

Analisis *Performance* Jangka Pendek Pembangkit Listrik Tenaga Surya dengan Sistem *Stand-alone System*

Rhezal Agung Ananto^{*a)}, Asfari Hariz Santoso^{a)}

(Artikel diterima: Januari 2021, direvisi: Februari 2021)

Abstract: Renewable energy power generation technology continues to develop every year and energy demand continues to increase. Reducing carbon emissions in accordance with international carbon emission policies (including Indonesia). The renewable energy target is targeted to increase every year in accordance with the national renewable energy mix policy. Renewable energy has characteristics that fluctuate over time, so continuous measurement data is needed. This data is used for the design of renewable energy in Indonesia in the future. To analyze the performance of a solar power plant, measurement variables are needed. Photovoltaic analysis requires measurement of variable voltage, current, power and energy. Measurement variables are measurement variables from photovoltaic and measurement variables from solar energy. The measurement of solar energy is measured in Watts per square meter. The measurement method is a direct measurement in the territory of Indonesia. The measurement method is the measurement at sunrise to sunset. The measurement results are used for performance analysis. The measurements result are used for photovoltaic efficiency analysis.

Keywords: Photovoltaic, converter, Sun Irradiance, dan Stand-alone

Abstrak: Teknologi pembangkit energi terbarukan terus berkembang setiap tahun dan kebutuhan energi terus meningkat. Mengurangi emisi karbon sesuai dengan kebijakan emisi karbon internasional (termasuk Indonesia). Target energi terbarukan ditargetkan meningkat setiap tahun sesuai dengan kebijakan bauran energi terbarukan nasional. Energi terbarukan memiliki karakteristik yang fluktuatif dari waktu ke waktu, sehingga diperlukan data pengukuran yang berkelanjutan. Data ini digunakan untuk desain energi terbarukan di Indonesia ke depan. Untuk menganalisis kinerja suatu pembangkit listrik tenaga surya diperlukan variabel pengukuran. Analisis fotovoltaik membutuhkan pengukuran variabel tegangan, arus, daya dan energi. Variabel pengukuran adalah variabel pengukuran dari fotovoltaik dan variabel pengukuran dari energi matahari. Pengukuran energi matahari diukur dalam Watt per meter persegi. Metode pengukuran merupakan pengukuran langsung di wilayah Indonesia. Metode pengukuran adalah pengukuran saat matahari terbit hingga terbenam. Hasil pengukuran digunakan untuk analisis kinerja. Hasil pengukuran digunakan untuk analisis efisiensi fotovoltaik.

Kata-kata kunci: PLTS, konverter, radiasi matahari, stand-alone

1. Pendahuluan

Energi listrik merupakan kebutuhan penting untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia. Hal ini sejalan dengan berkembangnya teknologi listrik untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia. Makan, minum, tempat tinggal, pakaian semuanya membutuhkan listrik. Industri sampai dengan pertanian juga membutuhkan listrik.

Kebutuhan energi tersebut sebagian besar disuplai oleh pembangkit konvensional. Pembangkit konvensional yang bersumber dari fosil, minyak, batubara dan gas. Hal tersebut menghasilkan emisi karbon yang berlebih. Emisi karbon tersebut tidak sebanding dengan jumlah penyerap karbon di lingkungan, tidak sebanding dengan jumlah pohon yang ada di hutan atau lingkungan.

Emisi karbon yang meningkat bisa menyebabkan kerusakan lingkungan. Indonesia menjalankan kebijakan menurunkan emisi karbon Sesuai dengan kebijakan Internasional (Indonesia termasuk di dalamnya). Sesuai dengan kebijakan nasional Indonesia, target bauran energi nasional untuk energi baru terbarukan juga meningkat. Sehingga di masa depan kebutuhan akan teknologi energi baru terbarukan juga meningkat.

Energi baru terbarukan bermacam-macam, contohnya energi angin, air, bio, dan surya. Potensi sumber energi ini semuanya

tersedia di Indonesia, namun aplikasinya masih terbatas. Indonesia memiliki Potensi energi surya yang melimpah karena Indonesia terletak di daerah tropis yang memiliki sinar matahari sepanjang tahun. Pemanfaatan teknologi surya dapat menambah bauran energi nasional untuk mendukung kebijakan energi nasional.

Pemanfaatan energi surya bisa digunakan di semua wilayah Indonesia. Pemanfaatan energi surya bisa dimanfaatkan di daerah terpencil yang jauh dari jaringan listrik. Pemanfaatan energi surya ini juga bisa dimanfaatkan di daerah dengan jaringan listrik dengan memanfaatkan teknologi *grid connected*. Sedangkan di daerah yang jauh dari jaringan listrik bisa menggunakan teknologi *stand-alone system*.

Untuk mengetahui potensi energi surya dengan baik maka diperlukan data energi surya. Sehingga diperlukan pengukuran potensi energi surya dengan baik. Untuk rancang bangun pembangkit tenaga surya maka diperlukan data *performance* dari pembangkit tenaga surya (*photovoltaic* dan sistemnya). Sehingga analisis *performance* pembangkit tenaga surya bisa dimanfaatkan untuk rancang bangun pembangkit tenaga surya yang baik pada masa depan di Indonesia [1-3].

2. Photovoltaic System

Photovoltaic merupakan salah satu energi baru terbarukan

* Korespondensi: rhezal.agung@polinema.ac.id

a) Prodi Sistem Kelistrikan, Jurusan Teknik Elektro, Polinema.
Jalan Soekarno-Hatta No. 9 Malang 65141

yang memiliki potensi besar di Indonesia. Hal ini disebabkan karena Indonesia merupakan negara tropis yang mendapatkan energi matahari sepanjang tahun. Negara bukan tropis sudah memanfaatkan energi surya dengan baik padahal bukan negara tropis. Indonesia di masa depan akan mendapatkan stok energi yang banyak dari energi surya.

Perkembangan teknologi listrik setiap tahun berkembang. Dengan adanya energi baru terbarukan maka akan dibutuhkan teknologi *distributed generator*. Teknologi ini memungkinkan di masa depan pembangkit energi baru terbarukan langsung terhubung ke jaringan.

Teknologi system photovoltaic ada beberapa macam. Contoh teknologi yang pertama adalah *photovoltaic stand-alone system*. System photovoltaic ini tidak terhubung ke jaringan seperti PLN atau pembangkit konvensional non-pemerintah. Pembangkit tenaga surya *stand-alone system* adalah pembangkit tenaga surya yang mentransfer energi surya dari matahari kemudian disimpan langsung ke baterai. Alur energi adalah photovoltaic mendapat sinar matahari kemudian diubah menjadi listrik. Listrik diatur oleh charge controller yang di dalamnya merupakan komponen converter dc-dc kemudian disimpan ke dalam baterai.

Teknologi System *photovoltaic* yang lain adalah *photovoltaic grid connected*. System *photovoltaic* ini langsung terhubung ke jaringan seperti PLN atau jaringan listrik non-pemerintah. Ketika energi listrik dibangkitkan maka energi listrik dari *photovoltaic* diubah menjadi tegangan ac kemudian dihubungkan langsung ke jaringan listrik [2-5].

Untuk memahami sistem *photovoltaic* dengan baik maka akan dibahas pada pembahasan di bawah ini. Pembahasan meliputi *photovoltaic*, Converter, MPPT, dan Pengukuran.

2.1 Photovoltaic

Photovoltaic (sering disingkat PV) namanya didapatkan dari proses perubahan cahaya (foton) menjadi listrik (tegangan), yang disebut efek photovoltaic. Sejarah mencatat penemuan ini dimulai tahun 1954 oleh ilmuwan di Bell Laboratories yang menciptakan sel surya dari silikon yang menghasilkan listrik saat terkena sinar matahari. Sel surya digunakan untuk memberi daya pada satelit ruang angkasa dan barang-barang kecil seperti kalkulator dan jam tangan. Saat ini, listrik dari sel surya memiliki biaya yang kompetitif di beberapa wilayah dan sistem photovoltaic digunakan dalam skala besar untuk membantu memberi daya pada jaringan listrik.

Perangkat PV tunggal dikenal sebagai sel. Sel PV individu biasanya menghasilkan daya 1 atau 2 watt. Sel-sel ini terbuat dari bahan semikonduktor yang berbeda dan seringkali ukurannya kurang dari ketebalan empat rambut manusia. Untuk meningkatkan daya keluaran sel PV, mereka dihubungkan bersama untuk membentuk unit yang lebih besar yang dikenal sebagai modul atau panel. Modul dapat digunakan secara individual, atau beberapa dapat dihubungkan ke bentuk array. Satu atau lebih array kemudian dihubungkan ke jaringan listrik sebagai bagian dari sistem PV. Karena struktur modular ini, sistem PV dapat dibangun untuk memenuhi hampir semua kebutuhan tenaga listrik, kecil atau besar.

Photovoltaic Silikon merupakan photovoltaic yang umum. Sebagian besar sel surya saat ini terbuat dari silikon dan memiliki harga yang wajar dan memiliki nilai efisiensi yang baik (efisiensi sel surya mengubah sinar matahari menjadi listrik). Sel-sel ini biasanya dirakit menjadi modul yang lebih besar yang dapat dipasang di atap bangunan tempat tinggal, komersial atau ditempatkan di rak yang

dipasang di tanah untuk membuat sistem besar.

Teknologi photovoltaic lain yang umum digunakan dikenal sebagai sel surya film tipis karena dibuat dari lapisan yang sangat tipis dari bahan semikonduktor, seperti cadmium telluride atau copper indium gallium selenide. Ketebalan lapisan sel ini hanya beberapa mikrometer — yaitu, sepersepuluh meter. Sel surya film tipis fleksibel dan ringan, sehingga ideal untuk aplikasi portabel. Contohnya di ransel tentara atau untuk digunakan di produk lain seperti jendela yang menghasilkan listrik dari matahari. Photovoltaic jenis ini lebih mudah dikembangkan daripada teknik manufaktur sel surya silikon.

Photovoltaic merupakan sumber energi baru terbarukan. Sumber energi listrik ini dipengaruhi oleh cuaca sehingga menghasilkan energi yang berfluktuasi setiap waktu. Cara kerja photovoltaic secara umum adalah photovoltaic menghasilkan energi listrik ketika ada cahaya yang mengenai permukaan photovoltaic. Ketika pagi hari dan sore hari cahaya matahari kecil sehingga energi yang dihasilkan juga kecil. Ketika puncak siang hari energi matahari yang dihasilkan besar. Ketika musim hujan dan musim kemarau intensitas cahaya yang mengenai photovoltaic juga berbeda. Sehingga diperlukan peralatan pendukung agar penggunaan energi dan penyimpanan energi dapat berjalan secara efektif.

Karena sumber energi ini menghasilkan energi hanya pada siang hari maka dibutuhkan baterai untuk menyimpan energi listrik agar bisa dimanfaatkan di malam hari. Peralatan tersebut adalah charge controller yang bisa mengubah level tegangan sesuai dengan level tegangan baterai. Pada saat energi matahari kecil tegangan akan dinaikkan pada saat energi matahari besar tegangan akan diturunkan.



Gambar 1 Photovoltaic

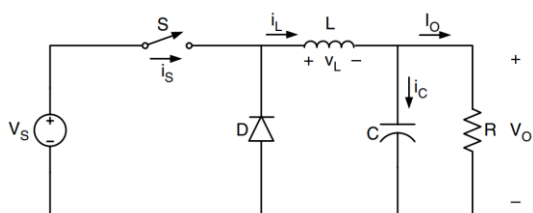
Photovoltaic memiliki beberapa sistem agar efektif menghasilkan energi. Sistem tersebut adalah *stand-alone system* dan *grid-connected system*. Untuk sistem *stand-alone system* tersebut tidak terhubung ke sistem grid seperti perusahaan listrik. Namun sistem ini membutuhkan baterai untuk menyimpan energi listrik. Sedangkan untuk sistem *grid-connected* tidak diperlukan baterai karena langsung terhubung sebagai generator kecil yang terhubung atau disebut *distributed generator*.

2.2 Converter

Converter diperlukan untuk sistem photovoltaic sebagai pentransfer energi dari photovoltaic ke baterai. Cara kerja converter adalah mengubah tegangan dc-dc dari level tegangan tertentu ke level tegangan tertentu sesuai dengan yang diinginkan oleh sistem. Peralatan yang penting yang digunakan di converter adalah saklar

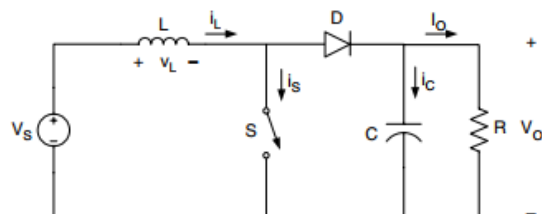
kecepatan tinggi. Komponen lain yang dibutuhkan disana antara lain sumber dc, saklar kecepatan tinggi, induktor, kapasitor, diode dan beban. Converter ini sangat penting untuk photovoltaic karena karakteristik photovoltaic berbeda dari sumber energi konvensional. Energi photovoltaic merupakan sumber dc sehingga trafo tidak dapat digunakan untuk mengubah tegan dari level tegangan tertentu.

Buck converter adalah converter yang dapat mengubah dari level tegan lebih rendah ke level tegangan yang lebih tinggi. Terdiri dari saklar kecepatan tinggi induktor dan kapasitor. Buck converter hanya bisa menurunkan tegangan dc tetapi tidak bisa menaikkan tegangan. Sehingga diperlukan converter lain untuk sistem photovoltaic.



Gambar 2 Rangkaian buck converter

Converter lain yang dibutuhkan adalah converter boost. Boost converter merupakan konverter DC-DC yang memiliki cara kerja menaikkan tegangan, menaikkan dari tegangan input agar tegangan di output menjadi lebih besar. Terdiri dari saklar kecepatan tinggi, induktor, dioda dan kapasitor.



Gambar 3 Rangkaian boost converter

Kedua converter ini bisa dimanfaatkan untuk photovoltaic system sebagai pentransfer energi dari photovoltaic ke baterai. Sehingga dapat diatur sesuai dengan kebutuhan sesuai dengan kondisi cuaca. Ketika cuaca buruk converter penaik tegangan bekerja, ketika cuaca bagus converter penurun tegangan bekerja.

2.3 MPPT

MPPT (maximum power point tracker) adalah *converter* elektronik DC-DC yang dapat mengoptimalkan penyimpanan energi yang dihasilkan photovoltaic, kemudian energi dari photovoltaic energi yang disimpan menuju baterai. Sederhana nya, MPPT mengubah output DC tegangan tinggi dari panel surya ke tegangan lebih rendah ke baterai. Tegangan yang menuju baterai disesuaikan sesuai dengan tegangan untuk mengisi baterai.

MPPT memanfaatkan teknologi converter DC-DC untuk mengatur tegangan yang masuk ke baterai. Sehingga converter tersebut bisa diatur sesuai dengan kondisi dari keluaran

photovoltaic dan kondisi tegangan dari baterai.

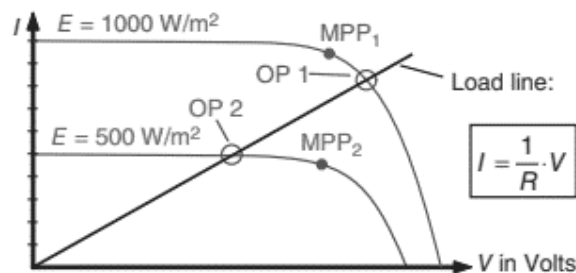
MPPT ini sangat bermanfaat untuk photovoltaic karena kemampuannya dalam mengatur tegangan, sehingga dapat secara efektif menyalurkan energi dari photovoltaic menuju ke baterai.

Karakteristik dari energi baru terbarukan adalah energi yang dihasilkan berfluktuatif. Khusus untuk photovoltaic energi yang dihasilkan hanya pada saat matahari bersinar. Sehingga MPPT ini mentransfer energi ke baterai. Pada saat membutuhkan energi baterai mensuplai energi ke beban.

Karakteristik photovoltaic pada saat mendapatkan energi matahari kecil adalah menghasilkan tegangan yang kecil. Ketika tegangan photovoltaic memiliki Tegangan yang lebih kecil di bawah tegangan baterai maka energi tidak bisa disimpan di baterai. Solusinya adalah MPPT bekerja untuk menaikkan tegangan di atas tegangan baterai. Caranya yaitu dengan mengatur buka tutup saklar kecepatan tinggi yang ada di converter. Sehingga energi bisa efektif masuk ke baterai.

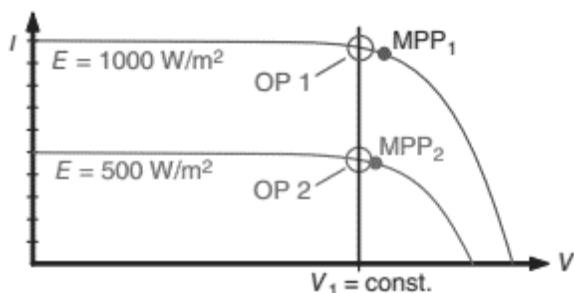
Sebaliknya karakteristik photovoltaic pada saat mendapatkan energi matahari yang besar akan menghasilkan tegangan yang besar. Tegangan dari photovoltaic melebihi dari tegangan yang ada di baterai. Agar energi dapat disimpan secara efektif, maka tegangan harus disesuaikan dengan kebutuhan tegangan untuk mengisi baterai. Caranya yaitu dengan mengatur saklar kecepatan tinggi yang ada di converter agar energi secara efektif dapat disimpan di baterai.

Untuk mempermudah pemahaman dari MPPT maka akan dibandingkan antara PV dihubungkan langsung ke beban resistif dengan PV dihubungkan dengan MPPT. Karakteristik dari beban resistif adalah membentuk grafik berbanding lurus antara tegangan dan arus. Beban resistif akan menyebabkan energi yang diterima menjadi kurang optimal. Sehingga ide dari MPPT adalah dengan menaikkan tegangan mendekati nilai MPP tersebut.



Gambar 4 PV terhubung langsung ke beban resistif

Dari gambar bisa dilihat perbandingan antara PV dihubungkan langsung dengan beban resistif. Titik daya yang diterima tidak menyentuh nilai MPP sehingga tidak semua energi yang dihasilkan oleh PV diserap. Sedangkan yang menggunakan MPPT titik daya yang diserap beban mendekati dengan nilai MPP sehingga semua energi yang dihasilkan oleh PV diserap secara efisien oleh beban.



Gambar 5 PV terhubung ke beban melalui converter yang bisa diatur

2.4 Pengukuran

Tegangan listrik dengan satuan volt merupakan kerja yang dilakukan untuk menggerakkan satu muatan satu coulomb dari terminal satu ke terminal yang lain. Arus listrik dengan satuan ampere adalah mengalirnya elektron pada konduktor.

Pengukuran Energi listrik merupakan pengukuran besaran listrik tegangan dan arus. Tegangan diukur menggunakan voltmeter dan arus diukur menggunakan ampere meter. Perkalian tegangan dan arus menunjukkan daya listrik. Pengukuran daya tiap waktu merupakan pengukuran energi. Daya diukur ketika ada arus yang mengalir. Syarat agar arus mengalir adalah harus terhubung ke beban. Ketika tidak berbeban maka arus nol menyebabkan daya nol sehingga tidak ada energi yang digunakan atau energi nol.

Pengukuran yang baik adalah pengukuran yang menggunakan alat ukur yang telah telkalibrasi dengan baik. Pengukuran arus dan tegangan harus benar dan telkalibrasi untuk mendapatkan besaran daya dan energi yang benar. Pengukuran di penelitian ini adalah pengukuran pada photovoltaic. Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui besaran tegangan, arus, daya dan energi dari photovoltaic [6]. Pengukuran energi dari photovoltaic terjadi pada saat matahari bersinar. Daya paling besar didapatkan pada puncak siang. Pengukuran tegangan dilakukan dengan voltmeter secara paralel di terminal photovoltaic dan pengukuran arus dilakukan secara seri menggunakan ampere meter.

Teknologi awal pengukuran voltmeter dan ampere meter awal merupakan sejarah awal alat ukur dan kemudian disempurnakan sampai saat ini.

Untuk pengukuran performance agar mendapatkan hasil yang baik maka dibutuhkan sistem logger yang baik. Agar dapat memonitor tegangan, arus, daya dan energi secara terus menerus setiap waktu. Hasil pengukuran dilihat dalam bentuk grafik dan dapat dianalisis bagaimana grafik performance photovoltaic. Hasil grafik dan pengukuran digunakan untuk analisis performance photovoltaic.

Pengukuran menggunakan volt meter dan ampere meter memiliki keterbatasan dalam mencatat besaran. Voltmeter dan ampere meter dipasaran sebagian besar tidak bisa mencatat besaran listrik secara detail tiap waktu. Sehingga pada saat terjadi fluktuasi energi dari photovoltaic tidak bisa terekam dengan baik. Sehingga pencatatan berlangsung dengan baik tanpa adanya data

yang terlewat.



Gambar 6 display pengukuran

Alat ukur akan dibandingkan dengan alat ukur yang sudah terkalibrasi. Sehingga bisa dipercaya hasil yang dihasilkan oleh alat monitoring ini. Caranya dengan membandingkan dua buah alat ukur dengan beban dan sumber yang sama. Dengan variasi beban yang berbeda beda. Hasilnya ditunjukkan dalam bentuk presentase.

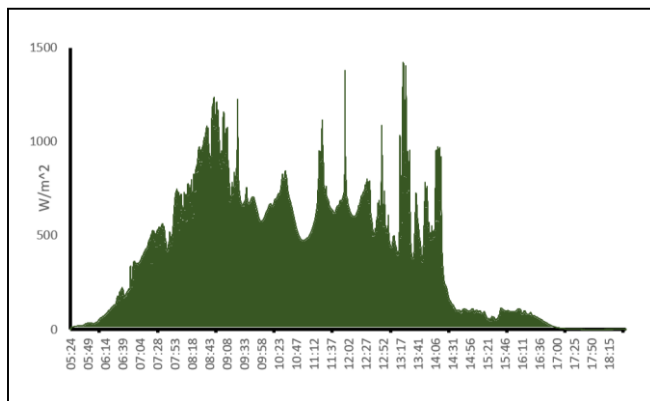
Pengukuran dan monitoring menggunakan microcontroller atmega328p dan sensor untuk pengukuran besaran listrik. Microcontroller diatur untuk mengukur tegangan, arus, daya dan energi. Logger data juga dibuat untuk disimpan di microsd sehingga karakteristik data bisa dianalisis dengan baik.

Pengukuran ini dilakukan pada pembangkit tenaga surya. Pengukuran listrik dilakukan di saluran masuk ke *charge controller* dan saluran keluar *charge controller* yang menuju baterai. Data hasil pengukuran digunakan untuk analisis, untuk mengetahui kondisi tegangan dan arus yang masuk ke charge controller. Baterai yang digunakan ada 1 tipe baterai. Tipe baterai tersebut adalah tipe *flooded Photovoltaic* yang digunakan adalah *photovoltaic* jenis *polycrystalline*.

3. Hasil dan Diskusi

Pengukuran dilakukan dengan pengukuran langsung di wilayah Indonesia. Pengukuran dilakukan pada waktu musim penghujan. Pengukuran ini didapatkan hasil radiasi matahari yang berfluktuasi. Puncak daya per meter persegi yang didapatkan bukan terjadi pada tengah hari. Hal ini disebabkan karena adanya mendung dan hujan sehingga matahari yang sampai ke permukaan bumi terhalang oleh mendung.

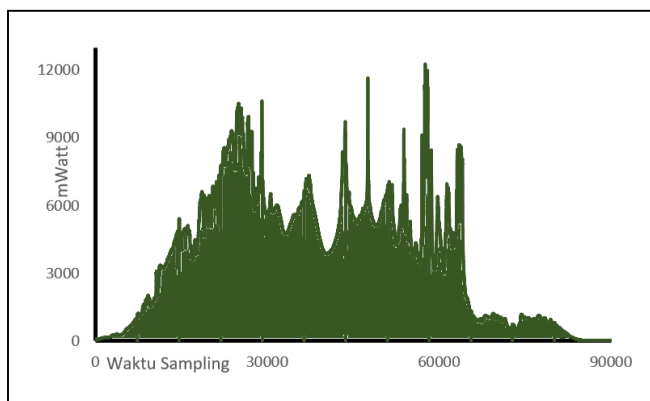
Pengukuran ini menggunakan alat ukur solar power meter dilakukan logger tiap detik. Waktu pengukuran radiasi sinar matahari dimulai pada saat terbit matahari pukul 05:29 WIB sampai dengan pukul 17:56. Pada sore hari menjelang terbit matahari daya per meter persegi yang dihasilkan sangat sedikit. Hal ini disebabkan karena pada saat itu sedang terjadi hujan. Pada saat pengukuran maksimum daya matahari per meter persegi adalah $1,420 \text{ W/m}^2$. Energi yang didapatkan pada saat pengukuran tanggal 29 Januari adalah $5280,22806 \text{ Wh/m}^2$.



Gambar 7 Grafik Pengukuran Watt per meter persegi matahari

Hasil Pengukuran daya yang dihasilkan photovoltaic menuju MPPT dapat dilihat pada Gambar 8. grafik di bawah ini. Pengukuran dilakukan mulai saat matahari terbit sampai dengan matahari terbenam tanggal 29 Januari. Hasil energi yang didapatkan adalah hasil penjumlahan grafik daya gambar 8. Hasil pengukuran energi yang didapatkan dalam pengukuran ini sebesar 45801,7 mWh.

Gambar grafik pengukuran menunjukkan hasil yang mendekati sama pada saat akhir pengukuran sebelum matahari terbit. Daya yang dihasilkan sedikit disebabkan karena terjadi hujan pada waktu tersebut.



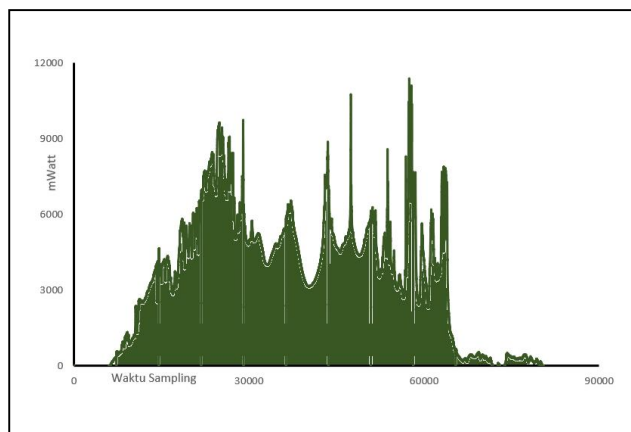
Gambar 8. Grafik Pengukuran Daya PV yang masuk MPPT

Hasil Pengukuran dapat dilihat pada Gambar 9. gambar grafik pengukuran daya dari MPPT ke baterai. Hasil pengukuran daya dapat digunakan untuk menghitung besaran energi yang dikirim dari PV menuju ke baterai. Besar energi yang dikirim sebesar 36553,2 mWh.

Pengukuran tersebut dapat digunakan untuk melihat efisiensi energi yang dibangkitkan PV dibandingkan dengan energi yang dikirim ke baterai. Efisiensi energi ini disebabkan karena adanya losses pada saat MPPT bekerja. MPPT bekerja berdasarkan cara kerja dari converter. Efisiensi energi dapat dihitung menggunakan perhitungan efisiensi energi sebagai berikut.

$$\eta = \frac{\text{Energi Out}}{\text{Energi In}} \times 100\% = \frac{36553,2}{45801,7} \times 100\% = 79,81\% \quad (3-1)$$

Efisiensi energi didapatkan dari perbandingan antara energi yang masuk dibandingkan dengan energi yang keluar dikalikan 100%. Efisiensi MPPT dalam perhitungan saat pengukuran sebesar 79,81%.



Gambar 9 Grafik Pengukuran Daya Dari MPPT ke baterai

Dari pengukuran dari grafik di atas, maka daya yang diukur dapat dianalisis untuk dihitung efisiensi daya dari MPPT. Efisiensi daya dari MPPT diambil beberapa data untuk menunjukkan berapa efisiensi MPPT pada saat beroperasi di kondisi sebenarnya di lapangan. Kondisi pengukuran ini terjadi pada saat musim penghujan di negara Indonesia.

Perhitungan efisiensi dapat lebih mudah dilihat dengan melihat tabel pengukuran daya dari daya yang dihasilkan MPPT dan daya yang masuk ke baterai dari MPPT. Hasilnya menunjukkan bahwa efisiensi daya MPPT menunjukkan hasil yang bervariasi tergantung dengan kondisi cuaca di lapangan.

Tabel 1 Tabel Daya masuk dan daya keluar dari MPPT pengukuran pertama

No	MPPT in(mW)	MPPT out (mW)	Efisiensi Daya (%)
1	12280,62	11372,44	92,60
2	12274,54	11364,21	92,58
3	9876	9005,34	91,18
4	6933,12	6138,85	88,54
5	4753	3994	84,03
6	4517,377	3772,9	83,51
7	3957,1	3268	82,58
8	3560,846	2824,8	79,32
9	2986	2277	76,25

MPPT tersebut memiliki karakteristik efisiensi yang berfluktuasi sesuai dengan kondisi cuaca yang mengenai photovoltaic. Efisiensi walaupun bisa mencapai di atas 90% namun bisa sampai lebih dari 70%. Total efisiensi energi system photovoltaic yang menggunakan MPPT dengan kondisi cuaca musim penghujan di Indonesia pada saat pengukuran didapatkan 79,81%.

Pada Pengukuran kedua didapatkan pengukuran energi

matahari sebesar 5451,90 Wh/m². Hasil pengukuran tersebut lebih besar daripada pengukuran pertama karena intensitas cuaca yang berbeda. Waktu mendung dan hujan yang menyelimuti lebih sedikit dibandingkan hari pertama.

Energi yang didapatkan dari photovoltaic menuju MPPT adalah sebesar 47187,16 mWh. Perhitungan ini dilakukan dengan melakukan penjumlahan atau luas wilayah dari grafik pengukuran daya yang dilakukan tiap waktu secara real time.

Hasil Pengukuran daya pada MPPT yang menuju baterai menunjukkan energi sebesar 38127,68 mWh. Dari pengukuran tersebut dapat ditentukan nilai dari efisiensi MPPT pada saat kondisi cuaca sedikit lebih cerah dari pada sebelumnya.

$$\eta = \frac{\text{Energi Out}}{\text{Energi In}} \times 100\% = \frac{38127,68}{47187,16} \times 100\% = 80,80\% \quad (3-2)$$

Hasil efisiensi energi menunjukkan lebih baik ketika cuaca lebih cerah. Hasil perbedaan efisiensi sebesar 0,99% dibandingkan dengan cuaca yang lebih cerah.

Tabel 2. Tabel Daya masuk dan daya keluar dari MPPT pengukuran kedua

No	MPPT in(mW)	MPPT out (mW)	Efisiensi Daya (%)
1	13501,23	12487,23	92,48
2	12669,22	11730,22	92,58
3	9516,22	8665	91,05
4	8395	7572,01	90,19
5	7588,03	6801,02	89,62
6	5017,04	4283	85,36
7	4118,05	3371,01	81,86
8	3358,08	2647,07	78,82
9	2671	2010,05	75,25

Efisiensi daya dari MPPT pada saat beroperasi dalam kondisi musim hujan di Indonesia dengan kondisi yang lebih cerah dari sebelumnya hasilnya menunjukkan efisiensi yang berfluktuasi. Efisiensi daya MPPT didapatkan pada saat daya terbesar mendapatkan efisiensi 92,48%. Efisiensi yang didapatkan pada pengukuran kedua didapatkan efisiensi energi sebesar 80,80%. Pengukuran dilakukan mulai matahari terbit sampai dengan matahari terbenam.

4. Kesimpulan

Hasil Pengukuran tegangan, arus, daya dan energi dari *Photovoltaic* dan hasil pengukuran energi surya secara langsung didapatkan hasil yang berfluktuasi. Hasil variable pengukuran dipengaruhi oleh cuaca.. *Photovoltaic* sangat berpengaruh langsung terhadap cuaca walaupun siang hari jika cuaca buruk, maka awan akan menutupi energi matahari yang diserap oleh *photovoltaic*.

Efisiensi energi dari *photovoltaic* dipengaruhi dari *Performance* dari efisiensi daya MPPT dan Cuaca. Energi surya yang didapatkan oleh *photovoltaic* lebih besar maka didapatkan efisiensi energi yang lebih baik.

Efisiensi daya dari MPPT menunjukkan hasil yang berfluktuasi. Hasil pada saat matahari terbaik menunjukkan

efisiensi mencapai 92,58% dan 92,60%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin baik cuaca maka efisiensi daya dari MPPT akan lebih baik. Semakin baik efisiensi daya dari MPPT maka efisiensi daya dari *photovoltaic* juga akan semakin baik.

Daftar Pustaka

- [1] O.A. Rosyid, Smart Cities, "Comparative Performance Testing of Photovoltaic Modules in Tropical Climates of Indonesia", Automation & Intelligent Computing System, 81-86, 2017
- [2] I.N.S. Kumara, M. Ashari, A.S. Sampeallo, and A.A.G.A, "Simulated Energy Production and Performance Ratio of 5 MW Grid-Connected Photovoltaic under Tropical Savannah Climate in Kupang Timor Island of Indonesia", Pawitra, International Journal of Engineering and Technology innovation, 7(2), 117-129, 2018
- [3] T. Georgitsioti, G. Pillai, N. Pearsall, G. Putrus, I. Forbes and R. Anand, "Short-term performance variations of different photovoltaic system technologies under the humid subtropical climate of kanpur in India", IET Renewabl ePower Generation, 9(5), 438-445, 2015
- [4] Mertens, Konrad, "Photovoltaics: Fundamentals, Technology, and Practice", Wiley, 2018
- [5] Rashid, MH, 'Power electronics handbook Devices, circuits and applications', Academic Press, 2018
- [6] I. Bagus Kurniansyah, F. Ronilaya, and M. Fahmi Hakim, "Real Time Monitoring System Dari Active Solar Photovoltaic Tracker Berbasis Internet Of Things", ELPOSYS, vol. 7, no. 3, pp. 7-13, Nov. 2020.