

Pengaturan Aliran Daya PLTS dan Genset Pada Rumah Tinggal Menggunakan PLC Zelio

Power Flow Regulation of PLTS and Genset in Residential Using PLC Zelio

Adhi Kusmantoro*
Program Studi Teknik Elektro
Universitas PGRI Semarang
Semarang, Indonesia
adhikusmantoro@upgris.ac.id

Irna Farikhah
Program Studi Teknik Mesin
Universitas PGRI Semarang
Semarang, Indonesia
irnafarikhah@upgris.ac.id

Diterima : November 2024
Disetujui : Desember 2024
Dipublikasi : Januari 2025

Abstrak—Saat ini, banyak rumah tinggal yang sangat membutuhkan sumber listrik, Selain itu sumber listrik berasal dari energi fosil yang ketersediaannya semakin berkurang. Salah satu sumber energi terbarukan yang melimpah adalah energi matahari. Dalam penelitian diusulkan pengaturan PLTS dan genset pada rumah tinggal menggunakan PLC Zelio. Tujuan dalam penelitian ini adalah mengatur aliran daya pada beban rumah tinggal, sehingga aliran daya ke beban tidak terputus. Metode yang digunakan dengan tahapan mengidentifikasi iradiasi matahari, menghitung beban, merencanakan PLTS dan mendesain pengatur daya. Untuk perencanaan PLTS meliputi panel surya, baterai, pengatur pengisian baterai atau *solar charge controller*, dan inverter. Jumlah panel surya yang dibutuhkan sebanyak 4 buah dari panel surya 250 Wp. Ketika baterai digunakan dengan batas bawah energi atau *state of charge (SOC)* 50% maka jumlah baterai yang dibutuhkan sebanyak 8 buah. Berdasarkan perhitungan terlihat kapasitas SCC yang digunakan sebesar 50 A. Hasil studi memperlihatkan pengaturan aliran energi dengan sumber PLTS dan Genset pada beban rumah tinggal. Selain itu sumber energi matahari yang melimpah di kota Semarang dapat dimanfaatkan untuk pembangkit listrik memakai panel surya.

Kata Kunci—Panel Surya; Baterai; Iradiasi Matahari; Zelio Soft

Abstract—At this time many homes are in dire need of a source of electricity. In addition, the electricity source comes from fossil fuels, the availability of which is decreasing. One of the abundant renewable energy sources is solar energy. In the study, it was proposed to regulate PLTS and Genset in residential using PLC Zelio. The purpose of this study is to regulate the power flow to residential loads, so that the power flow to the load is not interrupted. The method used is with the stages of identifying solar irradiation, calculating the load, planning PLTS and designing a power regulator. For PLTS planning, it includes solar panels, batteries, battery charge controller or solar charge controllers, and inverters. The number of solar panels needed is 4 from 250 Wp solar panels. When the battery is used with a lower limit energy of state of charge (SOC) of 50%, the number of batteries needed is 8. Based on the calculation, the SCC capacity used is 50 A. The study results show the regulation of energy flow with PLTS and Genset sources on residential loads. In addition, the abundant

solar energy sources in the city of Semarang can be utilized for power generation using solar panels.

Keywords—Solar Panel; Battery; Solar Irradiation; Zelio Soft

I. PENDAHULUAN

Pada saat sekarang banyak wilayah terpencil yang digunakan untuk pemukiman penduduk. Hal ini disebabkan jumlah warga yang terus bertambah. Permasalahan yang dihadapi dalam wilayah terpencil adalah tidak tersedianya jaringan listrik PLN. Dalam pemukiman penduduk sangat membutuhkan sumber listrik untuk melakukan aktifitas atau pekerjaan setiap harinya. Selain itu Indonesia merupakan salah satu negara dengan sumber energi terbarukan yang melimpah. Salah satu sumber energi terbarukan yang potensinya sangat besar merupakan energi matahari dengan panel surya. Pembangkitan sumber listrik dengan panel surya dikenal dengan Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Untuk penggunaan di wilayah perkotaan dapat dilakukan dengan mengintegrasikan sumber listrik PLN [1].

Penelitian tentang panel surya pada saat sekarang mengalami peningkatan. Penelitian awal yang dilakukan untuk kebutuhan *Charging Station* [2]. Penelitian ini mengusulkan pengoperasian multi-mode panel surya, baterai, jaringan listrik PLN, dan stasiun pengisian berbasis generator diesel, untuk menyediakan pengisian daya secara kontinyu dan tidak terputus ke beban rumah tinggal. Selanjutnya dilakukan simulasi pengoperasian panel surya dengan mempertimbangkan susunan panel surya dan karakteristik arus-tegangan. Selain itu juga dilakukan simulasi pengaruh *partial shading* [3]. Penelitian berikutnya berfokus pada pengukuran surplus listrik menggunakan panel surya bangunan pada skala regional. Mengingat sedikitnya penelitian dalam konteks perubahan kontekstual skala perkotaan. Penelitian ini dilakukan dengan model simulasi untuk mengatasi surplus listrik yang akan terjadi di kota Fukuoka pada tahun 2025 [4]. Untuk meningkatkan sumber listrik diusulkan model baru untuk sistem panel surya

terintegrasi dengan hidrogen. Model memakai data cuaca untuk desain ini. Tujuan penelitian adalah untuk mengukur dan mengoperasikan sistem secara optimal dan meminimalkan biaya hydrogen [5]. Energi terbarukan menggunakan panel surya memainkan peranan penting dalam mencapai skenario emisi nol bersih untuk perkembangan mendatang. Oleh karena itu dilakukan simulasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya dalam rangka meningkatkan pemakaian energi matahari. Hal ini berkaitan dengan bauran energi suatu negara dan merupakan tantangan besar yang harus segera diatasi [6]. Selanjutnya diusulkan sistem panel surya yang terintegrasi dengan *phase change material* (PCM) dan modul termoelektrik. Sistem didesain untuk meningkatkan energi listrik dengan memakai modul PCM dan TE pada sel panel surya secara efektif. Untuk meningkatkan kinerja dinamis dari sistem yang diusulkan maka dilakukan pemodelan yang berfokus pada suhu panel surya, efisiensi dan daya keluaran. Pembangkitan energi listrik setiap tahunnya sebesar 341,97 kWh, 333,87 kWh dan 310,47 kWh. Efisiensi sistem panel surya-PCM-TE meningkat sebesar 10,15% jika dibandingkan sistem yang dibuat terpisah [7]. Selanjutnya diusulkan penelitian dengan multi fisika untuk meningkatkan kinerja panel surya dalam kondisi yang sebenarnya di lapangan. Metode dilakukan dengan pendekatan metode elemen hingga 3D sehingga dihasilkan model simulasi secara global [8]. Dalam sistem pendinginan panel surya dengan media udara biasanya menggunakan penukar panas sebagai kondensor, dengan kinerja pembuangan panasnya yang tidak efektif. Hal ini menyebabkan kapasitas pendinginan sistem yang tidak sesuai, sehingga diusulkan penelitian sistem pendingin udara panel surya yang terdiri dari kondensor pendingin udara dan kondensor panel surya yang terhubung seri [9]. Karena perbedaan karakteristik dalam proses konversi energi, pengoperasian dan pengaturan multi-energi pada sistem terintegrasi menimbulkan permasalahan dalam pembagian daya beban. Oleh karena itu diusulkan simulasi kontrol terkoordinasi sistem termoelektrik dengan panel surya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengontrol yang dirancang dapat menstabilkan permintaan daya beban. Deviasi permintaan daya baterai berkurang dari 2,39 W menjadi 0,66 W dalam waktu 500 detik, sehingga memudahkan dalam pengaturan beban [10].

Untuk mensimulasikan sistem yang kompleks maka dikembangkan simulasi secara real time PLTS melalui dua simulator. Dalam metode ini dilakukan pemodelan sistem PLTS dengan mempertimbangkan frekuensi-*sweeping*, keakuratan dan efektivitas simulasi [11]. Perkembangan teknologi panel surya terus berkembang pesat di seluruh dunia. Selanjutnya diusulkan studi simulasi numerik tiga dimensi pada sistem panel surya yang terhubung ke jaringan listrik 2,88 kW di Sharjah untuk kondisi yang sebenarnya. Hal ini disebabkan Uni Emirat Arab (UEA) mempunyai kondisi iklim yang panas, dengan suhu lingkungan tinggi, radiasi, dan kelembapan yang tinggi sepanjang tahun [12]. Peningkatan pemakaian energi matahari disebabkan berkurangnya sumber energi bahan bakar fosil. Oleh karena itu untuk meningkatkan kinerja panel surya dibutuhkan desain dan pengembangan yang tepat untuk mengekstraksi parameter panel surya. Dalam studi ini disimulasikan karakteristik modul panel surya dan persamaan utama pada dioda Shockley. Kinerja dari panel surya direpresentasikan menggunakan Simulink Matlab [13], [14].

Penelitian selanjutnya yang berfokus pada dampak granularitas model dan resolusi temporal pada aliran energi panel surya yang disimulasikan beroperasi secara mandiri dengan penyimpanan baterai PV pada perumahan yang terhubung ke jaringan listrik. Hasil simulasi menunjukkan bahwa resolusi temporal memiliki dampak yang dapat diabaikan terhadap konsumsi beban [15]. Peneliti [16] mengimplementasikan stasiun pengisian kendaraan listrik dengan sumber panel surya, baterai, dan generator diesel (GD) dalam mode *off-grid*, *on-grid*, dan terhubung GD. Ketika penyimpanan baterai habis dan keluaran panel surya terputus, maka sumber jaringan listrik atau GD beroperasi. Namun GD selalu beroperasi pada pembebanan 80%–85% untuk mencapai efisiensi bahan bakar maksimum pada semua kondisi pembebanan. Peneliti [17] mengimplementasikan topologi pembangkit listrik mikrogrid secara mandiri dengan inverter sumber tegangan dan generator tanpa sikat. Sistem mikrogrid menggunakan tenaga angin dan energi matahari. Sistem yang diusulkan juga terintegrasi dengan generator diesel (GD) dan sistem penyimpanan baterai untuk menjaga keandalan sistem. Topologi yang diusulkan mempunyai keunggulan dalam mengurangi perangkat *switching* dan kontrol yang sederhana. Dalam memantau operasi panel surya dalam kondisi yang sebenarnya maka didesain model monitoring pada parameter tegangan, arus, serta daya dengan sensor arus ACS712 30A [18]. Metode yang diusulkan dapat meningkatkan akurasi pengukuran dan dilakukan dengan simulasi Proteus. Hasil pengujian memperlihatkan data pengukuran yang akurat sehingga pemakai sistem panel surya dapat memantau parameter sistem. Selanjutnya peneliti [19] melakukan simulasi pengaturan aliran daya dari panel surya dan baterai pada rumah tinggal. Sistem yang diusulkan beroperasi secara mandiri. Dalam pengaturan daya digunakan pengendali Proporsional Integral (PI). Kedua sumber yang digunakan mampu menyuplai beban secara bergantian tanpa terputus. Penggunaan panel surya untuk kebutuhan pengairan pada daerah pedesaan menggunakan pompa air semakin meningkat [20]. Dalam kebutuhan ini peneliti [21], [22] mengusulkan metode hybrid panel surya dan termoelektrik untuk pemompaan. Pada akhirnya metode kontrol terkoordinasi dengan konfigurasi DC coupling diusulkan untuk meningkatkan layanan beban. Pada strategi ini dilakukan pengaturan sumber panel surya, baterai, dan jaringan listrik dengan *fuzzy logic controller* (FLC) [23], [24].

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang berfokus pada susunan panel surya, efisiensi, metode pendinginan, pompa air, model dengan diode shockley, pengaturan aliran daya, model monitoring pada parameter keluaran beban (tegangan, arus, daya), dan kontrol terkoordinasi maka dalam penelitian diusulkan pengaturan PLTS dan Genset pada rumah tinggal menggunakan PLC Zelio. Tujuan dalam penelitian ini adalah mengatur aliran daya keluaran panel surya dan Genset pada beban rumah tinggal, sehingga aliran daya ke beban tidak terputus. Model sistem yang diusulkan beroperasi dalam mode *off-grid*. Dengan pengaturan aliran energi secara bergantian dari panel surya, genset, dan baterai maka layanan beban secara optimal tercapai.

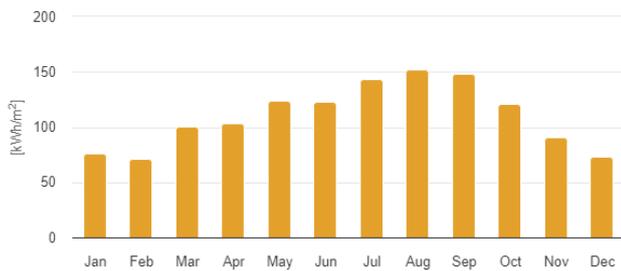
II. METODE

Penelitian ini mendesain pengaturan daya untuk rumah tinggal yang berlokasi di Jl. WR Supratman, Semarang Barat,

Jawa Tengah. Pengaturan daya dilakukan untuk mengendalikan aliran daya PLTS dan genset tanpa terhubung dengan jaringan listrik PLN. Oleh karena itu dilakukan tahapan-tahapan dalam merencanakan PLTS untuk kebutuhan listrik rumah tinggal. Sistem PLTS yang direncanakan juga dilengkapi dengan penyimpan Baterai VRLA. Penelitian ini menggunakan PLC Zelio dengan pertimbangan biaya dan kemudahan pemrograman.

A. Potensi Iradiasi Matahari

Langkah awal dalam merencanakan sistem PLTS dengan melakukan identifikasi potensi iradiasi matahari pada lokasi penelitian. Tujuan identifikasi untuk mengetahui daya yang dihasilkan panel surya sesuai dengan besarnya iradiasi matahari. Berdasarkan identifikasi awal lokasi penelitian mempunyai intensitas iradiasi rata-rata tahunan sebesar 3,636 kWh/m² per hari, sesuai data global solar atlas (GAS). Sedangkan profil intensitas iradiasi terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Profil intensitas iradiasi

Berdasarkan Gambar 1 terlihat intensitas iradiasi rata-rata bulanan terbesar terjadi dalam bulan Agustus sebesar 150 kWh/m².

B. Beban Rumah Tinggal

Beban yang digunakan dalam rumah tinggal tergantung pada pemakaiannya. Untuk beban lampu digunakan pada malam hari, sedangkan beban pompa air digunakan sesuai kebutuhan. Untuk beban lainnya adalah kipas angin, TV, mesin cuci, dan pompa Dab. Tabel 1 memperlihatkan konsumsi energi listrik dalam satu hari. Berdasarkan tabel 1 konsumsi energi listrik yang digunakan sebesar 3904 Wh atau 3,904 kWh per hari, sehingga dalam satu bulan konsumsi energi listrik rata-rata sebesar 117,12 kWh.

TABEL 1. TABLE TYPE STYLES

Beban	Daya (W)	Jumlah	Pemakaian (jam)	Energi (Wh)
Lampu CFL	14	6	12	1008
Lampu Hlg	29	2	12	696
TV LED	40	1	6	240
Mesin Cuci	160	1	1	160
Kipas Angin	50	2	8	800
Pompa Dab	250	1	4	1000

C. Perencanaan PLTS

Dalam membangun sistem PLTS dibutuhkan komponen utama yang meliputi panel surya, baterai, *solar charge controller*, dan inverter. Intensitas iradiasi matahari efektif terjadi dalam 5 jam. Panel surya dalam perencanaan PLTS dihitung berdasarkan konsumsi energi listrik dalam satu hari dengan persamaan sebagai berikut

$$K_{PV} = \frac{E_{RT}}{I_m \times P_{PV}} \quad (1)$$

Jumlah panel surya dinyatakan dengan K_{PV} , konsumsi energi listrik dengan E_{RT} , intensitas iradiasi efektif dengan I_m , dan kapasitas panel surya dengan P_{PV} . Jumlah panel surya sebanyak 4 buah dengan kapasitas masing-masing 250 Wp. Sedangkan untuk penyimpan baterai juga ditentukan berdasarkan jumlah konsumsi energi listrik per hari. Jumlah baterai yang digunakan berdasarkan persamaan sebagai berikut

$$K_B = \frac{E_{RT}}{E_B \times AH} \quad (2)$$

Jumlah baterai dinyatakan dengan K_B , Tegangan baterai dinyatakan dengan V_B , kapasitas baterai dinyatakan dengan Ah . Penelitian ini memakai 8 baterai dengan kapasitas 800 Ah, 12 V. Untuk mengatur keluaran panel surya ke baterai dan inverter digunakan *solar charge controller* dengan persamaan sebagai berikut

$$SCC_{PV} = I_{SC} \times K_{PV} \quad (3)$$

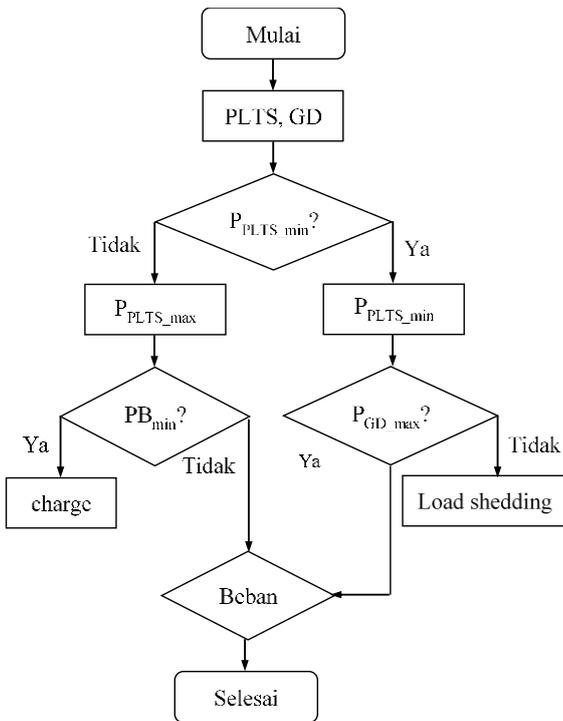
Besarnya arus SCC dinyatakan dengan SCC_{PV} , arus hubung singkat (data panel surya) dinyatakan dengan I_{SC} . Penelitian ini memakai SCC 50 A. Inverter dalam sistem panel surya digunakan untuk mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC sesuai dengan tegangan beban. Kapasitas inverter harus lebih besar dari jumlah daya beban. Dalam penelitian ini kapasitas inverter 2,5 kW dan kapasitas genset 1,5 Kw. Gambar 2 memperlihatkan SCC yang digunakan untuk memaksimalkan keluaran panel surya dan pengisian baterai.



Gambar 2. Solar charge controller.

D. Algoritma Pengaturan Daya

Dalam melakukan pengaturan aliran daya digunakan software Zelio Soft 2.



Gambar 3. Flowchart pengaturan aliran energi PLTS dan Genset (GD)

Dalam penelitian ini terdapat dua sumber listrik, yaitu sumber listrik PLTS yang merupakan sumber listrik utama dan genset sebagai sumber listrik cadangan. Terlihat dalam Gambar 3 flowchart untuk pengaturan daya dari sumber PLTS dan genset atau generator diesel (GD) dalam menyuplai daya ke beban, dengan waktu pergantian 5 detik. Pada saat awal PLTS mempunyai sumber listrik sehingga mampu menyuplai daya ke beban. Selain itu Sebagian keluaran PLTS disimpan dalam baterai. Ketika sumber listrik PLTS berkurang atau minimum maka GD yang akan berperan menyuplai daya ke beban. Pemutusan beban terjadi ketika sumber listrik PLTS dan GD kondisi minimum dan sistem tidak beroperasi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan perencanaan PLTS maka dapat diketahui jumlah panel surya, baterai, dan SCC menggunakan persamaan yang telah dijelaskan pada bagian metode. Untuk jumlah panel surya menggunakan persamaan 1, sehingga jumlah panel surya sebagai berikut

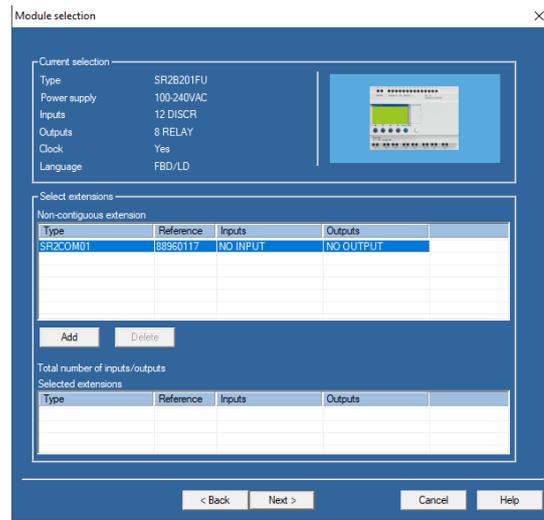
$$K_{PV} = \frac{3904}{5 \times 200} = 3,9 \cong 4$$

Jumlah panel surya yang dibutuhkan adalah 4 buah dengan kapasitas masing-masing 250 Wp. Sedangkan jumlah baterai menggunakan persamaan 2, sehingga jumlah baterai sebagai berikut

$$K_B = \frac{3904}{12 \times 100} = 3,3 \cong 4$$

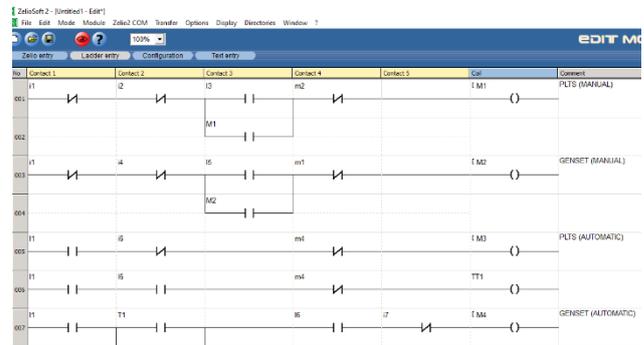
Ketika baterai digunakan dengan batas bawah *state of charge* (SOC) 50% maka jumlah baterai yang dibutuhkan sebanyak 8 buah. Untuk kapasitas SCC menggunakan persamaan 3, berdasarkan arus hubung singkat dan jumlah panel surya polikristalin.

$$SCC_{PV} = 6,08 \times 4 = 24,32 \cong 50A$$

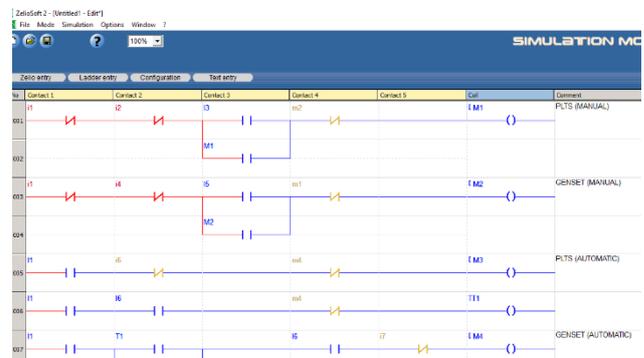


Gambar 4. Tahap awal penentuan tipe PLC Zelio.

Berdasarkan perhitungan terlihat kapasitas SCC yang digunakan sebesar 50 A. Untuk pengaturan aliran energi dibuat ladder diagram (LD) menggunakan soft zelio 2, yang akan disimulasikan proses pengaturan keluaran panel surya dan generator diesel (GD). Pada saat membuat program baru, maka terdapat banyak pilihan tipe PLC Zelio sesuai kebutuhan yang terlihat pada Gambar 4. Dalam penelitian ini dipilih PLC Zelio dengan tipe SR2B20FU yang mempunyai 12 input dan 8 output.



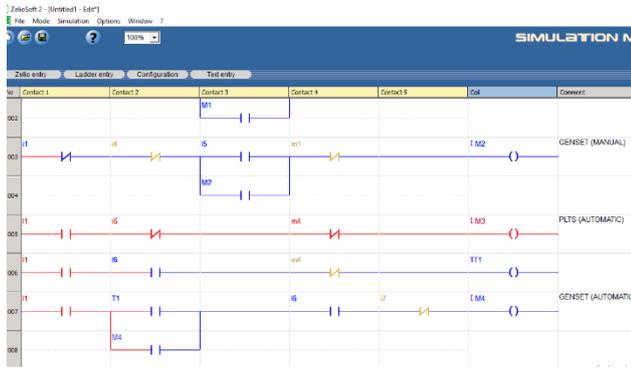
Gambar 5. LD pengaturan panel surya dan GD.



Gambar 6. Operasi manual.

Setelah penentuan tipe PLC Zelio maka ditentukan bahasa pemrograman yang dalam simulasi ini memakai LD. Selanjutnya dibuat LD yang terlihat pada Gambar 5. Dalam penelitian ini direncanakan satu input (I1) utama yang

digunakan untuk operasi manual dan otomatis, sedangkan input (I2 - I5) digunakan untuk operasi manual. Dalam hal ini sistem direncanakan untuk beroperasi secara manual atau otomatis sesuai kebutuhan. Input sensor tegangan keluaran inverter (I6) digunakan untuk mendeteksi tegangan keluaran AC ke beban, sedangkan input sensor tegangan GD (I7) digunakan untuk mendeteksi tegangan keluaran AC generator. Sensor tegangan berupa relay AC.



Gambar 7. Operasi otomatis.

Dalam operasi secara manual terlihat pada Gambar 6. Dalam gambar terlihat input manual (I1) pada operasi manual tertutup, sedangkan input otomatis (I1) dalam kondisi terbuka. Pada baris pertama dan kedua yang terlihat dengan warna merah memperlihatkan operasi manual dapat dilakukan, sedangkan operasi otomatis tidak dapat dilakukan. Dalam operasi manual dapat dipilih untuk menyalurkan keluaran daya panel surya atau daya keluaran genset (GD).

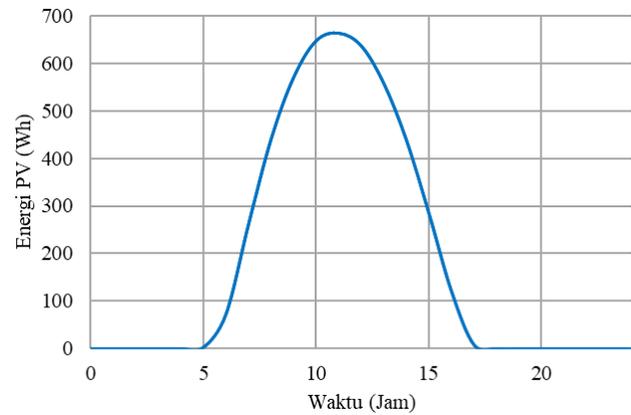
Gambar 7 memperlihatkan mode operasi otomatis, sehingga input (I1) manual terbuka dan input (I1) otomatis tertutup. Ketika tegangan inverter pada level sesuai tegangan beban maka input sensor (I6) akan tertutup dan sistem akan menyalurkan daya keluaran PLTS (garis warna merah). Pada saat tegangan inverter berkurang maka sensor tegangan (I6) akan terbuka maka GD akan beroperasi untuk menyalurkan daya ke beban. Pada saat tegangan GD berkurang maka sensor tegangan (I7) akan terbuka dan GD akan berhenti beroperasi yang selanjutnya PLTS akan menyalurkan daya ke beban.



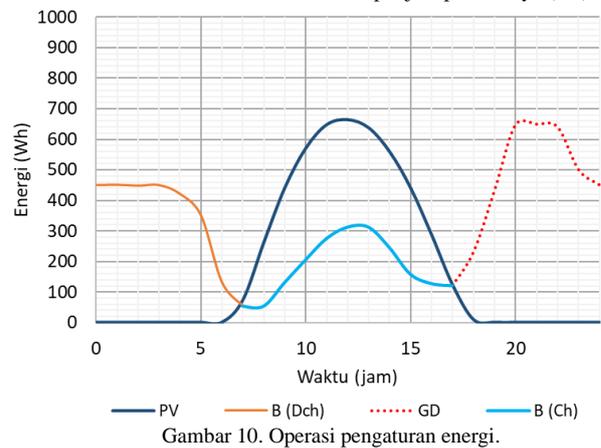
Gambar 8. Profil keluaran rata-rata bulanan panel surya (PV).

Kapasitas panel surya dalam simulasi ini sebesar 1000 kWp. Untuk mengetahui potensi keluaran panel surya pada lokasi yang telah ditentukan dapat disimulasikan dengan profil keluaran rata-rata setiap bulan yang terlihat pada Gambar 8. Pada gambar terlihat bulan Agustus memperlihatkan keluaran rata-rata tertinggi sebesar 145,9 kWh, sedangkan

keluaran panel surya terendah terjadi pada bulan Februari sebesar 96,7 kWh. Hal ini menunjukkan wilayah Tambakharjo kota Semarang berpotensi untuk dikembangkan PLTS. Untuk keluaran rata-rata per jam dalam sehari pada bulan Agustus terlihat pada Gambar 9. Dalam gambar terlihat keluaran energi panel surya terbesar terjadi pada jam 12.00 sebesar 664 Wh. Hal ini disebabkan intensitas iradiasi terbesar terjadi pada saat jam tersebut.

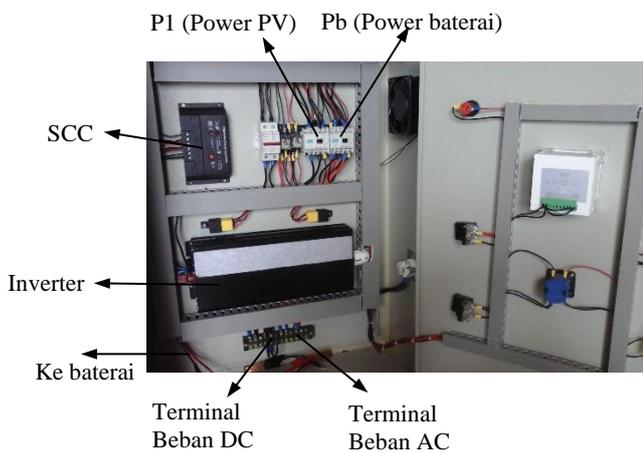


Gambar 9. Profil keluaran rata-rata per jam panel surya (PV).



Gambar 10. Operasi pengaturan energi.

Gambar 10 memperlihatkan pengaturan aliran energi dari panel surya (PV) dan generator diesel (GD), sedangkan baterai (B) digunakan untuk menyimpan energi dan membantu PV saat terjadi fluktuasi. Pada saat awal PV akan menyalurkan energi ke beban dari jam 07.00 hingga jam 16.00 (garis warna biru tua). Pada saat yang sama terjadi pengisian baterai (B (Ch)) dari jam 08.00 hingga jam 16.00 (garis warna biru muda). Ketika sore hari pada jam 16.00 PLTS terputus dan GD menyalurkan daya ke beban (garis warna merah) hingga jam 24.00. dalam hal ini GD beroperasi selama 8 jam, selanjutnya dari jam 24.00 hingga jam 07.00 baterai menyuplai daya ke beban. Dalam penelitian ini sumber PLTS menggunakan panel surya atau baterai dalam penyaluran daya ke beban. Demikian seterusnya PLTS dan GD menyuplai daya ke beban secara bergantian.



Gambar 11. Operasi pengaturan energi.

Gambar 11 memperlihatkan perangkat pengontrol yang digunakan pada salah satu sumber energi terbarukan. Perangkat ini berfungsi untuk mengatur keluaran panel surya. Metode pengaturan aliran energi menggunakan PLC Zelio memerlukan biaya yang lebih rendah jika dibandingkan dengan metode yang dilakukan oleh peneliti [2]. Metode yang diusulkan dalam penelitian ini menggunakan pengontrol terpusat. Dalam penelitian sebelumnya [4] banyak menggunakan konverter sehingga menimbulkan banyak kerugian konversi daya. Selain itu penggunaan PLC Zelio memudahkan dalam membuat perubahan program ladder diagram, sehingga pengaturan aliran energi dari panel surya, baterai, genset, dan beban lebih mudah dilakukan.

IV. KESIMPULAN

Peningkatan kebutuhan sumber listrik dapat dipenuhi dengan menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan genset. PLC Zelio dalam penelitian ini dapat berfungsi untuk mengatur aliran daya panel surya, baterai, genset secara bergantian. Penelitian yang dilakukan berkontribusi dalam penyediaan sumber listrik menggunakan sumber energi terbarukan. Metode pengontrol terpusat menggunakan PLC Zelio bermanfaat dalam pengaturan aliran daya ke beban. Penelitian ini dapat dikembangkan untuk beban rumah tinggal yang lebih besar. Selain itu penelitian ini juga dapat dikembangkan menggunakan pengontrol berbasis sistem cerdas yang dilengkapi dengan monitoring daya pada sumber dan beban dengan internet of things (IoT). Penelitian yang telah dilakukan juga berkontribusi pada pengembangan sistem tenaga listrik modern dan energi terbarukan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Universitas PGRI Semarang yang telah mendukung penelitian ini dan dukungan dari Program Studi Teknik Elektro dalam mengembangkan penelitian menggunakan energi terbarukan.

REFERENSI

[1] A. Kusmantoro and Ardyono Priyadi, "Strategi Peningkatan Kinerja DC Microgrid dengan Konfigurasi DC/AC Coupling," *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 12, no. 3, pp. 175–180, 2023, doi: 10.22146/jnteti.v12i3.7151.

[2] A. Verma and B. Singh, "Multimode Operation of Solar PV Array, Grid, Battery and Diesel Generator Set Based EV Charging Station," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 56, no. 5, pp. 5330–5339, 2020, doi: 10.1109/TIA.2020.3001268.

[3] H. Yang *et al.*, "Fast simulation modeling and multiple-PS fault diagnosis of the PV array based on I–V curve conversion," *Energy Convers. Manag.*, vol. 300, no. December 2023, p. 117965, 2024, doi: 10.1016/j.enconman.2023.117965.

[4] H. Wang and D. Sumiyoshi, "Development of electricity simulation model of urban houses and evaluating surplus electricity of photovoltaics (PV) considering housing stock transformation," *Appl. Energy*, vol. 363, no. December 2023, p. 123043, 2024, doi: 10.1016/j.apenergy.2024.123043.

[5] F. Gutiérrez-Martín, J. A. Díaz-López, A. Caravaca, and A. J. Dos Santos-García, "Modeling and simulation of integrated solar PV - hydrogen systems," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 52, pp. 995–1006, 2024, doi: 10.1016/j.ijhydene.2023.05.179.

[6] M. Martínez-Lavín, R. Villena-Ruiz, A. Honrubia-Escribano, J. C. Hernández, and E. Gómez-Lázaro, "Proposal for an aggregated solar PV power plant simulation model for grid code compliance," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 213, no. November 2021, 2022, doi: 10.1016/j.epr.2022.108676.

[7] Z. Luo, N. Zhu, P. Hu, F. Lei, and Y. Zhang, "Simulation study on performance of PV-PCM-TE system for year-round analysis," *Renew. Energy*, vol. 195, pp. 263–273, 2022, doi: 10.1016/j.renene.2022.06.032.

[8] B. Limane, C. Ould-Lahoucine, and S. Diaf, "Modeling and simulation of the thermal behavior and electrical performance of PV modules under different environment and operating conditions," *Renew. Energy*, vol. 219, no. P1, p. 119420, 2023, doi: 10.1016/j.renene.2023.119420.

[9] M. Fan, G. Feng, J. Xu, H. Yang, X. Kong, and H. Li, "Simulation of air-cooled PV/T air conditioning system for cooling and power cogeneration," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 224, no. January, p. 119971, 2023, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2022.119971.

[10] D. Zhai, X. Yang, Y. Zhao, J. Shen, Y. Li, and J. Zhang, "Semi-physical simulation and coordinated control of SOFC-PV/T-HP system," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 240, no. December 2023, p. 122251, 2024, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2023.122251.

[11] H. Bai *et al.*, "A real-time co-simulation of PV power generation system using transmission line model interface," *Energy Reports*, vol. 8, pp. 196–204, 2022, doi: 10.1016/j.egy.2021.11.079.

[12] T. Salameh, A. K. Hamid, M. M. Farag, and E. M. Abo-Zahhad, "Experimental and numerical simulation of a 2.88 kW PV grid-connected system under the terrestrial conditions of Sharjah city," *Energy Reports*, vol. 9, pp. 320–327, 2023, doi: 10.1016/j.egy.2022.12.115.

[13] M. A. Koondhar, I. A. Laghari, B. M. Asfaw, R. Reji Kumar, and A. H. Lenin, "Experimental and simulation-based comparative analysis of different parameters of

- PV module,” *Sci. African*, vol. 16, p. e01197, 2022, doi: 10.1016/j.sciaf.2022.e01197.
- [14] M. Said, S. Fuady, and O. Saputra, “Desain dan Implementasi Sistem Monitoring Panel Surya 1200 Wp Berbasis Data Logger,” *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 218–223, 2022, doi: 10.37905/jjee.v4i2.14485.
- [15] B. Hauck, W. Wang, and Y. Xue, “On the model granularity and temporal resolution of residential PV-battery system simulation,” *Dev. Built Environ.*, vol. 6, no. March, p. 100046, 2021, doi: 10.1016/j.dibe.2021.100046.
- [16] B. Singh, A. Verma, A. Chandra, and K. Al-Haddad, “Implementation of Solar PV-Battery and Diesel Generator Based Electric Vehicle Charging Station,” *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 56, no. 4, pp. 4007–4016, 2020, doi: 10.1109/TIA.2020.2989680.
- [17] K. Kant, C. Jain, and B. Singh, “A Hybrid Diesel-Wind-PV-Based Energy Generation System With Brushless Generators,” *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 13, no. 4, pp. 1714–1722, 2017, doi: 10.1109/TII.2017.2677462.
- [18] M. Yasin and E. Apriaskar, “MITOR: Jurnal Teknik Elektro Simulasi Monitoring Arus, Tegangan, dan Daya Panel Surya,” *J. Tek. Elektro*, vol. 23, no. 2, pp. 87–92, 2023.
- [19] S. Budi, M. Akrom, G. A. Trisnapradika, T. Sutojo, and W. A. E. Prabowo, “Optimization of Polynomial Functions on the NuSVR Algorithm Based on Machine Learning: Case Studies on Regression Datasets,” *Sci. J. Informatics*, vol. 10, no. 2, pp. 151–158, 2023, doi: 10.15294/sji.v10i2.43929.
- [20] M. R. Adam, “Implementasi PLC Omron CP1E Pada Prototype Mesin Pencacah Plastik Otomatis Berkelanjutan Implementation of the Omron CP1E PLC on Continuous Automatic Plastic Shredding Machine Prototype,” vol. 6, 2024.
- [21] M. N. Ibrahim, H. Rezk, M. Al-Dahifallah, and P. Sergeant, “Hybrid Photovoltaic-Thermoelectric Generator Powered Synchronous Reluctance Motor for Pumping Applications,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 146979–146988, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2945990.
- [22] R. Rafli, J. Ilham, and S. Salim, “Perencanaan dan Studi Kelayakan PLTS Rooftop pada Gedung Fakultas Teknik UNG,” *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 4, no. 1, pp. 8–15, 2022, doi: 10.37905/jjee.v4i1.10790.
- [23] A. Kusmantoro and I. Farikhah, “Solar power and multi-battery for new configuration DC microgrid using centralized control,” *Arch. Electr. Eng.*, vol. 72, no. 4, pp. 931–950, 2023, doi: 10.24425/ae.2023.147419.
- [24] A. Kusmantoro and I. Farikhah, “Power management on DC microgrid with new DC coupling based on fuzzy logic,” *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 32, no. 2, pp. 620–631, 2023, doi: 10.11591/ijeecs.v32.i2.pp620-631.