

## PREDIKSI DAYA KELUARAN PANEL SURYA SERI-PARALEL MELALUI METODE LINEARISASI FUNGSI TAK-LINEAR

Ersa Buyung Miranda<sup>1)</sup> dan Arief Goeritno<sup>2\*)</sup>

<sup>1)</sup>Laboratorium Instrumentasi dan Otomasi, Program Studi Teknik Elektro, Universitas Ibn Khaldun Bogor

<sup>2)</sup>Electrical Engineering Study Program, Universitas Ibn Khaldun Bogor

Jalan Sholeh Iskandar km.2 Kedungbadak, Tanah Sareal, Kota Bogor 16164, Jawa Barat, Indonesia

\*) E-mail: arief.goeritno@uika-bogor.ac.id

### Abstrak

Penempatan dan pemasangan sistem panel surya dengan modul terkonfigurasi seri-paralel sebagai salah satu bentuk optimasi pemanfaatan secara langsung energi dari sinar matahari menjadi daya listrik melalui mekanisme konversi energi. Prediksi daya keluaran panel surya seri-paralel yang terpasang dengan sudut tetap sebesar dua puluh derajat ke arah Timur Laut telah direalisasikan. Perhitungan daya keluaran sebagai karakteristik panel surya dan pembuatan persamaan regresi linear melalui linearisasi fungsi tak-linear yang dilanjutkan dengan uji validasi terhadap koefisien korelasi merupakan dua sasaran penelitian pada makalah ini. Perolehan daya keluaran merupakan hasil penghitungan berdasarkan data hasil pengukuran tegangan dan arus pada panel surya seri-paralel terpasang, dimulai dari pukul 08.00 WIB berselang 60 menit sampai pukul 15.00 WIB sebanyak 5 (lima) kali, yaitu hari pertama, kedua, ketiga, keempat, dan kelima. Panel surya terpasang dari jenis *polycrystalline* dengan daya seratus watt *peak* setiap modulnya. Perolehan nilai maksimum tegangan dan arus bervariasi, sehingga daya keluaran yang diperoleh pun juga variatif. Nilai maksimum tegangan dan arus dari lima kali pengukuran terjadi pada pukul 11.00 dan 12.00 WIB, sehingga diperoleh daya keluaran maksimum pada waktu-waktu tersebut. Berdasarkan nilai daya keluaran rata-rata dari lima kali pengukuran diperoleh persamaan berbentuk eksponensial  $y = 55,206e^{-0,002x}$ , sehingga dilakukan proses linearisasi dan diperoleh persamaan matematis berbentuk regresi linier  $y = -0,0016877 + 4,01106539x$ . Setelah proses dan pembuatan koefisien korelasi diperoleh nilai  $r$  sebesar  $-0,0940276176$ . Nilai tersebut masih dalam rentang  $-1 \leq r \leq 1$ , sehingga masih sesuai persyaratan, walau dengan kriteria sangat lemah terkait dengan keterhubungan pada persamaan regresi linear. Secara umum dapat disimpulkan, bahwa metode linearisasi fungsi tak-linear dapat digunakan sebagai salah satu alternatif untuk penentuan keterhubungan variabel tak-bebas terhadap variabel bebasnya, sedangkan untuk pencapaian kriteria keterhubungan sangat baik dipengaruhi oleh sejumlah faktor penting.

Kata Kunci: prediksi daya keluaran, panel surya seri-paralel, metode linearisasi fungsi tak-linear.

### Abstract

*Placement and installation of solar panel systems with series-parallel configured modules as a form of optimizing the direct use of energy from sunlight into electrical power through an energy conversion mechanism. The prediction of the output power of a series-parallel solar panel installed at a fixed angle of twenty degrees to the Northeast has been realized. Calculation of output power as a characteristic of solar panels and making linear regression equations through linearization of non-linear functions followed by validation tests on correlation coefficients are the two research objectives of this paper. The output power gain is the result of a calculation based on data from the measurement of voltage and current on the installed series-parallel solar panels, starting from 08.00 a.m. of WIB 60 minutes to 03.00 p.m. of WIB for 5 (five) times, namely the first, second, third, fourth, and fifth. The installed solar panels are of the polycrystalline type with one hundred watts of peak power per module. The maximum value of voltage and current varies so that the output power obtained is also varied. The maximum value of voltage and current from the five measurements occurred at 11.00 a.m. and 12.00 a.m. of WIB so the maximum output power was obtained at these times. Based on the value of the average output power of the five measurements, an exponential equation  $y = 55,206e^{-0,002x}$  is obtained, so that the linearization process is carried out and a mathematical equation is obtained in the form of linear regression  $y = -0.0016877 + 4.01106539x$ . After processing and making the correlation coefficient, the value of  $r$  is  $-0.0940276176$ . This value is still in the range of  $-1 \leq r \leq 1$ , so it is still in accordance with the requirements, although with very weak criteria related to the correlation in the linear regression equation. In general, it can be concluded that the non-linear function linearization method can be used as an alternative to determining the relationship between the dependent variable against the independent variable, while the achievement of very good connectedness criteria is influenced by a number of important factors.*

Keywords: prediction of the output power, series-parallel solar panel, method of linearization of the non-linear function.

## 1. Pendahuluan

Penelitian ini terinspirasi dan dilatarbelakangi oleh kegiatan pengabdian pada masyarakat bertemakan “Realisasi Program Holistik Pembinaan dan Pemberdayaan Desa (PHP2D): Penyediaan Air Bersih Komunal dengan Teknologi Panel Surya” yang direalisasikan dan dilaksanakan di Kampung Batu Dua, Desa Warungjaya, Kecamatan Leuwisadeng, Kabupaten Bogor, melalui pemasangan sistem panel surya yang terdiri atas empat modul sel surya, masing-masing modul berdaya keluaran sebesar seratus watt *peak* [1]. Titik koordinat pemasangan panel surya diketahui melalui aplikasi *Global Positioning System* (GPS) [2] dengan penunjukan lokasi pada 06°35'51.95”S, 106°34'29.54”E dan ketinggian lima ratus dua puluh meter di atas permukaan laut (mdpl). Panel surya dipasang permanen dengan sudut kemiringan sebesar dua puluh derajat ke arah Timur Laut. Panel surya terpasang dengan jenis *polycrystalline* yang terkonfigurasi secara seri-paralel [1]. Pemasangan panel surya sangat dipengaruhi oleh sejumlah faktor, sehingga sangat diperlukan pemahaman terhadap berbagai keterkaitan tentang hal itu [3-6]. Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, maka judul penelitian ini berkaitan dengan penempatan dan pemasangan sistem panel surya dengan empat modul terkonfigurasi seri-paralel. Hal itu merupakan salah satu bentuk optimasi pemanfaatan secara langsung energi dari sinar matahari menjadi daya listrik melalui mekanisme konversi energi. Tampak samping pemasangan panel surya [1], seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

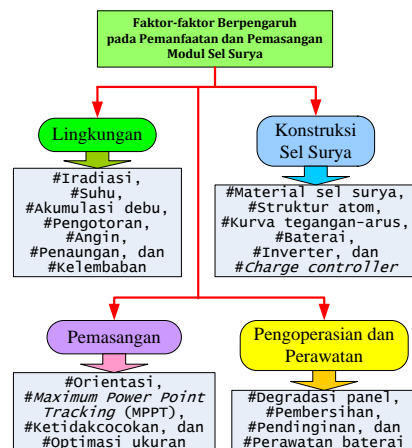


Gambar 1. Tampak samping pemasangan panel surya

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka ditetapkan *state-of-the-art* penelitian terdahulu dan terkait dengan daya keluaran panel surya terkonfigurasi seri-paralel dan pemanfaatan metode linearisasi fungsi tak-linear melalui pembuatan persamaan regresi untuk perolehan koefisien korelasi Pearson [7] dan uji validasi terhadap koefisien korelasi tersebut [8]. Sebuah perubahan energi sinar matahari menjadi daya listrik merupakan sebuah proses

berdasarkan efek *fotovoltaic* [9],[10] dengan panel surya terpasang secara tetap (permanen) [11], sehingga efisiensi panel surya merupakan hasil perhitungan berdasarkan daya yang dihasilkan dibagi dengan energi cahaya yang dikenakan pada area tertentu pada sel surya [12]. Upaya pembuktian untuk nilai efisiensi panel surya terhadap daya dihasilkan, maka panel surya dapat dirangkai secara seri-paralel. Disamping hal itu, penyusunan panel surya secara seri-paralel dengan tujuan untuk penyesuaian terhadap spesifikasi inverter terpasang [13].

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) saat ini banyak digunakan oleh masyarakat dan dikembangkan secara mandiri yang dikelola sesuai kebutuhan pada masyarakat [14]. Panel surya berperan penting dalam penghematan terhadap berbagai sumberdaya (*resource*) energi listrik di negara Indonesia dari faktor biaya dan efektivitas kerja [15], disamping faktor-faktor lain. Diagram blok faktor-faktor berpengaruh pada pemanfaatan dan pemasangan modul sel surya [16], seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram blok faktor-faktor berpengaruh pada pemanfaatan dan pemasangan modul sel surya

Berdasarkan Gambar 2 dapat dijelaskan faktor-faktor berpengaruh pada saat pemanfaatan dan pemasangan modul atau sekelompok modul (panel) sel surya yang meliputi faktor (i) lingkungan, (ii) konstruksi, (ii) pemasangan, dan (iv) pengoperasian dan perawatan. Faktor lingkungan meliputi iradiasi, suhu, akumulasi debu, pengotoran, angin, penaungan, dan kelembaban. Faktor konstruksi meliputi material sel surya, struktur atom, kurva tegangan-arus (V-I), baterai, inverter, dan *charge controller*. Faktor pemasangan meliputi orientasi, *maximum power point tracking* (MPPT), ketidakcocokan, dan optimasi ukuran. Faktor pengoperasian dan perawatan meliputi penurunan panel, pembersihan, pendinginan, dan perawatan baterai [16].

Sistem kelistrikan yang digunakan pada penggunaan PLTS melalui sistem *off-grid*, karena dapat dijadikan media alternatif untuk daerah-daerah perdesaan [17]. Hal itu merupakan bentuk antisipasi terhadap lingkungan yang berubah-ubah, sehingga dapat berpengaruh terhadap daya keluaran dari panel surya yang juga ikut berfluktuasi [18]. Pemanfaatan panel surya sangat penting untuk suatu permasalahan yang terdapat di lingkungan masyarakat, karena keberadaan sinar matahari tersedia dalam jumlah sangat besar, tersedia dalam waktu tidak terbatas, dan ramah lingkungan [19]. Pemakaian panel surya merupakan upaya pengurangan gas emisi efek rumah kaca dan sebagai bentuk energi alternatif [20]. Pemanfaatan panel surya sebagai upaya untuk minimalisasi penggunaan sumber listrik konvensional [21]. Berdasarkan alasan tersebut, maka pemanfaatan panel surya merupakan solusi tepat guna [22]. Pemanfaatan panel surya untuk berbagai keperluan rumah tangga [23], sehingga keniscayaan terhadap hal itu menjadikan daya listrik dari panel surya [24] juga dimanfaatkan oleh masyarakat di Kampung Batu Dua, Desa Wangun Jaya, Kecamatan Leuwisadeng, Kabupaten Bogor [1].

Penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan penggunaan metode regresi sederhana digunakan untuk prediksi kebutuhan air bersih di daerah kota Madiun berdasarkan jumlah penduduk [25]. Metode regresi tersebut dapat digunakan untuk prediksi perolehan data daya keluaran dari panel surya dengan kondisi berbeda-beda, sehingga dilakukan proses linearisasi fungsi tak-linear dengan penggambaran sebagai suatu hubungan satu *variable* bebas/*predictor* ( $x$ ) dengan suatu *variable* tak bebas (*response variable*,  $y$ ). Penggunaan proses linearisasi fungsi tak-linear dapat diperoleh dua buah bentuk kurva, yaitu kurva eksponensial dengan nilai berubah-ubah dan kurva linear yang ditandai dengan garis lurus [9],[8].

Sejumlah uraian *state-of-the-art* tersebut sebagai petunjuk, bahwa panel surya dapat menjadi alternatif untuk prasarana yang digunakan sebagai salah satu solusi penghasil daya listrik, sekaligus merupakan bentuk pemanfaatan secara langsung energi baru-terbarukan (EBT). Berdasarkan hal itu, maka rumusan masalah pada penelitian ini berupa panel surya sebagai implementasi pemanfaatan EBT yang ramah lingkungan dan dapat digunakan pada lingkungan masyarakat. Daya keluaran panel surya terkonfigurasi seri-paralel merupakan hasil perkalian antara tegangan dan arus terukur. Pelaksanaan pengukuran terhadap nilai tegangan dan arus pada terminal keluaran panel surya dilakukan selama lima hari dengan waktu pengukuran dimulai dari pukul 08.00, berselang 60 menit sampai pukul 15.00. Pengolahan terhadap data hasil pengukuran, berupa penghitungan untuk perolehan nilai daya keluaran. Berdasarkan data nilai daya keluaran, selanjutnya diproses untuk perolehan fungsi eksponensial, agar dapat dihasilkan sebuah persamaan regresi linear. Pentahapan

akhir berupa uji validasi terhadap koefisien korelasi yang diperoleh. Pendekatan melalui penggunaan metode linearisasi fungsi tak-linear merupakan cara alternatif yang dapat dipilih.

Berpedomana kepada uraian rumusan masalah tersebut, maka dapat diprediksi daya keluaran panel surya seri-paralel dengan penggunaan metode linearisasi fungsi tak-linear, sehingga diperoleh persamaan regresi linear sebagai pedoman. Sasaran penelitian ini, yaitu (i) mengukur tegangan-arus dan perhitungan daya keluaran dan (ii) membuat persamaan regresi linear dan menguji kevalidannya. Pencapaian sasaran penelitian pertama terkait dengan hasil pengukuran tegangan dan arus dan perhitungan terhadap daya keluaran, sedangkan untuk pencapaian sasaran penelitian kedua sangat dipengaruhi oleh hasil analisis dan uji validasi.

## 2. Metode Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan pada perancangan pemanfaatan panel surya seri-paralel, meliputi (i) Panel Surya *polycrystalline* ST SOLAR 100 WP, (ii) Baterai VOZ 12 V 100 AH, (iii) Inverter KENIKA 1000 W, (iv) *Solar Charge Control* (SCC) tipe STEC SYP-3007, (v) multimeter KYORITSU KEW SNAP 2046R, dan (vii) panel listrik dengan perangkat kelengkapan.

Pengukuran terhadap nilai tegangan-arus dilakukan dengan tahapan yang meliputi pengukuran tegangan rangkaian terbuka (*open circuit voltage*,  $V_{oc}$ ) dan arus rangkaian hubung singkat (*short circuit current*,  $I_{sc}$ ) dimulai dari pukul 08.00 dan berselang 60 menit sampai pukul 15.00 WIB. Multimeter KYORITSU KEW SNAP 2046R digunakan untuk pengukuran tegangan-arus pada *solar charge control*. Pengukuran tegangan-arus panel surya, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengukuran tegangan-arus panel surya

Berdasarkan pelaksanaan pengukuran seperti pada Gambar 4, maka diperoleh sejumlah nilai tegangan dan arus.

Tahapan selanjutnya berupa penghitungan daya keluaran. Penghitungan daya keluaran, digunakan, seperti ditunjukkan pada persamaan (1) [26].

$$P = V \cdot I \quad (1),$$

dengan  $P$  = daya, [watt];  $V$  = tegangan, [volt]; dan  $I$  = arus, [ampere].

Daya keluaran hasil penghitungan, selanjutnya dianalisis dengan metode linearisasi fungsi tak-linear dan uji validasi terhadap koefisien korelasi. Sejumlah persamaan digunakan pada proses-proses tersebut.

Untuk analisis proses linearisasi fungsi tak-linear digunakan persamaan (2) sampai (6) [9],[8].

$$b = \frac{n \cdot (\sum_{i=1}^n x_i z_i) - (\sum_{i=1}^n x_i) \cdot (\sum_{i=1}^n z_i)}{n \cdot (\sum_{i=1}^n x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad (2),$$

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n z_i - b \cdot (\sum_{i=1}^n x_i)}{n} \quad (3),$$

$$a = e^A \quad (4),$$

$$g(x) = ae^{bx} \quad (5),$$

$$y = b + Ax \quad (6).$$

dengan:

$y_i$  = garis regresi (*variable of response*),

$b$  = konstanta *intercep*,

$A$  = konstanta *slope*,

$x_i$  = variabel bebas (*predictor*),

$e$  = bilangan eksponensial, dan

$n$  = jumlah data.

Untuk uji validasi terhadap koefisien korelasi digunakan persamaan (7) [9],[8].

$$r = \frac{n \cdot (\sum_{i=1}^n x_i y_i) - (\sum_{i=1}^n x_i) \cdot (\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{[n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2] \cdot [n \cdot \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}} \quad (7),$$

dengan:

$r$  = koefisien korelasi,

$n$  = jumlah data.

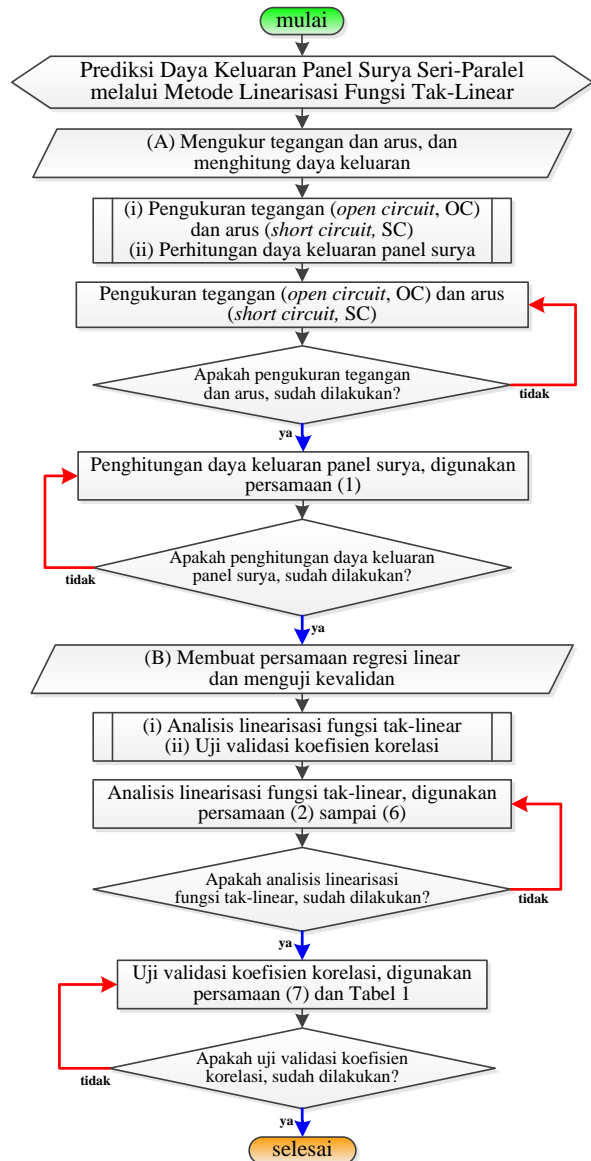
Setelah perolehan nilai koefisien korelasi, maka dilakukan penetapan akhir melalui konversi terhadap koefisien korelasi, agar terkriteriasi. Kriteria nilai koefisien korelasi, seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kriteria nilai koefisien korelasi ( $r$ )

Nilai Koefisien Korelasi, $r$		Kriteria
$r = 0,2$	atau $r = -0,2$	Hubungan sangat lemah
$0,2 < r < 0,4$	atau $-0,2 > r > -0,4$	Hubungan lemah
$0,4 < r < 0,7$	atau $-0,4 > r > -0,7$	Hubungan cukup kuat
$0,7 < r < 0,9$	atau $-0,7 > r > -0,9$	Hubungan kuat
$0,9 < r <= 1,0$	atau $-0,9 > r >= -1,0$	Hubungan sangat kuat

Berdasarkan Tabel 1 dapat dijelaskan, bahwa tingkat keterhubungan diklasifikasikan ke dalam 5 macam kategori.

Metode penelitian diwujudkan dalam bentuk algoritma jenis diagram alir sebagaimana beberapa penelitian sebelumnya yang merupakan gambaran langkah-langkah dari seorang peneliti untuk pencapaian sasaran penelitian melalui keberadaan batasan masalah [27-31]. Metode penelitian berbentuk diagram alir, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



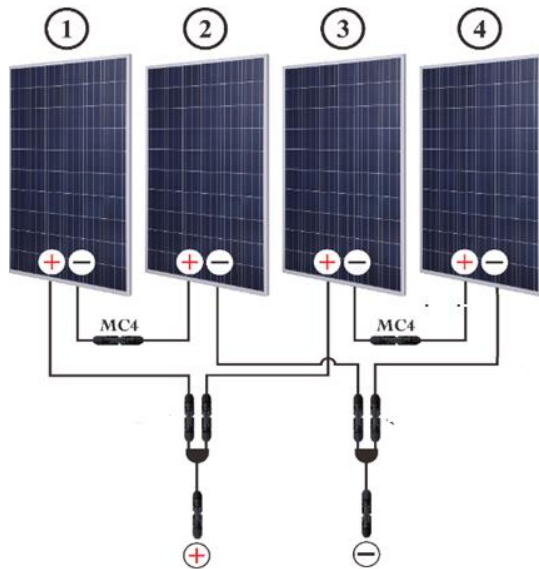
Gambar 4. Metode penelitian berbentuk diagram alir

Berdasarkan Gambar 4 dapat dijelaskan, bahwa penelitian ini meliputi dua sasaran dengan perolehan masing-masing sasaran penelitian, melalui sejumlah tahapan.



### 3. Hasil dan Pembahasan

Konfigurasi panel surya terpasang dihubungkan secara seri-paralel untuk perolehan nilai tegangan minimum ( $V_{min}$ ) yang diizinkan pada sistem inverter terpasang. Panel surya terkonfigurasi seri-paralel, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Panel surya terkonfigurasi seri-paralel

Berdasarkan Gambar 5 ditunjukkan, bahwa terdapat empat panel surya dengan jenis *polycrystalline*. Untuk pencapaian konfigurasi panel surya seri-paralel dilakukan melalui (i) pengkoneksian secara seri melalui MC4 “2-in-1” kutub negatif panel surya #1 ke kutub positif panel surya #2, (ii) pengkoneksian secara seri melalui konektor MC4 “2-in-1” kutub negatif panel surya #3 ke kutub positif panel surya #4, (iii) pengkoneksian secara paralel kutub positif panel surya #1 dan kutub positif panel surya #3 dengan penggunaan MC4 “2-in-1”, dan (iv) pengkoneksian secara paralel kutub negatif panel surya #2 dan kutub negatif panel surya #4 dengan penggunaan MC4 “2-in-1”. Keluaran dari konektor MC4 “2-in-1” pada kutub positif maupun negatif dihubungkan ke *Solar Charge Control* (SCC).

#### 3.1. Nilai Tegangan-Arus Terukur dan Penghitungan Daya Keluaran

##### 3.1.1. Pengukuran $V_{oc}$ dan $I_{sc}$

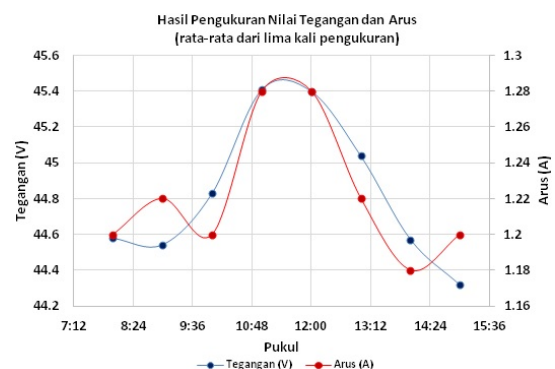
Penjelasan terkait dengan hasil, meliputi pengukuran *voltage open circuit* dan *short circuit current* yang dilakukan mulai pukul 08.00 WIB berselang 60 menit sampai pukul 15.00 WIB. Nilai tegangan dan arus pada panel surya seri-paralel terpasang sesuai lima kali waktu pengukuran, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai tegangan dan arus pada panel surya seri-paralel terpasang sesuai lima kali waktu pengukuran

Pengukuran $V_{oc}$ dan $I_{sc}$ pada pukul						
Pengukuran	08.00 WIB			09.00 WIB		
	Suhu (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)	Suhu (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)
1	31	45,02	1,2	32	44,54	1,3
2	30	44,07	1,1	30	44,15	1,1
3	29	44,01	1,2	29	44,20	1,2
4	30	44,67	1,2	30	44,50	1,2
5	29	45,13	1,3	29	45,33	1,3
Rata-rata	29,8	44,58	1,2	30	44,544	1,22
10.00 WIB						
Pengukuran	10.00 WIB			11.00 WIB		
	Suhu (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)	Suhu (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)
1	30	45,02	1,3	30	45,37	1,2
2	30	44,23	1,1	31	45,01	1,2
3	29	44,61	1,2	30	45,05	1,3
4	30	45,01	1,2	31	46,07	1,3
5	29	45,29	1,2	30	45,55	1,4
Rata-rata	29,6	44,832	1,2	30,4	45,41	1,28
12.00 WIB						
Pengukuran	12.00 WIB			13.00 WIB		
	Suhu (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)	Suhu (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)
1	31	46,70	1,3	30	45,40	1,2
2	31	45,12	1,2	30	45,00	1,2
3	30	45,23	1,3	30	45,01	1,3
4	31	45,82	1,2	30	44,76	1,2
5	31	44,13	1,4	29	45,02	1,2
Rata-rata	30,8	45,4	1,28	29,8	45,038	1,22
14.00 WIB						
Pengukuran	14.00 WIB			15.00 WIB		
	Suhu (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)	Suhu (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)
1	30	45,20	1,2	29	44,09	1,2
2	29	44,32	1,1	30	44,70	1,1
3	29	43,72	1,2	29	43,70	1,2
4	29	44,13	1,1	30	44,39	1,2
5	30	45,49	1,3	29	44,71	1,3
Rata-rata	29,4	44,572	1,18	29,4	44,318	1,2

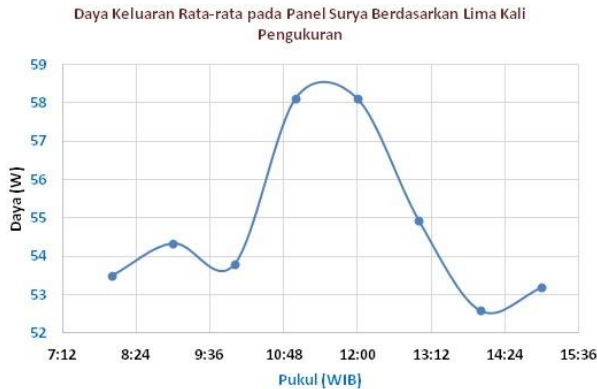
Berdasarkan Tabel 2 dapat dijelaskan, bahwa nilai tegangan dan arus terukur pada baris rata-rata dengan nilai maksimum, terjadi pada pukul 11.00 dan 12.00 WIB.

Kurva hubungan waktu (pukul) pengukuran dan tegangan (volt) dan arus (ampere) rata-rata dari lima kali pengukuran, seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Kurva hubungan waktu (pukul) dan tegangan (volt) dan arus (ampere) rata-rata dari lima kali pengukuran

Kurva hubungan waktu (pukul) pengukuran dan daya keluaran rata-rata dari lima kali pengukuran, seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Kurva hubungan waktu (pukul) pengukuran dan daya keluaran rata-rata dari lima kali pengukuran

Berdasarkan Gambar 6 dan Gambar 7 dapat dijelaskan, bahwa tampilan kurva tegangan, arus, dan daya keluaran secara rata-rata dari lima kali pengukuran. Tegangan, arus, dan daya keluaran maksimum terjadi pada kisaran antara pukul 11.00 dan 12.00 WIB.

### 3.1.2. Penghitungan daya keluaran

Penjelasan terkait dengan hasil, meliputi perhitungan yang diperoleh dari hasil pengukuran  $V_{oc}$  dan  $I_{sc}$  berbantuan persamaan (1). Hasil penghitungan nilai daya keluaran rata-rata dari lima kali pengukuran, seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil penghitungan nilai daya keluaran rata-rata dari lima kali pengukuran

Waktu (WIB)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
08.00	44,58	1,2	53,496
09.00	44,544	1,22	54,343
10.00	44,832	1,2	53,798
11.00	45,41	1,28	58,124
12.00	45,4	1,28	58,112
13.00	45,038	1,22	54,946
14.00	44,572	1,18	52,594
15.00	44,318	1,2	53,181

Berdasarkan Tabel 3 dapat dijelaskan, bahwa daya keluaran rata-rata maksimum yang diperoleh, sehingga dapat dibuat kurva perbandingan daya keluaran.

## 3.2. Persamaan Regresi Linear dan Uji Validasi terhadap Koefisien Korelasi

Persamaan regresi linear dan uji validasi terhadap hasil perolehan persamaan regresi linear merupakan dua bahasan pada subbab ini yang berkaitan dengan sasaran penelitian kedua.

### 3.2.1. Pembuatan persamaan regresi linear

Tahapan pembuatan persamaan regresi linear merupakan upaya yang dilakukan melalui linearisasi fungsi tak-linear. Nilai daya keluaran terhitung pada panel surya terkonfigurasi secara seri-paralel yang digunakan untuk perolehan nilai regresi. Sejumlah variabel untuk pembuatan persamaan untuk proses linearisasi fungsi tak-linear, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Sejumlah variabel untuk pembuatan persamaan regresi melalui proses linearisasi fungsi tak-linear

No.	$x_i$	$y_i$	$z_i = \ln y_i$	$x_i \cdot z_i$	$x_i^2$
1	1	53,496	3,9796	3,979606885	1
2	2	54,343	3,9953	7,990631621	4
3	3	53,798	3,9852	11,95570888	9
4	4	58,124	4,0626	16,25031464	16
5	5	58,112	4,0624	20,31186091	25
6	6	54,946	4,0064	24,03810531	36
7	7	52,594	3,9626	27,73821431	49
8	8	53,181	3,9737	31,78960952	64
$\Sigma$	36	438,594	32,02776395	144,0540521	204

Berdasarkan Tabel 4 ditunjukkan, bahwa hasil penghitungan nilai  $x_i$  diperoleh sebesar 36, nilai  $y_i$  diperoleh sebesar 438,549, nilai  $z_i = \ln y_i$  diperoleh sebesar 32,02776395, nilai  $x_i \cdot z_i$  diperoleh sebesar 144,0540521, nilai  $x_i^2$  diperoleh sebesar 204, dan nilai  $n$  diperoleh 8. Penghitungan untuk perolehan konstanta *intercept*, konstanta *slope*, dan garis regresi sesuai tahapan yang ditentukan pada proses pembentukan persamaan regresi linear melalui linearisasi fungsi tak-linear.

$$b = \frac{8 \cdot (144,0540521) - (36) \cdot (32,02776395)}{8 \cdot (204) - (36)^2}$$

$$b = \frac{1.152,432417 - 1.152,999502}{1.632 - 1.296} = \frac{-0,567085}{336}$$

$$b = -0,001687755 \cong 0,002$$

$$A = \frac{32,02776395 - (-0,001687755) \cdot 36}{8}$$

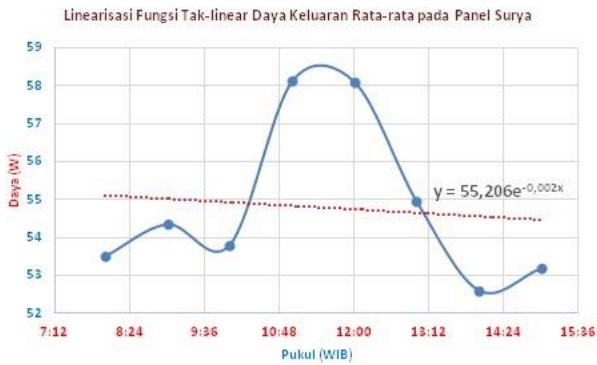
$$A = 4,01106539$$

$$a = \text{eksponensial}^{4,01106539}$$

$$a = 55,20565477$$

$$g(x) = 55,206e^{-0,002x}$$

Linearisasi terhadap nilai daya keluaran hasil perhitungan berdasarkan lima kali pengukuran berupa kurva tidak-linear dan garis linear dari persamaan regresi linear. Kurva linear melalui proses linearisasi fungsi tak-linear, seperti ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Kurva linear melalui proses linearisasi fungsi tak-linear

Berdasarkan Gambar 8 ditunjukkan, bahwa eksponensial ditandai dengan garis warna biru, dan linearisasi ditandai dengan garis warna merah putus-putus dengan nilai  $y = 55,206e^{-0,002x}$ , sehingga dilakukan konversi dan diperoleh persamaan regresi linear, yaitu  $y = -0,001687775 + 4,01106539x$ .

### 3.2.2. Uji validasi terhadap koefisien korelasi

Persamaan regresi linear hasil penghitungan perlu dilakukan uji validasi terhadap keterikatan antara variabel tak-bebas ( $y$ ) dan variabel bebas ( $x$ ). Pembuatan persamaan koefisien korelasi berdasarkan sejumlah data. Proses dan hasil pembuatan koefisien korelasi, seperti ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Proses dan hasil pembuatan koefisien korelasi

Pembuatan Koefisien Korelasi					
No.	$x$	$y$	$x^2$	$y^2$	$xy$
1	1	53,496	1	2861,822016	53,496
2	2	54,343	4	2953,161649	108,69
3	3	53,798	9	2894,224804	161,39
4	4	58,124	16	3378,399376	232,5
5	5	58,112	25	3377,004544	290,56
6	6	54,946	36	3019,062916	329,68
7	7	52,594	49	2766,128836	368,16
8	8	53,181	64	2828,218761	425,45
$\Sigma$	36	438,594	204	24078,0229	1970

Berdasarkan Tabel 5 ditunjukkan, bahwa penghitungan terhadap nilai variabel  $x$  diperoleh sebesar 36, nilai variabel  $y$  diperoleh sebesar 438,594, penghitungan terhadap nilai  $x^2$  diperoleh sebesar 204, penghitungan terhadap nilai  $y^2$  diperoleh sebesar 24078,0229, penghitungan terhadap nilai  $xy$  diperoleh sebesar 1970, dan nilai  $n$  diperoleh hasil sebesar 8. Perhitungan untuk perolehan nilai koefisien korelasi " $r$ " digunakan persamaan (7), sehingga diperoleh:

$$r = \frac{8.(1970) - (36).(438,549)}{\sqrt{[(8.204) - 1296].[24078,0229 - 192.364,697]}}$$

$$r = \frac{15.760 - 15.787,764}{\sqrt{[1632 - 1296].[192.624,183 - 192.364,697]}}$$

$$r = \frac{-27,764}{\sqrt{336.259,486}}$$

$$r = \frac{-27,764}{18,3303028.16,1085691}$$

$$r = \frac{-27,764}{295,274949}$$

$$r = -0,0940276176.$$

Perolehan nilai  $r$  sebesar  $-0,0940276176$  melalui beberapa langkah tersebut sebagai penunjuk, bahwa nilai koefisien korelasi sesuai dengan keterhubungan yang dipersyaratkan, yaitu bernilai di antara  $-1$  dan  $1$  atau  $-1 \leq r \leq 1$ . Berdasarkan hal itu, terdapat keterhubungan variabel bebas  $x$  dengan garis regresi  $y$ . Nilai sebesar  $-0,0940276176$  bermakna, bahwa walau terdapat keterhubungan regresi dengan pemenuhan syarat batas, namun keterhubungan regresi tersebut sangat lemah. Kelemahan tersebut terjadi, karena keterhubungan yang diamati hanya sebatas kepada parameter waktu pengukuran saja, sedangkan daya keluaran pada panel surya jenis *polycrystalline* sangat dipengaruhi oleh sejumlah parameter penting, seperti lingkungan, konstruksi, pemasangan, dan pengoperasian dan perawatan yang meliputi sejumlah subfaktor pada masing-masing faktor tersebut.

## 4. Kesimpulan

Berpedoman kepada hasil dan pembahasan yang didasarkan kepada sasaran penelitian, maka dapat ditarik sejumlah kesimpulan. Panel surya terpasang terkonfigurasi secara seri-paralel dengan tujuan untuk perolehan nilai tegangan minimum ( $V_{min}$ ) yang dapat disesuaikan dengan sistem inverter terpasang. Perolehan hasil pengukuran terhadap tegangan dan arus bervariasi pada pukul 08.00 sampai 15.00 WIB dengan selang waktu satu jam untuk perhitungan daya keluaran rata-rata panel surya dengan penggunaan persamaan umum dan diperoleh daya maksimum pada pukul 11.00 WIB sampai pukul 13.00 WIB. Garis hasil linierisasi fungsi tak-linear diperoleh persamaan  $y = 55,206e^{-0,002x}$  atau dikonversi menjadi persamaan regresi linear, yaitu  $y = -0,001687775 + 4,01106539x$ . Uji validasi terhadap persamaan regresi linear yang diperoleh sesuai dengan persyaratan keterhubungan, yaitu berupa nilai koefisien korelasi ( $r$ ) pada rentang  $-1 \leq r \leq 1$ , sehingga syarat keterhubungan terpenuhi, tetapi dengan kriteria keterhubungan sangat lemah. Keterhubungan daya keluaran panel surya jenis tidak hanya didasarkan kepada parameter waktu pengukuran saja, tetapi banyak dipengaruhi oleh sejumlah parameter.

## Referensi

- [1]. H.E. Mujahidin, D. Supriadi, A. Asnifatima, F. Muliawati, F. Hariati, S. Yuandita, A.R. Mahmudah, A.A. Putri, A.F. Wicaksono, A.A. Muadah, A.R.S. Nudin, D. Setiawan, E.B. Miranda, F.A. Pratama, H. Fauziah, K.A. Anandari, M. Rohim, Nurrohimah, R.I. Azzahra, dan R.M. Hasanah, "Buku Panduan Realisasi Program Holistik Pembinaan Dan Pemberdayaan Desa (PHP2D): Penyediaan Air Bersih Komunal Dengan Teknologi Panel Surya". UIKA PRESS, Cetakan ke-1 Desember 2021. Bogor.
- [2]. K. Khomsin, K. Syaputra, and D.G. Pratomo. (2019). Aplikasi Global Positioning System (GPS) dan Co-Tidal Untuk Pengamatan Nilai Tinggi Muka Air Laut di Perairan Laut Jawa, *Geoid*. 2019; 14(2): 103-110. Available: <https://iptek.its.ac.id/index.php/geoid/article/download/3959/3923>
- [3]. A. Chatterjee, A. Keyhani, and D. Kapoor. Identification of Photovoltaic Source Models. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 2011; 26(3): 883-889. Available: <https://dx.doi.org/10.1109/tec.2011.2159268>
- [4]. K. Soga, and H. Akasaka. Influences of Solar Incident Angle on Power Generation Efficiency of PV Modules under Field Conditions. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*. 2003; 2(2): b43–b48. Available: <https://dx.doi.org/10.3130/jaabe.2.b43>
- [5]. A.H. Arab, B. Taghezouit, K. Abdeladim, S. Semaoui, A. Razagui, A. Gherbi, S. Boulahciche, and I.H. Mahammed. Maximum power output performance modeling of solar photovoltaic modules. *Energy Reports*. 2019; 6(1): 680-686. Available: <https://dx.doi.org/10.1016/j.egyr.2019.09.049>
- [6]. Dhimish, M., Tyrrell, A.M. Power loss and hotspot analysis for photovoltaic modules affected by potential induced degradation. *npj Materials Degradation* 2022; 6(11): 1-8. Available: <https://dx.doi.org/10.1038/s41529-022-00221-9>
- [7]. B. Ratner. The correlation coefficient: Its values range between +1/-1, or do they? *Journal of Targeting, Measurement and Analysis for Marketing*. 2009; 17(2): 139–142. Available: <https://dx.doi.org/10.1057/jt.2009.5>
- [8]. U.A. Haug, and D.H. Irvine. The Use of Correlation Coefficients in Test Validation. *Higher Education*. 1987; 16(1): 33–36. Available: <http://www.jstor.org/stable/3446943>
- [9]. I.-S. Kim, M.-B. Kim, and M.-J. Youn. New Maximum Power Point Tracker Using Sliding-Mode Observer for Estimation of Solar Array Current in the Grid-Connected Photovoltaic System. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 2006; 53(4): 1027–1035. Available: <https://dx.doi.org/10.1109/tie.2006.878331>
- [10]. B.H. Purwoto, Jatmiko, M. Aliful, dan I.F. Huda. Efisiensi Penggunaan Panel Surya sebagai Sumber Energi Alternatif. *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*. 2018; 18(1): 10-14. Tersedia: <https://journals.ums.ac.id/index.php/emitor/article/view/6251/3914>
- [11]. M. Nurdiabsyah, E.C. Sinurat, M. Bakri, I. Ahmad, dan A.B. Prasetyo. (2020, Desember). Sistem Kendali Rotasi Matahari pada Panel Surya Berbasis Arduino Uno. *JTIKOM*. 2020; 1(2): 40-45. Tersedia: <http://jim.teknokrat.ac.id/index.php/jtikom/article/view/14/171>
- [12]. W. Xiao, M.G.J. Lind, W.G. Dunford, and A. Capel. (2006). Real-Time Identification of Optimal Operating Points in Photovoltaic Power Systems. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 2006; 53(4): 1017–1026. Available: <https://dx.doi.org/10.1109/tie.2006.878355>
- [13]. K. Ramadhani, dan S. Akhlus. Pengaruh Hubungan Seri-Paralel Pada Rangkaian Sel Surya Pewarna Tersensitisasi (SSPT) Terhadap Efisiensi Konversi Energi Listrik. *Prosiding KIMIA FMIPA – ITS*. [Online]. Tersedia: [http://digilib.its.ac.id/public/ITS-Undergraduate-9178-1405100053-Abstract\\_id.pdf](http://digilib.its.ac.id/public/ITS-Undergraduate-9178-1405100053-Abstract_id.pdf)
- [14]. M.Y. Pohan, D. Pinayungan, M.F. Zambak, S. Hardi, Suwarno, Rohana, dan E. Warman. Analisa Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya pada Rumah Tinggal di Pondok 6. *Seminar of Social Sciences Engineering & Humaniora*. 2020; 1: 335-341. Tersedia: <https://jurnal.pancabudi.ac.id/index.php/scenario/article/view/1205/1077>
- [15]. R. Kango, Hadiyanto, Suhaedi, dan Ihsan. Pemanfaatan Solar Cell Sebagai Sumber Energi Alternatif Untuk Fasilitas Bangku Taman Ruang Terbuka Hijau. *Jurnal Pengabdian pada Masyarakat*. 2021; 1(1): 50-55. Tersedia: <https://jurnal.politap.ac.id/index.php/literasi/article/view/18/9>
- [16]. K. Hasan, S.B. Yousuf, M.S.H.K. Tushar, B.K. Das, P. Das, and M.D. Islam. Effects of different environmental and operational factors on the PV performance: A comprehensive review. *Energy Science and Engineering*. 2021; 10(2): 656-675. Available: <https://dx.doi.org/10.1002/ese3.1043>
- [17]. M. Naim. Rancangan Sistem Kelistrikan PLTS Off Grid 1000 Watt Di Desa Loeha Kecamatan Towuti. *Vertex Elektro*. 2020; 12(1): 17-25. Tersedia: <https://journal.unismuh.ac.id/index.php/vertex/article/view/4013/2739>
- [18]. H. Suryawinata, D. Purwanti, dan S. Sunardiyo. Sistem Monitoring pada Panel Surya Menggunakan Data Logger Berbasis Atmega 328 dan Real Time Clock DS1307. *Jurnal Teknik Elektro*. 2017; 9(1): 30-36. Tersedia: <https://journal.unnes.ac.id/nju/index.php/jte/article/view/10709/6661>
- [19]. H. Asy'ari, A. Rozaq, dan F.S. Putra. Pemanfaatan Solar Cell dengan PLN sebagai Sumber Energi Rumah Tinggal. *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*. 2014; 14(1): 33-39. Tersedia: <https://journals.ums.ac.id/index.php/emitor/article/view/12775/6148>
- [20]. S. Yuwono, Diharto, dan N.W. Pratama. Manfaat Pengadaan Panel Surya dengan Menggunakan Metode On Grid. *Energi dan Kelistrikan: Jurnal Ilmiah*. 2021; 13(2): 161-171. Tersedia: <https://stt-pln-ejournal.id/energi/article/view/1537/945>



- [21]. E. Yuliza, R. Ekawita, dan R. Samdara. Peningkatan Skill Masyarakat Desa Wisata Rindu Hati Dalam Memanfaatkan Energi Matahari Menjadi Energi Listrik Menggunakan Panel Surya. *MARTABE: Jurnal Pengabdian Masyarakat*. 2022; 5(1): 391-398. Tersedia: <http://jurnal.um-tapsel.ac.id/index.php/martabe/article/view/5022/pdf>
- [22]. R. Nasution, H. Alam, dan M.R. Harahap. Aplikasi Solar Cell Guna Penerangan di Sampan Nelayan di Desa Bandar Rahmat Kecamatan Tanjung Tiram Kabupaten Batu Bara. *Journal of Electrical Technology*. 2022; 7(1): 6-10. Tersedia: <https://jurnal.uisu.ac.id/index.php/jet/article/view/5388/3924>
- [23]. A.I. Ramadhan, E. Diniardi, dan S.H. Mukti. Analisis Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 50 WP. *TEKNIK*. 2016; 37(2): 59-63. Tersedia: <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik/article/download/9011/10083>
- [24]. H.H. Sinaga, D. Permata, dan N. Purwasih. Pompa Air Tenaga Surya Untuk Irigasi Persawahan bagi Masyarakat Desa Karang Rejo, Pesawaran, Lampung. *Jurnal Pengabdian Masyarakat*. 2021; 5(1): 22-26. Tersedia: <https://ejournal.lppmunsera.org/index.php/parahita/article/view/2633/1603>
- [25]. A. Hijriani, K. Muludi, E.A. Andini. Implementasi Metode Regresi Linier Sederhana Pada Penyajian Hasil Prediksi Pemakaian Air Bersih PDAM Way Rilau Kota Bandar Lampung Dengan Sistem Informasi Geografis. *Jurnal Informatika Mulawarman*. 2016; 11.(2): 37-42. Tersedia: <http://ejournals.unmul.ac.id/index.php/JIM/article/view/212>
- [26]. H. Ponto. Dasar Teknik Listrik. Sleman: Deepublish. 2018: 233.
- [27]. A. Goeritno, Nurmansyah, D., and Maswan. Safety instrumented systems to investigate the system of instrumentation and process control on the steam purification system. *International Journal of Safety and Security Engineering*, 2022; 10(5): 609-616. <https://dx.doi.org/10.18280/ijssse.100504>
- [28]. A. Goeritno, I. Nugraha, S. Rasiman, and A. Johan. Injection Current into the Power Transformer as an Internal Fault Phenomena for Measuring the Differential Relay Performance. *Instrumentation Measure Métrologie*, 2020; 19(6): 443-451. Available: <https://dx.doi.org/10.18280/im.190605>
- [29]. A. Goeritno, I. Setyawibawa, and D. Suhartono. Designing a microcontroller-based half duplex interface device drove by the touch-tone signal. *J. INFOTEL*, 2021; 13(4): 205-215. Available: <https://dx.doi.org/10.20895/infotel.v13i4.712>
- [30]. A. Goeritno, and I. Setyawibawa. An Electronic Device Reviewed by Diagnosing on the Module Embodiment. *International Journal of Electronics and Communications System*, 2021; 1(2): 41-55. Available: <http://ejournal.radenintan.ac.id/index.php/IJECS/article/view/10383/pdf>
- [31]. M.N. Prayudyanto, A. Goeritno, S.H.A. Ikhsan, and F.M.L. Taqwa. Designing a model of the early warning system on the road curvature to prevent the traffic accidents. *International Journal of Safety and Security Engineering*, 2022; 12(3): 291-298. Available: <https://dx.doi.org/10.18280/ijssse.120303>