

## SISTEM PROTEKSI TEGANGAN UNTUK SMART MICRO INVERTER PADA PLTS ON GRID SKALA KECIL

I M. A. Nrrartha<sup>1\*</sup>, I M. Ginarsa<sup>2</sup>, A. B. Muljono<sup>3</sup>, S. Nababan<sup>4</sup>, Sultan<sup>5</sup>  
<sup>1,2,3,4,5</sup> Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mataram

\*Corresponding Author Email: nrrartha@unram.ac.id

### ABSTRAK

Inverter pada pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) on grid kapasitas kecil adalah smart micro inverter (SMI). SMI mensinkronkan daya yang dihasilkan oleh PLTS ke grid apabila syarat sinkronnya terpenuhi. Penelitian ini meneliti SMI kapasitas 500 Watt pada PLTS 600 Wp on grid. Spesifikasi kerja SMI yaitu input tegangan DC antara 18-50 Volt dan output tegangan AC antara 180-280 Volt. SMI akan start pada input tegangan 24 Volt DC. Apabila sudah start, SMI akan bekerja pada rentang tegangan antara 18 - 39 Volt DC. Diluar rentang tegangan DC tersebut kerja SMI tidak stabil dan dapat merusak SMI. Untuk menjaga input tegangan DC pada rentang tegangan kerjanya, sistem proteksi tegangan untuk SMI dibangun dengan komponen-komponen seperti mikrokontroler ATmega328, sensor tegangan, real time clock, rele dan SD Card. Sensor tegangan untuk mendeteksi tegangan DC panel surya. Real time clock untuk mendapatkan data waktu operasi proteksi. Rele untuk memutuskan SMI dari panel surya. SD Card untuk menyimpan data waktu operasi proteksi dan input tegangan DC pada SMI saat proteksi bekerja. Proteksi SMI didesain dengan sistem kerja yaitu range waktu kerja dari pukul 06.00 - 18.00 WITA dan tegangan DC yang diterima SMI lebih besar dari 25 V. Hasil penelitian menunjukkan sistem proteksi dapat bekerja melindungi SMI dengan dua syarat tersebut. Berdasarkan data yang tercatat di SD Card selama 10 hari diperoleh waktu sinkron SMI ke grid antara pukul 06.30 - 08.35 WITA dengan tegangan sinkron antara 33,40 - 38,04 V DC. SMI keluar dari grid antara pukul 17.59 - 18.00 WITA dengan tegangan antara 13,84 - 32,86 V DC.

**Keyword:** PLTS on grid, sistem proteksi, *smart micro inverter*, waktu kerja SMI.

### 1. PENDAHULUAN

Pembangkit energi listrik tenaga surya (PLTS) merupakan salah satu pembangkit energi listrik yang berkembang pada saat ini. Hal tersebut karena ketersediaan energi surya di Indonesia sangat berlimpah. Berdasarkan data dari kementerian energi dan sumber daya mineral (ESDM), potensi energi surya untuk energi listrik sebesar 207 GW (Ministry Of Energy and Mineral Resources Indonesia, 2021). Untuk mempercepat pemanfaatan energi surya sebagai energi listrik, kementerian ESDM menerbitkan regulasi pembangunan PLTS atap yang terhubung ke jaringan tenaga listrik yaitu permen ESDM nomor 26 tahun 2021 dan revisi terbaru 2023. Permen tersebut mengatur PLTS atap on grid yang dibangun oleh masyarakat dengan ketentuan, pelanggan listrik dapat memasang PLTS atap on grid dengan mempertimbangkan kapasitas jaringan dan besar kapasitas yang diizinkan berdasarkan kuota. Kelebihan produksi PLTS on grid yang masuk ke jaringan listrik tidak dibayarkan, tetapi akan dipertimbangkan mendapatkan insentif harga karbon.

Komponen penting pada sistem PLTS on grid adalah inverter. Inverter mengkonversi tegangan DC yang dihasilkan panel surya menjadi tegangan AC. Inverter pada PLTS on grid memiliki sistem yang memungkinkan tegangan AC yang dihasilkan dapat masuk ke jaringan listrik. Syarat tegangan AC inverter masuk ke jaringan listrik untuk bersama-sama melayani beban adalah magnitude tegangan dan frekuensi dari

output inverter harus sama dengan magnitude tegangan dan frekuensi dari jaringan listrik. Untuk memenuhi syarat tersebut, konversi tegangan DC ke AC pada inverter menggunakan metode switching sin Pulse Width Modulation (PWM). Switching sin PWM membutuhkan tegangan referensi sinus yang diperoleh dari tegangan AC jaringan listrik. Inverter juga dilengkapi dengan metode maximum power point tracking (MPPT) untuk mendapatkan transfer daya maksimum ke jaringan. Metode MPPT sangat berkembang menggunakan teknik offline, teknik online atau teknik hill-climbing dan teknik kecerdasan buatan. Teknik online seperti teknik Perturb and Observe (P&O) sudah diaplikasikan pada sistem MPPT inverter on grid. Teknik ini menggunakan beberapa metoda untuk mendapatkan titik daya maksimum seperti menggunakan ukuran step variabel untuk meningkatkan unjuk kerja (Mohapatra et al., 2016) dan (Ashique et al., 2017), maksimisasi dari kinerja dinamik (Alik & Jusoh, 2017) dan sudah diterapkan pada sistem fisik untuk mendapatkan titik daya maksimum pada konverter DC/DC tipe SEPIC (Saleh et al., 2017) dan pada konverter DC/DC topologi synchronous buck (SUSANA et al., 2018). Teknik-teknik kecerdasan seperti Fuzzy Logic Control (FLC), Jaringan syaraf tiruan (JST), Particle Swarm Optimization, Genetik Algoritma dan gabungan antara FLC dan JST yang umumnya disebut Adaptive Neural Fuzzy inference System (ANFIS). ANFIS sebagai MPPT dapat memberikan perbaikan efisiensi sistem PLTS off grid (Alfian et al., 2022) dan (Revathy et al., 2022). ANFIS pada sistem PLTS on grid pada atap berhasil disimulasikan pada simulink MATLAB (Nrrartha, Ginarsa, & Muljono, 2023) dan perbaikan efisiensi dengan MPPT ANFIS (Nrrartha, Ginarsa, Muljono, et al., 2023). Aplikasi ANFIS tersebut baru tahap simulasi belum diimplementasikan pada sistem MPPT fisik.

PLTS on grid skala kecil membutuhkan micro inverter. Micro inverter pada PLTS on grid skala kecil sering disebut smart micro inverter (SMI). Disebut SMI karena jenis inverter ini sudah mempunyai output sinus dan dilengkapi dengan MPPT. Supaya inverter tersebut beroperasi dengan stabil membutuhkan tegangan input DC tertentu sesuai dengan spesifikasinya. Sehingga sistem proteksi tegangan untuk SMI sangat penting supaya SMI bekerja dengan stabil (Šoja et al., 2009). Sistem-sistem lain yang membutuhkan proteksi tegangan seperti pada smart home (T. et al., 2019), pada saluran daya (Asoh & Chia, 2022), pada sistem HVDC (Tu et al., 2018), dan pada sistem integrated busbar (Manditereza, 2020). Beberapa desain proteksi tegangan diusulkan dengan input kapasitor (Qin, 2018), dengan fungsi otomatis saklar logika (Majid et al., 2019), dengan sistem Generic Object-Oriented Substation Event (Kamaludin et al., 2020). Proteksi tegangan pada penelitian ini diusulkan untuk melindungi SMI kapasitas 500 Watt untuk konversi sistem PLTS 600 Wp. Sistem proteksi tegangan yang dirancang sesuai dengan syarat operasi SMI untuk bekerja stabil dan terhindar dari kerusakan.

## **2. METODE**

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mataram. Laboratorium Sistem Tenaga mempunyai instalasi PLTS 600 Wp on grid. Kapasitas daya PLTS 600 Wp pada iradiasi 1000 W/m<sup>2</sup> dan suhu 25°C. Untuk dapat sinkron ke grid, output PLTS dihubungkan dengan konverter daya untuk konversi sumber DC dari PLTS ke sumber AC pada grid. Konverter daya tersebut adalah Smart Micro Inverter (SMI). Spesifikasi teknis SMI ditampilkan pada Tabel 1.

Kapasitas SMI adalah 83,33% dari kapasitas Watt peak modul surya. Modul surya 600 Wp terdiri dari 2 modul surya yang dirangkai secara paralel. Spesifikasi modul surya ditampilkan pada Tabel 2. Sistem proteksi tegangan pada SMI untuk menjamin keamanan operasi PLTS 600 Wp on grid dibuat menggunakan komponen-komponen yang ditunjukkan pada Tabel 3.

**Tabel 1 Spesifikasi teknis SMI**

Rating	Kapasitas
Daya	500 W
Tegangan input DC	18 – 50 V
Tegangan output AC	120/240 V
Frekuensi	50/60 Hz auto
Range MPPT	24- 40 V
Vmp	30 – 39 V
Voc	38 – 46 V
SMI <i>start</i>	24 V
SMI <i>unstable operation</i>	< 18 V

Sumber: *name plate* SMI

**Tabel 2 Spesifikasi panel surya 300 Wp**

Rating	Kapasitas
Daya Maksimum ( $P_{max}$ )	300 W
Arus pada daya maksimum ( $I_{mp}$ )	8,77 A
Tegangan pada daya maksimum ( $V_{mp}$ )	34,20 V
Arus hubung singkat ( $I_{sc}$ )	9,38 A
Tegangan hubung terbuka ( $V_{oc}$ )	41,04 V
Tipe panel	<i>monocrystalline</i>
STC pada 1000 W/m <sup>2</sup> , 25°C, AM 1,5	

Sumber: *name plate* panel surya

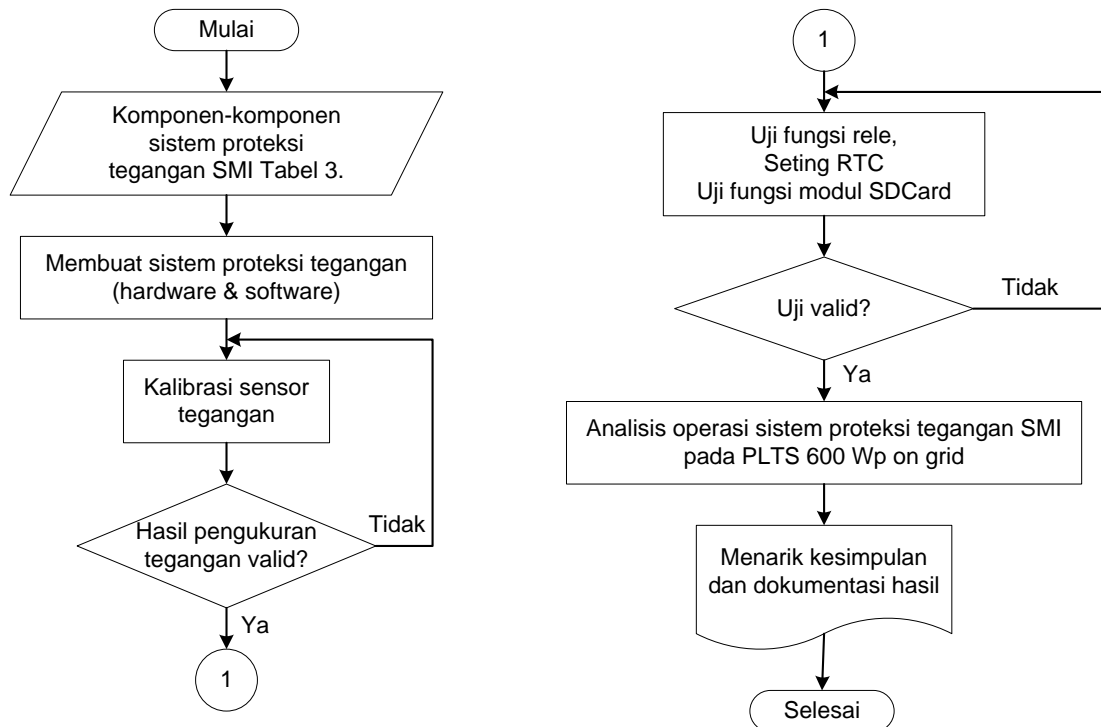
**Tabel 3 Komponen-komponen sistem proteksi tegangan SMI**

komponen	Tipe/nama
Mikrokontroler	Arduino Nano (ATmega328)
Sensor tegangan DC	Rangkaian pembagi tegangan: resistor, kapasitor & dioda zener
Rele	5V <i>Single-Channel Relay Module</i>
<i>Real time clock</i>	DS 3231
Modul <i>SDCard</i>	<i>Micro SDCard Reader/Writer Module</i> (MSCM)
<i>SDCard</i>	SanDisk Ultra 4 GB <i>Micro SD</i>

Langkah-langkah pembuatan, pengujian dan operasi sistem proteksi tegangan pada SMI ditunjukkan pada diagram alir Gambar 1.

Kalibrasi sensor tegangan dengan cara mengatur pengukuran sensor sesuai dengan penunjukan alat ukur tegangan standar. Alat ukur tegangan standar yang

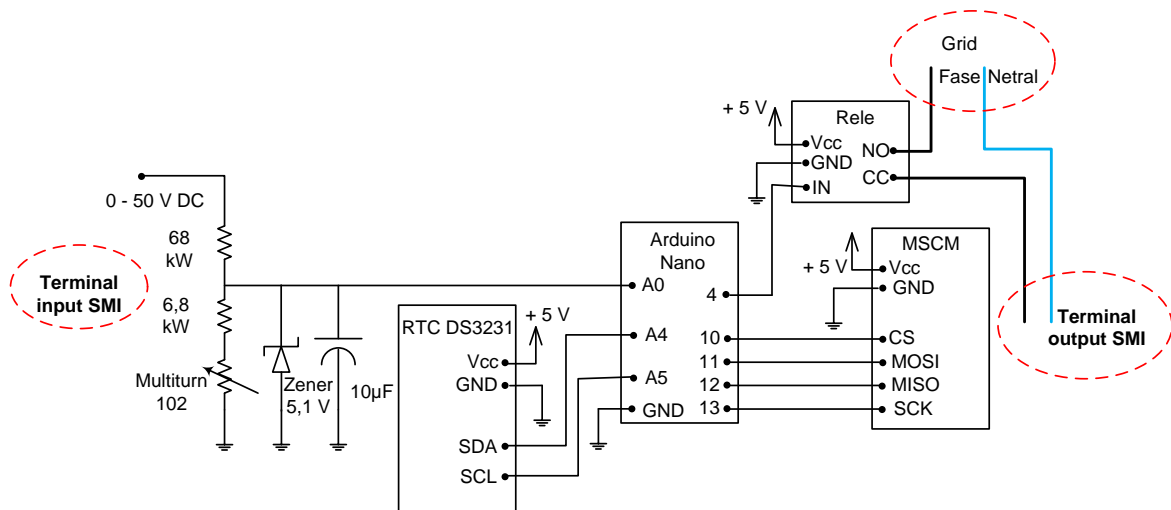
dijadikan sebagai referensi untuk kalibrasi sensor tegangan adalah multimeter digital Kyoritsu KEW 1011.



Gambar 1 Diagram alir perancangan dan operasi sistem proteksi tegangan SMI

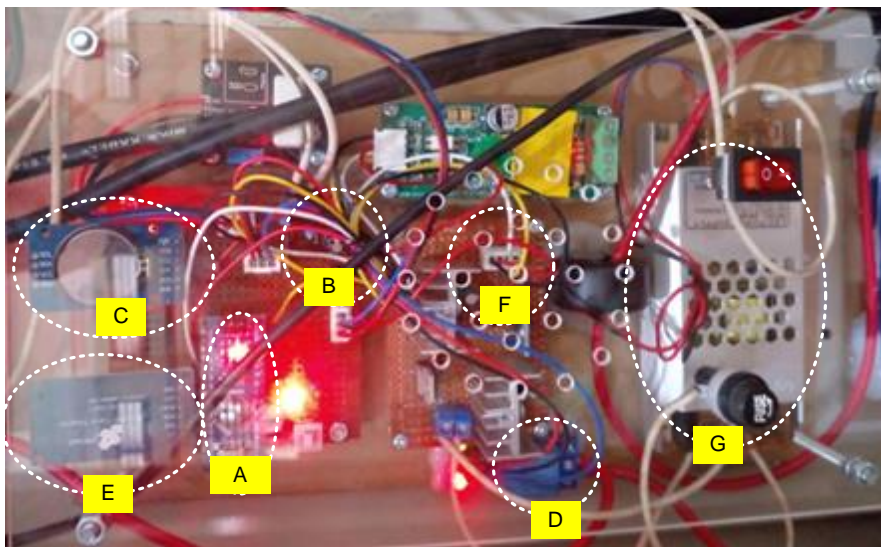
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Rangkaian sistem proteksi tegangan SMI ditunjukkan pada Gambar 2. Masing-masing komponen terhubung dengan mikrokontroler Arduino Nano (ATmega328). Sensor tegangan mendeteksi tegangan terminal SMI dan mengirim informasi tegangan tersebut ke pin *Analog to Digital Converter 0 (A0)* Arduino Nano. *Real Time Clock (RTC)* DS3231 terhubung dengan Arduino Nano menggunakan komunikasi serial dua arah, yaitu *Inter Integrated Circuit (I2C)*. Pin pada Arduino Nano untuk komunikasi tersebut adalah pin A4 untuk *Serial Data (SDA)* dan pin A5 untuk *Serial Clock (SCL)*. Modul memori SDCard terhubung dengan Arduino Nano melalui komunikasi *Serial Peripheral Interface (SPI)*. Pin-pin yang digunakan untuk komunikasi SPI pada Arduino Nano adalah pin 10 untuk *Chip Select (CS)*, pin 11 untuk *Master Out Slave In (MOSI)*, pin 12 untuk *Master In Slave Out (MISO)*, dan pin 13 untuk *Serial Clock (SCK)*. Rele terhubung ke Arduino Nano melalui pin 4.



Gambar 2 Rangkaian sistem proteksi tegangan SMI

Bentuk fisik sistem proteksi tegangan untuk SMI ditunjukkan pada Gambar 3. Sistem proteksi tegangan SMI merupakan bagian dari sistem monitoring dan data logger dari sistem PLTS on grid 600 Wp. Gambar 2 bagian A adalah Arduino Nano sebagai mikrokontroler. Bagian B adalah rangkaian sensor tegangan DC 50 Volt. Bagian C adalah *real time clock* (DS3231). Bagian D adalah rele untuk memutus/menghubungkan output SMI dari/ke grid. Bagian E adalah modul SD Card untuk menyimpan waktu operasi dan tegangan input SMI pada saat rele bekerja. Bagian F adalah catu daya DC 5 Volt. Tegangan DC 5 Volt diperoleh dengan cara menurunkan tegangan 12 V DC dari catu daya pada bagian G, menggunakan regulator tegangan IC 7805. Catu daya DC 12 Volt juga untuk catu daya Arduino Nano.



Gambar 3. Bentuk fisik sistem proteksi tegangan SMI

Sensor tegangan dikalibrasi dengan cara membandingkan hasil pengukuran alat ukur referensi (Kyoritsu KEW 1011) pada input SMI dengan hasil pengukuran sensor tegangan. Apabila hasil pengukuran tidak sama maka dilakukan tuning sensor tegangan dengan cara mengatur resistor variabel (multi turn 102 pada Gambar 1)

sampai diperoleh hasil pengukuran yang sama. Berdasarkan cara tuning tersebut sampai diperoleh perbedaan pengukuran yang cukup kecil dan hasil rata-rata perbedaan pengukuran sebesar 0,6 % (Kyoritsu KEW 1011 sebagai referensi).

Kerja rele diuji dengan memberikan input HIGH dan LOW pada rele dari pin 4 Arduino Nano. Input *HIGH* pada rele menyebabkan kontak NO dengan CC terhubung, sebaliknya input *LOW* kontak NO dan CC terbuka. Sesuai dengan algoritma sistem proteksi rele akan diperintah oleh Arduino Nano untuk on apabila syarat operasi SMI terpenuhi yaitu waktu operasi dari pukul 06.00 – 18.00 WITA dan tegangan DC yang diterima SMI lebih besar dari 25 Volt.

SDCard menyimpan data operasi sistem proteksi tegangan. Data yang disimpan adalah waktu operasi rele dan tegangan input SMI. Library yang digunakan pada program Arduino IDE untuk modul SDCard adalah SD.h dan SPI.h. Dua library ini memungkinkan program untuk membaca dan menulis pada SDCard. Kapasitas SDCard adalah 4 GB.

*Real time clock* (DS3231) merupakan modul jam yang mempunyai akurasi yang tinggi. Library untuk DS3231 pada program Arduino IDE adalah RTCLib.h dan Wire.h. DS3231 perlu disetting sesuai dengan waktu lokal sebelum digunakan. Setting waktu DS3231 menggunakan waktu lokal yaitu Waktu Indonesia Bagian Tengah (WITA).

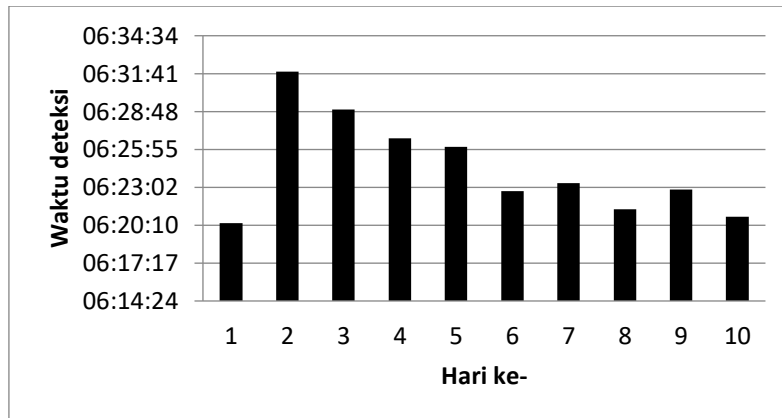
Setelah kalibrasi tegangan, uji fungsi rele, uji fungsi modul SDCard, dan setting DS3231, kemudian dilakukan pemantauan operasi sistem proteksi tegangan pada SMI. Pengamatan operasi kerja sistem proteksi tegangan dilakukan selama 10 hari dari hari/tanggal Sabtu, 12 Agustus – Senin, 21 Agustus 2023. Hasil kerja sistem proteksi tegangan pada SMI selama 10 hari tersebut ditampilkan pada Tabel 4.

**Tabel 4. Operasi Sistem Proteksi Tegangan pada SMI**

H a r i k e	Deteksi awal inverter on		PLTS sinkron ke grid		PLTS lepas dari grid	
	Pukul (WITA)	Teg. (V)	Pukul (WITA)	Teg. (V)	Pukul (WITA)	Teg. (V)
1	6:20:18	25,00	6:37:01	33,6 0	18:00:00	31,82
2	6:31:50	25,00	8:34:07	38,0 4	17:59:59	13,84
3	6:28:58	25,00	6:47:44	34,8 8	18:00:00	18,19
4	6:26:46	25,00	6:39:09	33,4 0	18:00:00	30,93
5	6:26:08	25,00	6:46:32	33,4 0	18:00:00	27,77
6	6:22:45	25,00	6:34:46	33,5 0	18:00:00	32,56
7	6:23:21	25,00	6:34:00	33,6 5	18:00:00	32,36
8	6:21:22	25,00	6:32:23	33,8 0	17:59:36	12,21

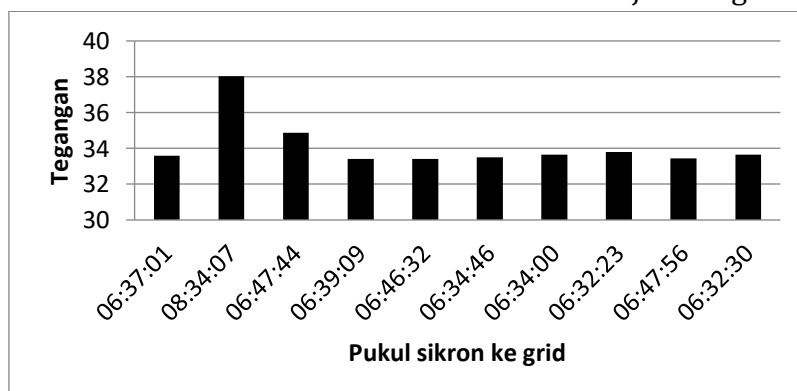
9	6:22:51	25,00	6:47:56	33,4 5	18:00:00	31,77
1 0	6:20:48	25,00	6:32:30	33,6 5	18:00:00	32,86

Tabel 4 menunjukkan deteksi tegangan input SMI lebih besar dari 25 Volt tidak serta merta SMI bisa langsung sinkron ke grid. Waktu deteksi tegangan 25 Volt selama 10 hari ditunjukkan pada grafik Gambar 4.



Gambar 4. Deteksi tegangan input DC 25 V pada inverter

SMI membutuhkan waktu untuk dapat sinkron ke grid. Rentang waktu SMI sinkron ke grid dari deteksi awal tegangan yang diterima SMI  $\geq 25$  Volt adalah 10 menit 39 detik sampai dengan 2 jam 2 menit dan 17 detik, sehingga rata-rata waktu untuk sinkron adalah 26 menit dan 6 detik. Gambar 5 menunjukkan grafik pukul sinkron SMI ke grid.



Gambar 5. Pukul sinkron SMI ke grid hari ke-1 sampai ke-10

SMI lepas dari grid sebagian besar pada pukul 18.00 WITA, hal ini menunjukkan periode bulan Agustus 2023 energi matahari masih cukup untuk menghasilkan daya sampai pukul 18.00 WITA. SMI keluar dari grid bukan karena tegangan yang diterima SMI lebih kecil dari 25 Volt tetapi karena setting waktu keluar SMI dari grid terpenuhi yaitu pukul 18.00 WITA.

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian kuat tekan, densitas, daya serap air paving block, maka dapat diambil kesimpulan bahwa paving block dengan penggantian semen sebesar 10% dan 20% menggunakan fly ash dan 0,2% serat kelapa ternyata dapat meningkatkan sifat mekanik dan fisik paving block. Paving block yang dibuat memenuhi standar mutu C.

## 5. DAFTAR REFERENSI

1. Alfian, M. R., Nrartha, I. M. A., & Zubaidah, T. (2022). ANFIS-based MPPT Controller Design on Boost Converter to Improve Photovoltaic System Performance. *Dielektrika*, 9(2), 88–97. <https://doi.org/https://doi.org/10.29303/dielektrika.v9i2.310>
2. Alik, R., & Jusoh, A. (2017). Modified Perturb and Observe (P&O) with checking algorithm under various solar irradiation. *Solar Energy*, 148, 128–139. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.03.064>
3. Ashique, R. H., Salam, Z., Bin Abdul Aziz, M. J., & Bhatti, A. R. (2017). Integrated photovoltaic-grid dc fast charging system for electric vehicle: A review of the architecture and control. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 1243–1257. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.245>
4. Asoh, D. A., & Chia, L. N. (2022). Design and Implementation of an Automatic Over/Undervoltage Protection System for Single-Phase Low Voltage Power Lines. *Journal of Power and Energy Engineering*, 10(08), 12–25. <https://doi.org/10.4236/jpee.2022.108002>
5. Kamaludin, A., Prasetia, H., & Nugroho, Y. (2020). Implementation of GOOSE for overcurrent relays with non-cascade scheme in medium voltage switchgear as breaker failure and busbar protection system. *Proceeding - 2nd International Conference on Technology and Policy in Electric Power and Energy, ICT-PEP 2020*, 3, 179–182. <https://doi.org/10.1109/ICT-PEP50916.2020.9249907>
6. Majid, N. I., Prasetia, H., & Nopriansyah, A. (2019). Mitigation of Communication Failures on Line Current Differential Relays by adding Automatic Function Switching Logic to Improve Protection System Reliability, Study Case in PT PLN (Persero). *Proceedings of the 2nd International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems: Towards Sustainable and Reliable Power Delivery, ICHVEPS 2019*, 227–229. <https://doi.org/10.1109/ICHVEPS47643.2019.9011117>
7. Manditereza, P. T. (2020). Integrated busbar, transformer and feeder backup protection based on wide area voltage measurements. *Proceedings - 2020 International Conference on Smart Grids and Energy Systems, SGENS 2020*, 128–132. <https://doi.org/10.1109/SGES51519.2020.00030>
8. Ministry Of Energy and Mineral Resources Indonesia. (2021). Rencana Strategis Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral 2020-2024. *Program Kerja*, 1–168.
9. Mohapatra, A., Nayak, B., & Mohanty, K. (2016). *Performance Improvement in MPPT of SPV System using NN controller under fast changing Environmental condition*. <https://doi.org/10.1109/ICPES.2016.7584159>
10. Nrartha, I. M. A., Ginarsa, I. M., & Muljono, A. B. (2023). Proceedings of the First Mandalika International Multi-Conference on Science and Engineering 2022, MIMSE 2022 (Mechanical and Electrical). In *Proceedings of the First Mandalika International Multi-Conference on Science and Engineering 2022, MIMSE 2022 (Mechanical and Electrical)*. Atlantis Press International BV. <https://doi.org/10.2991/978-94-6463-078-7>
11. Nrartha, I. M. A., Ginarsa, I. M., Muljono, A. B., Sultan, Sri Adnyani, I. A., Bilad, M. R., & Abid, M. (2023). Improvement of Rooftop Solar Panels Efficiency using Maximum Power Point Tracking Based on an Adaptive Neural Network Fuzzy Inference System. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 16(1). <https://doi.org/10.3844/ajeassp.2023.1.11>
12. Qin, H. (2018). *Input Capacitor and Over Voltage Protection Circuit Design Application Note Prepared by Leo Zhang and Hongqiang Qin. February*, 1–10.
13. Revathy, S. R., Kirubakaran, V., Rajeshwaran, M., Balasundaram, T., Sekar, V. S. C., Alghamdi, S., Rajab, B. S., Babalghith, A. O., & Anbese, E. M. (2022). Design and Analysis of ANFIS – Based MPPT Method for Solar Photovoltaic Applications. *International Journal of Photoenergy*, 2022, 9625564. <https://doi.org/10.1155/2022/9625564>
14. Saleh, A., Hadi, W., & Anwar, M. C. (2017). Desain Kontrol Maximum Power Point Traker ( Mppt ) Menggunakan Incremental Conductance ( Inc ) Pada Dc / Dc Tipe Sepic. *Semnastek*, November, 1–8. <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/view/1907>
15. Šoja, M., Lubura, S., Joki, D., & Radmanovi, M. Đ. (2009). *Design and Realisation of Over-voltage Protection in Push-pull Inverters* (Vol. 13, Issue 2).
16. SUSANA, R., ROSYIDI, K., & NATALIANA, D. (2018). Penerapan Teknik MPPT pada Modul Surya menggunakan Konverter DC-DC Topologi Synchronous Buck. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 6(3), 328. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v6i3.328>
17. T., O., T., A., Sabri, I., & I., A. (2019). Designing and Building an Over Voltage Protection System for a Smart Home. *International Journal of Computer Applications*, 178(39), 25–30. <https://doi.org/10.5120/ijca2019919276>
18. Tu, Q., Li, Y., Liu, W., Huang, M., Zeng, G., Du, B., & Wu, Z. (2018). Arm Overcurrent Protection and Coordination in MMC-HVDC. *IEEE Power and Energy Society General Meeting, 2018-Augus*. <https://doi.org/10.1109/PESGM.2018.8585924>