

Konverter Penguat DC-DC Bertenaga Fotovoltaik Berdasarkan Pengontrol PID Untuk Sistem Pengisian Baterai

Giojol Bastanta Bangun¹, Muhammad Irwanto^{2*}

¹ Universitas Prima Indonesia Medan; email : giojolbangun04@gmail.com

² Universitas Prima Indonesia Medan; email : muhammadirwanto@unprimdn.ac.id

* Giojol Bastantan Bangun

Abstract: This research propose development and evaluation converter DC-DC power amplifier photovoltaic with controller Proportional -Integral- Derivative (PID) for system filling efficient and stable battery . System photovoltaic (PV) faces challenge fluctuation Power output consequence variation irradiation sun and temperature , which require DC-DC converter for raise PV voltage to appropriate level For filling battery . PID controller works For adapt cycle Work converter , optimizes the charging process , and ensures voltage stable output of 14.7V even though There is variations in input PV power . Methodology study This use approach quantitative based on simulation numeric with MATLAB SIMULINK for modeling and testing . Simulation results show that effective PID controller in dampen oscillation voltage and current , allowing electrical parameters reach condition stable steady - state with fast . Converter designed For raise voltage from 12V PV module to 14.7V with Power 100W output . The simulation also shows that voltage output reached 14.69V with percentage error 0.068% and power 100.1W output with percentage 0.1% error in power burden maximum . 12V, 7 Ah lead- acid battery with initial state of charge (SOC) 25% can reach condition filled full in time 1 hour, 3 minutes , 37 seconds.

Keywords : Battery Charging, DC-DC Converter, Photovoltaic, PID Controller

Diterima: Agustus 20, 2025

Direvisi: Agustus 28, 2025

Diterima: Agustus 25, 2025

Diterbitkan: Oktober 26. 2025

Versi sekarang: Oktober 96, 2025



Hak cipta: © 2025 oleh penulis.
Diserahkan untuk kemungkinan publikasi akses terbuka berdasarkan syarat dan ketentuan lisensi Creative Commons Attribution (CC BY SA) (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

Abstrak: Penelitian ini mengusulkan pengembangan dan evaluasi konverter penguat DC-DC bertenaga fotovoltaik dengan pengontrol Proporsional-Integral-Derivatif (PID) untuk sistem pengisian baterai yang efisien dan stabil. Sistem fotovoltaik (PV) menghadapi tantangan fluktuasi daya keluaran akibat variasi iradiasi matahari dan suhu, yang memerlukan konverter DC-DC untuk menaikkan tegangan PV ke tingkat yang sesuai untuk pengisian baterai. Pengontrol PID berfungsi untuk menyesuaikan siklus kerja konverter, mengoptimalkan proses pengisian, dan memastikan tegangan keluaran yang stabil sebesar 14,7V meskipun ada variasi pada masukan daya PV. Metodologi penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis simulasi numerik dengan MATLAB SIMULINK untuk pemodelan dan pengujian. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pengontrol PID efektif dalam meredam osilasi tegangan dan arus, memungkinkan parameter listrik mencapai kondisi *steady-state* yang stabil dengan cepat. Konverter dirancang untuk menaikkan tegangan dari 12V modul PV menjadi 14,7V dengan daya keluaran 100W. Simulasi juga menunjukkan bahwa tegangan keluaran mencapai 14,69V dengan persentase kesalahan 0,068% dan daya keluaran 100,1W dengan persentase kesalahan 0,1% pada daya beban maksimum. Baterai timbal-asam 12V, 7 Ah dengan *state of charge* (SOC) awal 25% dapat mencapai kondisi terisi penuh dalam waktu 1 jam, 3 menit, 37 detik..

Kata kunci: Pengisian Baterai, Konverter DC-DC, Fotovoltaik, Pengontrol PID

1. Pendahuluan

Sistem fotovoltaik (PV) menjadi semakin penting sebagai sumber energi terbarukan. Namun, keluaran daya panel PV bervariasi tergantung pada kondisi lingkungan, seperti iradiasi matahari dan suhu. Untuk memastikan pengisian baterai yang efisien dan stabil, konverter

penguat DC-DC diperlukan untuk meningkatkan tegangan keluaran PV ke tingkat yang sesuai untuk pengisian baterai (1).

Konverter penguat DC-DC ini dikendalikan oleh pengontrol PID (Proporsional- Integral- Derivatif) untuk mengoptimalkan proses pengisian baterai. Pengontrol PID menyesuaikan siklus kerja konverter berdasarkan perbedaan antara tegangan keluaran yang diinginkan dan tegangan keluaran aktual. Hal ini memastikan bahwa baterai diisi pada tingkat yang optimal, terlepas dari variasi keluaran daya PV.

Penggunaan pengontrol PID dalam konverter penguat DC-DC bertenaga fotovoltaik menawarkan beberapa keuntungan (1) :

1. Pengisian baterai yang efisien: Pengontrol PID memastikan bahwa baterai diisi pada tingkat optimal, memaksimalkan energi yang ditransfer dari panel PV ke baterai.
2. Pengisian baterai yang stabil: Pengontrol PID mengkompensasi variasi keluaran daya PV, memastikan tegangan pengisian yang stabil dan mencegah pengisian berlebih atau pengisian kurang.
3. Peningkatan umur baterai Dengan mengontrol proses pengisian secara akurat, pengontrol PID membantu memperpanjang umur baterai.

Secara keseluruhan, konverter penguat DC-DC bertenaga fotovoltaik berdasarkan pengontrol PID adalah solusi yang efektif untuk sistem pengisian baterai. Ini menawarkan pengisian yang efisien, stabil, dan andal, menjadikannya pilihan ideal untuk berbagai aplikasi, termasuk sistem tenaga surya perumahan, sistem daya terpencil, dan kendaraan listrik (2).

Penelitian ini memfokuskan pada pengembangan dan optimasi konverter penguat DC-DC bertenaga fotovoltaik dengan kontrol PID untuk sistem pengisian baterai. Lingkup penelitian dibatasi pada desain dan implementasi konverter DC-DC jenis boost converter. Analisis kinerja sistem akan difokuskan pada efisiensi konversi energi, stabilitas tegangan dan arus keluaran, serta respons sistem terhadap perubahan intensitas cahaya matahari dan beban baterai. Optimasi kontrol PID akan dibatasi pada penentuan parameter proporsional (P), integral (I), dan derivatif (D) untuk mencapai kinerja sistem yang diinginkan. Penelitian ini tidak mencakup analisis dampak faktor lingkungan ekstrem seperti suhu tinggi atau kelembapan tinggi terhadap kinerja sistem. Selain itu, aspek biaya dan skalabilitas sistem juga tidak menjadi fokus utama dalam penelitian ini (3).

2. Tinjauan Literatur

2.1. Sistem Fotovoltaik

Sistem fotovoltaik (PV) merupakan sistem yang mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik melalui efek fotovoltaik pada sel surya. Daya listrik yang dihasilkan bersifat DC (arus searah) dan nilainya bergantung pada intensitas radiasi matahari serta suhu sel surya. Karena keluaran panel surya bersifat tidak stabil, diperlukan perangkat pengatur seperti *converter* dan *controller* agar tegangan yang dihasilkan dapat disesuaikan dengan kebutuhan beban atau sistem penyimpanan energi seperti baterai (4).

2.2 Konverter DC-DC

Konverter DC-DC berfungsi untuk mengubah tegangan DC dari satu level ke level lain. Dalam sistem fotovoltaik, konverter digunakan untuk meningkatkan (boost), menurunkan (buck), atau mengubah polaritas tegangan keluaran dari panel surya agar sesuai dengan kebutuhan pengisian baterai. Beberapa topologi konverter DC-DC yang umum digunakan antara lain (5):

1. *Boost Converter*, yang berfungsi menaikkan tegangan keluaran panel surya ke level yang dibutuhkan oleh baterai.
2. *Buck Converter*, digunakan untuk menurunkan tegangan jika tegangan panel lebih tinggi dari tegangan baterai.
3. *Cuk dan Buck-Boost Converter* yang dapat menghasilkan tegangan keluaran lebih tinggi atau lebih rendah dari tegangan masukan sesuai kebutuhan.

Menurut beberapa penelitian, topologi *boost converter* banyak digunakan pada sistem pengisian baterai berbasis fotovoltaik karena sederhana, efisien, dan mampu menjaga arus konstan selama proses pengisian (6).

2.3 Sistem Pengisian Baterai pada Energi Fotovoltaik

Baterai berfungsi sebagai penyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya agar dapat digunakan ketika intensitas cahaya rendah atau saat malam hari. Proses pengisian baterai memerlukan pengaturan arus dan tegangan yang tepat agar baterai tidak mengalami overcharge atau kerusakan. Dalam sistem fotovoltaik, pengisian baterai umumnya dikontrol oleh *charger controller yang memanfaatkan sinyal dari konverter DC-DC. Efisiensi dan umur baterai sangat bergantung pada kestabilan tegangan serta kualitas kontrol konverter tersebut (7).

Dalam sistem fotovoltaik, pengisian baterai umumnya dikontrol oleh charger controller yang memanfaatkan sinyal dari konverter DC-DC. Efisiensi dan umur baterai sangat bergantung pada kestabilan tegangan serta kualitas kontrol konverter tersebut (7).

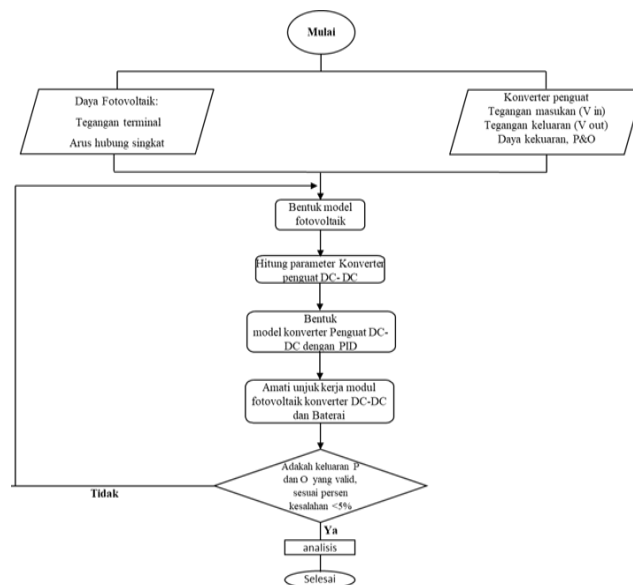
2.4 Pengontrol PID

Pengontrol PID merupakan salah satu metode kontrol klasik yang banyak digunakan untuk mengatur kestabilan sistem dinamis. Prinsip kerja pengontrol PID didasarkan pada tiga parameter utama : yaitu 1) K_p (Proportional) : berfungsi mempercepat respons sistem, 2) K_i (Integral): menghilangkan kesalahan steady-state. 3) K_d (Derivative): mengurangi overshoot dan memperbaiki kestabilan sistem (8).

Dalam konteks konverter DC-DC, pengontrol PID berperan dalam menjaga tegangan keluaran agar tetap konstan meskipun terjadi perubahan pada iradiasi matahari, suhu, atau kondisi beban. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penerapan PID dapat meningkatkan efisiensi dan menurunkan *voltage ripple*. Misalnya, penelitian oleh Hasanah et al. (2023) melaporkan bahwa penggunaan kontrol PID pada *boost converter* mampu menurunkan *overshoot* hingga 30% dibandingkan kontrol tanpa PID (10).

3. Metode

Metodologi penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis simulasi numerik dengan MATLAB SIMULINK untuk pemodelan dan pengujian. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pengontrol PID efektif dalam meredam osilasi tegangan dan arus, memungkinkan parameter listrik mencapai kondisi *steady-state* yang stabil dengan cepat. Konverter dirancang untuk menaikkan tegangan dari 12V modul PV menjadi 14,7V dengan daya keluaran 100W.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

3.1. Modul Fotovoltaik

Penerapan modul PV disebabkan oleh outputnya Tegangan pada daya maksimum ditingkatkan di atas 12 V dan cocok untuk mengisi baterai 12 V. Perangkat lunak SIMULINK MATLAB diterapkan untuk simulasi kurva daya versus tegangan (PV kurva) dan kurva arus versus tegangan (kurva IV) modul PV 3 W, 12 V. Hasil simulasi pada STC dibandingkan

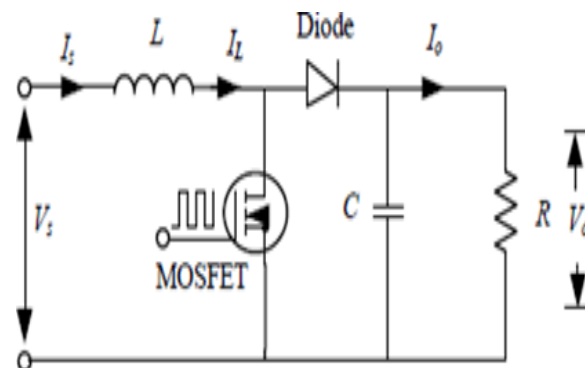
dengan lembar data modul PV 3 W, 12 V dengan menggunakan persentase kesalahan, e. Hasil simulasi dapat diterima dan berlaku jika rentang persentase kesalahan $\pm 10\%$ [5].

Tabel 1. Parameter Listrik Modul PV 3 W,12V

Parameter	Nilai
Daya maksimum, Pmax (watt)	3
Tegangan pada Pmax (volt)	12
Arus pada Pmax (ampere)	0,25
Tegangan rangkaian terbuka, Vo(volt)	13.2
Arus hubung singkat, Isc (ampere)	0.3

3.2. Desain Konverter Penguat DC-DC

Blok konverter DC-DC dibangun berdasarkan rangkaian konverter DC-Dc seperti yang dirancang untuk tegangan input modul PV, V_s sebesar 12 V, tegangan output, V_o sebesar 14,7V dan daya output, P_o sebesar 100 W. Pemilihan tegangan output, V_o sebesar 14,7 V disebabkan karena Tegangan yang sesuai untuk siklus pengisian tegangan (4,5 V sampai 5,0 V). Nilai induktansi induktor, L dan kapasitansi kapasitor, C dihitung mengikuti persamaan (1) sampai (4) untuk memperoleh tegangan keluaran, V_o sebesar 14,7 V dan daya keluaran, P_o sebesar 100 w



Gambar 2 Konverter Penguat DC-DC

Untuk memenuhi kriteria desain konverter penguat DC-DC maka perlu ditentukan nilai parameter modul kapasitor C dan resistor R seperti ditentukan oleh persamaan. Komponen sakelar yang digunakan adalah Mosfet yang terminal gerbang (get) digunakan dengan gelombang pulsa dengan frekuensi $f_s = \text{Hz}$ dan dengan rasio tugas duty cycle diberikan oleh persamaan (1) $D = 1 - V_m$

Volt : Resistor D berbagi arus dengan nilai induksi minimum L , diberikan oleh persamaan :

$$L > \frac{V_{in} \times D}{f_s \times \Delta I}$$

Z menunjukkan selisih antara gas yang melewati keluar outlet. 22% yang dari arah modulator Z_2 . Konverter tegangan DC-DC didesain dengan efisiensi $\eta = 100\%$.

Ini bermakna bahwa daya keluaran konverter, P_o , sama dengan daya masukannya P_{in}
 $P_o = P_{in} \times \eta$
 $P_o = P_{in} \times 100\%$

Nilai kapasitansi kapasitor C diberikan oleh persamaan :

$$C = \frac{I_o \times D}{f_s \times \Delta V_o}$$

V_o adalah sinyal trigger nilainya diambil dari 0%,10% sampai 50% dari tipe – tipe kapasitor dalam desain ini nilainya diambil 0,1 dan tegangan kapasitor daya keluaran P_o

merupakan daya maksimum yang dapat dicapai dengan penjumlahan nilai resistor R seperti mengikuti persamaan :

$$E = I_o \times D$$

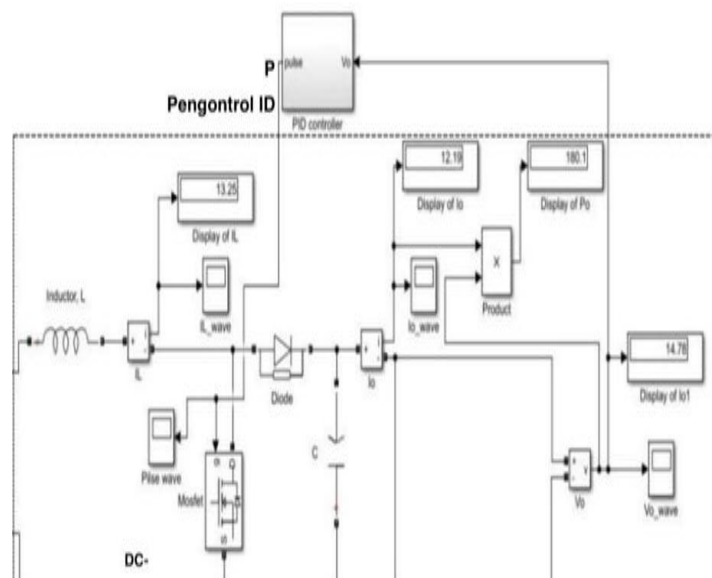
$$f_s \times \Delta v_e$$

Δv_e adalah rujuk tegangan nilai diambil dari 0% sampai 5% dari tegangan kapasitas dalam disain ini nilai resistor R seperti persamaan :

$$R = \frac{V_{0s}}{P_0}$$

3.3. Pengontrol PID

Arsitektur kontrol ini menggunakan sistem pengontrol PID. Modul PV, 12V berfungsi sebagai sumber tegangan DC utama, yang keluarannya cenderung bervariasi dengan kondisi cuaca. Konverter *boost* DC-DC adalah komponen inti yang dirancang untuk menaikkan tegangan dari 12V menjadi 14,7V dengan daya keluaran 100W, memiliki induktansi induktor 34,6 μ H dan kapasitansi kapasitor 3330 μ F. Sistem kontrol ini memberikan beberapa manfaat signifikan. Simulasi menunjukkan bahwa tegangan keluaran mencapai 14,69V dengan persentase kesalahan 0,068% dan daya keluaran 100,1W dengan persentase kesalahan 0,1% pada daya beban maksimum. Dengan tingkat awal SOC 25% (11,85V), baterai dapat mencapai kondisi terisi penuh dalam waktu 1 jam, 3 menit, 37 detik [7].



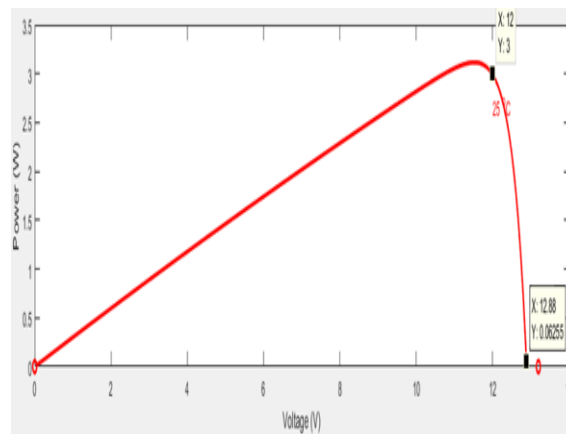
Gambar 3 Rangkaian Pengontrol PID

4. Hasil dan Pembahasan

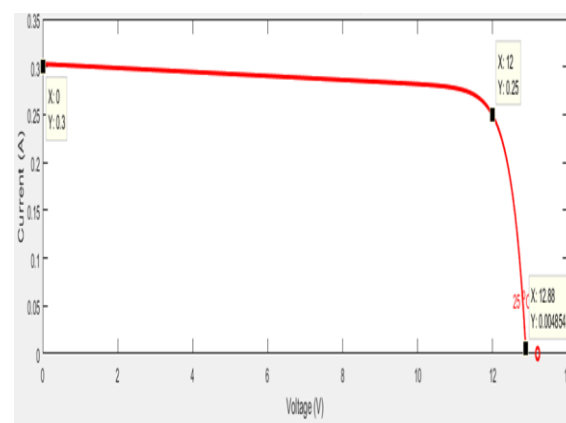
Pada penelitian ini membahas hasil simulasi converter penguat DC-DC dengan tenaga fotovoltaik inverter DC-DC dan baterai di bahas dalam bab ini

4.1 . Cara Kerja Fotovoltaik

Fotovoltaik disimulasikan pada radiasi 1000 W/M² dan suhu kurva arus terhadap tegangan (P-VS-V) dan kurva daya terhadap tegangan (P-VS-V) ditunjukkan Gambar 4



Gambar 4. Kurva arus terhadap tegangan



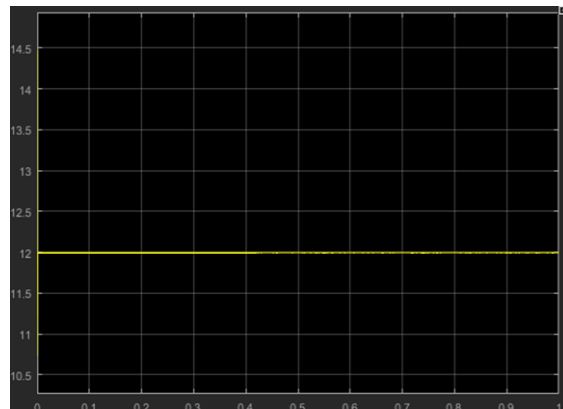
Gambar 5. Kurva daya terhadap tegangan (b)

Kurva Gambar .4 adalah representasi grafik hubungan antara daya (Power) dan tegangan (Voltage) dari sebuah panel surya atau sel fotovoltaik pada suhu 25 derajat Celcius. Pada sumbu horizontal (X) digambarkan tegangan dalam Volt (V), sementara sumbu vertikal (Y) menunjukkan daya dalam Watt (W). Kurva berwarna merah ini secara jelas memperlihatkan titik daya maksimum (Maximum Power Point - MPP) yang dicapai panel, yaitu pada tegangan 12 Volt dengan output daya sebesar 3 Watt. Titik ini sangat krusial karena mengindikasikan kondisi operasi paling efisien bagi panel surya untuk menghasilkan daya. Di sisi lain kurva, pada ujung kanan, terlihat titik di mana tegangan mencapai sekitar 12.88 Volt dengan daya yang sangat kecil (sekitar 0.06255 Watt), yang mendekati kondisi tegangan rangkaian terbuka (Open Circuit Voltage - Voc), di mana tidak ada beban yang terhubung dan arus mendekati nol. Meskipun tidak secara eksplisit ditandai, titik awal kurva di mana tegangan dan daya sama-sama nol merepresentasikan kondisi arus hubung singkat (Short Circuit Current - Isc). Kurva ini adalah alat penting dalam analisis dan desain sistem fotovoltaik untuk memastikan optimalisasi kinerja panel surya (8).

Kurva yang tersaji pada gambar 5 adalah representasi grafik karakteristik Daya (Power) terhadap Tegangan (Voltage) dari sebuah panel surya, yang umum dikenal sebagai kurva P-V, di mana data ini diambil pada suhu standar 25 derajat Celcius. Pada sumbu horizontal (X) grafik, kita melihat nilai Tegangan yang diukur dalam Volt (V), sementara sumbu vertikal (Y) menunjukkan Daya yang dihasilkan dalam Watt (W). Titik paling vital pada kurva ini adalah Titik Daya Maksimum (Maximum Power Point - MPP), yang secara jelas ditandai pada koordinat (X: 12, Y: 3). Ini mengindikasikan bahwa panel surya mampu menghasilkan daya maksimum sebesar 3 Watt saat beroperasi pada tegangan 12 Volt, .mengoptimalkan kinerja sistem fotovoltaik. Selain itu, kurva juga menampilkan kondisi ekstrem: Titik Tegangan Rangkaian Terbuka (Open Circuit Voltage - Voc) yang terletak di ujung kanan kurva pada sekitar 12.88 Volt dengan daya yang sangat minim (0.06255 Watt), mencerminkan keadaan tanpa beban. Di sisi lain, titik awal kurva pada (0,0) merepresentasikan kondisi Arus Hubung Singkat (Short Circuit Current - Isc), di mana tegangan nol dan daya yang dihasilkan juga nol.

Dengan demikian, kurva P-V ini berfungsi sebagai alat diagnostik dan perencanaan yang tak tergantikan untuk memahami dan memaksimalkan potensi energi dari panel surya(9).

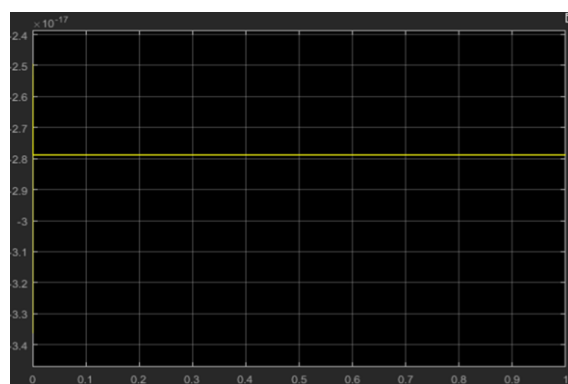
4.2. Tegangan Keluaran Fotovoltaik



Gambar 6. Teangan Keluaran potovoltaik

Grafik yang ditampilkan Gambar 3 merupakan hasil simulasi dari sistem fotovoltaik, menyajikan informasi mengenai Tegangan Keluaran Fotovoltaik. Pada sumbu horizontal (X), grafik ini menunjukkan Waktu dalam satuan detik, sementara sumbu vertikal (Y) merepresentasikan Tegangan Keluaran dalam Volt. Garis kuning horizontal yang stabil dan lurus adalah indikator utama dari Tegangan Keluaran Fotovoltaik yang dihasilkan oleh sistem. Berdasarkan posisi garis kuning tersebut, dapat disimpulkan bahwa tegangan keluaran fotovoltaik dari sistem ini adalah sekitar 12 Volt. Kestabilan yang luar biasa dari tegangan ini, dengan fluktuasi yang hampir tidak terlihat sepanjang durasi pengukuran, menunjukkan kinerja yang sangat efektif dari mekanisme pengaturan tegangan atau kontrol yang terintegrasi dalam sistem. Kondisi tegangan keluaran yang stabil pada 12 Volt ini sangat ideal untuk aplikasi yang memerlukan pasokan daya yang konsisten, dan seringkali merupakan tujuan utama dalam desain sistem tenaga surya untuk memenuhi kebutuhan beban tertentu, misalnya, sistem dengan nominal 12 V [10].

4.3. Arus Keluaran Fotovoltaik

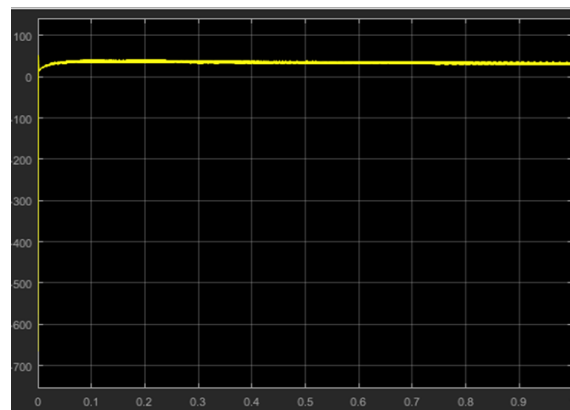


Gambar 7. Arus Keluaran Fotovoltaik

Grafik yang tersaji di gambar 4 menunjukkan Arus Keluaran Fotovoltaik dari sebuah sistem, berasal dari hasil simulasi MADLAB. Pada sumbu horizontal (X), grafik ini merepresentasikan waktu dalam satuan detik, sementara sumbu vertikal (Y) menampilkan Arus Keluaran, dengan skala yang sangat kecil ditunjukkan oleh faktor perkalian $\times 10^{-17}$. Garis kuning horizontal yang stabil dan lurus pada grafik ini adalah representasi dari Arus Keluaran Fotovoltaik. Berdasarkan posisinya, dapat disimpulkan bahwa arus keluaran fotovoltaik yang dihasilkan oleh sistem ini berada pada kisaran -2.8×10^{-17} Ampere. Secara praktis, nilai arus

yang sangat mendekati nol ini (minus 2.8 dikalikan 10 pangkat minus 17) dapat diinterpretasikan sebagai arus nol. Hal ini bisa mengindikasikan bahwa sistem berada dalam kondisi rangkaian terbuka (tanpa beban signifikan), di mana arus yang mengalir sangat minimal, atau mungkin juga merupakan hasil dari presisi numerik dalam simulasi MATLAB yang menghasilkan nilai yang sangat kecil mendekati nol. Singkatnya, grafik ini menggambarkan bahwa pada kondisi yang disimulasikan, panel surya tidak menghasilkan arus keluaran yang substansial [11]

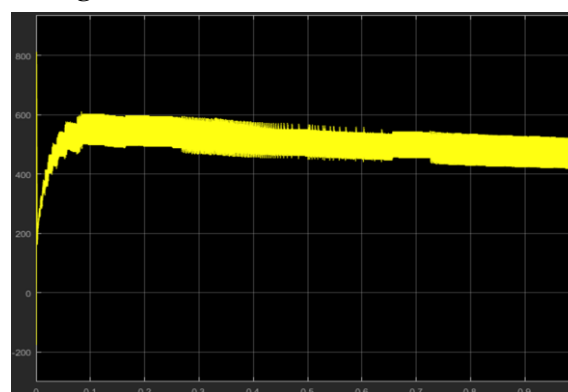
4.4. Keluaran Konverter DC-DC



Gambar 8. Arus Keluaran Konverter DC-DC

Berdasarkan gambar grafik yang disajikan, merupakan hasil simulasi, dari MADLAB kita dapat menganalisis Arus Keluaran Konverter DC-DC. Pada sumbu horizontal (X), grafik ini merepresentasikan Waktu dalam satuan detik, sementara sumbu vertikal (Y) menunjukkan Arus Keluaran konverter dalam Ampere. Kurva berwarna kuning pada grafik ini secara jelas menggambarkan perilaku arus keluaran tersebut. Pada awal simulasi, sekitar 0 hingga 0.05 detik, terlihat adanya transien startup di mana arus mengalami lonjakan cepat dari nol hingga puncaknya sekitar 50-60 Ampere, sebelum kemudian berangsur-angsur stabil. Setelah periode transien ini, dari sekitar 0.05 detik hingga akhir simulasi, arus keluaran konverter DC-DC memasuki kondisi tunak (steady-state). Pada kondisi ini, arus menunjukkan kestabilan yang sangat baik, dengan nilai yang konsisten berada di kisaran 15 hingga 20 Ampere dalam skala positif. Fluktuasi yang terlihat sangat minimal, mengindikasikan kemampuan regulasi arus yang efektif dari konverter tersebut. Dengan demikian, grafik ini menegaskan bahwa konverter DC-DC berhasil menghasilkan arus keluaran yang stabil dan sesuai dengan kebutuhan, setelah melewati fase penyesuaian awal [12]

4.5. Daya Konverter Penguat DC-DC



Gambar 9 Daya Konverter Penguat DC-DC

Gambar 9 grafik yang tersaji, yang tampaknya merupakan hasil simulasi, menganalisis Daya Keluaran dari Konverter Penguat DC-DC (DC-DC Boost Converter). Pada sumbu horizontal (X) grafik, tertera Waktu dalam satuan detik, sedangkan sumbu vertikal (Y)

merepresentasikan Daya dalam Watt. Kurva berwarna kuning yang tebal ini secara jelas mengilustrasikan dinamika daya keluaran konverter. Pada bagian awal simulasi, sekitar 0 hingga 0.1 detik, grafik menunjukkan transien startup yang ditandai dengan lonjakan daya yang cepat dari nol hingga mencapai puncaknya di sekitar 600 Watt, sebelum kemudian sedikit berfluktuasi. Setelah fase transien ini, dari sekitar 0.1 detik hingga akhir simulasi, daya keluaran memasuki kondisi tunak (steady-state). Meskipun berada dalam kondisi tunak, terlihat jelas adanya riak atau fluktuasi pada daya, menunjukkan bahwa output tidak sepenuhnya konstan, namun berosilasi di sekitar nilai rata-rata. Secara keseluruhan, daya keluaran rata-rata pada kondisi tunak ini berada di kisaran 500 Watt, mengindikasikan kemampuan konverter dalam menyediakan daya yang substansial. Keberadaan riak ini merupakan karakteristik umum konverter switching dan perlu dipertimbangkan dalam desain aplikasi yang sensitif terhadap kualitas daya [13].

4.6. Cara Kerja Baterai

Baterai berfungsi sebagai penyimpan dan penyedia daya DC yang bervariasi. Konverter DC-DC kemudian menerima daya dari baterai dan menggunakan proses switching cerdas untuk mengubah dan mengatur tegangan DC tersebut menjadi output yang stabil dan sesuai kebutuhan beban, baik itu menaikkan, menurunkan, atau menjaga level tegangan. Dengan kontrol umpan balik, konverter memastikan daya yang disalurkan ke perangkat tetap optimal meskipun tegangan baterai berubah atau beban berfluktuasi.



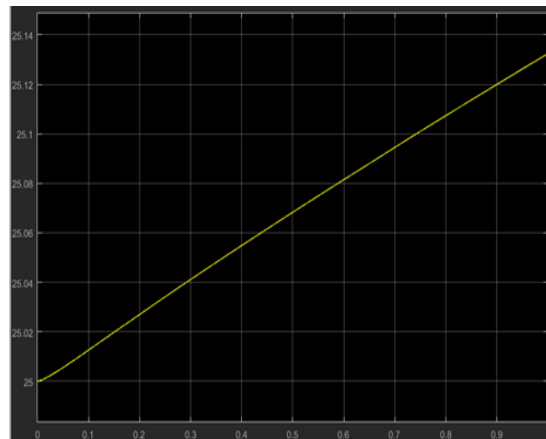
Gambar 10 Arus tegangan Baterai

Grafik yang disajikan Gambar 7 menampilkan Arus Baterai, yang merupakan hasil simulasi dari suatu sistem. Pada sumbu horizontal (X), Waktu dalam detik, sementara sumbu vertikal (Y) merepresentasikan Arus Baterai dalam Ampere. Dari kurva berwarna kuning, dapat diamati bahwa pada fase awal simulasi (sekitar 0 hingga 0.05 detik), arus baterai menunjukkan nilai negatif yang signifikan, berada di kisaran -30 hingga -40 Ampere. Nilai negatif ini secara umum mengindikasikan bahwa baterai sedang dalam mode pengosongan (discharge), yaitu menyalurkan daya keluar untuk memulai atau mengoperasikan sistem. Setelah melewati periode transien awal yang singkat tersebut, arus baterai kemudian stabil pada nilai yang sangat kecil, mendekati nol (sekitar -5 hingga 0 Ampere) hingga akhir durasi simulasi. Kestabilan ini, meskipun dengan sedikit fluktuasi minor, menunjukkan bahwa setelah proses startup, baterai hanya memasok arus yang sangat minimal. Hal ini bisa terjadi karena beban yang menarik daya menjadi sangat kecil, atau sistem telah mencapai kondisi operasi yang sangat efisien, sehingga kebutuhan daya dari baterai berkurang drastis setelah inisialisasi awal [14].

4.7. Pengisian Baterai

Sistem pengisian baterai tenaga surya yang dikontrol oleh PID (Proporsional-Integral-Derivatif) merupakan metode canggih yang meningkatkan efisiensi dan presisi. Prosesnya dimulai ketika panel surya mengubah cahaya matahari menjadi arus listrik DC. Namun, karena output panel surya yang tidak stabil, sebuah konverter DC-DC digunakan untuk menyesuaikan

tegangan dan arus . Diimplementasikan pada mikrokontroler, PID terus-menerus memantau tegangan dan arus melalui sensor.



Gambar 11 Keadaan Pengisian Baterai

Keadaan pengecasan (state of Charger) gambar 8 menunjukkan keadaan pengisian baterai .pada keadaan awal pengisian baterai 25% dan dalam waktu 18 second mengalami kenaikan persentase pengecasan 0,13% (menyebutkan bahwa dalam 18 detik persentase pengisian meningkat sebesar 18%) untuk mencapai 100% kondisi pengecasan di butuh kan waktu 3 jam 51 menit [15].

6. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian di atas maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Penelitian ini mengembangkan dan mengevaluasi konverter penguat DC-DC bertenaga fotovoltaik dengan pengontrol PID untuk sistem pengisian baterai yang efisien dan stabil. Sistem fotovoltaik (PV) memiliki tantangan fluktuasi daya keluaran karena variasi iradiasi matahari dan suhu, yang memerlukan konverter DC-DC untuk menaikkan tegangan PV agar sesuai untuk pengisian baterai. Pengontrol PID berfungsi untuk menyesuaikan siklus kerja konverter, mengoptimalkan proses pengisian, dan memastikan tegangan keluaran stabil sebesar 14,7V meskipun ada variasi pada masukan daya PV.
2. Metodologi penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis simulasi numerik dengan MATLAB SIMULINK untuk pemodelan dan pengujian. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pengontrol PID efektif dalam meredam osilasi tegangan dan arus, memungkinkan parameter listrik mencapai kondisi steady-state yang stabil dengan cepat. Konverter dirancang untuk menaikkan tegangan dari 12V modul PV menjadi 14,7V dengan daya keluaran 100W. Simulasi juga menunjukkan bahwa tegangan keluaran mencapai 14,69V dengan persentase kesalahan 0,068% dan daya keluaran 100,1W dengan persentase kesalahan 0,1% pada daya beban maksimum. Baterai timbal-asam 12V, 7Ah dengan state of charge (SOC) awal 25% dapat mencapai kondisi terisi penuh dalam waktu 1 jam, 3 menit, 37 detik. Secara keseluruhan, implementasi pengontrol PID dalam konverter ini menghasilkan sistem pengisian baterai yang efisien, stabil, dan andal, cocok untuk berbagai aplikasi tenaga surya.

Referensi

- [1] Irwanto M1,2, Leow W Z2, Ismail B., Baharudin N H2, Juliangga R3, Alam H1, dan Masri -M1. 2019. Photovoltaic powered DC-DC boost converter based on PID controller for battery charging system. Journal of Physics: Conference Series. doi:10.1088/1742-6596/1432/1/012055
- [2] https://batteryuniversity.com/learn/article/how_to_measure_state_of_charge. Diakses kembali pada 14 Agustus 2019
- [3] O'Dwyer A 2006 Buku Pegangan Aturan Penyetelan Pengontrol PI dan PID Imperial College Press, Irlandia
- [4] Daut I, Irwanto M, Irwan YM, Gomes N dan Ahmad NS 2011 Kombinasi Metode Hargreaves dan Regresi Linier sebagai Metode Baru untuk Memperkirakan Radiasi Matahari di Perlis, Malaysia Utara Energi Surya 85(2011)009.

-
- [5] Silva-Ortigoza R, Silva-Ortigoza G, VM Hern V. M 2012 Pemodelan, simulasi dan konstruksi konverter daya penguat dc/dc: sistem eksperimen sekolah Jurnal Fisika Eropa 33 (2012)010
 - [6] Aritonang, B. P. (2018). "Battery Control Unit (BCU) dengan PID Controller Pada Sistem Tenaga Surya." Skripsi, Universitas Brawijaya.
 - [7] Nugroho. (2023). "Rancang Bangun Pengisi Baterai Menggunakan Panel Surya Melalui Synchronous Buck Converter dengan Kontrol PID Sebagai Sumber Daya Listrik Alternatif Untuk Penerangan Rumah." Tugas Akhir, Universitas Mercu Buana.
 - [8] Amalia, R. N., Syamsiana, I. N., Madani, L. A., & Widhi, T. W. (2025). Implementasi CUK Inverting Konverter pada Battery Charging Terintegrasi Fotovoltaik Berbasis PID. *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, 12(2), 73-78.
 - [9] Zaini, Z., & Wulung, W. J. (2023). DC-DC Buck and Boost Converter Design for Energy Control in Hybrid PV Systems. *Andalas Journal of Electrical and Electronic Engineering Technology*, 3(2), 71-80
 - [10] Mohammed, F. A., Bahgat, M. E., Elmasry, S. S., et al. (2022). Design of a maximum power point tracking-based PID controller for DC converter of stand-alone PV system. *Journal of Electrical Systems and Information Technology*, 9, 9.
 - [11] Septiawan, F. R., Al Tahtawi, A. R., & Ilman, S. M. (2021). Control of Bidirectional DC-DC Converter with Proportional Integral Derivative*. *Journal of Fuzzy Systems and Control*, 2(3)
 - [12] M. A. Hasan & R. K. Mishra (2023). Direct Synthesis scheme based PID controller design for Boost Converter, *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 11(8), 271-276.
 - [13] Nabella, M. A. (2021). "Analisis Kinerja Cuk Converter Charge Controller dengan Kontrol PID pada Off-Grid Photovoltaic System." *Jurnal Elektronika dan Otomasi Industri*, 5(3), 12.
 - [14] Riyadi, S. (2023). "Maximum Power Point Tracking (MPPT) dengan Kontrol PID untuk Optimasi Pengisian Daya Baterai pada Panel Surya." *ResearchGate*, 4, 10-13
 - [15] Prasetyo, A. B., Andespa, R. & Alwi. (2022). "Desain dan Implementasi Battery Charging pada Fotovoltaik dengan Topologi Non-Inverting Cuk Konverter." *Jurnal Elektronika dan Otomasi Industri*, 6(3).