 100%. Nilai SOC dapat dihitung berdasarkan arus baterai saat charging dengan menggunakan persamaan berikut:

$$SOC(k) = SOC(k - 1) + \frac{I_c(k) \cdot \Delta t}{Q_{rated}} * 100\% \quad (1)$$

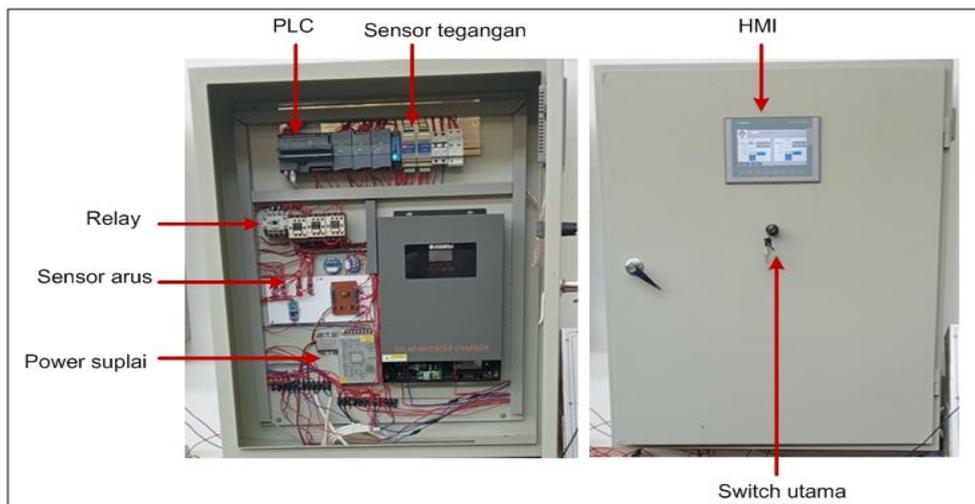
Di mana $SOC(k)$ merupakan estimasi nilai SOC, $SOC(k-1)$ adalah Nilai SOC awal sebelum charging, $I_c(k)$ merupakan aliran arus baterai saat charging, Δt adalah waktu pengambilan sampel dan Q_{rated} merupakan kapasitas baterai. Nilai SOC masing-masing baterai akan ditampilkan di layar HMI. Nilai arus pada Persamaan (1) diperoleh dari sensor arus ACS712 yang menghasilkan sinyal analog tegangan maksimum 5 Volt dan dijadikan input pada PLC melalui modul analog input. Selain sensor arus, pada modul analog ini juga terdapat sinyal arus 4-20 mA yang merupakan sinyal keluaran dari sensor tegangan baterai DVV100. Gambar 3 menunjukkan skema rangkaian sistem kendali dan

monitoring *charger* baterai dari panel surya menggunakan PLC dan HMI. Sistem kendali dan monitoring *charger* baterai juga dilengkapi dengan dua buah relay magnetik untuk menghubungkan dan memutuskan rangkaian baterai dari solar *charger*, dimana relay ini terhubung dengan terminal digital output PLC, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3. PLC S7 1200 1215 C yang digunakan dalam penelitian ini memiliki rating tegangan 24 Volt untuk input digital dan output digital, sedangkan untuk input analog terdapat dua jenis sinyal yang bisa dimasukkan dalam PLC, yakni sinyal tegangan dengan level 2,5 Volt, 5 Volt dan 10 Volt dan sinyal arus dengan level 0-20 mA dan 4-20 Ma .



Gambar 3. Skema rangkaian

Gambar 3 menunjukkan bahwa rangkaian sistem kendali *charger* baterai berbasis HMI ini menggunakan empat pin input analog yang terdapat pada modul analog input, dua pin output digital untuk relay dan satu pin input digital untuk switch utama. Semua komponen ini ditempatkan dalam satu box panel 80 x 60 x 30 cm, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4. Pada bagian dalam box panel terdapat sensor tegangan, sensor arus, relay magnetik, PLC dan power suplai. Pada bagian depan panel dipasang HMI dan switch utama. Solar *charger* yang digunakan untuk pengisian baterai dipasang pada box panel yang lain yang ditempatkan di sebelah panel utama ini. Solar *charger* ini akan dihubungkan dengan delapan panel surya yang telah dipasang di atas atap laboratorium. Semua panel surya ini dihubungkan dalam bentuk paralel dengan menggunakan terminal panel yang ada di samping panel utama.

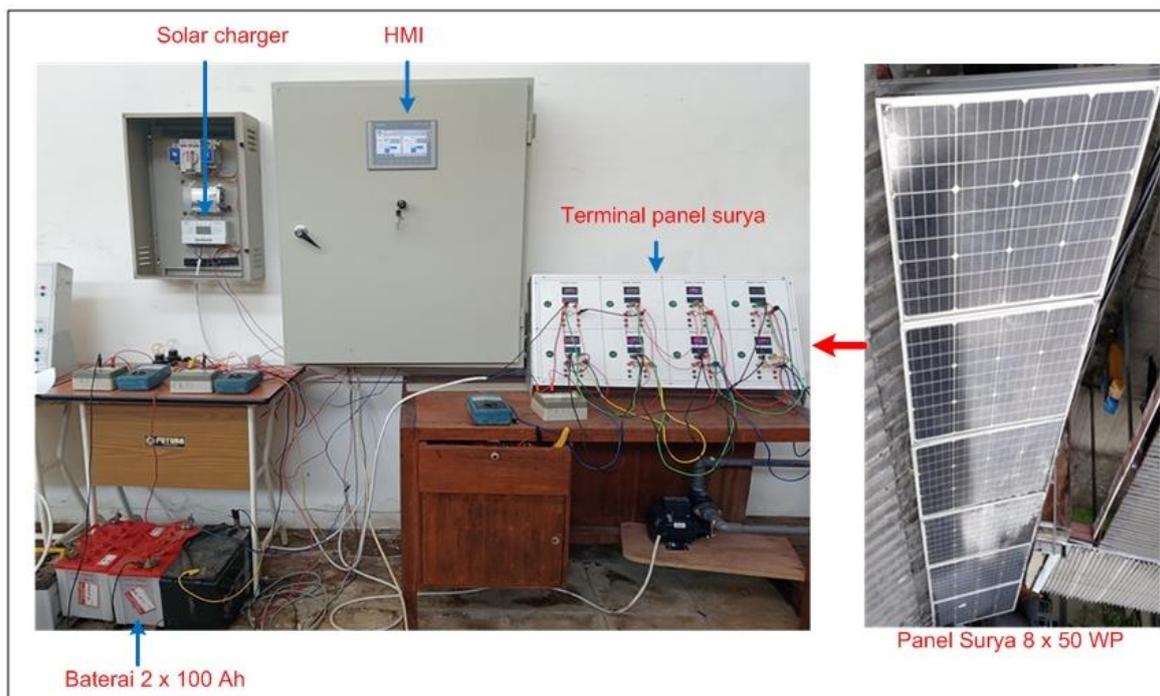


Gambar 4. Tata letak komponen dalam box panel

Setelah semua komponen selesai dirakit dalam box panel, selanjutnya dilakukan pembuatan program PLC dan HMI menggunakan software TIA Portal. Setelah pemrograman PLC dan HMI selesai, selanjutnya dilakukan pengujian untuk melihat kinerja dari alat yang dibuat dalam penelitian ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

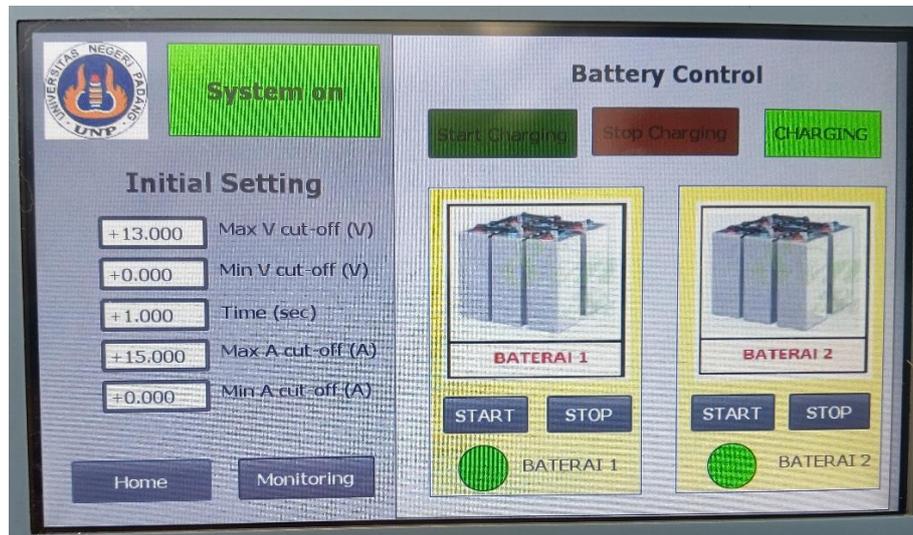
Pengujian sistem kendali dan monitoring *charger* baterai menggunakan panel surya berbasis PLC dan HMI dilakukan dengan menggunakan dua buah baterai 100 Ah 12 Volt. Gambar 5 menunjukkan instalasi hardware untuk pengujian yang akan dilakukan. Pengujian dilakukan pada jam 01.30 pm di laboratorium konversi energi listrik Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik UNP.



Gambar 5. Tata letak komponen dalam box panel

Dalam pengujian ini digunakan delapan buah panel surya 50 WP yang dihubungkan secara parallel, dimana panel surya ini dipasang di atas atap labor, sedangkan terminalnya dipasang dekat

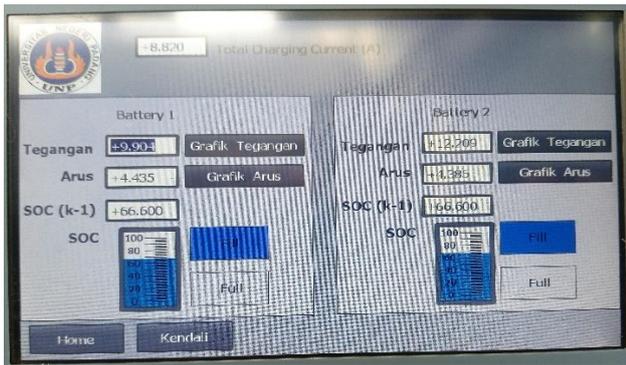
box panel HMI, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 5. Layar HMI untuk sistem kendali dan monitoring *charger* baterai ini dibuat dalam bentuk multi layar, yang terdiri dari layar Home yang berisikan Judul penelitian dan *author*, layar kendali yang berisikan indikator sistem, seting nilai awal, tombol untuk solar *charger* dan tombol untuk pengisian masing-masing baterai, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 6. Pada layar monitoring terdapat tampilan data tegangan, arus dan SOC untuk masing-masing baterai. Pada layar ini juga tersedia link untuk melihat data tegangan dan arus dalam bentuk grafik.



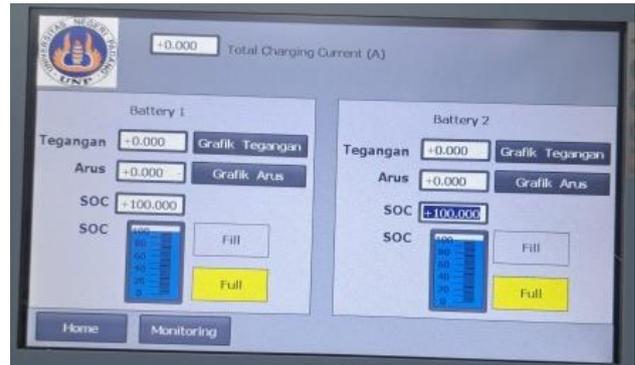
Gambar 6. Tampilan halaman kendali pada layar HMI

Pengujian dimulai dengan mengaktifkan sistem melalui switch utama yang terdapat di depan box panel HMI, sehingga pada layar kendali HMI akan muncul indikator sistem ON, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 6. Setelah indikator sistem on muncul di layar HMI, selanjutnya masukan nilai awal untuk tegangan maksimum dan minimum baterai, waktu pengambilan sampel dalam satuan detik serta nilai maksimum dan minimum arus baterai. Setelah parameter tersebut diinputkan pada layar HMI, selanjutnya aktifkan solar *charger* melalui tombol start charging, sehingga akan muncul indikator charging warna hijau yang menunjukkan bahwa solar *charger* sudah aktif. Jika solar *charger* belum aktif, maka yang muncul pada indikator tersebut adalah tulisan "STOP". Setelah solar *charger* aktif, maka pengisian masing-masing baterai dapat dilakukan dengan menekan tombol start pada halaman masing-masing baterai, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 6. Ketika pengisian baterai sedang bekerja, maka akan muncul indikator warna hijau pada halaman masing-masing baterai. Gambar 6 menunjukkan bahwa sistem kendali *charger* baterai menggunakan HMI yang diusulkan dalam penelitian ini telah bekerja dengan baik, dimana semua indikator dapat bekerja sesuai dengan fungsinya.

Parameter yang dimonitor dapat dilihat pada halaman monitoring. Untuk masuk ke halaman monitoring ini dapat dilakukan dengan menekan link monitoring yang terdapat pada halaman kendali. Ketika link halaman monitoring diklik, maka akan muncul halaman monitoring seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 7. Pada halaman ini terdapat data tegangan, arus dan SOC masing-masing baterai dalam bentuk angka. Untuk data SOC juga ditampilkan dalam bentuk bar, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 7. Pada awal pengujian, SOC masing-masing baterai adalah 66%, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 7(a). Pada kondisi awal ini tegangan baterai 1 sebesar 9,9 Volt dan baterai 2 sebesar 12 Volt, Pada saat pengisian sedang berlangsung, arus mengalir ke masing-masing baterai sebesar 4,4 Ampere dengan arus total yang dihasilkan solar *charger* adalah 8,8 Ampere.



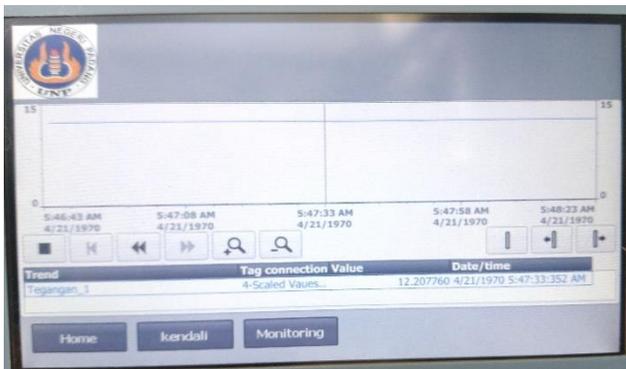
(a)



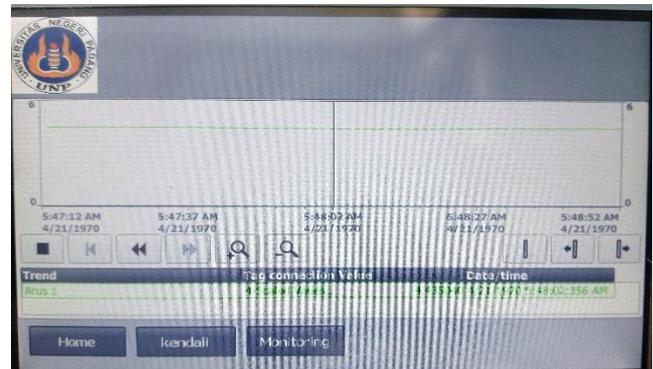
(b)

Gambar 7. Tampilan halaman monitoring pada layar HMI. (a) Saat pengisian baterai belum penuh, (b) saat baterai sudah penuh

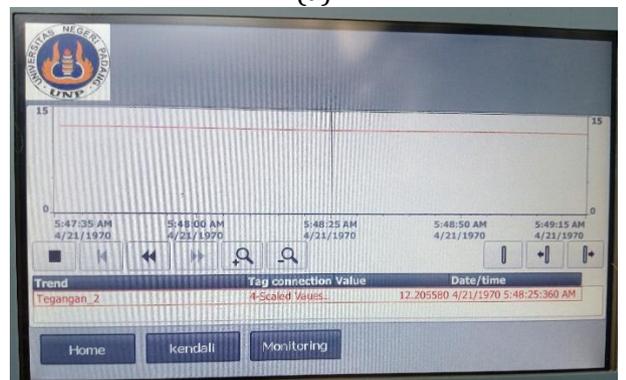
Gambar 7(a) menunjukkan bahwa pada saat pengisian ketika kapasitas baterai belum penuh maka bar indicator SOC masih di bawah 100% dan indikatornya menunjukkan tulisan “FILL”. Hal ini mengindikasikan bahwa baterai belum terisi penuh. Ketika baterai sudah terisi penuh, maka bar SOC bernilai 100% dan muncul tulisan “FULL” yang mengindikasikan baterai sudah penuh, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 7(b). Ketika baterai sudah penuh, maka relay akan memutuskan aliran arus dari solar charger ke baterai, sehingga tampilan pada layar HMI menunjukkan bahwa nilai arusnya Nol, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 7(b). Nilai arus dan tegangan masing-masing baterai ini juga ditampilkan dalam bentuk grafik, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 8.



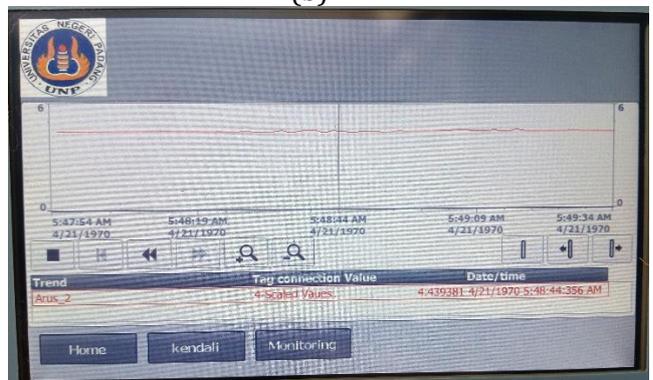
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 8. Tampilan grafik arus dan tegangan baterai. (a) tegangan baterai 1, (b) arus baterai 1, (c) tegangan baterai 2, (d) arus baterai 2

Gambar 8(a) menunjukkan grafik tegangan baterai 1, dimana pada saat dimonitoring tersebut tegangan baterai 1 sebesar 13 Volt. Grafik ini diambil ketika SOC baterai mendekati 100%. Gambar

8(b) menunjukkan grafik arus baterai 1, dimana nilai dari arus baterai 1 saat monitoring ini sekitar 4,5 Ampere. Nilai ini sama dengan nilai angka yang ditampilkan pada halaman monitoring dan data yang ditunjukkan oleh alat ukur. Hasil yang sama juga ditampilkan oleh grafik arus dan tegangan baterai 2, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 8(c) dan Gambar 8(d). Hasil ini menunjukkan bahwa data-data yang ditampilkan pada layar HMI sudah sesuai dengan data yang diperoleh dengan alat ukur. Sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem monitoring sistem kendali *charger* baterai yang diusulkan dengan menggunakan HMI sudah bekerja dengan baik, dimana data yang ditampilkan pada layar HMI sudah sesuai dengan data yang diperoleh dari alat ukur. Sistem kendali *charger* baterai yang dibuat dengan menggunakan PLC dan HMI juga sudah bekerja dengan baik. Sistem kendali yang diusulkan telah sukses mengatur pengisian pada dua buah baterai dan sistem kendali juga telah sukses menghentikan pengisian secara otomatis ketika baterai sudah penuh. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem kendali dan monitoring *charger* baterai menggunakan HMI yang diusulkan dalam penelitian ini telah bekerja dengan baik sesuai dengan tujuan.

KESIMPULAN

Sistem kendali dan monitoring *charger* baterai menggunakan panel surya berbasis HMI diusulkan untuk pengisian dua buah baterai secara paralel. Sistem yang diusulkan dirancang menggunakan PLC S7 1200 1215C DC/DC/Relay dengan HMI TP700 Basic. Sedangkan untuk sumber daya listriknya digunakan delapan buah panel surya 50 WP. Hasil pengujian menunjukkan bahwa Sistem kendali dan monitoring *charger* baterai menggunakan panel surya berbasis HMI yang dibuat dalam penelitian ini telah bekerja dengan baik, di mana pengisian baterai telah sukses dikontrol sesuai dengan kebutuhan dan HMI juga telah sukses menampilkan data-data parameter yang diamati sesuai dengan data yang diperoleh dari alat ukur.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Firanda and M. Yuhendri, "Monitoring State Of Charge Accumulator Berbasis Graphical User Interface Menggunakan Arduino," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 2, no. 1, pp. 11–16, 2021.
- [2] H. Ren, Y. Zhao, S. Chen, and T. Wang, "Design and implementation of a battery management sistem with active charge balance based on the SOC and SOH online estimation," *Energy*, vol. 166, pp. 908–917, 2019, doi: 10.1016/j.energy.2018.10.133.
- [3] Y. Astriani, A. Kurniasari, E. R. Priandana, and N. A. Aryono, "Penyeimbangan State of Charge Baterai Lead Acid Pada Prototipe Battery Management Sistem a Prototype Battery Management Sistem for Balancing," *Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan*, vol. 17, no. 1, pp. 43–52, 2018.
- [4] N. Shafiei, M. Ordenez, M. A. Saket Tokaldani, and S. A. Arefifar, "PV Battery *Charger* Using an L3C Resonant Converter for Electric Vehicle Applications," *IEEE Trans. Transp. Electrifi.*, vol. 4, no. 1, pp. 108–121, 2018, doi: 10.1109/TTE.2018.2792323.
- [5] G. Angenendt, S. Zurmühlen, F. Rücker, H. Axelsen, and D. U. Sauer, "Optimization and operation of integrated homes with photovoltaic battery energy storage systems and power-to-heat coupling," *Energy Convers. Manag. X*, vol. 1, no. February, p. 100005, 2019, doi: 10.1016/j.ecmx.2019.100005.
- [6] Y. E. Abu Eldahab, N. H. Saad, and A. Zekry, "Enhancing the design of battery charging controllers for photovoltaic sistems," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 58, pp. 646–655, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2015.12.061.
- [7] P. Iurilli, C. Brivio, and M. Merlo, "SoC management strategies in Battery Energy Storage Sistem providing Primary Control Reserve," *Sustain. Energy, Grids Networks*, vol. 19, p. 100230, 2019, doi: 10.1016/j.segan.2019.100230.
- [8] N. Tashakor, E. Farjah, and T. Ghanbari, "A Bidirectional Battery *Charger* With Modular Integrated Charge Equalization Circuit," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 32, no. 3, pp. 2133–2145, 2017, doi: 10.1109/TPEL.2016.2569541.
- [9] J. López, S. I. Seleme, P. F. Donoso, L. M. F. Morais, P. C. Cortizo, and M. A. Severo, "Digital control strategy for a buck converter operating as a battery *charger* for stand-alone photovoltaic sistems," *Sol. Energy*, vol. 140, pp. 171–187, 2016, doi: 10.1016/j.solener.2016.11.005.
- [10] A. Verma, B. Singh, A. Chandra, and K. Al-Haddad, "An Implementation of Solar PV Array Based

-
- Multifunctional EV Charger," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 56, no. 4, pp. 4166–4178, 2020, doi: 10.1109/TIA.2020.2984742.
- [11] R. Y. Pratama and M. Yuhendri, "Monitoring Turbin Angin Menggunakan Smartphone Android," *JTEV (Jurnal Tek. Elektro dan Vokasional)*, vol. 6, no. 2, p. 64, 2020, doi: 10.24036/jtev.v6i2.108517.
- [12] F. Dikriansyah, "Rancang Bangun dan Monitoring Charger Baterai dengan Metode Charging Otomatis Menggunakan Rangkaian Sensor Tegangan dan Regulator Arus Berbasis Arduino Mega 2560," *Biomass Chem Eng*, vol. 3, no. 2, 2018.
- [13] N. Gusriani and M. Yuhendri, "Monitoring Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Arduino Berbasis GUI Matlab," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 1, no. 2, pp. 229–233, 2020, doi: 10.24036/jtein.v1i2.76.
- [14] Ihsan; Aditya Angga wahyu, "Rancang Bangun Battery Monitoring Sistem (BMS) berbasis LabVIEW," *JTT (Jurnal Teknol. Terpadu)*, vol. 9, no. 1, pp. 44–49, 2021, doi: 10.32487/jtt.v9i1.972.
- [15] A. Alfaris and M. Yuhendri, "Sistem Kendali dan Monitoring Boost Converter Berbasis GUI (graphical user interface) Matlab Menggunakan Arduino," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 1, no. 2, pp. 266–272, 2020, doi: 10.24036/jtein.v1i2.83.
- [16] A. F. Ikhfa and M. Yuhendri, "Monitoring Pemakaian Energi Listrik Berbasis Internet of Things," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 3, no. 1, pp. 257–266, 2022, [Online]. Available: <http://jtein.ppj.unp.ac.id/index.php/JTEIN/article/view/233>
- [17] F. Azizah and M. Yuhendri, "Solar Panel Monitoring and Control Sistem Using Human Machine Interface," *Andalasian Int. J. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 2, no. 03, pp. 149–158, 2022, doi: 10.25077/aijaset.v2i03.64.
- [18] I. Rifaldo and M. Yuhendri, "Sistem Monitoring Kecepatan Motor Induksi dengan HMI Berbasis PLC," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 3, no. 2, pp. 319–325, 2022.
- [19] R. Jannah and M. Yuhendri, "Pembuatan Jobsheet Kendali Motor Induksi menggunakan Human Machine Interface," *J. Pendidik. Tek. Elektro*, vol. 03, no. 02, pp. 184–191, 2022, [Online]. Available: <http://jpte.ppj.unp.ac.id/index.php/JPTE/article/view/215>
- [20] P. Tsafack, B. Ducharne, and E. Tanyi, "PLC-based control sistem for battery use time extension," *Electr. Electron. Technol.*, vol. 2, no. October 2018, pp. 2–5, 2019, doi: 10.15406/eetoaj.2018.02.00022.
- [21] N. Mohammed and A. M. Saif, "Programmable logic controller based lithium-ion battery management sistem for accurate state of charge estimation," *Comput. Electr. Eng.*, vol. 93, no. February, p. 107306, 2021, doi: 10.1016/j.compeleceng.2021.107306.