

Battery Charging Boost Converter Metode Constant Current-Constant Voltage Mesin Penggiling Kedelai

Irianto^{a)}, Muhammad Alvin Nasrullah^{a)}, Sutedjo^{a)}, Ahmad Firyal Adila^{*a)}, Renny Rakhmawati^{a)},
Diah Septi Yanaratri^{a)}

(Received 14 Juli 2025 || Revised 6 Februari 2026 || Published 28 Februari 2026)

Abstract: The increasing utilization of renewable energy, such as solar panels, drives the need for efficient and safe energy storage systems. One of the main challenges is achieving a stable battery charging process. The Constant Current-Constant Voltage (CC-CV) method is an effective solution because it maintains a constant current during the initial charging stage and keeps the voltage stable as it approaches full capacity. This study implements a charging system for a 24V 26Ah VRLA battery using a boost converter with PI control based on the CC-CV method. The system operates offline (cycle use), meaning the load is not connected during charging. The constant current stage is carried out at 3.75 A until the voltage reaches 28.8 V, after which the system switches to constant voltage mode with a fixed voltage of 28.8 V and a gradually decreasing current. PI control is applied to maintain system stability and prevent overcurrent and overvoltage. Testing shows that the system is capable of charging the battery from 60% State of Charge (SoC) to full capacity in 2 hours and 30 minutes with an efficiency of 82%–85%. The converter output voltage remains stable at 28.8 V, and the charging current adjusts according to the battery condition. After charging, the battery can be used to supply a soybean grinding machine for 20 minutes. The system is also equipped with a SoC monitoring feature to prevent overdischarge and extend battery life.

Keywords: CC-CV method, boost converter, PI control, VRLA battery

1. Pendahuluan

Energi listrik telah menjadi kebutuhan primer dalam kehidupan modern dan terus meningkat seiring pertumbuhan penduduk dan kebutuhan industri. Namun, meningkatnya permintaan energi menyebabkan beban kerja tinggi pada pembangkit dan mempercepat penipisan bahan bakar fosil. Untuk mengatasi hal ini, penyimpanan energi menjadi solusi penting. Baterai menjadi media penyimpanan paling umum karena portabilitas dan keandalannya, khususnya jenis lead-acid yang banyak digunakan karena harga terjangkau dan performa stabil.

Teknologi boost converter menjadi solusi potensial untuk mengoptimalkan pengisian baterai dari sumber energi dengan tegangan rendah. Dengan menggunakan metode pengisian arus konstan (CC) dan tegangan konstan (CV), sistem dapat menghindari kerusakan baterai serta menjaga efisiensi pengisian. Dalam konteks ini, boost converter digunakan untuk mengisi baterai yang kemudian dimanfaatkan untuk menggerakkan motor AC satu fasa pada mesin penggiling kedelai, yang penting dalam proses produksi makanan seperti tempe.

Penggunaan mesin penggiling kedelai di industri kecil sering menghadapi tantangan biaya operasional dan ketergantungan pada pasokan listrik PLN. Oleh karena itu, pemanfaatan energi terbarukan dan sistem penyimpanan baterai menjadi solusi strategis untuk menjaga kontinuitas produksi. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem pengisian baterai VRLA 24V menggunakan boost converter berbasis kontrol PI dengan metode CC-CV, guna mendukung pengoperasian mesin penggiling secara berkelanjutan dan efisien.

2. Metode

Teori penunjang sangat penting sebagai acuan untuk analisis dan perhitungan sistem perencanaan. Teori-teori inti diambil dan dikumpulkan dari berbagai sumber seperti kuliah dan literatur yang relevan. Bagian ini akan menjelaskan dasar teori yang digunakan dalam penyusunan penelitian ini, dengan urutan sebagai berikut:

2.1 Baterai Lead Acid

Baterai *lead acid* (Gambar 2.1) atau lebih sering disebut aki

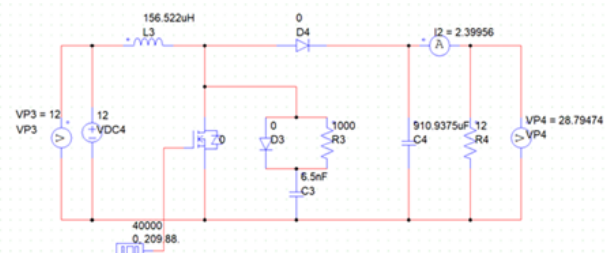
merupakan baterai yang menggunakan asam sebagai bahan kimianya. Secara umum Terdapat 2 jenis baterai *lead acid* yakni *starting battery* dan *deep cycle battery*. Baterai *lead acid* merupakan jenis baterai yang cukup handal dalam penggunaan charging, karena jenis baterai ini mampu menghadapi beberapa kondisi baik lambat, cepat ataupun saat keadaan pengisian daya berlebih. Tidak hanya itu, baterai *lead acid* mampu bertahan dalam keadaan lama dengan kondisi tidak aktif walaupun tanpa elektrolit.



GAMBAR 2.1 BATERAI LEAD ACID SMT POWER 24V/26AH

2.2 Boost Converter

Boost Converter adalah converter dc-to-dc yang dirancang untuk melakukan konversi peningkatan langkah dari masukan dc yang diterapkan. Dalam *boost converter*, tegangan masukan dc tetap yang diterapkan dinaikkan menjadi tegangan keluaran dc tertentu, yaitu tegangan keluaran *boost converter* selalu lebih tinggi dari tegangan masukan. Oleh karena itu, *boost converter* juga disebut konverter penambah langkah atau chopper peningkatan langkah. Rangkaian *boost converter* di penelitian ini seperti pada Gambar 2.2.



GAMBAR 2.2 RANGKAIAN BOOST CONVERTER

*Korespondensi: firyal@pens.ac.id
Program Studi Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro Industri, Politeknik
Elektronika Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

2.3 Driver PWM (Pulse Width Modulation)

Rangkaian PWM driver ini sebagai rangkaian *driver* mikrokontroler terhadap rangkaian utama *boost converter* yang menggunakan FOD 3182. Pada dasarnya FOD 3182 adalah IC optocoupler yang didalamnya terdapat totempole. Rangkaian PWM driver ini memerlukan tegangan input sebesar 12 Volt. Sinyal PWM digunakan untuk mengaktifkan kaki Gate (G) dan Source (S) pada MOSFET IRFP460. Tegangan output dari driver PWM dihitung dengan Persamaan (2-1).

$$V_o (\text{Teori}) = \text{Duty Cycle} \times V_{in} \quad (2-1)$$

2.4 LCD Character 20x4

LCD *Character* dapat dilihat pada Gambar 2.3 adalah jenis perangkat sistem yang digunakan untuk menampilkan informasi dalam bentuk huruf, angka, grafik, atau simbol lainnya. LCD merupakan salah satu display elektronik yang dibuat dengan logika CMOS dan bekerja dengan memantulkan cahaya sekitar atau mentransmisikan cahaya dari backlit, tanpa menghasilkan cahaya sendiri. Jumlah karakter yang bisa ditampilkan oleh sebuah LCD tergantung pada spesifikasinya).



GAMBAR 2.3 LCD CHARACTER 20x4

2.5 Sensor ACS 712

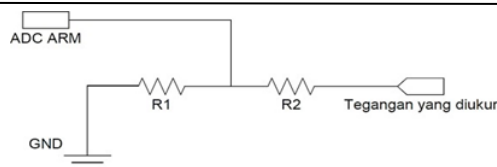
ACS712 (Gambar 2.4) adalah sensor arus yang bekerja berdasarkan efek medan. Sensor arus ini dapat digunakan untuk mengukur arus AC atau DC. Modul sensor ini telah dilengkapi dengan rangkaian penguat operasional, sehingga sensitivitas pengukuran arusnya meningkat dan dapat mengukur perubahan arus yang kecil.



GAMBAR 2.4 SENSOR ACS 712

2.6 Sensor Tegangan (Voltage Divider)

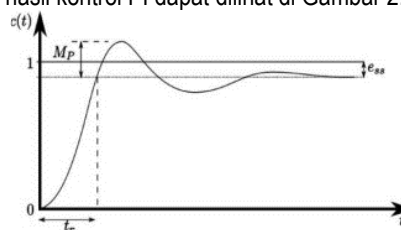
Sensor tegangan berfungsi sebagai sensing nilai tegangan output agar tidak melebihi batas sehingga terjadi *overcharge*. Sensor tegangan yang digunakan yaitu *voltage divider* atau pembagi tegangan, adalah rangkaian sederhana yang mengubah tegangan besar menjadi tegangan yang lebih kecil. Fungsi dari pembagi tegangan ini pada rangkaian elektronika adalah untuk membagi tegangan masukan menjadi satu atau beberapa tegangan keluaran yang diperlukan oleh komponen lainnya di dalam rangkaian. Rangkaian *voltage divider* membutuhkan 2 buah resistor seperti yang tertera pada Gambar 2.5.



GAMBAR 2.5 RANGKAIAN VOLTAGE DIVIDER

2.7 Kontrol PI (Proporsional dan Integral)

Keberadaan pengontrol dalam suatu sistem kendali memiliki kontribusi yang besar terhadap perilaku sistem tersebut. Pada prinsipnya ini disebabkan oleh ireversibilitas komponen-komponen yang membentuk sistem. Artinya karakteristik plant harus diterima apa adanya, sehingga perubahan perilaku sistem hanya bisa dilakukan dengan penambahan subsistem berupa kontroler. Tugas kontroler yaitu mereduksi sinyal *Error*, dengan kata lain selisih antara sinyal yang diinginkan dengan sinyal sebenarnya. Hal tersebut telah sesuai tujuan dari sistem kendali yaitu untuk mendapatkan sinyal yang sebenarnya selalu atau yang diinginkan sesuai dengan sinyal yang diinginkan. Salah satu contoh gelombang hasil kontrol PI dapat dilihat di Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Hasil kontrol PI

2.8 Mikrokontroler STM32F407VG Discovery

STM32F407VG merupakan mikrokontroler yang berdasar dari performa tinggi ARM Cortex –M4 32-bit RISC core yang operasi frekuensinya hingga mencapai 168 MHz. Inti Cortex – M4 terdapat fitur Floating Point Unit (FPU) presisi tunggal, instruksi data proses, dan tipe data ARM. STM32F407VG juga mengimplementasikan set penuh dari instruksi DSP dan memory protection unit (MPU) yang berfungsi untuk memaksimalkan aplikasi pengaman. STM32F407VG juga memasukkan high speed embedded memories (flash memory hingga mencapai 1Mbyte, untuk SRAM hingga mencapai 192Kbytes), untuk back- up dari SRAM, hingga mencapai 4Kbytes. Luas jarak dari I/O dan peripheral dihubungkan dengan dua bus APB, dua bus AHB, dan matrik bus multiR1 R2 Vin VOut 23 AHB 32-bit [15]. Umumnya dipasaran ARM STM32F4 dijual dalam bentuk modul kit seperti yang terlihat pada Gambar 2.7, sehingga lebih dimudahkan dalam penggunaannya.



GAMBAR 2.7 BOARD STM32F407VG

2.9 Sel Surya (Panel Surya)

Sel surya merupakan sebuah perangkat yang mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik dengan proses efek

fotovoltaic, oleh karenanya dinamakan juga sel fotovoltaic (Photovoltaic Cell – disingkat PV). Tegangan Listrik yang dihasilkan oleh sebuah sel surya sangat kecil, berkisar diantara 0,45V-0,6V. Untuk mendapatkan tegangan listrik yang besar sesuai keinginan diperlukan beberapa sel surya tersusun secara seri. Jika 36 keping sel surya tersusun secara seri, akan menghasilkan tegangan sekitar 16V, Tegangan ini cukup untuk digunakan mensuplai aki 12V, untuk mendapatkan tegangan keluaran yang lebih besar lagi maka diperlukan sel surya lebih banyak lagi.

2.10 Relay Modul

Modul relay 5V (Gambar 2.8) adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengontrol sirkuit listrik yang dioperasikan pada tegangan yang berbeda dengan menggunakan sinyal listrik bertegangan rendah, dalam hal ini 5V. Modul ini umumnya digunakan dalam proyek-proyek elektronik, termasuk robotika, sistem otomatisasi rumah, dan berbagai aplikasi yang memerlukan kontrol dari perangkat berdaya tinggi oleh mikrokontroler atau perangkat berdaya rendah lainnya.

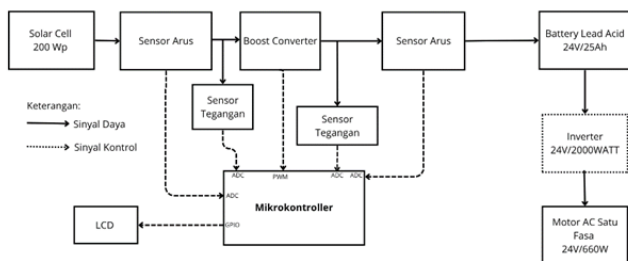


GAMBAR 2.8 RELAY MODULE

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Blok Diagram

Blok diagram dari sistem yang dirancang dapat dilihat di Gambar 3.1. Sistem ini dirancang untuk mengisi daya baterai menggunakan panel surya melalui metode *constant current-constant voltage* (CC-CV) dengan bantuan sebuah *boost converter*. Sumber utama energi berasal dari panel surya berkapasitas 200 Wp yang menghasilkan tegangan DC. Tegangan ini kemudian dinaikkan oleh *boost converter* sesuai dengan kebutuhan pengisian baterai. Untuk memastikan pengisian berjalan optimal, sistem dilengkapi dengan sensor tegangan dan arus yang memantau keluaran dari *boost converter*. Data dari sensor ini dikirim ke mikrokontroler melalui pin ADC, yang kemudian mengatur sinyal PWM untuk mengendalikan keluaran *boost converter* sesuai algoritma CC-CV.



GAMBAR 3.1 BLOK DIAGRAM SISTEM

Mikrokontroler juga mengontrol relay yang berfungsi untuk menghubungkan atau memutus aliran daya ke baterai *lead-acid* 24V/26Ah. Selama proses pengisian, tegangan dan arus dari baterai terus dimonitor oleh sensor, dan informasi ini digunakan untuk perlindungan sistem serta efisiensi pengisian. Setelah baterai terisi, energi yang tersimpan dapat digunakan untuk

menjalankan motor AC satu fasa 220V/660Wh melalui sebuah inverter 24V/2000W, yang mengubah tegangan DC menjadi AC. Inverter ini bukan merupakan bagian dari sistem yang dibuat sendiri. Kemudian dari inverter akan diteruskan menuju motor AC 1 Fasa sebagai penggerak pada mesin penggiling kedelai yang dimana motor tersebut memiliki spesifikasi motor 1 fasa dengan daya 0,25 kW (1/3 HP), beroperasi pada tegangan 220V AC dengan frekuensi 50 Hz. Motor ini memiliki 4 kutub dengan kecepatan putar sekitar 1.400 rpm. Arus startnya sekitar 3,2 Ampere, dengan efisiensi sekitar 60% dan faktor daya 0,67. Motor ini menggunakan sistem pendinginan kipas (IC0141), memiliki proteksi IP44, dan insulasi kelas B, serta dirancang untuk kerja terus-menerus (S1 duty). Dengan desain *fully enclosed* dan *starting capacitor*, motor ini cocok digunakan untuk aplikasi seperti pompa, *blower*, atau mesin industri ringan yang membutuhkan torsi awal tinggi, dan merek motor ini ialah Motor listrik JY1B-4.

Untuk keperluan monitoring, sistem dilengkapi dengan LCD yang dikendalikan oleh mikrokontroler melalui jalur GPIO. LCD ini menampilkan informasi penting seperti status pengisian, tegangan, arus, dan status motor. Jalur komunikasi dalam sistem dibedakan menjadi dua jenis: sinyal daya yang ditandai dengan garis penuh, dan sinyal kontrol yang ditunjukkan dengan garis putus-putus.

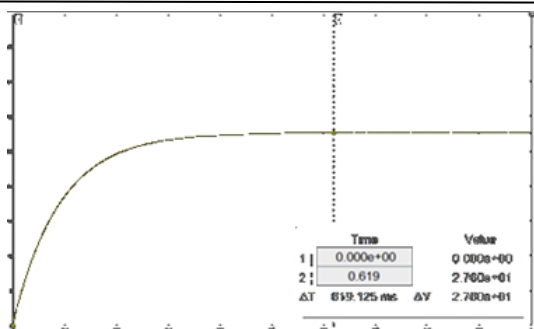
3.2 Perencanaan Kontrol PI

Pada penelitian ini diperlukan sistem kontrol PI yang digunakan untuk menjaga arus output pada saat kondisi *constant current* dan menjaga tegangan output pada kondisi *constant voltage*. Dalam menentukan perencanaan kontrol PI menggunakan metode analitik. Dalam perhitungan diperlukan respon *open loop* dari sistem untuk mengetahui nilai parameter-parameter yang diperlukan untuk menentukan nilai Kp, Ki, set point dan Setting point dari kontrol PI. Pada Gambar 3.2 ditunjukkan respon tegangan dari *boost converter*.

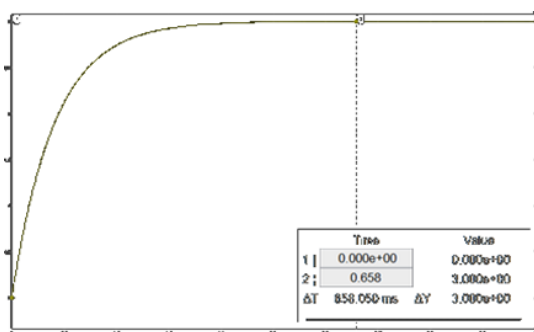
Pada Gambar 3.3 ditunjukkan keluaran tegangan pada rangkaian CLTF (*Closed Loop Transfer Function*) dalam kondisi *constant voltage* (CV). Respon tegangan keluaran tersebut dihasilkan setelah sistem dilengkapi dengan kontroler PI (Proportional-Integral) dengan memasukkan nilai parameter Kp (konstanta proporsional) dan Ki (konstanta integral). Penggunaan kontrol PI bertujuan meminimalkan error antara tegangan output aktual dengan tegangan referensi melalui aksi pengendalian yang cepat dan stabil. Secara teori, komponen proporsional (Kp) akan merespons besar kecilnya error saat ini, sedangkan komponen integral (Ki) berfungsi untuk menghilangkan error jangka panjang dengan mengakumulasi kesalahan dari waktu ke waktu. Dengan penyesuaian nilai Kp dan Ki yang tepat, sistem mampu mengatur tegangan output secara presisi dan meredam osilasi atau fluktuasi yang tidak diinginkan. Dari hasil pengujian, terlihat bahwa tegangan yang dihasilkan berada pada nilai yang ditargetkan yaitu sebesar 28,8 Volt, sesuai dengan set point pada fase CV, yang menandakan bahwa sistem kontrol bekerja secara efektif dalam menjaga kestabilan tegangan keluaran selama proses pengisian baterai berlangsung. Berikut hasil perhitungan KP dan Ki sebagai parameter control PI

$$K_p = \frac{t_{0,002}}{1 \times 4} = 0,0005$$

$$K_i = \frac{0,0005}{0,0002} = 2,5$$



GAMBAR 3.2 OUTPUT TEGANGAN PADA RANGKAIAN CLTF PADA KONDISI CV



GAMBAR 3.3 OUTPUT ARUS PADA RANGKAIAN CLTF PADA KONDISI CV

3.3 Perencanaan Kapasitas Baterai

Pada baterai terdapat satu beban motor AC satu phase dengan asumsi penggunaan selama 20 Menit, penggunaan 20 Menit dikarenakan batas maksimum produksi hanya sebatas itu dan jika dilebihkan maka otomatis bahan produksi akan bertambah dan tempe tidak akan terjual karena adanya pelanggan tetap. Maka besar daya output yang dibutuhkan adalah :

- Daya Beban = 660W
- Durasi Beban (15 menit atau 0,25 jam)

Kemudian akan masuk ke inverter dengan rincian efisiensi inverter sebesar 86,1%, jadi;

$$P_{in} = \frac{P_{out}}{E_{efisiensi}} = \frac{660}{86,1\%} = 766,55 \text{ Watt}$$

$$\text{Energi} = \text{Daya} \times \text{Waktu} = 766,55 \times 0,25 = 191,63 \text{ Wh}$$

Jika digunakan 1 buah baterai 24V, maka kapasitas baterai yang dibutuhkan untuk beban 191,63Wh adalah :

$$\text{Kebutuhan Ah beban} = \frac{\text{Energi}}{V} = \frac{191,63}{24} = 8\text{Ah}$$

TABEL 4.1 INTEGRASI CLOSE LOOP METODE CONSTANT CURRENT-CONSTANT VOLTAGE

Waktu	Irradiance (W/m ²)	V Input (V)	V Output (V)	I Input (A)	I Output (A)	Efisiensi (%)	Duty Cycle (%)
10.30	858	18,99	26,88	6,27	3,75	84,70%	0,33
10.40	841	18,52	26,97	6,47	3,75	84,40%	0,35
10.50	873	18,73	27,03	6,51	3,75	83,10%	0,35
11.00	890	18,36	27,28	6,56	3,75	84,90%	0,36
11.10	905	18,29	27,35	6,5	3,75	86,30%	0,37
11.20	883	18,6	27,46	6,5	3,75	85,20%	0,36
11.30	862	18,66	27,57	6,51	3,75	85,10%	0,36
11.40	816	18,4	27,75	6,64	3,75	85,20%	0,37
11.50	813	18,59	27,89	6,37	3,64	85,70%	0,37
12.00	813	18,73	28,06	5,63	3,22	85,70%	0,37
12.10	807	18,92	28,17	4,88	2,72	83,00%	0,36
12.20	810	18,99	28,25	4,17	2,31	82,40%	0,36
12.30	812	18,25	28,46	3,62	1,98	85,30%	0,39
12.40	800	18,85	28,58	2,79	1,5	81,50%	0,37

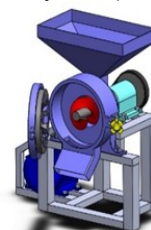
Dengan mempertimbangkan DoD baterai dengan asumsi DoD baterai adalah 40%, maka kapasitas baterai :

$$\text{Kapasitas Baterai} = \frac{\text{Kebutuhan AH Beban}}{\text{DoD}} = \frac{8}{40\%} = 20 \text{ Ah} = 26 \text{ Ah}$$

Sehingga baterai yang digunakan sebesar 24 V, 26 Ah, dan baterai yang kita gunakan ialah 2 buah baterai VRLA SMT power 12 Volt 26 Ah yang terpasang secara seri sehingga menjadi 24 Volt 26 Ah.

3.4 Perencanaan Desain Alat

Dalam merancang bangun alat ini tentunya dibutuhkan perencanaan desain sebelum melanjutkan pada proses eksekusi pembuatannya, hal ini tentunya untuk meminimalisir adanya kesalahan dan pembengkakan biaya pada proses pembuatannya. Rancangan desain alat ditunjukkan pada Gambar 3.4.



GAMBAR 3.4 RANCANGAN HARDWARE PADA FUSION

Alat ini dirancang khusus untuk proses penggilingan kedelai, dengan fungsi utama memisahkan kulit ari dari isi biji kedelai secara efektif. Dalam kondisi normal, mesin ini mampu menggiling kedelai dengan kapasitas sekitar 4 hingga 5 kilogram per menit. Berdasarkan pengalaman penggunaan harian di lapangan, dalam waktu sekitar 20 menit pengoperasian nonstop, alat ini mampu menghasilkan output penggilingan sebesar 80 hingga 100 kilogram kedelai. Kinerja mesin ini didukung oleh motor penggerak AC 1 fasa tipe JY1B-4, yang memiliki kecepatan putaran 1.400 RPM dengan arus starting sekitar 3,2 ampere. Motor ini memiliki torsi awal yang cukup besar, sehingga mampu dengan baik menggerakkan poros besi putar yang menjadi komponen utama dalam proses penggilingan.

3.5 Pengujian Integrasi Close Loop dengan Kontrol PI

Pengujian *close loop hardware* bertujuan untuk melihat kondisi *hardware* dengan metode *constant current* dan *constant voltage* kontrol PI dalam kondisi normal dan berjalan semestinya yang dengan set point arus 3,75 A dan set point tegangan berada di 28,8 volt. Tabel 4.1 menampilkan hasil data pengujian *close loop*.

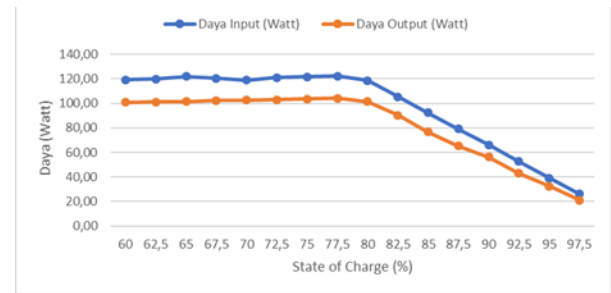
12.50	788	18,3	28,79	2,14	1,13	83,10%	0,4
13.00	764	18,47	28,79	1,42	0,73	80,10%	0,39

Tabel 4.1 menunjukkan hasil pengujian pengisian baterai VRLA 24V 26Ah menggunakan metode *constant current-constant voltage* (CC-CV) dengan kontrol PI. Selama tahap awal pengisian (pukul 10.30–11.40), sistem menjaga arus output konstan sebesar 3,75 A, sementara tegangan output meningkat secara bertahap dari 26,88 V hingga 27,75 V, mencerminkan fase constant current. Setelah itu, sistem memasuki tahap *constant voltage*, ditandai dengan tegangan keluaran yang mendekati 28,8 V dan arus yang menurun secara bertahap hingga 0,73 A saat baterai hampir penuh. Kontrol PI berperan penting dalam menjaga kestabilan output dengan menyesuaikan *duty cycle* terhadap perubahan iradiasi dan kondisi baterai. Efisiensi pengisian relatif stabil pada kisaran 84%–86%, dan State of Charge (SoC) meningkat dari 60% menjadi 97,5%, menunjukkan proses pengisian berjalan efektif dan sesuai prinsip kerja metode CC-CV. Tabel 4.2 memuat spesifikasi panel surya yang digunakan di penelitian ini.

TABEL 4.2 SPESIFIKASI LENGKAP PANEL SURYA

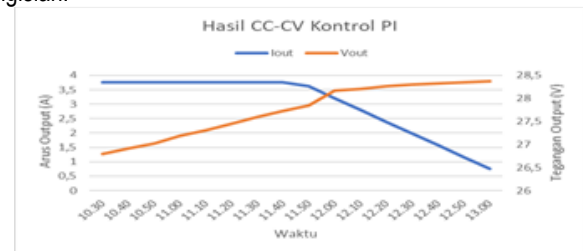
Item	Spesifikasi
Model	Polycrystalline Solar Panel
Daya Maksimum (Pmax)	100 WP
Tegangan pada Maximum Power Point (Vmp)	18 Volt
Arus pada Maximum Power Point (Imp)	5,56 Ampere
Tegangan Rangkaian Terbuka (Voc)	21,6 Volt
Arus Hubung Singkat (Isc)	5,95 Ampere
Efisiensi Modul	±15%
Tegangan Maksimum Sistem	1000 V DC (IEC Standard)
Suhu Operasi	-40°C hingga +85°C
Koefisien Suhu Voc	-0,36 % / °C
Koefisien Suhu Isc	+0,05 % / °C
Dimensi Panel	±1000 mm × 670 mm × 35 mm
Berat Panel	Sekitar 8 - 9 kg
Jenis Sel	Polycrystalline Silicon
Standar Sertifikasi	IEC 61215, IEC 61730, CE
Tipe Konektor	MC4 Compatible

Selama pengujian *close loop* menggunakan solar panel, berbagai parameter seperti tegangan input (V_{in}), arus input (I_{in}), tegangan output (V_{out}), arus output (I_{out}), iradiasi, dan efisiensi dipantau. Tegangan input berkisar di antara 18,29 V hingga 18,9 V, sementara tegangan output di sekitar 26,88 V hingga 28,79 V. Gambar 3.5 menunjukkan hubungan antara daya input dan output selama proses pengisian baterai menggunakan metode constant current-constant voltage (CC-CV) dengan boost converter sebagai pengatur tegangan dari panel surya. Pada tahap awal pengisian (SOC 60%–80%), sistem bekerja dalam mode constant current, ditandai dengan daya input dan output yang stabil di kisaran 118–122 watt dan 100–104 watt. Efisiensi pengisian pada tahap ini cukup tinggi. Memasuki SOC 80%–82,5%, sistem mulai beralih ke mode *constant voltage*, ditandai dengan mulai turunnya daya.



GAMBAR 3.5 GRAFIK DAYA MASUKAN DAN DAYA KELUARAN PADA CONVERTER

Pada tahap akhir (SOC 82,5%–97,5%), daya menurun signifikan karena arus dikurangi untuk menjaga tegangan tetap konstan di 28,8 volt, sesuai karakteristik CV. Penurunan daya ini juga menurunkan efisiensi konversi energi. Secara keseluruhan, sistem pengisian ini efektif dan aman digunakan sebagai catu daya untuk motor AC satu fasa pada mesin penggiling kedelai, karena mampu menjaga kestabilan arus dan tegangan selama proses pengisian.



GAMBAR 3.6 GRAFIK CHARGING CLOSE LOOP DENGAN KONTROL PI METODE CC-CV

Arus input bervariasi dari 6,27 A hingga 1,42 A, dan arus output dari 3,75 A hingga 0,73 A seperti ditunjukkan di Gambar 3.6. Variasi ini dipengaruhi oleh perubahan iradiasi yang meningkat dari 813 menjadi 906. Efisiensi berkisar antara 80,1% hingga 85,7%, dengan peningkatan efisiensi seiring dengan tingginya iradiasi. Pada pukul 11:40 arus input dan output lebih tinggi, kemungkinan karena tingginya iradiasi. Setelah pukul 12:10, arus menurun signifikan, mungkin karena perubahan kondisi operasi atau pengaruh eksternal. Perhitungan efisiensi sesuai dengan data yang diberikan, menunjukkan pengukuran yang akurat. Secara keseluruhan, sistem beroperasi dengan stabil dan efisiensi meningkat seiring peningkatan iradiasi. Setelah proses pengisian daya baterai dilakukan hingga mencapai hampir 100% kapasitas, baterai tersebut telah siap digunakan sebagai sumber tegangan untuk mengoperasikan mesin penggiling kedelai. Gambar 3.7 menunjukkan pengujian integrasi baterai dengan mesin penggiling kedelai. Berdasarkan hasil uji coba alat, diketahui bahwa mesin mampu menggiling 1 kilogram kedelai dalam waktu kurang dari 15 detik. Dengan demikian, dalam waktu satu menit, mesin ini diperkirakan mampu menggiling sekitar 4 kilogram kedelai. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem pengisian daya yang dikendalikan secara otomatis menggunakan panel surya sebagai sumber energi berjalan dengan efektif. Selain efisien, sistem ini juga sangat ramah lingkungan karena memanfaatkan energi terbarukan yang bersih dan tidak menghasilkan emisi.



GAMBAR 3.7 PENGUJIAN INTEGRASI BATERAI DENGAN MESIN PENGGILING KEDELAI

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan pada penelitian akhir ini, dapat diketahui sistem pengisian dengan dua panel surya 100WP dan boost converter mampu mengisi baterai VRLA 24V 26Ah secara efektif mulai dari SoC 60% hingga penuh dalam waktu $\pm 2,5$ jam siang hari. Metode kontrol PI dalam skema CC-CV memberikan kontrol pengisian yang stabil, menjaga keamanan baterai dengan membatasi arus dan tegangan sesuai kapasitas nominal. Dengan Batasan nilai tegangan sebesar 28,8 V dan batas arus sebesar 3,75 A. Data menunjukkan bahwa transisi dari CC ke CV berjalan mulus, ditunjukkan dengan penurunan arus output secara bertahap saat tegangan mendekati maksimum. Sistem ini sangat cocok untuk aplikasi off-grid skala kecil seperti sistem tenaga cadangan rumah tangga atau sistem solar mandiri di daerah terpencil. Untuk meningkatkan efisiensi penyerapan energi dari panel surya, sangat disarankan untuk mengintegrasikan algoritma MPPT seperti *perturb and observe (P&O)* atau *incremental conductance*.

Referensi

[1] D. Hart, Power Electronics. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2021.

- [2] R. Perumal, Effective Power Quality Battery Charger Design. Singapore: Springer, 2025.
- [3] I. G. A. D. Anjani, M. Z. Efendi, and O. A. Qudsi, "Design of battery charging system with CC-CV method using interleaved buck-boost converter," Journal of Electrical Technology UMY, vol. 7, no. 1, pp. 38–47, Jun. 2023.
- [4] X. Wei et al., "Wide-load-range double-T resonant converter for CC/CV electric vehicle charging," Electronics, vol. 13, no. 3, Art. no. 533, 2024.
- [5] S.-T. Wu and J.-Y. Chen, "Implementation of a CC-CV wireless charging bidirectional resonant converter for electric vehicles," Wireless Power Transfer, vol. 12, Art. no. e002, Jan. 2025.
- [6] M. M. Narla John, "A modified CLC-T resonant converter with inherent CC-CV switching," Control Theory & Applications. Wiley, 2025.
- [7] Z. Li, "A high-efficient battery charging system for electric vehicle," arXiv preprint arXiv:2308.04731, Aug. 2023.
- [8] P. Mohtat et al., "An algorithmic safety VEST for Li-ion batteries during fast charging," arXiv preprint arXiv:2108.07833, Aug. 2021.
- [9] Z. Zachari, E. Purwanto, and S. D. Nugraha, "Rancang bangun battery charger CC-CV dengan forward converter," Power Elektronik: Jurnal Orang Elektro, vol. 11, no. 1, 2022.
- [10] F. Rahmatullah, "Desain dan simulasi battery charger metode CC-CV dengan kontrol logika fuzzy menggunakan MATLAB," CYCLOTRON, vol. 4, no. 2, 2021.
- [11] I. Sudiharto, E. Wahjono, and N. F. R. Lugiana, "Design and simulation of utilization of solar cells as battery chargers CC-CV method with fuzzy control," Kinetik, vol. 7, no. 2, 2022.
- [12] I. U. V. Simanjuntak et al., "Performance analysis of VRLA battery for DC load at telecommunication base station," Jurnal, Oct. 2021.
- [13] W. Shen, T. T. Vo, and A. Kapoor, "Boost charger CC/CV charging algorithm," in Proc. IEEE ICIEA, 2012.
- [14] A. B. Khan et al., "Multistage current charging algorithm with fuzzy control," in Proc. IEEE Transportation Electrification Conf. Asia-Pacific, 2016.
- [15] W. D. Mufty, D. O. Anggriawan, and M. Z. Efendi, "Baterai charger VRLA dengan metode constant current constant voltage berbasis kontrol PI," in Prosiding Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV), vol. 6, no. 1, pp. 235–243, 2020.