

Pemodelan Transfer Energi *Smartgrid Potovoltaic* Dengan Sensor Suhu Untuk Efisiensi Energi

Yusuf Rony¹, Unit Three Kartini², Joko³, Tri Wrahatnolo⁴

^{1,2,3,4} Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

¹ yusuf.19077@mhs.unesa.ac.id

² unitthree@unesa.ac.id

³ joko@unesa.ac.id

⁴ triwrahatnolo@unesa.a.id

Abstrak

Energi surya dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik yang sangat potensial di Indonesia karena letak geografis Indonesia yang mendapatkan energi matahari. Pemanfaatan energi matahari dapat mengurangi penggunaan energi fosil sebagai pembangkitan energi listrik di Indonesia. Maraknya pemanfaatan energi terbarukan oleh negara-negara maju sebagai pemasok energi listrik utama, Indonesia yang masih menggunakan energi batu bara sebagai pemasok utama energi listrik sedang mengembangkan pembangkit listrik energi panas matahari karena Indonesia sebagai negara tropis yang hampir setiap hari disinari matahari. Metode peramalan yang paling umum digunakan adalah runtun waktu (*time series*). Runtun waktu (*time series*) merupakan metode peramalan untuk menganalisis dan mempertimbangkan penggunaan waktu secara beruntun. Peramalan ini juga membutuhkan suatu metode untuk menganalisis daya yang akan dihasilkan untuk kedepannya. Pada penelitian ini menggunakan sensor suhu untuk mengetahui efisiensi penyerapan panel surya pada suhu tertentu dengan menggunakan metode ARIMA Autoregressive Integrated Moving Average untuk peramalan suhu yang akan terjadi pada hari selanjutnya. Untuk rata-rata ketepatan nilai dari kesalahan error atau Mean Absolute Percentage Error (MAPE) data aktualnya yaitu sebesar 1,65280, kemudian ketepatan nilai dugaan model dalam bentuk rata-rata absolut dari kesalahan atau Mean Absolute Deviation (MAD) sebesar 0,49048 dan untuk ketepatan nilai dugaan model dalam rata-rata kuadrat dari kesalahan atau Mean Square Deviation (MSD) sebesar 0,34984. Dengan menggunakan model ARIMA (1,0,1) maka mendapatkan peramalan suhu pada hari berikutnya sebagai acuan bahwa kenaikan suhu pada permukaan photovoltaic dapat mengurangi efisiensi penyerapan energi.

Kata Kunci: Permodelan Smart grid photovoltaic, Efisiensi, Suhu Permukaan photovoltaic, (ARIMA).

Abstract

Solar energy can be used as a potential power plant in Indonesia because of the geographical location of Indonesia which gets solar energy. Utilization of solar energy can reduce the use of fossil energy as electricity generation in Indonesia. The widespread use of renewable energy by developed countries as the main supplier of electrical energy, Indonesia, which still uses coal energy as the main supplier of electrical energy, is developing solar thermal energy power plants because Indonesia as a tropical country is exposed to the sun almost every day. The most commonly used forecasting method is the time series. Time series is a forecasting method to analyze and consider the use of time in a row. This forecasting also requires a method to analyze the power that will be generated in the future. In this study, a temperature sensor is used to determine the absorption efficiency of solar panels at a certain temperature using the ARIMA Autoregressive Integrated Moving Average method for forecasting temperatures that will occur the next day. For the average accuracy value of the error error or Mean Absolute Percentage Error (MAPE) the actual data is 1.65280, then the accuracy of the estimated model value in the form of the absolute average of errors or Mean Absolute Deviation (MAD) is 0.49048 and for the accuracy of the estimated value of the model in the mean square of error or Mean Square Deviation (MSD) of 0.34984. By using the ARIMA model (1,0,1), the temperature forecast for the next day is obtained as a reference that the increase in temperature on the photovoltaic surface can reduce the efficiency of energy absorption.

Keywords: Modelling Smart grid photovoltaic, Efficiency, photovoltaic surface temperature, (ARIMA)

I. PENDAHULUAN

Energi surya dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik yang sangat potensial di Indonesia karena letak geografis Indonesia yang mendapatkan energi matahari hampir 8 jam setiap harinya, pemanfaatan energi matahari di Indonesia dapat mengurangi sedikit ketergantungan akan penggunaan energi fosil sebagai bahan baku utama pembangkitan energi listrik di Indonesia. Beberapa tahun terakhir Indonesia mendapatkan berita yang kurang baik mengenai energi fosil yang berupa batu bara, penghasil batu bara terbesar di Indonesia adalah pulau Kalimantan yang diberitakan semakin menipis ketersediaan energi fosil tersebut, karena selain digunakan di Indonesia batu bara dari pulau Kalimantan juga diekspor ke negara lain yang mengakibatkan jumlahnya semakin menipis dan lambat laun merusak pulau Kalimantan itu sendiri.

Sekarang sedang maraknya pemanfaatan energi terbarukan oleh negara-negara maju di Eropa sebagai pemasok energi listrik utamanya, seperti Belanda yang dijuluki negeri kincir angin karena negara Belanda memanfaatkan angin sebagai sumber utama energi listriknya, di Indonesia pun sekarang sedang marak penggunaan energi surya sebagai pembantu pemasok energi listrik, Penggunaan tenaga matahari ini masih dalam tahap pengembangan. Dengan demikian melonjaknya harga minyak menjadi suatu ide untuk mengembangkan *photovoltaic* menjadi semakin tinggi. Dan saat ini di beberapa negara, *photovoltaic* sudah digunakan menjadi pembangkit listrik energi terbarukan (Hanna dan Patricia 2012), ada juga yang memanfaatkan aliran air sungai sebagai penggerak turbin untuk membangkitkan energi listrik.

Runtun waktu (*time series*) merupakan metode peramalan untuk menganalisa dan mempertimbangkan penggunaan waktu secara beruntun. Data yang digunakan pada runtun waktu berupa jam, hari, minggu, bulan, dan lain-lain (Hung dan Hansen. 2017).

Pada prinsipnya, pembangkitan listrik tenaga surya terdiri dari sekelompok foto sel yang mengubah sinar matahari menjadi gaya gerak listrik (ggl) untuk mengisi baterai aki. Dari baterai aki, energi listrik dialirkan ke pemakai. Pada waktu banyak sinar matahari (siang hari), baterai aki diisi oleh foto sel. Tetapi pada saat malam hari, foto sel tidak menghasilkan energi listrik, maka energi listrik diambil dari baterai aki tersebut. (Marsudi. 2005).

Baterai aki merupakan sumber arus searah yang digunakan dalam pusat listrik. Baterai aki harus selalu diisi melalui penyearah (*rectifier*). Kutub negatif dari baterai sebaiknya ditanahkan untuk memudahkan mendeteksi gangguan hubungan tanah pada instalasi arus searah. Ada 2 macam baterai aki yang dapat digunakan di pusat listrik, yaitu dengan kutub timah hitam dan baterai basa yang menggunakan nikel cadmium sebagai kutub. (Marsudi. 2005).

Dari referensi penelitian yang ditemukan ada beberapa penelitian yang membahas efisiensi energi hanya 1 hari saja pada setiap jamnya mulai pukul 08.00

sampai pukul 13.00 (Setiawan, dkk. 2018). Kemudian (Ginna. 2016) yang membahas tentang Peramalan Jumlah Konsumsi Energi Listrik di PT PLN (Persero) Rayon Bukittinggi Menggunakan Metode ARIMA.

Selanjutnya (Isop. 2018) yang membahas tentang Implementasi Model *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA) untuk Peramalan Jumlah Kereta Api di Pulau Sumatera. (Noureen, dkk 2019). serta membahas tentang *Analysis and Application of seasonal ARIMA model in Energy Demand Forecasting: A case study of small scale agricultural load*. pada penelitian kali ini memiliki kebaharuan dilakukannya proses peramalan suhu pada 1 hari kedepan pada setiap jamnya mulai pukul 08.00 sampai pukul 13.00 menggunakan metode *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA). Karena Suhu yang panas akan membuat *Photovoltaic* bekerja lebih maksimal karena energi yang dihasilkan dari matahari lebih banyak. Maka dari itu, peramalan dengan memperhatikan suhu sangatlah penting untuk melihat perkembangan daya yang dihasilkan dimasa datang (Pavan, dkk. 2016). Jadi, peneliti melakukan peramalan suhu pada permodelan *smart grid photovoltaic*.

Dalam pemodelan *smart grid* pembangkit listrik tenaga surya ini dijadikan sebagai sumber energi utama yang diintegritaskan dengan PLN agar dapat mengurangi ketergantungan penggunaan energi fosil sebagai bahan baku pembangkit listrik (Anggoro. 2009). selain itu untuk menghitung efisiensi penggunaan PLTS yang diperkirakan lebih efektif dari penggunaan listrik dari PLN sebagai sumber energi listrik dari bahan fosil yang digunakan oleh masyarakat Indonesia selama ini (Rakhmad. 2020).

Dalam penelitian ini penulis menganalisis sumber energi listrik dari PLTS dengan menambahkan sensor suhu sebagai salah satu alat ukur perhitungan efisiensi penyerapan energi panas matahari.

II. METODE

Jenis dari pendekatan penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dikarenakan penelitian ini disajikan dengan angka-angka. Mulai dari pengumpulan data, Peramalan terhadap suhu yang akan terjadi di hari selanjutnya menggunakan metode ARIMA, serta penampilan hasil efisiensi pada suhu tertentu nantinya.

Sensor Suhu DHT

Sensor suhu untuk mendeteksi suhu yang berada di sekitar panel surya. Sensor suhu ini berfungsi untuk mensensing objek suhu dan kelembaban yang memiliki output tegangan analog yang diolah lebih lanjut menggunakan mikrokontroler. Sensor DHT11 ini memiliki suatu kelebihan dimana sensor ini bisa mengkalibrasi nilai pembacaan suhu dan kelembaban dengan cukup akurat. Kelebihan dari module sensor ini dari segi pembacaan data sensing lebih cepat dan akurat serta dalam hal sensing objek suhu dan kelembaban lebih cepat juga (Maulana dkk. 2018).

Peramalan (*Forecasting*)

Peramalan bertujuan untuk mengetahui keadaan di masa datang dengan cara menghitung dari data-data yang diambil sebagai acuan sehingga kita bisa meramalkan daya listrik. Model peramalan beban yang akurat memiliki peranan penting dalam melakukan rencana dan operasi pada sistem tenaga listrik. Peramalan beban listrik ini membantu untuk mengetahui seberapa banyak pemakaian beban yang digunakan agar nanti pemakaian selanjutnya bisa berkurang secara efisien (Kastanja dan Johanis. 2017).

Peramalan listrik dibagi menjadi 3 macam dalam pengelompokannya diantaranya:

1. Peramalan Beban Listrik Jangka Panjang

Peramalan jangka Panjang ini meramalkan beban listrik dalam rentan waktu yang lama yaitu satu tahun atau lebih. Peramalan jangka panjang ini efektif digunakan dalam masalah-masalah makro ekonomi yang merupakan masalah eksternal perusahaan listrik. Untuk jenis beban yang digunakan peramalan jangka panjang meliputi beban komersial yang merupakan beban listrik untuk menunjang suatu kegiatan usaha, seperti kantor, pusat pertokoan, hotel, dan lain-lain.

2. Peramalan Beban Listrik Jangka Menengah

Peramalan jangka menengah ini dilakukan dalam rentan waktu yang cukup lama yaitu dalam bentuk bulan. Dalam peramalan jangka menengah ini, data yang digunakan tidak cukup banyak seperti jangka panjang sehingga kita lebih mudah dalam meramalkan beban listrik. Tujuan dari peramalan jangka menengah ini untuk mempersiapkan jadwal untuk rencana dan operasional pembangkitan. Untuk jenis beban listrik yang digunakan jangka menengah adalah beban industri untuk menunjang suatu proses produksi seperti, pabrik sepatu, pabrik rokok, pabrik makanan dan minuman, dan lain-lain.

3. Peramalan Beban Listrik Jangka Pendek

Peramalan jangka pendek ini dilakukan dalam rentan waktu yang cukup singkat yaitu dalam bentuk jam atau hari. Data-data yang digunakan juga sedikit sehingga kita bisa meramalkannya dengan mudah. Untuk jenis beban yang digunakan pada peramalan jangka pendek ini meliputi kegiatan di rumah seperti lampu penerangan, kipas angin, pompa air, televisi, dan lain-lain (Masarrang, dkk. 2015).

Inverter

Inverter adalah salah satu komponen terpenting dan paling kompleks dari sistem independen. Meski Anda tidak harus selalu memahami cara kerja bagian dalam inverter, namun Anda harus memahami beberapa fungsi, kemampuan, dan batasan dasar dari komponen ini. Sistem tenaga listrik independen adalah sistem yang terlepas dari jaringan utilitas listrik. Sistem seperti itu bervariasi ukurannya dari lampu halaman kecil hingga rumah-rumah di lokasi terpencil, desa, taman nasional, fasilitas medis, dan militer. Mereka juga mencakup sistem cadangan seluler, portabel, dan darurat.

Komponen umum dari sistem tersebut adalah baterai penyimpanan, yang menyerap dan melepaskan daya dalam bentuk arus searah (DC). Sebaliknya, jaringan utilitas menyuplai konsumen dengan daya arus bolak-balik (AC). AC adalah bentuk standar kelistrikan untuk segala sesuatu yang "dihubungkan" ke sumber listrik (lebih praktis untuk transmisi jarak jauh). Inverter mengubah DC ke AC, dan juga mengubah tegangan. Dengan kata lain, ini adalah adaptor daya. Ini dapat memungkinkan sistem daya independen berbasis baterai untuk menjalankan peralatan konvensional melalui kabel rumah konvensional.

Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA)

Metode ARIMA (*Autoregressive Integrated Moving Average*) merupakan suatu metode umum yang digunakan untuk meramalkan suatu kejadian di masa datang. Metode ARIMA ini dikembangkan oleh *Box-Jenkins*. ARIMA juga merupakan penggabungan antara dua metode berbeda menjadi satu yaitu metode *Autoregressive* (AR) dengan metode *Moving Averages* (MA). (YU,dkk, 2019). Menurut *Box-Jenkins* metode ARIMA terdiri dari empat tahap yaitu identifikasi metode plot *time series*, menentukan parameter yaitu dengan cara mencari *Autocorrelation Function* (ACF) dan *Partial Autocorrelation Function* (PACF), pengujian metode, dan memperkirakan nilai dari *time series* (Isop, 2018).

Model ARIMA sendiri dibagi dalam 2 bentuk yang dimana terdapat model ARIMA tanpa musiman yaitu model yang tidak terlalu bergantung dengan musim, bentuk umumnya sebagai berikut: yaitu model ARIMA tanpa musim dan model ARIMA musim. Model ARIMA tanpa musim merupakan model ARIMA yang tidak dipengaruhi oleh faktor musim, bentuk rumusnya dapat dinyatakan dalam persamaan 1

$$(1 - B)(1 - \phi_1 B)Y_t = \mu' + (1 - \theta_1 B)e_t \quad (1)$$

Y_t = Variabel pertama ARIMA
 μ' = Konstanta
 e_t = Error pada t
 B = Koefisien variabel b
 ϕ_1, θ_1 = parameter SARIMA

Untuk mode ARIMA selanjutnya adalah model ARIMA musim yang merupakan model ARIMA yang bergantung pada faktor musim, model ini bisa disebut dengan (SARIMA) *season ARIMA* (Al-Shaikh. 2019). Seperti pada persamaan 2

$$(1 - B)(1 - B^{12})Y_t = (1 - \theta_1 B)(1 - \phi_1 B^{12})e_t \quad (2)$$

Y_t = Variabel pertama ARIMA
 μ' = Konstanta
 e_t = Error pada t
 B = Koefisien variabel b
 ϕ_1, θ_1 = parameter SARIMA

Autoregressive (AR)

Autoregressive adalah model yang digambarkan dengan variabel dependen serta dipengaruhi oleh variabel itu sendiri pada periode-periode tertentu. Model *Autoregressive* ini mirip dengan persamaan regresi pada umumnya, hanya yang membedakan variabel yang digunakan independent tidak berbeda dengan variabel dependen melainkan nilai sebelumnya dari variabel dependen itu sendiri.

Dalam peramalan *time series*, Y_t disebut juga sebagai *first order autoregressive*, dengan persamaan 3

$$Y_t = \mu' + \varphi_1 Y_{t-1} + \varphi_2 Y_{t-2} + \dots + \varphi_p Y_{t-p} + e_t \quad (3)$$

Dimana:

Y_t = *first order autoregressive* / variabel pertama

Y_{t-1} = data periode t-1

E_t = error pada periode t

μ' = konstanta.

Moving Average (MA)

Moving Average (MA) adalah suatu indikator yang menghitung rata-rata dalam periode tertentu. (MA) ini salah satu metode peramalan yang sederhana untuk meramalkan kondisi dimasa datang dengan data yang didapatkan dari masa lalu. Metode ini merupakan dasar metode yang digunakan untuk mengukur musiman. (Mason. 1999) Secara aljabar, rata-rata (MA) dapat dituliskan pada persamaan 4:

$$Y_t = \mu' + e_t - \varphi_1 e_{t-1} - \varphi_2 e_{t-2} - \dots - \varphi_q e_{t-k}$$

Keterangan:

μ' = konstanta.

$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots, \varphi_q$ = parameter *moving average*

E_{t-k} = nilai kesalahan pada saat t-k

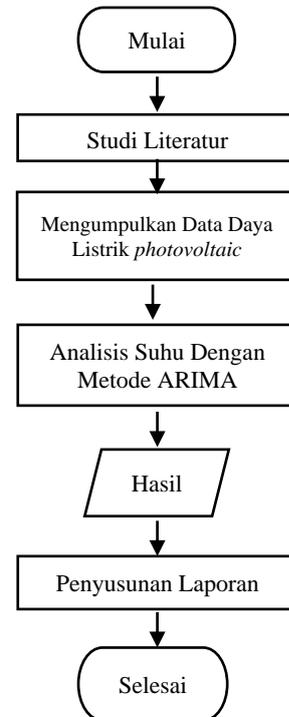
Pada penelitian ini menggunakan software Matlab R2019a permodelan dan menampilkan daya keluaran dari *smart grid photovoltaic*, hasil *output* berupa table dan grafik efisiensi penyerapan daya listrik pada *photovoltaic* dengan suhu antara 30 °C – 45 °C dan intensitas cahaya antara 50 W/m² – 100 W/m².

III. LANGKAH PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan kali ini memiliki beberapa langkah antara lain adalah dengan melakukan studi literatur tentang penelitian terkait, pengumpulan data penunjang dalam penelitian yang akan dilakukan, melakukan analisis data suhu dengan metode ARIMA dan perhitungan menggunakan rumus efisiensi, menganalisis hasil perhitungan, menyusun laporan penelitian.

Langkah-langkah pada Gambar 1 adalah:

1. Studi literatur untuk mengumpulkan informasi dari berbagai buku atau jurnal sebagai bentuk dukungan dalam proses penyusunan penelitian ini.



Gambar 1 *Flowchart* Penelitian

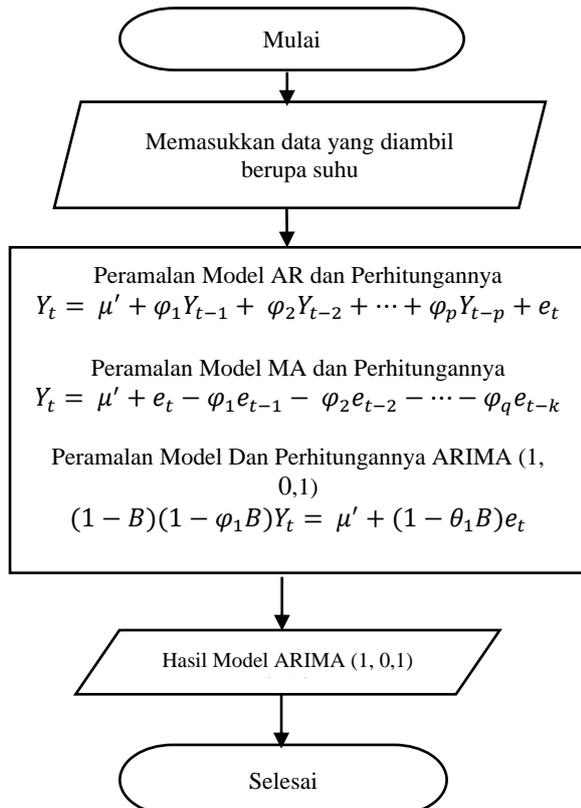
2. Berikutnya adalah mengumpulkan data daya listrik *Photovoltaic* serta suhu dan intensitas cahaya dari alat yang telah dibuat.
3. Kemudian melakukan analisis suhu dengan metode ARIMA dengan data yang sudah diambil pada alat yang sudah dibuat
4. Hasil dari permodelan ini dalam bentuk simulasi peramalan suhu permukaan *photovoltaic* untuk hari selanjutnya dapat mengetahui arus dan tegangan yang dapat dihitung efisiensinya dengan rumus efisiensi energi.
5. Kemudian tahap terakhir adalah penyusunan laporan. Pada tahap ini dilakukan dengan mencatat hasil pembahasan dari penelitian yang telah dilakukan.

Metode ARIMA untuk peramalan suhu *Photovoltaic*

Pada tahap analisis data, data akan dilakukan peramalan menggunakan metode ARIMA untuk menentukan suhu menggunakan software MINITAB19. Secara umum tahap-tahap dalam menganalisis data adalah sebagai berikut:

1. Rancangan *Flowchart* Metode *Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA)*.

Flowchart perhitungan peramalan suhu permukaan *Photovoltaic* menggunakan metode (ARIMA) dapat ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Flowchart Metode ARIMA

2. Setelah membuat *flowchart*, langkah selanjutnya kita lakukan pengidentifikasian model. Identifikasi model ini berguna dalam menentukan model yang tepat untuk peramalan nanti. Model ini bisa mewakili deret pengamatan. Langkah-langkahnya adalah:

- a. Membuat plot *time series*
Membuat plot *time series* menggunakan software Minitab. Plot *time series* ini digunakan untuk mengetahui *trend* suatu runtun waktu. Cara membuatnya dengan memasukan data-data yang sudah diambil kemudian klik pada *trend analysis*, akan muncul grafik dari data yang diambil apakah itu turun atau naik.
- b. Membuat ACF dan PACF
Membuat ACF dan PACF setelah lakukan pembuatan plot *time series*. Membuat ACF dan PACF ini dengan memasukkan data yang diambil kemudian kita klik *Autocorrelation*.
- c. Stasioner dan Non Stasioner Data.
Apabila hasil dari ACF dan PACF belum membentuk grafik yang diinginkan maka hasilnya masih belum stasioner. Agar hasil stasioner dilakukan dengan cara melakukan differensiasi. Data yang diambil dan dilakukan dengan metode differensiasi setelah dapat differensiasinya maka dilakukan lagi ACF dan PACF jika grafiknya terbentuk maka data itu telah stasioner apabila masih belum dilakukan differensiasi hingga membentuk grafik yang diinginkan.

3. Estimasi/Taksiran Model

Estimasi ini bertujuan untuk menentukan manakah model yang cocok untuk peramalan sementara. Cara melakukan estimasi dengan melihat dari hasil ACF dan PACF. Apabila ACF nyata pada lag -q dan terpotong pada lag -q (*cuts off*) serta PACF menurun cepat membentuk pola eksponensial atau sinus maka estimasi model bernilai adalah MA(q) dengan metode ARIMA (0,0,1). Sedangkan untuk model AR(p) yaitu 93egati ACF menurun cepat membentuk pola eksponensial atau sinus dan PACF nyata pada lag -p serta *cuts off* setelah lag ke-p maka untuk pemodelannya nanti adalah ARIMA (1,0,0). Apabila melakukan *differencing* maka nilai pada d bernilai 1 sehingga untuk model peramalannya dengan ARIMA (0,1,0).

4. Verifikasi

Setelah dilakukan estimasi, negatif selanjutnya adalah melakukan verifikasi model yang digunakan. Apabila model itu memiliki penyimpangan yang cukup serius maka harus membuat model baru lagi kemudian kita estimasi negatif. Apabila sudah tidak ada penyimpangan maka selanjut ke negatif berikutnya yaitu peramalan.

5. Peramalan/Forecasting

Peramalan/*Forecasting* adalah suatu kegiatan untuk memperkirakan kejadian yang terjadi di masa datang. Langkah-langkah dalam melakukan peramalan dengan menggunakan arima ialah:

- a. Melihat dari hasil estimasi/taksiran manakah yang cocok untuk pemodelannya dan manakah yang memiliki kesalahan error terkecil itu yang diambil.
- b. Setelah itu, mencari nilai independent dengan waktu t pada *Autoregressive* (AR) dan ACFnya.
- c. Setelah itu 93egative93 nilai dari waktu t pada model *Moving Average* (MA).
- d. Setelah dapatkan AR, MA, dan ACFnya 93egativ selanjutnya ialah lakukan permalan dengan metode ARIMA.
- e. Setelah semua 93egativ dilakukan maka dapat melakukan peramalan untuk beberapa periode berikutnya dengan memasukkan hasil daya pada panel surya. Data yang dimasukkan adalah data asli (*original data*).

PLTS

PLTS adalah suatu teknologi pembangkit yang akan mengkonversikan energi foton dari surya menjadi energi listrik. Konversi ini terjadi pada PV modul yang terdiri dari sel surya, sel surya merupakan lapisan-lapisan tipis dari silicon (Si) murni dan bahan semi konduktor lainnya. Apabila bahan tersebut mendapat energi foton, akan mengeksitasi elektron dari ikatan atomnya menjadi elektron yang bergerak bebas dan akhirnya akan mengeluarkan tegangan listrik arus searah. PLTS secara garis besar diklasifikasikan menjadi dua berdasarkan aplikasi dan konfigurasi, di antaranya: sistem PLTS

yang tidak terhubung dengan jaringan (*off-grid PV plant*), atau yang lebih dikenal dengan sebutan PLTS berdiri sendiri (*stand alone*) dan 94egati PLTS terhubung dengan jaringan (*on-grid PV plant*) atau lebih dikenal dengan sebutan PLTS *grid-connected*.

Daya Listrik

Daya tenaga listrik adalah penggunaan tenaga listrik yang digunakan atau dikonsumsi pelanggan energi listrik. Menurut kegiatan pemakaian (konsumen) listrik kita dapat mengelompokkan konsumsi listrik yaitu konsumen rumah tangga, komersil, publik dan industri. Konsumen-konsumen ini mempunyai karakteristik beban yang berbeda, sebab hal ini berhubungan dengan pola konsumsi energi listrik pada masing-masing konsumen tersebut (Susanto. 2009).

Sistem Hybrid

Sistem listrik bertenga surya merupakan 94 egati hybrid yang bekerja dengan 94egati ongrid dan offgrid. Sistem listrik tenaga surya ongrid menggunakan baterai sebagai cadangan sementara apabila sumber listrik dari PLN mati dapat dibackup melalui baterai ini. Dengan kemampuannya ini memungkinkan 94egati hybrid bisa digunakan dengan efisien dan efektif. Prinsip kerja 94egati hybrid adalah melalui solar panel yang berfungsi untuk mengambil sumber dari sinar matahari yang akan digunakan sebagai listrik dikonversikan menjadi listrik DC, kemudian kita ubah listrik DC itu menjadi listrik AC dengan menggunakan inverter. Dan daya listrik akan dikirim ke panel atau MCB untuk digunakan (Maulana. 2018).

Photovoltaic

Komponen utama dalam sistem PLTS adalah *photovoltaic* yang merupakan rakitan dari beberapa sel surya. Sel surya tersusun dari dua lapisan semi konduktor dengan muatan berbeda. Lapisan atas sel surya itu bermuatan negative sedangkan lapisan bawahnya bermuatan positif. Sel-sel itu dipasang dengan posisi sejajar dan seri dalam sebuah panel yang terbuat dari alumunium ataupun baja anti karat yang dilindungi oleh kaca atau plastic. Modul fotovoltaik memiliki satu titik operasi dimana keluaran tegangan dan arus menghasilkan keluaran daya yang maksimal (Hossain. 2013). Kemudian pada tiap-tiap sel diberi sambungan listrik untuk dapat disambungkan dengan sel lain (Hanna dan Patricia. 2012)

IV. PEMBAHASAN

Data yang diambil adalah permodelan smart grid pothovoltaic menggunakan aplikasi matlab versi 2019 yang menampilkan semua komponen yang akan diaplikasikan pada smart grid photovoltaic untuk memperkuat penelitian-penelitian sebelumnya mengenai efisiensi penyerapan energi pada *photovoltaic*.

Tabel 1. Pengambilan Data Pertama

IR (W/m ²)	Jam (WIB)	Suhu (°C)	Output		
			Amper	Volt	Watt
100	08.00	24,7	2,82	13,00	36,66
100	09.00	26,3	2,81	13,02	36,58
100	10.00	27,6	2,83	13,01	36,81
100	11.00	29,8	2,80	13,00	36,79
100	12.00	33,4	2,78	13,00	36,14
100	13.00	34,2	2,79	13,01	36,29

Data pada Tabel 1 adalah data yang diambil dengan settingan IR 100 w/m² dan suhu yang berubah-ubah pada angka 24,7° C sampai 34,2° C dengan daya yang dikeluarkan yang mengalami sedikit perubahan yang tidak terlalu signifikan dengan daya yang dikeluarkan berkisar diangka 36 Watt dan daya tertinggi terdapat pada pukul 10.00 dengan keluaran 36,81 Watt.

Tabel 2. Pengambilan Data Kedua

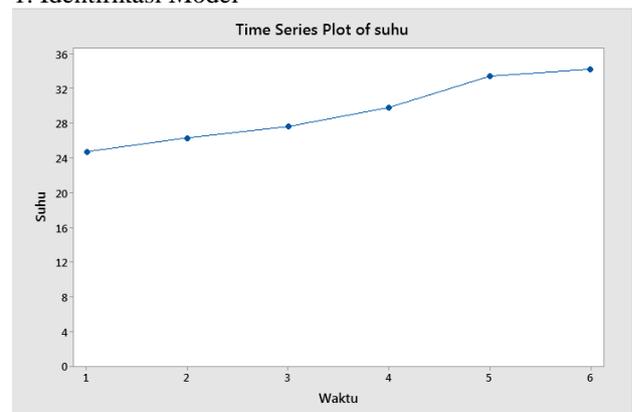
IR (W/m ²)	Jam (WIB)	Suhu (°C)	Output		
			Amper	Volt	Watt
50	08.00	30	1,86	13,00	24,44
60	09.00	30	2,08	13,01	27,06
70	10.00	30	2,23	13,01	29,01
80	11.00	30	2,43	13,00	31,59
90	12.00	30	2,63	13,00	34,19
95	13.00	30	2,74	12,99	35,59

Pengambilan data pada Tabel 2 menggunakan settingan yang sedikit berbeda yaitu IR antara 50 w/m² sampai dengan 95 w/m² suhu konstan 30° C dan daya yang dikeluarkan menalami perubahan yang cukup signifikan yaitu 24,44 Watt – 35,59 Watt. Daya tertinggi terjadi pada IR 95 w/m² dengan keluaran 35,59 Watt.

Peramalan suhu

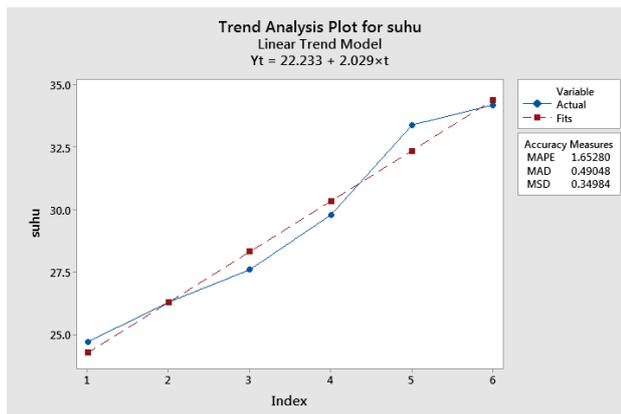
Peramalan suhu menggunakan data pertama menggunakan metode *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA). Berikut adalah tahapan peramalan suhu:

1. Identifikasi Model



Gambar 3. Runtutan Waktu Dari Data yang Diambil

Pada Gambar 3 merupakan hasil runtun waktu atau time series berdasarkan pengambilan data selama 1 hari selama 6 jam. Pada grafik terlihat bahwa daya paling besar terletak pada index 6 yaitu pukul 13.00 WIB.



Gambar 4. Trend Analisis berdasarkan Data yang Diambil

Berdasarkan Gambar 4 terlihat bahwa garis merah adalah hasil trend analisis data aktual dan untuk garis biru adalah data actual atau data asli yang diambil dari alat.

2. Estimasi//Tafsiran Model

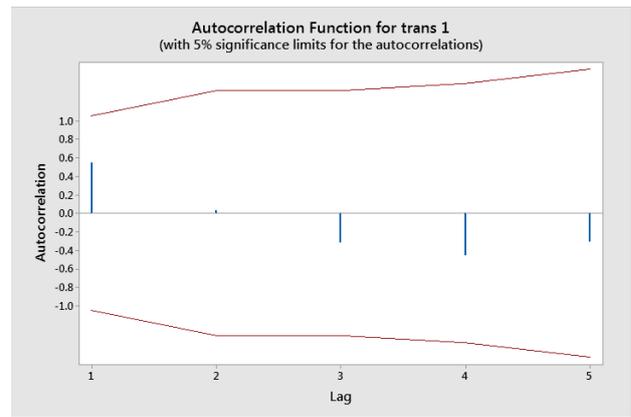
Untuk rata-rata ketepatan nilai dari kesalahan error atau *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) data aktualnya yaitu sebesar 1,65280, kemudian ketepatan nilai dugaan model dalam bentuk rata-rata absolut dari kesalahan atau *Mean Absolute Deviation* (MAD) sebesar 0,49048 dan untuk ketepatan nilai dugaan model dalam rata-rata kuadrat dari kesalahan atau *Mean Square Deviation* (MSD) sebesar 0,34984. melihat dari grafik ini menandakan bahwa data data mempunyai MAPE yang kecil. Dengan demikian, kita sudah bisa melakukan peramalan dengan metode ARIMA. Sebelum itu, kita lakukan terlebih dahulu mencari ACF dan PACF.

Tabel 3. ACF daan PACF data yang sudah stasioner

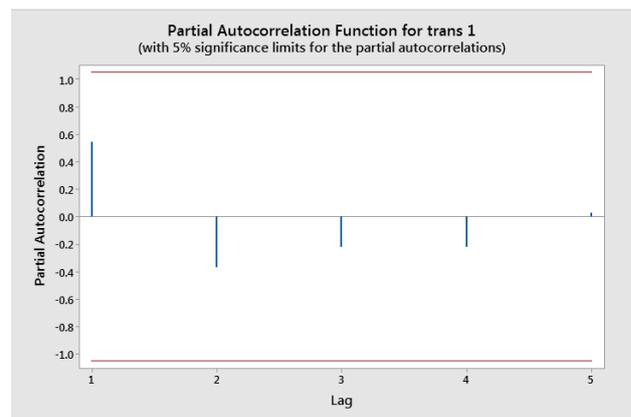
LAG	ACF	LAG	PACF
1	0,540864	1	0,540864
2	0,031347	2	-0,369186
3	-0,308776	3	-0,216534
4	-0,455128	4	-0,218905
5	-0,308307	5	0,023144

Dari Tabel di tabel 3 menjelaskan bahwa selisih antara waktu 1 jam sebelumnya sangat sedikit.

Pada Gambar 5 dapat dilihat grafik ACF sudah stasioner karena garis biru tidak melebihi aris merah dan dapat dilihat juga bahwa garis lag pertama ke atas dan pada lag kedua mendekati 0 sehingga pada grafik ACF ini menggunakan model ARIMA dengan AR (2) artinya ACF dengan *autoregressive* lag 1.



Gambar 5. Autocorrelation Function (ACF) data



Gambar 6. Partial Autocorrelation Function (PACF) data

Pada Gambar 6 terlihat bahwa PACF lag pertama membentuk garis ke atas dan pada lag ke dua garis biru ke bawah dan pada lag kedua signifikan kebawah sehingga pada grafik PACF mendapat model ARIMA dengan MA (1) pada lag 1. Untuk model ARIMA MA (1).

3. Verifikasi

Pada perhitungan nanti bahwa metode *Autoregressive* (AR) ditentukan dengan p bernilai 1, dan untuk parameter *Moving Average* (MA) ditentukan dengan q bernilai 1. Sedangkan untuk *differencingnya* dengan d bernilai 0. Jadi dalam penelitian ini model ARIMA (P,D,Q)³ yang digunakan adalah ARIMA (1, 0,1)³

4. Hasil Peramalan.

Tabel 4. Hasil Peramalan data

Waktu (WIB)	Forecast (°C)	Lower (°C)	Upper (°C)
08.00	33,6449	30,0674	37,2224
09.00	33,7157	26,0573	41,3742
10.00	33,7870	23,5368	44,0372
11.00	33,8587	21,5278	46,1895
12.00	33,9308	19,8025	48,0591
13.00	34,0034	18,2633	49,7435

Dari hasil peramalan suhu menggunakan metode ARIMA kemudian dimasukkan kedalam permodelan smart grid photovoltaic mendapatkan hasil.

Tabel 5. Data dari Hasil Peramalan Suhu

IR (W/m ²)	Jam (WIB)	Suhu (°C)	Output		
			Amper	Volt	Watt
100	08.00	33,6449	2,80	13,00	36,4
100	09.00	33,7157	2,82	12,99	36,6
100	10.00	33,7870	2,83	12,99	36,7
100	11.00	33,8587	2,83	13,00	36,79
100	12.00	33,9308	2,82	13,00	36,6
100	13.00	33,0034	2,79	12,98	36,2

Perhitungan Efisiensi

Perhitungan efisiensi menggunakan perhitungan dari data yang sudah diambil dari permodelan smart grid photovoltaic menggunakan aplikasi matlab 2019 dengan persamaan 5:

$$\eta = \frac{P_{in}}{P_{out}} \times 100\% \tag{5}$$

Daya yang diterima (Input) adalah perkalian antara intensitas radiasi yang diterima dengan luas Module pada PV dengan persamaan 6:

$$P_{in} = IR \times A \tag{6}$$

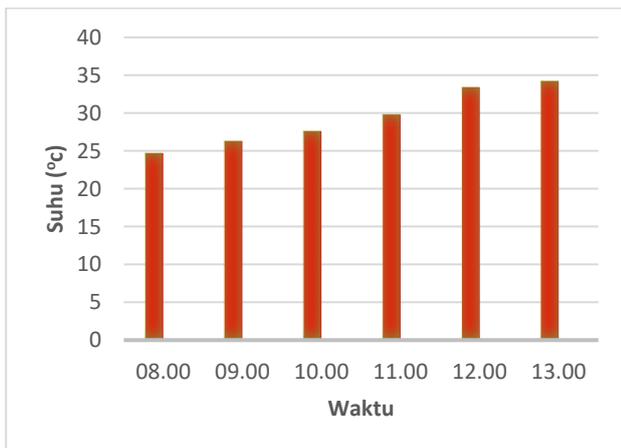
Sedangkan Daya yang keluar (Output) adalah daya yang dihasilkan dari perkalian tegangan dan arus dengan persamaan 7:

$$P_{out} = V \times I \tag{7}$$

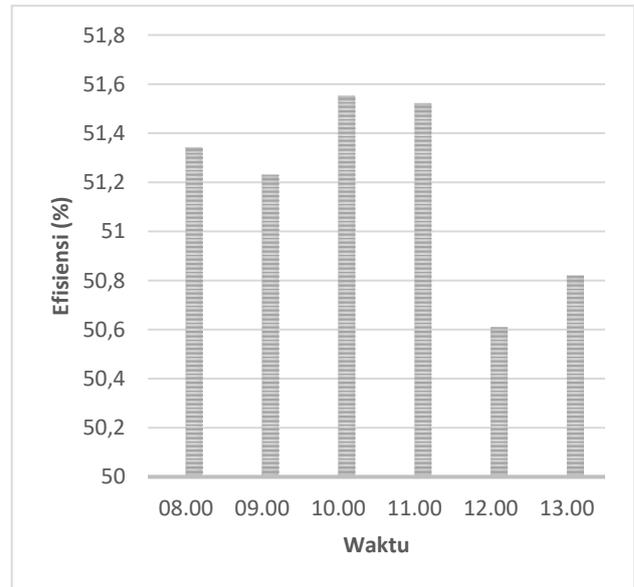
Keterangan:

- η = Efisiensi Energi
- P_{in} = Daya yang masuk dari panel surya
- P_{out} = Daya yang keluar dari panel surya
- IR = Intesitas radiasi matahari
- A = Luas panel
- V = Tegangan yag dihasilkan panel surya
- I = Arus yag dihasilkan panel surya

Dan untuk hasil dari perhitungan efisiensi pada data yang sudah diambil



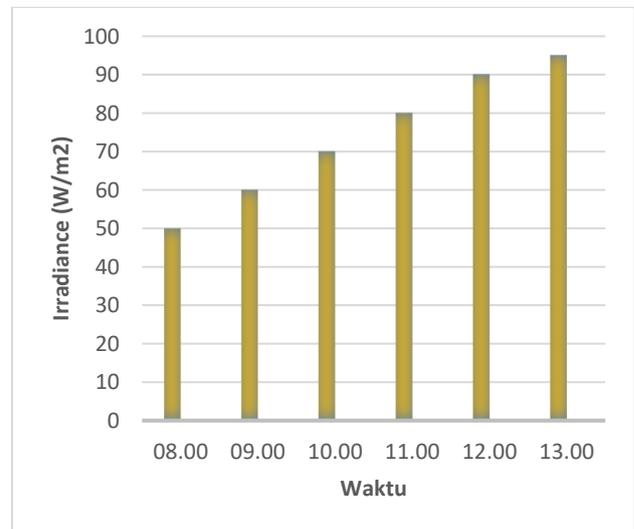
Gambar 7. Hasil Perhitungan Suhu Data Pertama



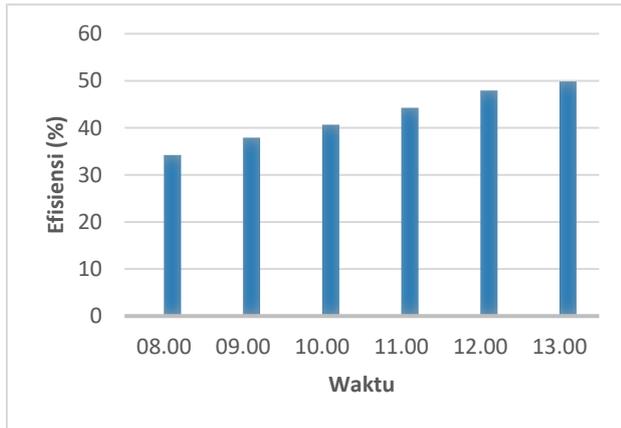
Gambar 8. Hasil Perhitungan Efisiensi Data Pertama

Pada Gambar 7 dan 8 perhitungan efisiensi ini terlihat pada grafik pada jam 08.00 - 09.00 tingkat efisiensi menurun diiringi dengan kenaikan suhu permukaan. Pada pukul 10.00 efisiensi naik yaitu 51,5% dan juga suhu permukaan Photovoltaic juga mengalami kenaikan. Pada pukul 11.00 -12.00 efisiensi kembali mengalami penurunan diiringi dengan suhu yang semakin naik. Pada pukul 13.00 efisiensi mengalami kenaikan padahal seharusnya mengalami penurunan karena suhu permukaan Photovoltaic naik.

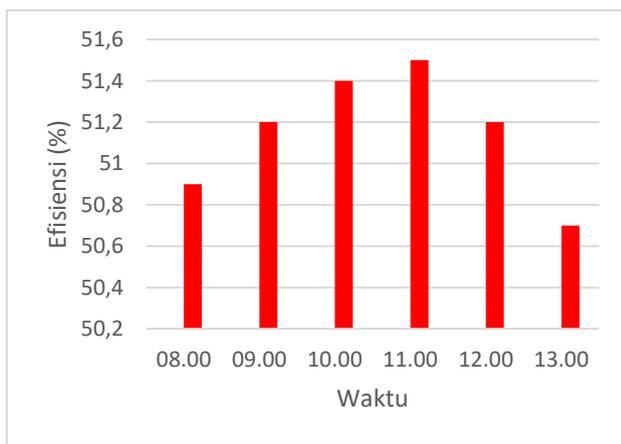
Pada Gambar 9 dan 10 untuk perhitungan dengan IR yang berbeda dengan suhu konstan yaitu 30°, jika dilihat dari grafik pada pukul 08.00 dengan IR 50 W/m² mendapatkan efisiensi 35%, setiap IR bertambah maka daya output bertambah, puncaknya efisiensi terjadi pada pukul 13.00 dengan IR 95 W/m² dengan efisiensi sebesar 49,84%.



Gambar 9. Hasil Irradiance Data Kedua

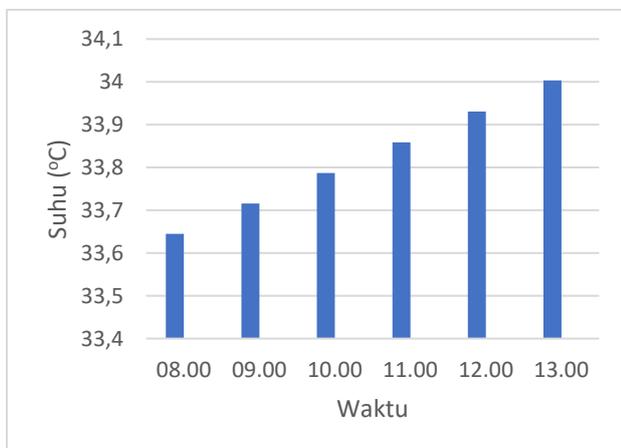


Gambar 10. Hasil Perhitungan Efisiensi

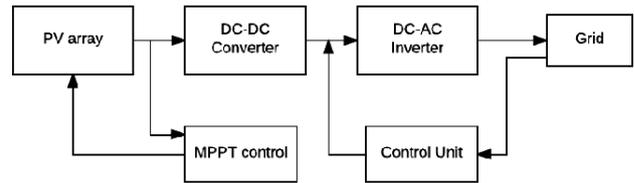


Gambar 11. Hasil Perhitungan Efisiensi Data Hasil

Pada Gambar 12 dan 11 perhitungan suhu hasil permalan menggunakan metode ARIMA nilai efisiensi terbesar terdapat pada pukul 11.00 yaitu diangka 51,5% pada suhu 33,87° C dan untuk nilai efisiensi terendah terjadi pada pukul 13.00 yaitu diangka 50,7 % pada suhu 34,0034° C.



Gambar 12. Hasil Suhu Data Ketiga



Gambar 13. Blok diagram *Smart Grid Photovoltaic*

Dari gambar 13 kita menggunakan 1 panel surya yang memiliki kapasitas 100 WP (Watt Peak) dengan suhu antara 24° C – 34° C dan IR antara 50-95 W/m². Disini saya membuat perbandingan antara suhu permukaan dan IR yang berubah-ubah dan konstan manakah yang paling berpengaruh pada efisiensi panel surya yang paling signifikan pada efisiensi smart grid photovoltaic dalam mengubah energi surya menjadi energi listrik.

V. SIMPULAN

Pada permodelan *smart grid photovoltaic* menggunakan matlab dapat memberikan informasi tentang pengaruh suhu permukaan pada efisiensi *photovoltaic* dimana saat suhu permukaan semakin panas maka efisiensi *photovoltaic* semakin menurun.

Pada peramalan suhu menggunakan metode *Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA)* data suhu yang sudah stasioner dengan *Mean Absolute Percentage Error (MAPE)* data aktualnya yaitu sebesar 1,65280, kemudian ketepatan nilai dugaan model dalam bentuk rata-rata absolut dari kesalahan atau *Mean Absolute Deviation (MAD)* sebesar 0,49048 dan untuk ketepatan nilai dugaan model dalam rata-rata kuadrat dari kesalahan atau *Mean Square Deviation (MSD)* sebesar 0,34984. Pada permodelan metode ARIMA (1,0,1) dapat dilihat bahwa suhu kenaikan suhu tidak mengalami fluktuasi dan masih berada pada batas wajar.

Pengaruh suhu permukaan *photovoltaic* semakin tinggi maka energi listrik yang dihasilkan akan semakin menurun, dari pembahasan membuktikan selain suhu permukaan pada *photovoltaic* ada faktor lain yang dapat mempengaruhi efisiensi penyerapan energi listrik yaitu intensitas cahaya radiasi matahari.

Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan settingan *photovoltaic monocrystalline* dan menghitung factor lain seperti arah angin dan intensitas hujan agar mendapatkan efisiensi lebih baik lagi.

Karena pada penelitian kali ini menggunakan settingan *photovoltaic polycrystalline* yang hanya mendapatkan efisensi lebih rendah karena penyerapan yang kurang maksimal.

REFERENSI

Abdul. 2017. *Efisiensi Energi Smart Home (Rumah Pintar) Berbasis Remote Relay Dan Ldr (Light Dependent Resistant)*. Jurnal SIMETRIS, 5(1), 2251-4983.

- Anggoro. Suryo. 2009. *Hybrid Solar Lighting Sebagai Alternatif Teknologi Penerangan Alami Bangunan Untuk Efisiensi Energi Dan Pemanfaatan Energi Terbarukan*. J. Tek. Ling, 10(2), 121-228.
- Al-Shaikh. Hasan Md. Asifur. Rahman dan Zubair. Ahmed. 2019. *Short-Term Electric Demand Forecasting for Power System Using Similar Months Approach Based SARIMA*. 2019 IEEE International Conference on Power, Electrical, and Electronics and Industrial Applications (PEEIACON) 29 November-01 December, 2019, Dhaka Bangladesh.
- Ginna. 2016. *Peramalan Jumlah Konsumsi Energi Listrik di PT PLN (Persero) Rayon Bukittinggi Menggunakan Metode ARIMA*.
- Hung. Nguyen, dan Hansen. Christian K. 2017. *Short-term Electricity Load Forecasting with Time Series Analysis*. 2017 IEEE International Conference on Prognostics and Health Management (ICPHM).
- Hanna, dan Patricia,. 2012. *Analisis Keekonomian Kompleks Perumahan Berbasis Energi Sel Surya (Studi Kasus: Perumahan Cyber Orchid Town Houses, Depok)*. Depok: Universitas Indonesia.
- Hossain. M.K., dan Ali, M.H. 2013. *Overview on Maximum Power Point Tracking (MPPT) Techniques for Photovoltaic Power Systems*. International Review of Electrical Engineering (IREE), 8(4). pp. 1363-1378.
- Isop. 2018. *Implementasi Model Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) untuk Peramalan Jumlah Kereta Api di Pulau Sumatera*. Jurnal Teorema: Teori dan Riset Matematika Vol.3 No.2, Hal 145-156, September 2018.
- Kastanja. Arnold J. dan Johanis Tupalessy. 2017. *Peramalan Beban Listrik Kota Ambon Tahun 2016-2022*. Jurnal Simetrik Vol.7, No.1, Juni 2017.
- Marsudi. Djiteng. 2005. *Pembangkitan Energi Listrik*. Jakarta: Erlangga
- Mason. Robert D dan Douglas. A. Lind. 1999. *Statistical Engineering for Business and Economics*. Jakarta: Erlangga.
- Maulana. Ariandy, Sumaryo. Sony, dan Estananto. 2018. *Perancangan Sistem Pengisi dan Penyalur Daya Baterai Pada Pembangkit Listrik Tenaga*. E-Proceeding of Engineering : Vol.5, No.2 Agustus 2018 | Page 1871
- Masarrang. Maryanto, Erni. Yudaningtyas, dan Naba. Argus. (2015). *Peramalan Beban Jangka Panjang Sistem Kelistrikan Kota Palu Menggunakan Metode Logika Fuzzy*. Jurnal EECCIS Vol.9, No.1, Juni 2015
- Noureen. Subrina, Sharif. Atique, Vishwajit, dan Bayne. Stephen. 2019. *Analysis and Application of seasonal ARIMA model in Energy Demand Forecasting: A case study of small scale agricultural load*. Dept. of Electrical and Computer Engineering: Texas Tech University.
- Rakhmad. Hariyono, dan Gumilang. Muhammad Angga. 2020. *Rancang Bangun Monitoring Daya Listrik untuk Aplikasi Sistem Tenaga Surya Berteknologi Smart Grid pada Skala Rumah Tinggal*. J-TIT, 7(2), 2580-2291.
- Susanto, Daman. 2009. *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Padang: Universitas Negeri Padang
- Setiawan, Duka. Abit, Timotius. Eric, I Nyoman. Ibi. Weking, dan Antonius. 2018. *Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Hybrid Pada Area Parkir Gedung Dinas Cipta Karya, Dinas Bina Marga Dan Pengairan Kabupaten Badung*. E-journal SPEKTRUM, 5(2), 67-68.
- Yu. K.W., Hsu. C. H, dan Yang. S. M. 2019. *A Model Integrating ARIMA and ANN with Seasonal and Periodic Characteristic for Forecasting Electricity Load Dynamics in a State*. 2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart System (2019 IEEE ESS).