

Analisa Performansi dan *Monitoring* Berbasis Web Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Fakultas Teknologi Industri ITS

Riyan Cahya Pambudi, Ridho Hantoro, Hendra Cordova

Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: hantoro@ep.its.ac.id

Abstrak—Kebutuhan masyarakat terhadap listrik sangat meningkat dikarenakan semakin maraknya perangkat elektronik. Maka dari itu pemilihan PLTS sebagai alternatif karena Indonesia merupakan negara yang berada di garis katulistiwa. Untuk menunjang kinerja PLTS dibutuhkan monitoring berbasis web untuk monitoring kinerja PLTS saat terjadi kerusakan. Dengan menggunakan sistem pemantauan nirkabel raspberry pi sebagai pengganti zigbee yang dirancang untuk menggantikan penggunaan kabel secara konvensional. Dari hasil analisa monitoring nilai rata-rata throughput yang didapat adalah sebesar 0,60822047 Kbps. rata-rata nilai delay yang terjadi hanya bernilai 0,469370341 ms dengan packet loss yang didapat sebesar 0%. Efisiensi rata-rata PV array didapatkan sebesar 10% dan efisiensi sistem PV sebesar 4%. Dalam satu hari mendapatkan 4,26297 kWh, sedangkan Rp 1467,28 persatu kWh nya. Maka dalam segi ekonomi menghemat uang sebesar Rp 6254,965731 perharinya, Dan perbulannya menghemat sebesar Rp 187.648,9719. peramalan efisiensi rata-rata PV selama beroperasi sebesar 12%, sedangkan nilai efisiensi aktualnya 10%, kesalahan peramalan efisiensi sebesar 2%.

Kata kunci—*Photovoltaic*, monitoring berbasis web, efisiensi.

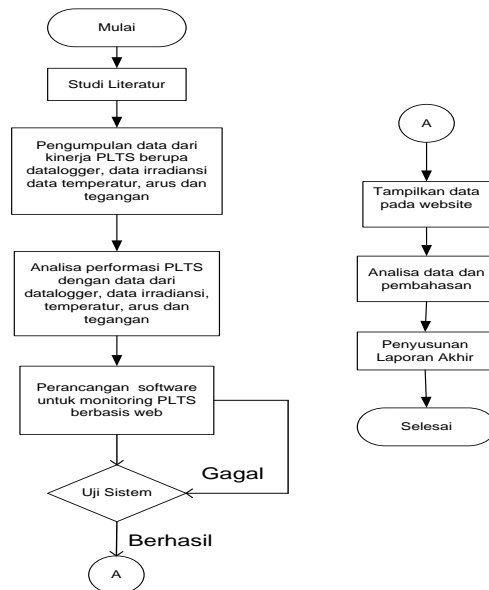
I. PENDAHULUAN

SAAT ini kebutuhan masyarakat terhadap listrik sangat meningkat dikarenakan semakin maraknya perangkat elektronik. Ada beberapa cara untuk mendapatkan listrik, diantaranya adalah berlangganan PLN (Perusahaan Listrik Negara) tetapi listrik PLN sendiri masih belum mencakup seluruh wilayah Indonesia. Sampai saat ini PT PLN (Persero) masih mengandalkan pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD) untuk menerangi daerah-daerah terpencil di seluruh Indonesia. Alternatif lain sumber energi listrik dengan PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya). Pemilihan PLTS sebagai alternatif karena Indonesia merupakan negara yang berada di garis katulistiwa sehingga Indonesia memiliki sumber energi matahari yang melimpah dibandingkan negara yang berada di Eropa. Energi surya di Indonesia sudah cukup besar untuk menyerap keluaran dari suatu pabrik sel surya berkapasitas hingga 25 MWp per tahun. Dengan wilayah yang luas dan intensitas cahaya matahari yang tinggi, pasokan listrik dari tenaga surya bisa menjadi andalan, demikian *Principal Advisor Deutsche Gessellschaft fur Internationale Zusammenarbeit* Indonesia Rudolf Rauch. Jerman dengan intensitas matahari yang tidak terlalu tinggi, bisa membangkitkan listrik 25 ribu Megawatt. Indonesia memiliki potensi 6 hingga 10 kali dari Jerman. Untuk menunjang kinerja PLTS dibutuhkan

monitoring berbasis web untuk monitoring jarak jauh dalam memantau kinerja PLTS saat terjadi kerusakan sehingga tidak perlu melakukan pengecekan setiap hari dan dapat memantau performansi PV dalam jarak yang jauh bahkan lintas pulau. Dengan sistem pemantauan nirkabel menggunakan raspberry pi sebagai pengganti zigbee yang dirancang dan dibangun sebagai pengganti penggunaan kabel konvensional sebagai sistem pemantauan untuk monitoring PLTS dengan komunikasi data menggunakan raspberry pi sebagai pengganti zigbee[1].

II. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas tentang alur penelitian analisa performansi dan monitoring berbasis web pada pembangkit listrik tenaga surya di fakultas teknologi industri ITS. Dimulai dari studi literatur, pengumpulan data, analisa performansi PLTS, perancangan *software*, uji *software*. Metodologi dalam pengerjaan studi dapat digambarkan dalam bentuk.



Gambar 1. Diagram Alur Studi

Pin	:	Daya Input akibat <i>irradiance</i> matahari	(Watt)
Ir	:	Intensitas radiasi matahari	(Watt/m ²)
A	:	Luas area permukaan <i>photovoltaic</i> module	(m ²)
Pout	:	Daya yang dibangkitkan oleh <i>solar cell</i>	(Watt)
Voc	:	Tegangan rangkaian terbuka pada <i>solar cell</i>	(Volt)
V out	:	Tegangan keluar	(Volt)
Isc	:	Arus hubung singkat pada <i>solar cell</i>	(Ampere)
I out	:	Arus keluar	(Ampere)
η	:	Efisiensi	

A. Sistem yang Dikaji

Sistem yang digunakan pada penelitian ini adalah monitoring PLTS berbasis web data yang ditampilkan berupa suhu, irradiance, tegangan dan arus PLTS dengan membandingkan pengaruh data irradiance dan suhu terhadap data tegangan dan arus *inverter* sampai ke batrai serta pengisian dan pemakaian batrai

B. Pengumpulan Data

Penelitian ini dimulai dengan mengumpulkan data proses dari PLTS. Data didapatkan berupa irradiance, suhu tegangan dan arus. Data yang dikumpulkan kemudian dimasukan kedalam data base sql, data yang dikumpulkan kemudian di upload melalui *raspberrypi*.

C. Analisa Jaringan *Raspberrypi* 3

Untuk menganalisa komunikasi pada jaringan *raspberrypi* maka salah satu cara mengetahui performansinya dalam transmisi data ke penerima suatu jaringan dengan cara pengujian Quality of Service (QoS). Hasil pengukuran parameter QoS yang terdiri throughput, delay, jitter, dan paket loss dapat dievaluasi dan di analisis dengan penjelasan berikut. Throughput didefinisikan sebagai kecepatan rata-rata data efektif yang diterima oleh node penerima pada suatu selang waktu pengamatan tertentu. Throughput adalah kemampuan suatu jaringan dalam melakukan pengiriman data.

$$Throughput = \frac{Packet\ receiver\ ukuran\ paket}{Total\ waktu\ pengiriman} \text{ (bps)} \tag{1}$$

Delay didefinisikan sebagai waktu tunda yang dibutuhkan oleh paket data oleh dari pengirim ke penerima. Delay dipengaruhi oleh perbedaan jarak. Untuk mengetahui delay yang diakibatkan oleh proses transmisi dari satu titik ke titik tujuan maka dapat dilihat pada persamaan :

$$Delay\ rata - rata = \frac{Waktu\ pengiriman}{Total\ paket\ yang\ diterima} \tag{2}$$

Packet loss yaitu jumlah prosentase paket yang hilang dalam proses pengiriman data dari sumber trafik ke node tujuan. Packet loss dapat terjadi karea tabrakan antar paket dalam jaringan. Untuk menghitung packet loss pada sistem ini dengan menggunakan persamaan

$$Packet\ Loss = \frac{Paket\ data\ yang\ dikirim - paket\ data\ yang\ diterima}{Paket\ data\ yang\ dikirim} \times 100\% \tag{3}$$

D. Pengujian dan Kalibrasi

Setelah merencanakan suatu alat/*hardware* dan membuatnya, selanjutnya dilakukan pengujian terhadap alat tersebut. Pengujian alat dilakukan untuk mengetahui apakah peralatan yang dirancang berjalan sesuai dengan yang diharapkan. Berdasarkan data yang telah didapatkan dari pengujian dengan rasio 1:8. Berikut ini perhitungan validasi nilai web dengan nilai LCD mikrokontroler .

- Akurasi

$$A = 1 - \left| \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right| \times 100\%$$

Dengan :
 Yn = Pembacaan Standar
 Xn = Pembacaan Alat

$$A = 1 - \left| \frac{170 - 170}{170} \right| \times 100\% = 100\%$$

- Error

$$Error = \frac{(nilai\ yang\ terbaca - nilai\ sebenarnya)}{nilai\ sebenarnya} \times 100\%$$

$$Error = \frac{(170 - 170)}{170} \times 100\%$$

$$Error = 0\%$$

Berdasarkan data yang telah didapatkan dari pengujian dengan rasio 1:8, maka dapat diperoleh nilai validasi dari web dengan nilai LCD mikrokontroler berikut :

- Akurasi rata-rata : 91%
- Error rata-rata : 9%

E. Analisis Permalan Menggunakan Metode Regresi Linear

Regresi *linear* adalah alat statistik yang dipergunakan untuk mengetahui pengaruh antara satu atau beberapa variabel terhadap satu buah variabel. Analisis regresi linear sederhana dipergunakan untuk mengetahui pengaruh antara satu buah variabel bebas terhadap satu buah variabel terikat. Persamaan umumnya adalah:

$$Y = a + b X \tag{4}$$

Dengan Y adalah variabel terikat dan X adalah variabel bebas. Koefisien a adalah konstanta (*intercept*) yang merupakan titik potong antara garis regresi dengan sumbu Y pada koordinat kartesius. Untuk mendapatkan nilai b dengan persamaan berikut :

$$b = \frac{\sum x_i \sum y_i - n \sum x_i y_i}{(\sum x_i)^2 - n \sum x_i^2} \tag{5}$$

sedangkan nilai a adalah persamaan :

$$a = \frac{1}{n} \sum y_i - \frac{1}{n} \sum x_i b \tag{6}$$

F. Analisa performansi PLTS

Analisa Performansi PLTS menggunakan data cuaca dan data rekam dari datalogger. untuk mengetahui berapa nilai daya sesaat yang dihasilkan kita harus mengetahui daya yang diterima (daya *input*), di mana daya tersebut adalah perkalian antara intensitas radiasi matahari yang diterima dengan luas area PV module dengan persamaan [2]:

$$P_{in} = I_r \times A \tag{7}$$

Sedangkan untuk besarnya daya pada solar cell (*Pout*) yaitu perkalian tegangan rangkaian terbuka (*Voc*), arus hubung singkat (*Isc*), dan Fill Factor (*FF*) yang dihasilkan oleh sel Photovoltaic dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \text{ atau } P_{out} = V_{out} \times I_{out} \tag{8}$$

$$FF = \frac{V_{oc} - \ln(V_{oc} + 0.72)}{V_{oc} + 1} \tag{9}$$

Efisiensi yang terjadi pada sel surya adalah merupakan perbandingan daya yang dapat dibangkitkan oleh sel surya dengan energi input yang diperoleh dari irradiance matahari. Efisiensi yang digunakan adalah efisiensi sesaat pada pengambilan data.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \tag{10}$$

III. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Analisa Jaringan Raspberry pi 3

Perhitungan komunikasi pada jaringan raspberry dengan cara pengujian Quality of Service (QoS). Hasil pengukuran parameter QoS yang terdiri throughput, delay, dan paket loss sebagai berikut: Secara sederhana throughput dapat diartikan sebagai bandwidth aktual terukur saat pengiriman data. dari persamaan (1) didapatkan nilai rata-rata throughput yang didapat adalah sebesar 0,60822047 Kbps. Nilai rata-rata throughput sebesar 0,60822047 Kbps jika dikonversikan kedalam satuan Bps adalah sebesar 608,22047Bps.

Delay/Latency secara sederhana dapat diartikan sebagai waktu tunggu yang dibutuhkan saat pengiriman data. Semakin kecil nilai delay berarti kualitas jaringan tersebut semakin bagus, begitu juga sebaliknya jaringan yang memiliki nilai delay yang besar menandakan jaringan tersebut memiliki kualitas buruk. Delay rata didapatkan dari persamaan (2). Berdasarkan Tabel 4.2 rata-rata nilai delay yang terjadi hanya bernilai 0,469370341 ms dengan demikian menandakan bahwa kategori latensi pada jaringan tersebut memiliki grade excellent karena nilai delay yang diperoleh kurang dari 150 ms. Nilai rata-rata delay minimal yaitu sebesar 0,18 ms dan nilai delay maksimal sebesar 1,49 ms.

Packet Loss didapatkan dari persamaan (3). Berdasarkan tabel 4.3 packet loss yang didapat kan sebesar 0% dikarenakan tidak terjadi paket loss karena sistem host menggunakan TCP jika gagal dikirim atau data yang dikirim kurang maka akan melakukan pengiriman ulang. TCP (transmission transfer protocol) berperan didalam memperbaiki pengiriman data yang

benar dari suatu klien ke server. Data dapat hilang di tengah-tengah jaringan. TCP dapat mendeteksi error atau data yang hilang dan kemudian melakukan transmisi ulang sampai data diterima dengan benar dan lengkap.

B. Validasi nilai web

Berdasarkan data yang telah didapatkan dari pengujian dengan rasio 1:8. Diperoleh nilai validasi dari web dengan nilai LCD mikrokontroler nilai akurasi rata-rata sebesar 91% dan *error* rata-rata sebesar 9% dikarenakan program mengalami *error* data yang tertumpuk dengan nilai sebelumnya sehingga menyebabkan pembacaan yang tidak sesuai dengan nilai LCD pada mikrokontroler dan pembacaan sensor mengalami *error*.

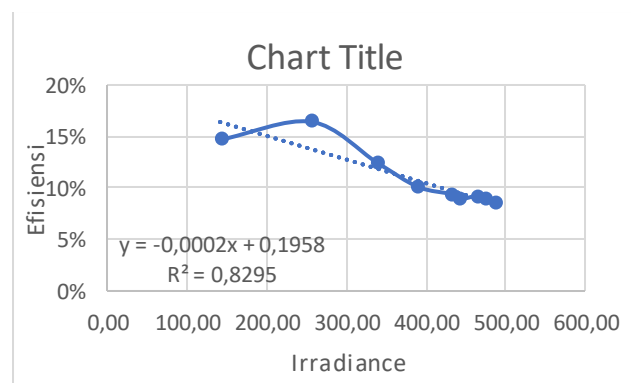
C. Analisa Peramalan Menggunakan Metode Analisa Peramalan Dengan Metode Regresi Linier

Perhitungan konstanta regresi linier untuk menghitung peramalan efisiensi pada PLTS sebagai berikut:

Tabel 1.
Menghitung Konstanta Regresi Linier regresi linier

X	y	Xy	x ²
141,35	0,1467	20,7407	19979,21
255,54	0,1645	42,0346	65303,11
338,07	0,1243	42,0346	114292,05
388,93	0,1007	39,1605	151266,86
431,15	0,0935	40,3269	185893,99
441,83	0,0886	39,1605	195215,19
462,82	0,0917	42,4494	214203,51
473,37	0,0888	42,0346	224083,47
486,81	0,0858	41,7580	236983,88

Dari persamaan (5) didapatkan nilai konstanta *b* sebesar -0,0002, dan dari persamaan (6) konstan *a* didapatkan nilai 0,1958. Maka didapatkan persamaan regresi linearnya adalah $y = -0,0002x + 0,1958$



Gambar 1. Grafik Regresi Linier

Mengukur nilai akurasi peramalan ketepatan model peramalan efisiensi :

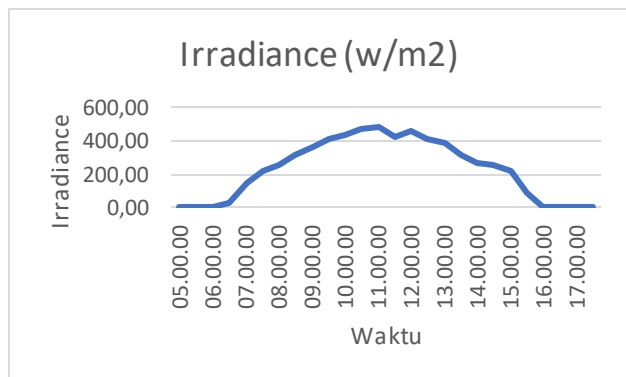
Tabel 2.
Error Peramalan Regresi Linier

effisiensi	peramalan	MAPE
0,146735452	0,19065337	3%
0,164490058	0,16743043	0%
0,124336483	0,144591054	2%
0,100687663	0,128085786	3%
0,09353245	0,117913919	3%
0,088632164	0,109469149	3%
0,091718741	0,107333674	2%
0,088797691	0,103135749	2%
0,085778914	0,101025088	2%

Didapatkan jumlah error peramalan menggunakan metode MAPE terbesar 2% sedangkan error terkecil sebesar 0%, jumlah error peramalan sebesar rata-rata 3% terhadap efisiensi sebenarnya. Dan jumlah error peramalan menggunakan metode MAD didapatkan error sebesar 2%. Sedangkan jumlah error peramalan menggunakan metode MSE didapatkan error sebesar 1%.

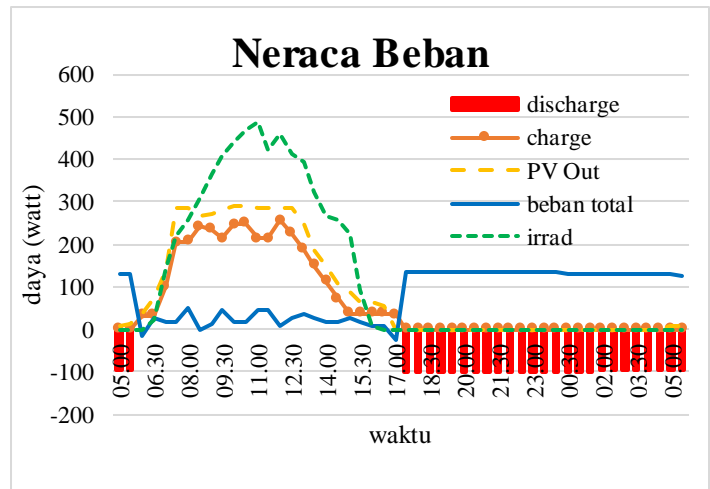
D. Analisa dan Pengolahan Data dari Datalogger dan data Cuaca

Setelah didapatkan data kinerja PLTS dari datalogger dan data cuaca selama 24 jam, kemudian data-data tersebut dikelompokkan sesuai data yang dibutuhkan dan di ambil nilai rata-rata perjamnya. Data yang dapat diambil dari datalogger adalah data daya dari inverter yang digunakan untuk mensuplai beban, data daya yang dihasilkan oleh photovoltaic, dan daya untuk charging baterai, kemudian data cuaca adalah data irradiansi yang diambil setiap 30 menit selama 24 jam. Sedangkan data cuaca meliputi data irradiansi dan data suhu permukaan pv dan lingkungan.



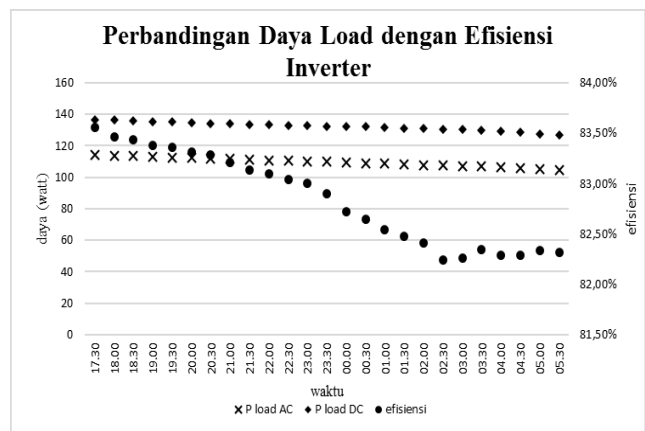
Gambar 2. Grafik Irradiance

Pada grafik irradiance didapatkan irradiance terbesar pada pukul 11.00 yaitu sebesar 488,7312 W/m2 pada 21 mei 2017 dan irradiance terkecil pada pukul 16.00 yaitu sebesar 7,0014W/m2 pada 21 mei 2017.



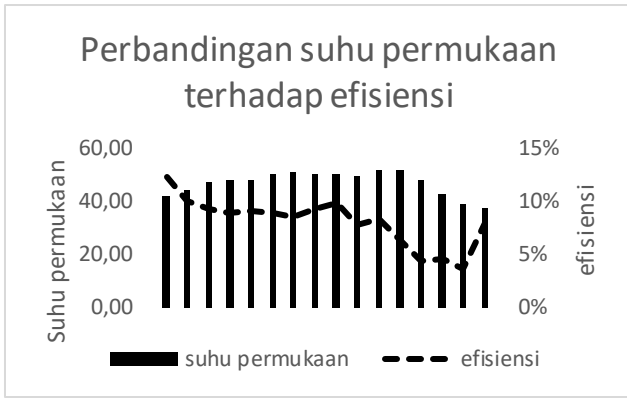
Gambar 3. Grafik Daya

Selain data daya juga diambil data sensor cuaca (Irradiansi, Temperatur dan kelembaban) selama dua hari yang diambil rata-rata tiap jamnya, pada data yang diambil dapat diketahui daya maksimum yang didapat PLTS sebesar 3,3054 kW/m2 dan data yang mampu dikonversikan menjadi listrik sebesar 0,305 kW pada pukul 11:30 pada hari kedua, dengan rata-rata temperature adalah 30,42 o Celcius dan kelembaban sebesar 70,07%. Rata-rata daya charging sebesar 376,72 W dan rata-rata daya yang didapat PLTS sebesar 1878,83 W dan daya rata-rata persetengah jam yang mampu dikonversikan menjadi listrik sebesar 186,15 W dan dalam sehari daya yang dapat dikonversikan sebesar 2171,83 Wh dengan Solar input sebesar 20155,73 Wh sedangkan daya yang hilang sebesar 17983,90 Wh.



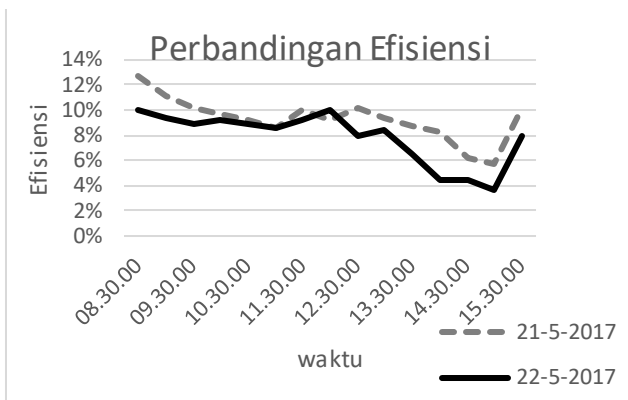
Gambar 4. Grafik Perbandingan Daya Beban dengan efisiensi inverter

Dari grafik daya Beban 100 W terbesar 136,53 W pada pukul 18.30 yang merupakan proses *discharging battery*, sedangkan nilai terkecil daya charging pada pukul 05.30 yaitu 127,04 W dikarenakan tegangan pada batrai yang semakin lama semakin berkurang. PLTS dapat mencukupi daya beban selama 12 jam. Sedangkan terhadap efisiensi inverter berbanding lurus dikarenakan daya yang masuk ke inverter semakin berkurang dan daya yang keluar juga berkurang.



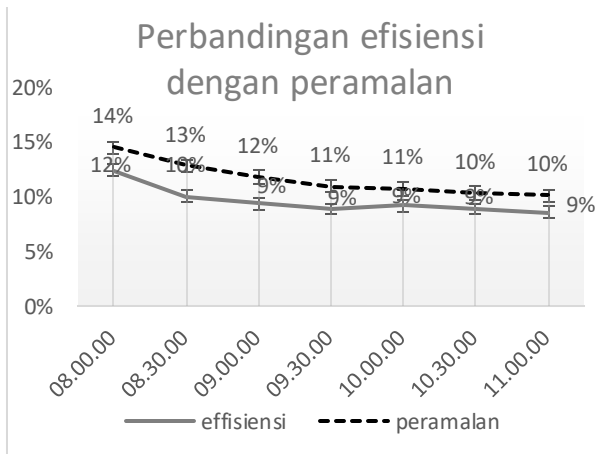
Gambar 5. Perbandingan suhu permukaan terhadap efisiensi

Dari grafik diatas kenaikan suhu mengakibatkan penurunan nilai efisiensi. Jadi semakin besar energi radiasi yang dikonversikan menjadi daya semakin besar nilai effisiensinya. Terlihat bahwa pada suhu antara 40° C-50° C efisiensi cenderung menurun seiring peningkatan suhu permukaan.



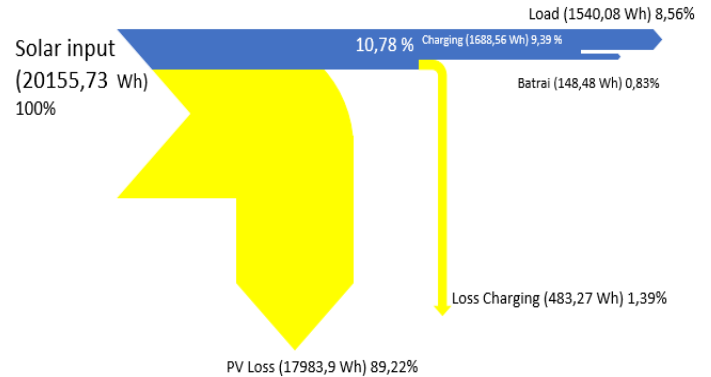
Gambar 6. Efisiensi PV Array

Dapat disimpulkan bahwa selama PV bekerja dari hasil rata-rata efisiensi dari PV pada 21 mei 2017 adalah 10% dan rata-rata efisiensi pada 22 mei 2017 adalah 8%, sehingga dapat disimpulkan efisiensi pada 22 mei mengalami penurunan sebesar 2%. Efisiensi rata-rata PV array didapatkan sebesar 10% dan efisiensi sistem PLTS sebesar 6,77%.



Gambar 7. Perbandingan efisiensi dengan peramalan

Pada peramalan efisiensi rata-rata PV selama beroperasi sebesar 12%, sedangkan nilai efisiensi aktualnya 10%, sehingga pada analisa 24 jam kedua photovoltaik mengalami kesalahan peramalan efisiensi sebesar 2% dari kondisi seharusnya dengan peramalan. Sehingga dalam penelitian ini, dari analisa performansi photovoltaik bahwa photovoltaik yang telah mengalami kesalahan peramalan efisiensi sebesar 2% .



Gambar 8. Diagram sankey hasil analisa monitoring

Pada diagramsankey dapat dilihat besarnya daya loss, hanya 10,78% saja yang diubah menjadi energi listrik, loss daya photovoltaic adalah 89,22% yang tidak dapat dikoversikan menjadi energi listrik, dengan PV jenis Poly-crystalline yang memiliki efisiensi sebesar 14,13 % dan toleransi performa ±2%. Sedangkan daya charging yang dapat dikonversi sebesar 9,39 % dengan daya loss charging 1,39%. Daya yang digunakan untuk menyalakan beban sebesar 8,2% dan sisa yang tersimpan pada batrai sebesar 1,19%.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Telah dilakukan rancang bangun sistem *monitoring* sebuah web untuk menampilkan hasil monitoring PLTS
2. Didapatkan nilai rata-rata throughput yang didapat adalah sebesar 0,60822047 Kbps. rata-rata nilai delay yang terjadi hanya bernilai 0,469370341 ms dengan demikian menandakan bahwa kategori latensi pada jaringan tersebut memiliki grade excellent karena nilai delay yang diperoleh kurang dari 150 ms. packet loss yang didapat sebesar 0% dikarenakan tidak terjadi paket loss karena sistem host menggunakan TCP jika gagal dikirim atau data yang dikirim kurang maka akan melakukan pengiriman ulang.
3. Didapatkan efisiensi rata-rata PV array didapatkan sebesar 10,78% dan efisiensi sistem PV sebesar 6,77%. Peramalan efisiensi rata-rata PV selama beroperasi sebesar 12%, sedangkan nilai efisiensi aktualnya 10%, sehingga pada analisa 24 jam kedua photovoltaik mengalami kesalahan peramalan efisiensi sebesar 2% dari kondisi seharusnya dengan peramalan.
4. Daya yang yang dapat diubah menjadi energi listrik sebesar 10,78%. Daya *loss photovoltaic* yang tidak dapat

dikoversikan menjadi energi listrik sebesar 89,22%, dengan PV jenis Poly-crystalline yang memiliki efisiensi sebesar 14,13 % dan toleransi performa $\pm 2\%$. Sedangkan daya *charging* yang dapat dikonversi sebesar 9,39 % dengan daya loss *charging* 1,39%. Daya yang digunakan untuk menyalakan beban sebesar 8,2% dan sisa yang tersimpan pada batrai sebesar 1,19%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Alena, R., Gilstrap, R., Baldwin, J., Stone, T., & Wilson, "Fault tolerance in ZigBee wireless sensor networks. Aerospace Conference," 2011. .
- [2] M. E. Mahmud Hidayaturohmat, Hendra Kurniawan, S.Kom., M.Sc.Eng, Sapta Nugraha, S.T., "Prototype Sistem Monitoring Suhu Realtime Pada Kolam Pembenihan Ikan Berbasis Wirelles Area Network."