

Desain Lampu Cerdas Berbasis Arduino Nano Untuk Kondisi Bencana

Dwi Ajiatmo, Fahad Abdul Malik*, Agus Raikhani

Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Elektro, Universitas Darul Ulum, Jombang, Indonesia

Email: ¹ajiatmo@gmail.com, ^{2,*}fahadmalik456@yahoo.com, ³agus.raikhani@gmail.com

INFORMASI ARTIKEL

Histori Artikel:

Submitted : Sept 18, 2023

Accepted : Nov 29, 2023

Published : Nov 30, 2023

KORESPONDENSI

Email: fahadmalik456@yahoo.com

A B S T R A K

Penelitian ini menawarkan pembuatan prototipe lampu darurat menggunakan Arduino Nano sebagai pengendali utama. Prototipe ini menggunakan buck converter yang bekerjasama dengan Arduino Nano untuk mengatur duty cycle dengan Pulse Width Modulation, berdasarkan umpan balik dari sensor tegangan dan arus. MOSFET digunakan untuk mengatur tegangan dari panel surya 10 Wp dengan metode PWM yang dikendalikan oleh Arduino Nano. Buck converter ini termasuk dalam jenis inverting karena mengubah posisi tegangan suplai. Teknik Maximum Power Point Tracking (MPPT) digunakan untuk mengoptimalkan energi dari sel surya dengan mencari titik kerja optimal, memastikan efisiensi maksimum. Penelitian ini juga menggunakan baterai lithium 3.7 V dengan kapasitas 18.650 mAh sebagai beban untuk rangkaian lampu prototipe dengan konsep Joule Thief. Sirkuit Joule Thief adalah penguat tegangan osilasi minimalis yang ekonomis dan mudah dibuat, cocok untuk menggerakkan lampu LED atau dinamo DC. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa DC-DC MPPT buck converter berbasis mikrokontroler Arduino nano dapat bekerja dengan baik. Dengan mengatur duty cycle menjadi 80 persen dan frekuensi 62,5 kHz, pengukuran arus dan tegangan menghasilkan keluaran sebesar 4,95 volt - 5 volt.

Kata Kunci: Photovoltaic; Buck Converter; MPPT; Joul Tief

A B S T R A C T

This research offers the manufacture of an emergency light prototype using Arduino Nano as the main controller. This prototype uses a buck converter in collaboration with an Arduino Nano to regulate the duty cycle with Pulse Width Modulation, based on feedback from voltage and current sensors. MOSFETs are used to regulate the voltage from a 10 Wp solar panel using the PWM method which is controlled by Arduino Nano. This buck converter is an inverting type because it changes the position of the supply voltage. Maximum Power Point Tracking (MPPT) technique is used to optimize energy from solar cells by finding optimal working points, ensuring maximum efficiency. This research also uses a 3.7 V lithium battery with a capacity of 18,650 mAh as a load for a series of prototype lights with the Joule Thief concept. The Joule Thief circuit is a minimalist oscillating voltage amplifier that is economical and easy to make, suitable for driving LED lights or DC dynamos. The results of this research show that the DC-DC MPPT buck converter based on the Arduino nano microcontroller can work well. By setting the duty cycle to 80 percent and a frequency of 62.5 kHz, current and voltage measurements produce an output of 4.95 volts - 5 volts.

Keywords: Photovoltaic; Buck Converter; MPPT; Joul Tief

1. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara yang memiliki banyak sumber daya alam karena letak dan geologinya. Indonesia, di sisi lain, juga rentan terhadap berbagai bencana. Salah satu pulau di "cincin api" tempat bencana paling sering terjadi di Indonesia. Ketika bahaya berdampak pada kehidupan manusia, seperti menyebabkan kematian, cedera, kerugian harta benda, atau kerugian ekonomi yang tak terhindarkan, itu dianggap sebagai bencana. Korban bencana tentu akan khawatir untuk menempati tempat penampungan sementara jika penanggulangan bencana tidak disiapkan. Mengingat hal tersebut, posko siaga sangat penting untuk menghadapi ancaman bencana alam. Pos tersebut tidak dapat berfungsi tanpa adanya sumber energi listrik dan penerangan pada malam hari [1]. Energi yang dihasilkan matahari akan dimanfaatkan sebagai sumber listrik di lokasi ini. Sumber energi alternatif ini terbarukan dan tidak berbahaya bagi lingkungan. Panel surya hanya menghasilkan energi listrik pada siang hari atau saat matahari bersinar, dimana energi listrik harus disimpan dalam baterai[2]. Bersamaan dengan kebutuhan area lokal untuk energi listrik, pengaturan yang berbeda terlihat untuk menutupi masalah dalam sel yang berorientasi matahari, dan pemeriksaan rencana pengisi daya bertenaga matahari MPPT berbasis buck converter dengan kontrol Arduino nano. Sistem pencahayaan hemat energi

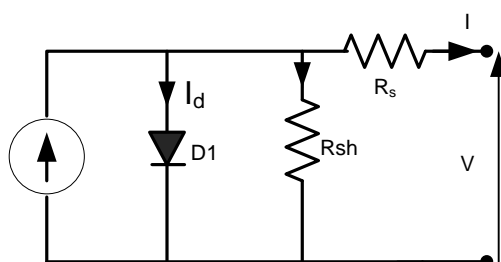
dengan menggunakan Arduino Nano dan teknologi Joule Thief, dengan tujuan untuk menghemat listrik pada pencahayaan buatan dan pendingin udara melalui desain arsitektural. Peningkatan efisiensi energi dan tingkat pencahayaan melalui analisis arus pencahayaan di ruang kelas. Penelitian pengembangan sistem energi dengan menggunakan teknologi Joule Thief dan mikrokontroler AT89S52 [3-8].

Alat dengan kapasitas kecil digunakan dalam penelitian. Sensor arus dan tegangan adalah salah satu yang digunakan. Menggunakan mikrokontroler Arduino Nano berbasis Buck converter, memproses data sensor dan mengatur Duty Cycle PWM untuk menghasilkan tegangan 4 V untuk pengisian baterai .untuk menghasilkan output MPP dari konverter DC-DC.untuk menggunakan Joule Thief Series sebagai penerangan saat terjadi pemadaman listrik [3-5].

Sinar matahari sebagai sumber energi diubah menjadi energi listrik oleh generator PV. Arus listrik dihasilkan secara proporsional oleh radiasi matahari. Karena setiap sel PV hanya menghasilkan daya yang kecil, beberapa sel PV harus dihubungkan secara paralel atau seri untuk membentuk panel PV. Tegangan sel PV meningkat antara 0,5 dan 0,8 volt. Array dibuat dengan menghubungkan panel secara paralel atau seri[10][11].

2. METODOLOGI PENELITIAN

Gambar 2 menunjukkan rangkaian sel PV ekuivalen dengan dioda, resistor shunt, dan resistor seri yang mewakili berbagai aliran arus, dan sumber arus.[12-16].



Gambar 1. Panel Surya

$$I = I_{ph} - I_s \left[\exp \left\{ q \frac{(V + R_{sh}I)}{ak_s T} \right\} - 1 \right] - \frac{V + R_s I}{R_{ph}} \quad (1)$$

Di mana R_s adalah resistansi seri sel (Ω), R_{sh} adalah resistansi shunt sel (Ω), adalah faktor ideal (biasanya 1,2), T adalah suhu sel (K), q adalah muatan elektron ($1,6021 \times 10^{-19}$ C), k adalah konstanta Boltzman ($1,3854 \times 10^{-23}$ JK⁻¹), I_{ph} adalah arus foto (A), I_s adalah arus saturasi (A), dan V adalah tegangan pada terminal sel[17][18].

$$I = n_p - I_{ph} \left[1 - \exp \left\{ \frac{V - n_s V_{oc} + I R_{sh} n_s / n_p}{n_s V T} \right\} \right] A \quad (2)$$

Karakteristik panel surya pada Standard Test Conditions (STC) (irradiansi: 1000 W/m², temperatur: 25°C, AM = 1,5) yang digunakan disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Parameter Modul Panel Surya

Parameter	Nilai
Daya Puncak (P_{max})	30 Wp
Tegangan (V_{mp})	17,6V
Arus (I_{mp})	2,8A
Tegangan rangkaian terbuka (V_{oc})	21,7V
Arus hubung singkat (I_{sc})	2,64A
Jenis sel surya	Mono-Si

Konverter statis adalah perangkat DC-DC yang menggunakan sumber tegangan tetap untuk menghasilkan sumber tegangan DC variabel. Bergantung pada efisiensi fabrikasi sel PV saat ini yang tidak melebihi 15% [11][19].

$$\text{Nilai Analog} = \frac{\text{Duty Cycle}}{100} * 255 \quad (3)$$

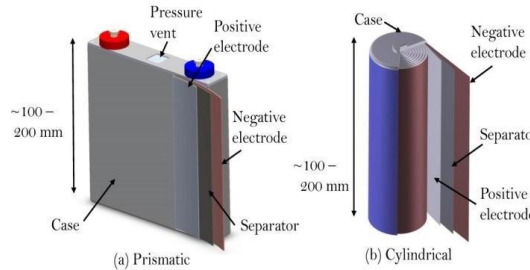
Makalah ini menggunakan konverter buck DC-DC yang dikendalikan oleh Arduino nano dan memiliki beban baterai. Tabel 2 menampilkan parameter buck converter.

Tabel 2. Parameter DC DC buck konverter

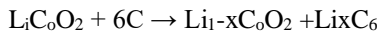
Parameter	Nilai
Mosfiet IRFZ44n	RDS 17,5 m Ω
Dioda	6A01
Induktansi (L_{min})	29,44 μ H
Capasitansi (C)	2,25 μ F

Parameter	Nilai
Faktor ripple	35%
Frekuensi	62.500 Hz
V_{in}	22 V
V_{out}	5 Volt

Baterai litium sebagai penyimpanan energi Listrik memiliki elektroda positif dan negatif, matriks kimia, dan elektrolit semuanya mengandung litium. Karena sistemnya tidak mengandung litium metalik, nama sel berasal dari litium-ion. Gambar 2 menunjukkan reaksi dan kapasitas $LiCoO_2$ [12][20][21].



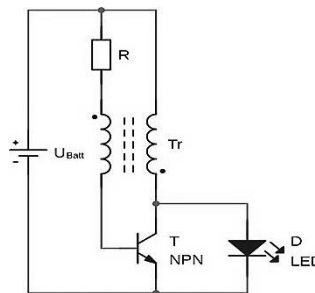
Gambar 2. Skema sell baterai Litium Ion



(4)

Kelebihan dan kekurangan baterai Lithium-Ion (Li-ion) dibandingkan dengan jenis baterai lainnya adalah Kelebihan, Saat ini mengandung $LiCoO_2$ yang memiliki kepadatan energi sangat tinggi dan stabil. Tingkat polusi sangat rendah. Tingkat keamanan tinggi karena tidak mengandung logam Lithium. siklus pembaruan tinggi sekitar 400-500 siklus (80% dari kapasitas awal). kecepatan pengisian yang sangat cepat [9]. Negatif kapasitas arus yang dihasilkan oleh karbon amorf atau kokas lebih rendah. Aki akan terbakar dan meledak jika proses pengemasannya cacat[9][20].

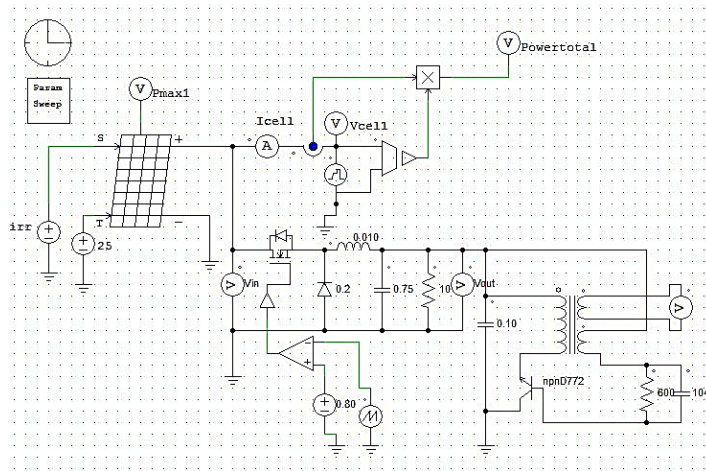
Penguat tegangan berosilasi sendiri yang dikenal sebagai Joul tief (Pencuri Energi) berukuran kecil, murah, dan mudah dibuat. Ini biasanya digunakan untuk menggerakkan beban kecil. Nama lain untuk sirkuit ini termasuk obor vampir, osilator pemblokiran, dan dering joule[22][23][20].



Gambar 3. Skema rangkaian (JT) Joul Tief

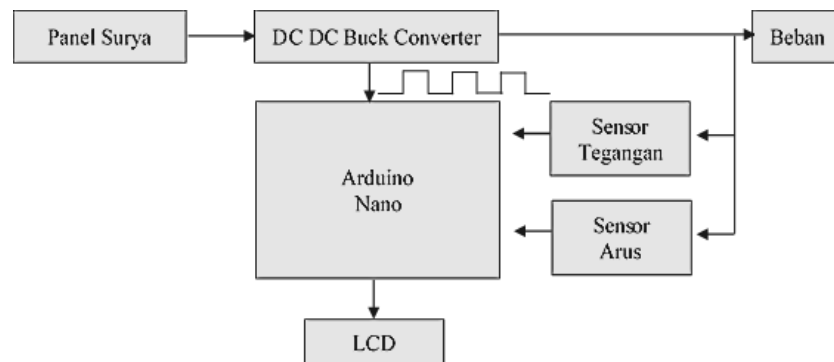
Konverter gerak maju yang tidak diatur dibuat oleh variasi osilator penghambat sirkuit ini. Tegangan output naik dengan mengorbankan arus input yang meningkat sementara arus (rata-rata) terintegrasi pada output menurun dan kecerahan pancaran berkurang. Semikonduktor diubah dengan cepat di sirkuit ini untuk bekerja. Segera setelah arus mengalir melalui resistor, belitan sekunder, dan sambungan basis-emitor, transistor mulai mengalirkan arus kolektor melalui belitan primer (lihat diagram). Hal ini menyebabkan tegangan terinduksi pada belitan sekunder positif karena polaritas belitan (lihat konvensi titik). Ini memberi transistor bias yang lebih tinggi karena hubungan antara dua belitan berjalan berlawanan arah. Proses self-stroke/umpan balik positif ini segera menyalakan transistor sekeras mungkin karena VCE hanya sekitar 0,1 volt, dengan asumsi arus basis cukup tinggi. Jalur kolektor-emitor tampaknya merupakan sakelar tertutup sebagai akibatnya. Induktansi belitan primer efektif baterai sebanding dengan tegangan suplai dibagi dengan arus. Bergantung pada tegangan suplai, berbagai mekanisme menyebabkan transistor mati. Penguatan transistor tidak terkait secara linear dengan VCE. Untuk mempertahankan saturasi saat arus kolektor meningkat, transistor memerlukan arus basis yang lebih besar pada tegangan suplai rendah (biasanya di bawah 0,75 V). Akibatnya, ketika mencapai arus kolektor kritis, transistor mulai mengganjal, memicu aksi umpan balik positif yang dijelaskan sebelumnya dan mematikannya. [11].

Energi optimal yang dihasilkan oleh PV dibutuhkan pelacakan titik daya maksimum, lebih sering disingkat MPPT, MPPT adalah teknik yang digunakan dalam sistem PV untuk memaksimalkan keluaran daya. MPPT bukanlah sistem pelacakan mekanis yang memindahkan modul PV lebih dekat ke matahari untuk mendapatkan energi paling banyak darinya. Sebaliknya, itu digunakan untuk memindahkan modul lebih dekat ke matahari. Sistem elektronik yang disebut MPPT memiliki algoritma yang dapat melacak titik daya maksimum PV. Kerja PV bersifat nonlinier dan dinamis sebagai respon terhadap perubahan nilai intensitas cahaya matahari yang mengenai permukaan PV dan temperatur pada permukaan PV, seperti yang ditunjukkan oleh kurva karakteristik I-V dan P-V.[12][24].



Gambar 4. Skematik MPPT DC DC Buck Konverter

Panel surya 100Watt, MPPT, Buck Converter, Arduino nano, dan baterai lithium 3,7 V 18.650 mAh menjadi empat komponen utama desain sistem panel surya yang terhubung ke sistem MPPT dan baterai. Perubahan suhu, sinar matahari, baterai, dan buck converter, yang berfungsi sebagai aktuatur untuk kontrol MPPT pada generator panel surya dan digambarkan pada Gambar 5, adalah tiga komponen dari sistem lengkap yang berpotensi mempengaruhi hasil.



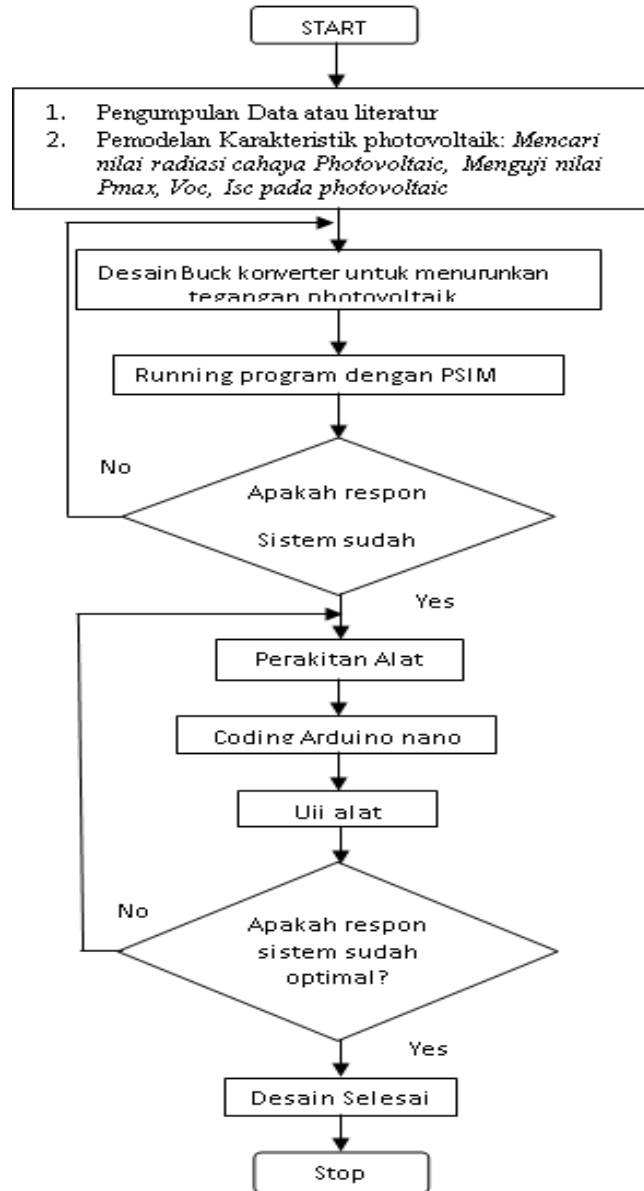
Gambar 5. Diagram blok sistem PV

Sel surya akan mengubah sinar matahari menjadi listrik langsung (DC) ketika modul surya terkena sinar matahari. Pengisi daya MPPT kemudian akan menerima voltase yang dihasilkan panel surya sebelum mengirimkannya langsung ke baterai. Mikrokontroler Arduino Nano dan Konverter Buck DC-DC berfungsi sebagai partikel utama di bagian perangkat keras pengontrol elektronik utama pengisi daya. Sebelum mencapai baterai, tegangan dan arus panel surya akan melewati konverter DC-DC. Namun, mikrokontroler pengisi daya juga menerima informasi tegangan dan arus, yang digunakan untuk menghitung algoritma MPPT.

Tahapan proses penelitian, metode penelitian ini menjelaskan bagaimana alur penelitian dilakukan dan bagaimana data dikumpulkan.

1. Blok untuk panel surya: sebagai sarana untuk memperoleh daya DC dari sinar matahari.
2. Block DC-DC Converter: rangkaian konverter yang mengubah arus DC yang tidak diatur menjadi arus DC yang lebih stabil. Sejumlah komponen MOSFET, driver MOSFET, induktor, dioda, dan kapasitor membentuk rangkaian ini.
3. Block untuk Arduino: sebagai pemroses duty cycle untuk PWM dan pemrosesan data sensor tegangan dan arus.
4. LCD Module : sebagai tampilan untuk menunjukkan tegangan dan arus pada output.
5. Block loading : sebagai beban untuk menghemat daya konverter dc-dc. Penjelasan diagram alir penelitian yang ditunjukkan Gambar 6 adalah
6. Memahami sistem desain sistem fotovoltaik, kontrol konverter buck, dan pengujian panel surya untuk nilai radiasi, daya maksimum, tegangan rangkaian terbuka, dan arus hubung singkat adalah bagian dari proses pengumpulan data.
7. Merencanakan buck converter untuk menurunkan tegangan fotovoltaik.
8. Menggunakan MOSFET, resistor dioda, dan induktor untuk mensimulasikan komponen buck converter dengan program PSIM.
9. Lanjutkan ke flowchart penelitian kedua jika respon sistem sudah optimal.
10. Alat-alat seperti buck converter, sensor arus dan tegangan, Arduino nano, sirkuit penerangan darurat untuk bencana (joul thief), dan sistem pengisian baterai dirakit..
11. Pengkodean Arduino untuk bertindak sebagai PWM dan mengirim pulsa ke MOSFET.
12. menguji setiap rangkaian alat.

13. Jika respon sistem sudah optimal.
14. Berhenti dan alat selesai.



Gambar 6. Uji in the loop simulation dan Uji hardware

2.1 Pengujian kapasitas baterai

Baterai yang dipakai menggunakan baterai Lithium ion yakni kapasitas antara 1.800 mAh – 2.200 mAh, total baterai yang terpasang 9 pcs dengan perhitungan sebagai berikut :

Kapasitas 1.800 mAh x 7 = 12.600 mAh, Kapasitas 2.200 mAh x 2 = 4.400 mAh, Total 12.600 + 4.400 = 17.000 Mah = 17Ah, Menghitung waktu pengisian baterai : Kapsitas baterai x 10/100 = 17Ah x 10/100 = 1,7 A

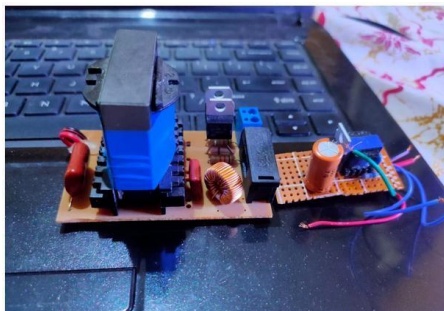


Gambar 7. Baterai litium

2.2 Pengujian rangkaian joul thief

Pengujian rangkaian joul thief berdaya 100 watt 220 Vac antara lain menggunakan komponen: Lilitan Trafo sekunder = 2.4 ohm, feedback = 0.4 ohm, primer = 0.62 ohm 1 pcs Resistor 330 ohm 2 pcs, Transistor TIP41C 2 pcs, Induktor

22 mH 1 pcs Milar ZX104J 1 pcs Milar CBB81 1 pcs. Pengujian rangkaian joul thief berdaya 10 watt 220 Vac menggunakan cover lengkan dan dilengkapi charger.



Gambar 8. Joul thief berdaya 10W 220 Vac

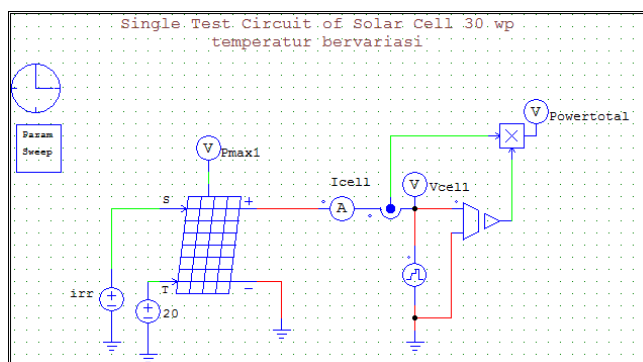
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dibantu menggunakan sebuah software program yaitu PSIM 9.0.



Gambar 9. MPPT test rangkaian pengisian baterai dengan panel surya

Untuk merancang konverter DC-DC yang digunakan dalam penelitian ini, perlu dilakukan pengujian karakteristik fotovoltaiik. Dengan menggunakan software PSIM, berikut disajikan data karakteristik photovoltaic.



Gambar 10. Pengujian karakteristik panel surya

Tabel 3. Perubahan Iradiasi 100 s/d 1000 W/m², temperatur konstan 25°C.

Irr	Temp	I _{max}	P _{max}	V _{max}
100	25	0.2799	3.1939	11.4108
200	25	0.5599	7.9154	14.1371
300	25	0.8399	12.6286	15.0358
400	25	1.1199	17.3329	15.4771
500	25	1.3999	22.0277	15.7351
600	25	1.6799	26.7122	15.9011
700	25	1.9599	31.3863	16.0142
800	25	2.2399	36.0488	16.0939
900	25	2.5199	40.6991	16.1510
1000	25	2.7999	45.3364	16.1921

Sensor tegangan diuji dengan mengukur output rangkaian pembagi tegangan pada dua resistor, masing-masing resistor 100KΩ dan 10KΩ.

Tabel 4. Data hasil pengujian sensor tegangan

Uji ke-	Tegangan Power supply (V)	Sensor tegangan bacaan multimeter (V)	ΔError(V)	Error (%)
1	10.7	10.72	0.02	0.19
2	10.22	10.22	0	0
3	9.51	9.56	0.05	0.52
4	8.65	8.66	0.01	0.16
5	8.17	6.19	0.02	0.24

Pengujian sensor arus dilakukan untuk mengetahui performansi arus ACS712 dan memastikan keakurasiannya dengan pembaca arus menggunakan multimeter. Pengujian dilakukan menggunakan tegangan masukan dari power supply yang tetap tegangannya dan dipasangkan beban yang divariasikan.

Tabel 5. Data hasil pengujian sensor arus

Uji ke-	Hambatan (Ω)	Multi meter (A)	Sensor (A)	Δ Error (I)	Error (%)
1	10	1.14	1.13	0.01	0.87
2	12	1.1	1.08	0.02	1.81
3	15	0.8	0.9	0.1	12.5
4	18	0.68	0.6	0.08	11.76
5	27	0.47	0.44	0.03	6.38



Gambar 10. Hasil Desain rangkaian joule thief berdaya 10watt 220 Vac

Hasil yang didapat saat mengerjakan lampu emergency yaitu mengetahui sebuah rangkaian sederhana yang bisa menyalakan peralatan elektronik yang membutuhkan arus rendah seperti lampu LED dengan baterai Lithium-Ion 18650 dengan tegangan listrik 3,7 volt yang outputnya bisa menyalakan lampu LED AC 220 volt 10 watt. Gambar 10 adalah hasil selama pengerjaan desain lampu emergency. Ketahanan lampu bisa digunakan kurang lebih 5 jam pemakaian dan sangat aman untuk digunakan saat adanya bencana alam.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat mencapai kesimpulan berikut berdasarkan hasil desain alat, pengujian sistem, dan pembahasan sistem, Arduino nano dan konverter DC-DC berbasis mikrokontroler dapat berfungsi secara efektif bersama-sama sebagai generator pulsa 62,5 kilohertz. Ketika frekuensi diatur ke 62,5 kHz dan siklus kerja diatur ke 80%, outputnya adalah 4,95 volt - 5 volt. Dengan mengubah duty cycle sebagai respons terhadap perubahan voltase, keluaran yang stabil dapat dicapai. Mikrokontroler Arduino nano akan meningkatkan duty cycle jika pengukuran tegangan kurang dari 5 volt, sedangkan mikrokontroler akan mengurangi duty cycle jika pengukuran tegangan lebih besar dari 5 volt. Untuk memastikan output lebih stabil dalam menghadapi beban, proses pengurangan dan peningkatan duty cycle dilakukan dengan cepat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Disampaikan terima kasih kepada segenap Pimpinan Universitas Darul Ulum, Fakultas Teknik, dan Program Studi Teknik Elektro atas segala fasilitas Laboratorium Instalasi Tenaga Listrik.

REFERENCES

- [1] Akbar Ricky, Darman Ridho, Marizka, Namora Jesi, and Ardewati Novisa, "JEPIN (Jurnal Edukasi dan Penelitian Informatika)," *J. Edukasi dan Penelit. Inform.*, vol. 4, no. 1, pp. 30–35, 2018.
- [2] A. Gouder and B. V. Lotsch, "Integrated Solar Batteries: Design and Device Concepts," *ACS Energy Lett.*, vol. 8, no. 8, pp. 3343–3355, 2023, doi: 10.1021/acseenergylett.3c00671.
- [3] W. A. Jabbar, W. K. Saad, Y. Hashim, N. B. Zaharudin, and M. F. Bin Zainal Abidin, "Arduino-based Buck Boost Converter

- for PV Solar System,” 2018 IEEE 16th Student Conf. Res. Dev. SCOReD 2018, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1109/SCORED.2018.8710807.
- [4] P. Srivastava, P. Gupta, and A. Singh, “Critical Factors Affecting Efficiency of Maximum Power Point Tracking in Solar Cells,” *SAMRIDDHI A J. Phys. Sci. Eng. Technol.*, vol. 7, no. 01, pp. 01–08, 2015, doi: 10.18090/samriddhi.v7i1.3265.
- [5] D. Purwanto, “Rekayasa Energi Pada Lampu Darurat Di Ruang Tunggu (Halte) Menggunakan Teknologi Joule Thief,” pp. 1–15.
- [6] N. Jamala, “ANALISIS PENCAHAYAAN BANGUNAN HEMAT ENERGI (Studi Kasus : Gedung Wisma Kalla di Makassar),” *AGORA Jurnal Penelit. dan Karya Ilm. Arsit. Usakti*, vol. 15, no. 2, pp. 62–70, 2015, doi: 10.25105/agora.v15i2.2028.
- [7] A. Mujadin and S. Rahmatia, “Joule Thief Sebagai Boost Converter Daya LED Menggunakan Sel Volta Berbasis Air Laut,” *J. Al-AZHAR Indones. SERI SAINS DAN Teknol.*, vol. 4, no. 2, p. 52, 2018, doi: 10.36722/sst.v4i2.254.
- [8] O. Nabil, B. Bachir, and A. Allag, “Implementation of a new MPPT Technique for PV systems using a Boost Converter driven by Arduino MEGA,” *Proc. - Int. Conf. Commun. Electr. Eng. ICCEE 2018*, pp. 1–5, 2019, doi: 10.1109/CCEE.2018.8634503.
- [9] A. Al-Gizi, M. Al-Saadi, S. Al-Chlaihawi, A. Craciunescu, and M. A. Fadel, “Experimental installation of photovoltaic MPPT controller using arduino board,” 2018 Int. Conf. Appl. Theor. Electr. ICATE 2018 - Proc., pp. 1–6, 2018, doi: 10.1109/ICATE.2018.8551397.
- [10] Z. Q. Wu, C. Y. Liu, D. L. Zhao, and Y. Q. Wang, “Parameter identification of photovoltaic cell model based on improved elephant herding optimization algorithm,” *Soft Comput.*, vol. 27, no. 9, pp. 5797–5811, 2023, doi: 10.1007/s00500-023-07819-4.
- [11] A. C. M. Shubham Mishra, Gaurav Dwivedi, Subho Upadhyay, “Modelling of standalone solar photovoltaic based electric bike charging,” in *Materials Today: Proceedings*, 2022, vol. 49, no. 8.5.2017, pp. 473–480. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.738>.
- [12] I. Robandi, D. Ajiatmo, and Muhlasin, “Optimization PI-ACO for Photovoltaic System Battery and Supercapacitor on Electric Vehicle,” *Proc. - 2021 Int. Semin. Intell. Technol. Its Appl. Intell. Syst. New Norm. Era, ISITIA 2021*, pp. 370–375, 2021, doi: 10.1109/ISITIA52817.2021.9502221.
- [13] H. Nurohmah *et al.*, “Komparasi PID , FLC , dan ANFIS sebagai Kontroller Dual Axis Tracking Photovoltaic berbasis Bat Algorithm,” pp. 71–77, 2022.
- [14] S. Gupta, “Hardware Implementation of Low Cost MPPT using Arduino for PV application,” *IEEE*, 2020.
- [15] Y.-C. L. Ting-Chung Yu, “a Study on Maximum Power Point Tracking Algorithms for Photovoltaic Systems,” *International Journal of Advance Engineering and Research Development*, vol. 2, no. 11. 2018. doi: 10.21090/ijaerd.021119.
- [16] J. Kumar, N. R. Parhyar, M. K. Panjwani, and D. Khan, “Design and performance analysis of PV grid-tied system with energy storage system,” *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 11, no. 2, pp. 1077–1085, 2021, doi: 10.11591/ijece.v11i2.pp1077-1085.
- [17] S. Paul Ayeng’o, T. Schirmer, K. P. Kairies, H. Axelsen, and D. Uwe Sauer, “Comparison of off-grid power supply systems using lead-acid and lithium-ion batteries,” *Sol. Energy*, vol. 162, no. December 2017, pp. 140–152, 2018, doi: 10.1016/j.solener.2017.12.049.
- [18] Y. Yongchang and Y. Chuanan, “Implementation of a MPPT Controller Based on AVR Mega16 for Photovoltaic Systems,” *Energy Procedia*, vol. 17, pp. 241–248, 2012, doi: 10.1016/j.egypro.2012.02.090.
- [19] D. Ajiatmo and I. Robandi, “Modeling and simulation performance of photovoltaic system integration battery and supercapacitor paralellization of MPPT prototipe for solar vehicle,” in *ENGINEERING INTERNATIONAL CONFERENCE (EIC) 2016*, 2017, vol. 1818, p. 020076. doi: 10.1063/1.4979943.
- [20] P. D. Rishabh Chopda, Alisha Gupta, Palak Kabra, “Joule Thief and its Applications,” *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 9, no. December, pp. 1–23, 2021, doi: <https://doi.org/10.22214/ijraset.2021.39190>.
- [21] S. Vonsien and R. Madlener, “Li-ion battery storage in private households with PV systems: Analyzing the economic impacts of battery aging and pooling,” *J. Energy Storage*, vol. 29, no. June, p. 101407, 2020, doi: 10.1016/j.est.2020.101407.
- [22] S. Abdussamad, “Rancang Bangun Inverter Mini 1 . 5 V dc to 220 V ac Untuk Lampu Darurat,” *J. Tek.*, vol. 18, no. 1, pp. 7–16, 2020.
- [23] Y. Prabowo, S. Broto, and G. Gata, “Kajian Efektifitas Sirkuit Joule Thief dan Aplikasi,” vol. 17, no. 1, pp. 39–45, 2020, [Online]. Available: <https://journal.budiluhur.ac.id/index.php/bit>
- [24] U. Yilmaz, “Improved MPPT method to increase accuracy and speed in photovoltaic systems under variable atmospheric conditions,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 113, pp. 634–651, 2019, doi: 10.1016/j.ijepes.2019.05.074.