

# Studi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Makalehi Di PLN Area Tahuna Rayon Siau Kabupaten Kepulauan Sitaro

Rioh Juanda Lumempouw<sup>(1)</sup>, Dr. Eng. Meita Rumbayan, ST., M.Eng<sup>(2)</sup>,  
Ir. Hans Tumaliang, MT<sup>(3)</sup>

(1)Mahasiswa, (2)Pembimbing 1, (3)Pembimbing 2

Jurusan Teknik Elektro-FT. UNSRAT, Manado-95115, Email: [juan.lumempouw99@yahoo.com](mailto:juan.lumempouw99@yahoo.com)

*Abstract - Electricity is one of the world which can not be seen with the naked eye, but can be enjoyed by the user. PLTS Makalehi 260 kWp, not optimal so most people have not been using electricity as a means of lighting in their homes. The method used by several phases: preparation, data collection and resistant identification of problems. Data collection is done by oservasi, interviews, photos and major equipment requested data PLTS exploitation. The results showed that the equipment / components PLTS Makalehi no longer be updated, resulting in an output power PLTS Makalehi decreased from year to year and are not able to supply the maximum power as the power capable of 150 kWp solar power Makalehi.*

**Keywords:** 260 kWp, Makalehi, Sitaro, Solar Power Plant (PLTS).

**Abstrak -** Listrik merupakan salah satu mata dunia yang tidak dapat dilihat dengan kasat mata, tetapi dapat dinikmati oleh pemakainya. PLTS Makalehi 260 kWp, belum optimal sehingga sebagian masyarakat belum memakai listrik sebagai sarana penerangan dalam rumah mereka. Metode penelitian yang digunakan melalui beberapa tahap yaitu tahap persiapan, pengumpulan data dan tahan identifikasi masalah. Pengumpulan data dilakukan dengan cara oservasi, wawancara, foto peralatan utama dan meminta data-data perusahaan PLTS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Peralatan/komponen PLTS Makalehi tidak lagi di perbaharui sehingga mengakibatkan daya output PLTS Makalehi menurun dari tahun ke tahun dan tidak mampu menyuplai daya maksimum seperti daya mampu PLTS Makalehi yaitu 150 kWp.

**Kata Kunci:** 260 kWp, Makalehi, Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Sitaro.

## A. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan listrik baik untuk kalangan industri, perkantoran, maupun masyarakat umum dan perorangan sangat meningkat. Energi terbarukan terus dikembangkan oleh PT. PLN (PERSERO) sebagai solusi dari beberapa permasalahan di atas. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah merupakan energi terbarukan dengan memanfaatkan sinar

matahari dan teknologi fotovoltaik yang ramah lingkungan karena tidak menggunakan bahan bakar. Namun saat ini PLTS di Kabupaten Kepulauan Sangihe belum sepenuhnya beroperasi secara optimal, dikarenakan kapasitas daya yang diberikan kepada tiap-tiap konsumen hanya 80 Watt. Ini menjadi salah satu masalah dimana, konsumen PLN melalui PLTS hanya mendapatkan listrik penerangan dan satu alat elektronik saja dan masyarakat di pulau kecil tidak bisa membuat usaha didalam rumah, seperti pertukangan, perbengkelan dan usaha lainnya. Sementara untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Kabupaten Kepulauan Sitaro lebih khusus PLTS Makalehi, yang ada di pulau Makalehi adalah Pembangkit dengan wilayah kelistrikan PLN Area Tahuna yang di bangun dengan dana 13 Milyar akan tetapi, pendapatan PLN Rayon Siau pulau Makalehi hanya berkisar 8 juta per bulan. Keadaan ini disebabkan jumlah pemakaian listrik di pulau Makalehi masih sedikit jumlahnya. Faktor yang mempengaruhi keadaan di PLTS Makalehi antara lain belum optimalnya PLTS Makalehi dan adanya masyarakat yang belum memakai listrik sebagai sarana penerangan dalam rumah mereka. Adapun tujuan dalam penelitian yaitu untuk mempelajari dan memahami lebih dalam mengenai prinsip serta cara kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), berdasarkan temuan atau problema yang ada di Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Makalehi maka, dicari solusi untuk meningkatkan kinerja dan mengoptimalkan daya *output* PLTS Makalehi, serta memberikan alternatif dalam mengembangkan pembangunan PLTS di daerah kepulauan lebih khusus pulau-pulau terluar.

## B. LANDASAN TEORI

### *Pembangkit Listrik Tenaga Surya*

PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) adalah pembangkit listrik yang menggunakan cahaya matahari, dengan mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS dapat langsung digunakan untuk mencatu beban, atau disimpan terlebih dahulu dalam

sebuah baterai. PLTS ini menghasilkan tegangan DC (*Direct Current*) yang dapat diubah menjadi tegangan AC (*Alternative Current*). Pembangkit Listrik Tenaga Surya mengkonversi energi cahaya yang diterima Modul Sel Surya perangkat ini adalah komponen utama pada sistem pembangkit ini. Hasil keluaran dari modul sel surya ini sudah berbentuk energi listrik DC yang selanjutnya akan dikonversikan menjadi energi listrik AC dengan menggunakan alat yang dinamakan *Inverter* (Isdawimah; 2010) (Lihat gambar 1).

Cara kerja sel surya adalah dengan memanfaatkan teori cahaya sebagai partikel. Sebagaimana diketahui bahwa, cahaya baik yang tampak maupun yang tidak tampak memiliki dua buah sifat yaitu dapat sebagai gelombang dan dapat sebagai partikel yang disebut dengan *photon*. Penemuan ini pertama kali diungkapkan oleh Einstein pada tahun 1905. Energi yang dipancarkan oleh sebuah cahaya dengan panjang gelombang  $\lambda$  dan frekuensi *photon*  $V$  dirumuskan dengan persamaan (1):

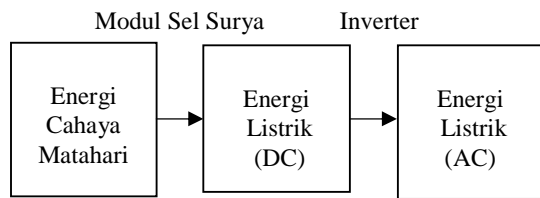
$$E = h \cdot \frac{c}{\lambda} \tag{1}$$

Keterangan:

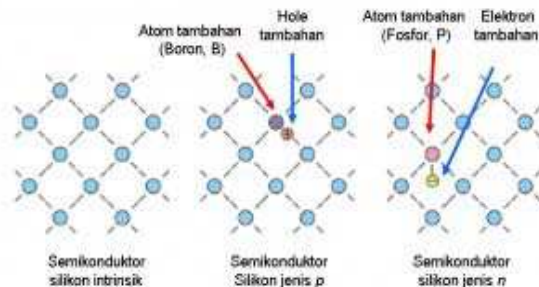
- E = Energi Cahaya
- h = Konstanta *Plancks* ( $6.62 \times 10^{-34}$  J.s)
- c = Kecepatan cahaya dalam vakum ( $3.00 \times 10^8$  m/s)
- $\lambda$  = Panjang gelombang.

**Proses Konversi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya**

Menurut Firmansya (2012), proses pengubahan atau konversi cahaya matahari menjadi listrik ini dimungkinkan karena bahan material yang menyusun sel surya berupa semikonduktor. Lebih tepatnya tersusun atas dua jenis semikonduktor: yakni jenis *ndan* jenis *p* (Lihat gambar 2).



Gambar 1. Konversi Energi Cahaya Matahari



Gambar 2. Bahan Semikonduktor pada sel surya  
(Sumber: <http://kuliah.imm.web.id/konversienergi/hasilugas/PANEL%20SURYA%20dan%20APLIKASINYA.pdf>)

Adanya medan listrik mengakibatkan sambungan P-N berada pada titik setimbang, yakni saat di mana jumlah hole yang berpindah dari semikonduktor P ke N dikompensasi dengan jumlah hole yang tertarik kembali ke arah semikonduktor P akibat medan listrik E. Terlepasnya elektron ini meninggalkan hole pada daerah yang ditinggalkan oleh elektron yang disebut dengan fotogenerasi elektron-hole (*electron-hole photogeneration*) yakni, terbentuknya pasangan elektron dan hole akibat cahaya matahari.

**Efisiensi Sel Surya**

Efisiensi sel surya dapat didefinisikan dengan persamaan (2), dan faktor pengisian pada persamaan (3):

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{V_{oc} \cdot I_{sc} \cdot FF}{S \cdot F} \tag{2}$$

Keterangan:

- Voc = Tegangan open circuit (Volt)
- Isc = Arus short circuit (Ampere)
- FF = Faktor pengisian
- S = Luas permukaan modul (m<sup>2</sup>)
- F = Intensita radiasi matahari yang diterima (Watt/m<sup>2</sup>)

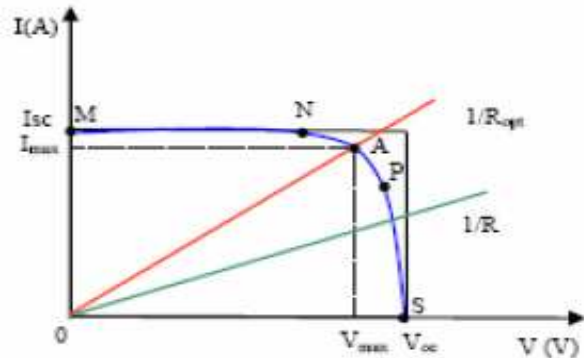
$$FF = \frac{V_m \cdot I_m}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \tag{3}$$

Keterangan:

- Voc = Tegangan open circuit (Volt)
- Isc = Arus short circuit (Ampere)
- Vm = Tegangan Nominal
- Im = Arus nominal

**Karakteristik Sel Surya**

Berdasarkan gambar 3, sel surya pada keadaan tanpa cahaya matahari, mirip seperti penyearah setengah gelombang dioda. Ketika sel surya mendapat sinar, akan mengalir arus konstan yang arahnya berlawanan dengan arus dioda. Sel surya pada kondisi normal dalam penggunaannya memiliki batasan ukuran suhu antara -65°C hingga +125°C (-85°F hingga +257°F).



Gambar 3. Karakteristik Sel Surya pada tiga daerah kondisi  
(Sumber: *Analisis Kinerja, Isdawimah, FT UI, 2010.*  
<http://www.panelsurya.com/index.php/home/nstulasi-listrik/tenagasurya?format=pdf>)

### *Komponen-komponen Utama Pembangkit Listrik Tenaga Surya*

Pada suatu sistem pembangkit listrik tenaga surya terdapat komponen-komponen utama yang sangat penting, yaitu: panel surya, regulator (rangkaiannya pengisi baterai), baterai, inverter.

### *Keuntungan dari PLTS*

Pembangkit listrik yang memanfaatkan energi surya atau lebih umum dikenal dengan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) mempunyai beberapa keuntungan yaitu: Sumber energi yang digunakan sangat melimpah dan cuma –cuma, sistem yang dikembangkan bersifat modular sehingga dapat dengan mudah diinstalasi dan diperbesar kapasitasnya, perawatannya mudah, tidak menimbulkan polusi, dirancang bekerja secara otomatis sehingga dapat diterapkan ditempat terpencil, relatif aman, keandalannya semakin baik, adanya aspek masyarakat pemakai yang mengendalikan sistem itu sendiri, mudah untuk diinstalasi, radiasi matahari sebagai sumber energi tak terbatas, tidak menghasilkan CO<sub>2</sub> serta emisi gas buang lainnya.

### *Perhitungan Teknis PLTS*

Rangkaian dari sel-sel yang disusun seri dan parallel tersebut dinamakan modul. Biasanya setiap modul terdiri dari 10-36 unit sel. Apabila tegangan, arus dan daya dari suatu modul tidak mencukupi untuk beban yang digunakan, maka modul-modul tersebut dapat dirangkai seri, parallel ataupun kombinasi keduanya untuk menghasilkan besar tegangan dan daya sesuai kebutuhan. Daya yang dihasilkan oleh panel surya maximum diukur dengan besaran wattpeak (wp), yang konversinya terhadap watthour (wh) tergantung intensitas cahaya matahari yang mengenai permukaan panel. Selanjutnya daya yang dikeluarkan oleh panel surya adalah daya panel di kalikan lamanya penyinaran.

### *Faktor Pengoperasian Sel Surya*

Menurut Mulyanto (2000), beberapa faktor dari pengoperasian sel surya agar mendapatkan nilai yang maksimum sangat tergantung pada lima kemungkinan, yaitu:

#### *Temperatur udara*

Sebuah sel surya dapat beroperasi secara maksimum jika temperature sel tetap normal pada 25 derajat Celsius. Kenaikan temperature lebih tinggi dari temperature normal pada sel surya akan melemahkan tegangan Voc. Gambar 3 menunjukkan setiap kenaikan temperatur sel surya 10 derajat celsius dari 25 derajat celsius akan berkurang sekitar 0,4 % pada total tenaga yang di hasilkan atau akan melemah dua kali lipat untuk kenaikan temperatur sel per 10 derajat Celsius.

#### *Radiasi matahari*

Radiasi matahari di bumi pada lokasi yang berbeda akan bervariasi dan sangat tergantung dengan keadaan sepektrum

matahari ke bumi. Insolasi matahari akan banyak berpengaruh terhadap arus (I) dan sedikit terhadap tegangan (v).

#### *Kecepatan angin bertiup*

Kecepatan tiupan angin disekitar lokasi sel surya akan sangat membantu terhadap pendinginan temperatur permukaan sel surya sehingga temperature dapat terjaga dikisaran 25 derajat Celsius.

#### *Keadaan atmosfer bumi*

Keadaan atmosfer bumi berawan, mendung, jenis partikel debu udara, asap, uap air udara, kabut dan polusi sangat menentukan hasil maksimum arus listrik dari sel surya.

#### *Orientasi panel kearah matahari secara optimum*

Orientasi dari rangkaian panel kearah matahari secara optimum adalah sangat penting untuk menghasilkan energi yang maksimum. Selain arah orientasi sudut orientasi (*tilt angle*) dari panel juga sangat mempengaruhi hasil energi yang maksimum. Untuk lokasi yang terletak di belahan utara latitude, maka panel sebaiknya diorientasikan ke selatan. Begitu juga yang letaknya di belahan selatan latitude, maka panel sebaiknya diorientasikan ke utara. Walaupun panel diorientasikan ke barat atau ke timur akan tetap menghasilkan energi, tetapi tidak akan menghasilkan energi yang maksimum.

### **C. METODOLOGI PENELITIAN**

Prosedur penelitian dalam penyusunan tugas akhir ini, yang pertama-tama penulis melakukan beberapa langkah-langkah untuk pengambilan dan pengolahan data yang akan menjadi landasan penelitian. Langkah-langkah tersebut menjadi beberapa tahapan, antara lain tahap persiapan, tahap pengambilan data, dan indentifikasi masalah dengan menggunakan beberapa teknik pengumpulan data antara lain berupa observasi lokasi penelitian, wawancara mengenai system PLTS, foto peralatan utama di lokasi PLTS, dan meminta data-data perusahaan PLTS Makalehi.

Jenis data penelitian dikelompokkan menjadi dua bagian yaitu data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang diperoleh berdasarkan survai langsung dari lapangan dan data sekunder diperoleh berdasarkan data-data yang sudah di lapangan. Teknik analisis data menggunakan perkalian antara intensitas radiasi matahari yang diterima dengan luas area *PV module* (Mulyatno, 2000).

#### *Menghitung Area Array (PV Area)*

Luas area array dapat dihitung dengan persamaan (4):

$$PV \text{ Area} = \frac{EL}{G_{av} \times \eta_{pv} \times TCF \times \eta_{out}} \quad (4)$$

Keterangan:

EL = Di ambil data nilai rata-rata kWh salur PLTS Makalehi dari bulan Januari-Desember 2014

- Gav = Nilai Insolasi harian matahari (akan dipakai nilai insolasi rata-rata terendah pada tahun 2010, yaitu sebesar 4,29 kWh/m<sup>2</sup>)
- $\eta_{pv}$  = Efisiensi panel surya sebesar 14%
- TCF = *Temperature Corretion Factor*
- $\eta_{out}$  = Efisiensi *Output* (ditentukan berdasarkan efisiensi komponen-komponen dari PLTS = 0,9)

Berdasarkan perhitungan area *array*, maka besarnya daya yang dibangkitkan PLTS dapat dihitung dengan persamaan (5) sebagai berikut:

$$P \text{ Watt peak} = \text{Area array} \times \text{PSI} \times \eta_{pv} \quad (5)$$

Keterangan:

- P Watt peak = Daya yang dibangkitkan PLTS
- PSI = *Peak Sun Insulation* (1000 kWh/m<sup>2</sup>)
- $\eta_{pv}$  = Efisiensi Panel Surya (0,14)

#### D. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

##### Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Secara astronomis Letak Wilayah Kabupaten Kepulauan Siau Tagulandang Biaro terletak antara 125° 9'28" – 125° 24'25" BT dan 02° 4'13" – 02° 52'47" LU serta memiliki beberapa batas wilayah yaitu sebelah Utara berbatasan dengan Kecamatan Tatoareng Kab. Kepl. Sangihe, sebelah Timur berbatasan dengan Laut Maluku, sebelah Selatan berbatasan dengan Kabupaten Minahasa Utara, serta sebelah barat berbatasan dengan Laut Sulawesi (Lihat gambar 4). Luas wilayah Kabupaten Kepulauan Siau Tagulandang Biaro adalah 275,96 km<sup>2</sup> atau 27,24 % dari luas Kabupaten Kepulauan Sangihe, dengan topografi berbukit-bukit dan terdapat 2 (dua) buah Gunung Api yang Aktif yaitu Gunung Karangetang di Pulau Siau dan Gunung Ruang di Pulau Ruang.



Gambar 4. Peta Lokasi Penelitian

(Sumber: <https://sitaro.files.wordpress.com/2009/02/peta.jpg&imgrefurl=http://sitaro.wordpress.com/2009/02/21/kondisi-geografis-kabupaten-kepulauan-siau-tagulandang-biaro>)

Cakupan Wilayah Kabupaten Kepulauan Siau Tagulandang Biaro terdiri dari 3 (tiga) gugusan pulau yakni Pulau Siau dan Pulau-pulau sekitarnya, Pulau Tagulandang dan Pulau-pulau sekitarnya, Pulau Biaro dan Pulau-pulau sekitarnya. Jumlah Pulau sebanyak 33 buah Pulau yang terdiri dari 10 buah pulau berpenghuni dan 23 buah pulau tidak berpenghuni. Pulau Makalehi adalah Pulau terluar di daerah ini sebagaimana ditetapkan dalam Peraturan Presiden RI Nomor 78 Tahun 2005 tentang Pengelolaan Pulau-pulau Kecil Terluar.

Pulau Makalehi (Lihat gambar 5) adalah sebuah pulau yang berada di bagian barat dan merupakan pulau terluar di Propinsi Sulawesi Utara dan Negara Kesatuan Republik Indonesia, dengan koordinat 2° 44'15" LU, 125° 9'28" BT yang letaknya di Laut Sulawesi yang berbatasan langsung dengan Negara Philipina, dan merupakan bagian dari Kecamatan Siau Barat Kabupaten Kepulauan Siau Tagulandang Biaro (SITARO). Luas wilayah pulau Makalehi 420 Ha, lahan pertanian/perkebunan 38 Ha, hutan lindung 2 Ha dan danau seluas 8 Ha.

##### Existing dan Data Teknis PLTS Makalehi 260 kWp

Pulau Makalehi dihuni oleh 1425 jiwa dengan 415 kepala keluarga (KK), yang mayoritas mata pencahariannya adalah nelayan. Pulau Makalehi juga mempunyai keanekaragaman hayati laut yang tinggi, seperti terumbu karang, mangrove, padang lamun dan ikan-ikan karang. Pulau Makalehi adalah wilayah kelistrikan PLN Area Tahuna dengan Rayon Siau Sub Rayon Pulau Makalehi. Sehingga dalam penelitian tugas akhir ini, saya berkoordinasi dengan PLN Area Tahuna yang berada di Jalan Baru Kelurahan Tona Kecamatan Tahuna Timur Kabupaten Kepulauan Sangihe.

Pulau Makalehi sendiri memiliki Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH) yaitu, gabungan dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Makalehi dan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD). PLN Makalehi memiliki 2 (dua) buah genst berkapasitas 250 KVA, yang yang dipergunakan sebagai cadangan listrik maupun saat waktu beban puncak ketika PLTS dalam kondisi *off* sistim.



Gambar 5. Pulau Dan Danau Makalehi

(Sumber: <https://sitaro.files.wordpress.com/2009/02/peta.jpg&imgrefurl=http://sitaro.wordpress.com/2009/02/21/kondisi-geografis-kabupaten-kepulauan-siau-tagulandang-biaro>)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Makalehi dibangun tahun 2012 dan telah beroperasi sejak bulan April tahun 2013 dengan menghabiskan dana 13 Miliar. Saat ini ada 6 (enam) orang karyawan yang bekerja secara bergantian di PLTS makalehi, dengan di koordinir oleh kepala PLN Makalehi (Sub Rayon Siau). Awal operasi dari bulan April tahun 2013 sampai bulan April tahun 2014 kinerja dari PLTS Makalehi masih optimal dengan suplay daya kepada pelanggan PLN selama 24 jam jika cuaca cerah dan tergantung pada intensitas radiasi matahari ( $1000 \text{ W/m}^2$  -  $>1000 \text{ W/m}^2$ ). Tetapi sejak bulan Mei tahun 2014 sampai sekarang PLTS Makalehi hanya menyuplai daya rata-rata 20 jam per harinya kepada pelanggan PLN mulai dari jam 10 atau jam 12 malam sampai jam 5 atau jam 6 sore tergantung cuaca dan intensitas radiasi matahari yang di serap oleh Panel Surya, selanjutnya untuk (3-4 jam/hari) antara jam 5 sore sampai jam 9 malam (beban puncak) daya di suplai dari PLTD (Lihat gambar 6).

#### Data Teknis PLTS Makalehi

Data teknis yang ada adalah data *existing* dari PLTS Makalehi saat ini yaitu tahun 2015. Data teknis dari PLTS Makalehi di dapat dari hasil observasi dan wawancara langsung dengan Bapak Manajer PLN Makalehi. Dan data teknis ditunjukkan pada tabel I dibawah.



Gambar 6. PLTS Makalehi  
(Sumber: Foto hasil penelitian)

TABEL I. TABEL DATA TEKNIS PLTS MAKALEHI

No	Data Teknis	Jumlah	Satuan
1	Daya Terpasang	260	kWp
2	Daya Mampu	150	kWp
3	Jumlah Modul Surya	1062	Modul
4	Jumlah Baterai	179	Buah

(Sumber: Hasil observasi di PLTS Makalehi 2015)

#### Peralatan Utama Yang Ada di PLTS Makalehi

PLTS Makalehi di bangun dengan jumlah modul surya 1062 modul yang terdiri dari:

- 4 Combine = 59 String
- 1 Combine = 15 String (hubungan paralel)
- 1 String = 18 Modul (hubungan seri)
- 1 Rig = 12 Modul
- 1 Combine = 270 Modul
- 4 Combine = 1062 Modul (Jadi, ada 1 Combine hanya 14 String)

Panel surya yang ada di PLTS Makalehi adalah panel surya tipe Polikristal Silikon (*Poly-crystalline Silicon*), merupakan panel surya yang memiliki kristal acak yang memiliki efisien mencapai 14-16%. Keseluruhan panel surya dipasang dengan sudut kemiringan 15 derajat, yang bertujuan untuk mempermudah pembersihan permukaan modul dari debu atau kotoran lain secara alamiah (dengan air hujan). Semuanya modul dipasang searah menghadap Danau Makalehi. Untuk pemeliharaan panel surya hanya dilakukan sebulan sekali dengan menunggu cuaca hujan setelah itu di bersihkan dengan cara manual (Lihat gambar 7).

PLTS Makalehi memiliki 4 (empat) buah *combiner box* yang terhubung dengan 59 string panel surya. *Combiner Box* adalah peralatan yang berfungsi sebagai proteksi modul surya. Arus DC dari modul surya terlebih dahulu masuk ke *combiner box* sebelum dialirkan ke sistem distribusi. Rangkaian modul surya yang dirangkai secara seri disebut *PV string*. *PV string* di paralel bertujuan untuk meningkatkan daya sesuai dengan kapasitas yang akan dipasang. Sebelum masuk ke *charge controller/inverter* (Lihat gambar 8).



Gambar 7. Modul Surya PLTS Makalehi  
(Sumber: Foto hasil penelitian)



Gambar 8. PVBx (Photovoltaic Combiner Box)

(Sumber: Foto hasil penelitian)

Pada *combiner box* yang ada di PLTS Makalehi terdapat 30 *fuse* yang terdiri dari 15 *fuse* untuk proteksi positif (+) setiap string, masing-masing tiap buah dengan kemampuan arus maksimum 10 Ampere. Dan 15 *fuse* untuk proteksi negative (-) setiap string, masing-masing tiap buah dengan kemampuan arus maksimum 10 Ampere. Karena dalam satu *combiner box* terdapat 15 string panel surya yang terpasang. Di dalamnya juga terdapat *surge arrester* untuk proteksi petir dan MCCB/*disconnector* dengan batas kemampuan tegangan tiap string 750 Volt DC, serta *blocking diode*.

*Maximum Power Point Tracking* atau sering disingkat dengan MPPT merupakan sebuah sistem elektronik yang dioperasikan pada sebuah panel surya sehingga panel surya bisa menghasilkan daya maksimum. *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) di PLTS Makalehi berjumlah dua unit. Masing-masing di pasang dalam panel kubikel, dan ditempatkan dalam ruang kontrol. Dalam satu panel MPPT terhubung dengan *line output* 2 (dua) *combiner box* jadi keduanya masing-masing panel MPPT melayani dua unit *combiner box*. Sistem MPPT bekerja dengan cara memaksa panel surya agar bekerja pada titik daya maksimumnya, sehingga daya yang mengalir ke beban adalah daya maksimal. Pada umumnya digunakan DC-DC *converter* dalam sebuah sistem MPPT untuk menggeser daya operasi dari panel surya menjadi titik daya maksimalnya.

HPC (*Hybrid Power Conditioner*) atau sering juga disebut sebagai *power conditioner*, merupakan peralatan utama yang sangat penting yang terdapat pada pembangkit listrik tenaga hybrid. HPC (*Hybrid Power Conditioner*). HPC (*Hybrid Power Conditioner*) yang ada di PLTS Makalehi dirancang khusus di dalam sebuah panel kubikel, dan ditempatkan di dalam ruang kontrol. Inverter tersebut harus disinkronkan dengan frekuensi grid yang sama, biasanya berisi satu atau lebih fitur *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) untuk mengkonversi jumlah maksimum daya yang tersedia, dan juga termasuk fitur proteksi keselamatan (Lihat gambar 9).



Gambar 9. Panel HPC PLTS Makalehi  
(Sumber: Foto hasil penelitian)

HPC (*Hybrid Power Conditioner*) pada hakekatnya berfungsi sebagai *Voltage conditioning* atau pengatur kondisi tegangan sebelum di catu ke *load*, berfungsi sebagai inverter dengan mengkonversikan listrik DC yang dihasilkan solar pv sistem menjadi listrik AC yang akan di catu ke *load*, sebagai charger untuk mencharge baterai dengan memanfaatkan kelebihan listrik dari solar pv sistem maupun yang dari genset, berfungsi mengatur charging baterai dari solar modul, dan mengatur dan mengelola pembangkit mana yang harus bekerja sesuai dengan kebutuhan *load*, termasuk mematikan dan menyalakan genset.

Dari hasil wawancara pada saat penelitian diketahui bahwa di dalam panel HPC terdapat inverter dengan tipe *Grid Tie Inverter*, adalah tipe special inverter yang dirancang untuk menyuntikkan arus listrik ke sistem distribusi tenaga listrik yang sudah ada, misalkan PLN/Genset.

Baterai yang digunakan di PLTS Makalehi berjumlah 180 buah dan 1 buah baterai tidak dipakai karena mengalami kerusakan sehingga yang masih aktif 179 buah. Baterai yang digunakan berkapasitas 2000 Ah (*Ampere hour*) per satu buah baterai dengan tegangan 2 Volt. Untuk output baterai menggunakan sistim 3 fasa, dan tiap fasa memiliki 60 baterai dari keseluruhan baterai yang ada di PLTS Makalehi. Permasalahan yang ditemukan pada baterai yaitu air baterai sering tidak diganti sehingga mengalami pengurangan. Hal tersebut disebabkan tidak adanya pengadaan air baterai (Lihat gambar 10).

#### Analisa Data Dan Pembahasan

Untuk menganalisa daya PLTS Makalehi setiap bulan, pada tahun 2014 lebih dalam sesuai dengan persamaan yang ada, maka perlunya membuat grafik intensitas radiasi matahari dan daya mampu PLTS Makalehi berdasarkan tabel data perusahaan PLTS Makalehi yang menjadi landasan pengolahan data. Berikut ini adalah grafik intensitas radiasi matahari yang ditunjukkan pada grafik 1.



Gambar 10. Baterai PLTS Makalehi  
(Sumber: Foto Hasil Penelitian)

*Perhitungan daya yang disuplai PLTS Makalehi*

Untuk menghitung daya output PLTS Makalehi, pertama dihitung terlebih dahulu area array (PV Area). Luas area array dapat dihitung dengan persamaan (6):

$$PV\ Area = \frac{EL}{Gav \times \eta_{pv} \times TCF \times \eta_{out}} \quad (6)$$

Keterangan:

EL = Di ambil data nilai rata-rata kWh salur PLTS Makalehi dari bulan Januari-Desember 2014

Gav = Nilai Insolasi harian matahari (akan dipakai nilai insolasi rata-rata terendah pada tahun 2010, yaitu sebesar 4,29 kWh/m<sup>2</sup>

η<sub>pv</sub> = Efisiensi panel surya sebesar 14%

TCF = *Temperature Corretion Factor*

Besarnya daya yang berkurang pada saat temperature disekitar panel surya mengalami kenaikan 7<sup>0</sup> C dari temperature standarnya, maka perhitungan menggunakan persamaan:

P saat suhu naik 7<sup>0</sup> C = 0,5 % / <sup>0</sup> C x P mpv x kenaikan temperatur(<sup>0</sup> C) = 0,5 % / <sup>0</sup> C x 245 W x 7<sup>0</sup> C = 5,25 Watt.

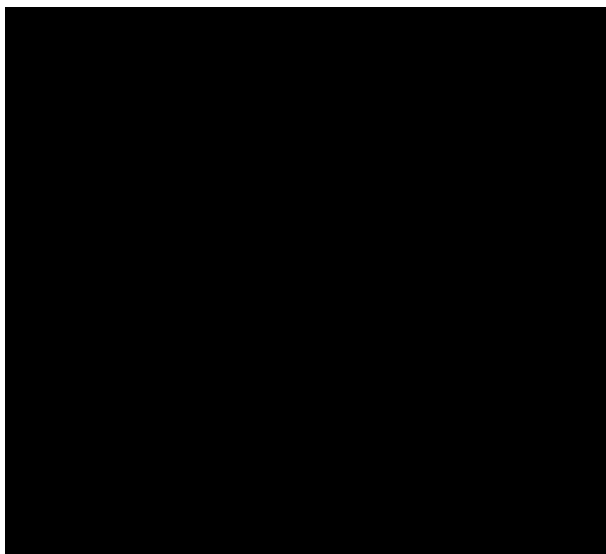
Untuk daya keluaran maksimum panel surya pada saat temperatur naik menjadi 32<sup>0</sup> C, besarnya adalah:

P mpv – P saat suhu naik 32<sup>0</sup> C = 245 – 5,25 = 239,75 Watt.

Berdasarkan hasil perhitungan daya keluaran maksimum panel surya pada saat temperaturnya naik menjadi 32<sup>0</sup> C, maka nilai TCF dapat dihitung dengan persamaan (7):

$$TCF = \frac{P\ mpv\ saat\ kenaikan\ temperatur\ (0\ C)}{P\ mpv} \quad (7)$$

$$= \frac{239,75}{245} = 0,97$$



Grafik 1. Intensitas Radiasi Matahari

η<sub>out</sub> = Efisiensi *Output* (ditentukan berdasarkan efisiensi komponen-komponen dari PLTS = 0,9

*Perhitungan bulan januari yaitu:*

$$PV\ Area = \frac{EL}{Gav \times \eta_{pv} \times TCF \times \eta_{out}}$$

$$PV\ Area = \frac{497,96}{4,29 \times 0,14 \times 0,97 \times 0,9} = 949,71$$

*Perhitungan selanjutnya dari bulan Februari–Desember 2015 disesuaikan seperti persamaan (6) di atas.*

Berdasarkan perhitungan area array, maka besarnya daya yang dibangkitkan PLTS dapat dihitung dengan persamaan (8) sebagai berikut:

$$P\ Watt\ peak = Area\ array \times PSI \times \eta_{pv} \quad (8)$$

Keterangan:

P Watt peak = Daya yang dibangkitkan PLTS

PSI = *Peak Sun Insulation* (1000 kWh/m<sup>2</sup>)

η<sub>pv</sub> = Efisiensi Panel Surya (0,14)

*Perhitungan bulan januari yaitu:*

$$P\ Watt\ peak = Area\ array \times PSI \times \eta_{pv}$$

$$P\ Watt\ peak = 949,71 \times 1000 \times 0,14$$

$$= 132.959\ Watt\ Peak$$

*Perhitungan selanjutnya dari bulan Februari–Desember 2015 disesuaikan seperti persamaan (8) di atas.*

Berdasarkan hasil perhitungan daya PLTS dari bulan Januari sampai Desember 2014 dapat dilihat pada tabel II di bawah ini.

TABEL II. HASIL PERHITUNGAN DAYA PLTS MAKALEHI 2014

Bulan (2014)	P (Watt Peak)	P (kWp)
Januari	132.959	132
Februari	151.340	151
Maret	167.300	167
April	151.194	151
Mei	143.331	143
Juni	123.735	123
Juli	132.959	132
Agustus	144.195	144
September	134.612	134
Oktober	124.426	124
November	111.965	111
Desembr	113.746	113

Sumber: Hasil analisis data PLTS 2014

Dari hasil analisa perhitungan Daya PLTS Makalehi peride tahun 2014 pada tabel II, dapat dibandingkan dengan data pengusahaan PLTS Makalehi yang dirangkum pada tabel III dibawah.

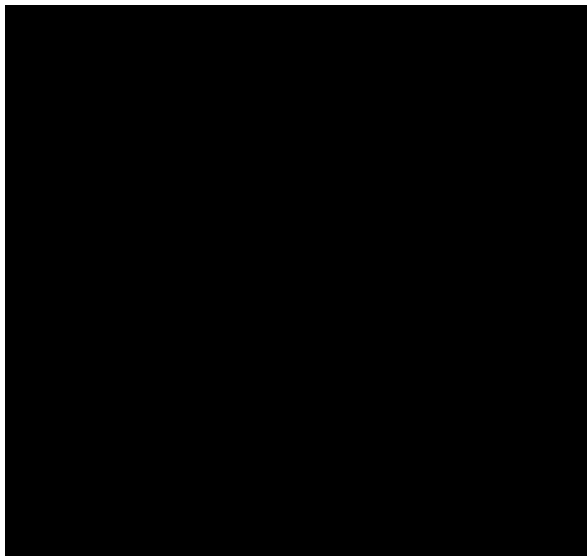
Berdasarkan data perbandingan daya *output* PLTS Makalehi pada grafik 2di bawah, dapat diambil pernyataan bahwa:

Daya terpasang PLTS Makalehi pada awal *existing* tahun 2013 yaitu 260 kWp. Seiring dengan berjalannya waktu pada tahun 2014 daya *output* PLTS Makalehi sudah menurun dengan kapasitas daya mampu hanya 150 kWp. Berdasarkan data hasil penelitian yang diambil tahun 2015, daya output PLTS Makalehi maksimum pada bulan April sampai Juli tahun 2014 dengan nilai tertinggi 115,6 kWp dan terendah pada bulan September sampai pada awal tahun bulan Januari.

TABEL III. PERBANDINGAN DAYA OUTPUT PLTS MAKALEHI

Bulan (2014)	Data Analisa P(kWp)	Data Pengusahaan P (kWp)	Service Hour (SH)
Januari	132	97.5	18.10
Februari	151	96.2	20.37
Maret	167	9.3	19.75
April	151	115.6	18.00
Mei	143	82.6	17.27
Juni	123	89.1	16.16
Juli	132	97.5	18.10
Agustus	144	89.1	18.52
September	134	85.5	17.51
Oktober	124	85.8	14
November	111	88.2	15
Desembr	113	87.3	14.90

Sumber: Hasil Analisis Data 2014



Grafik 2. Perbandingan Daya Output PLTS Makalehi

Sumber: Hasil Analisis Data 2014

Berdasarkan hasil analisa data PLTS Makalehi sebenarnya mampu menyuplai daya maksimum seperti daya mampu PLTS Makalehi yaitu 150 kWp, tetapi karena banyak peralatan/komponen PLTS yang tidak lagi di perbaharui sehingga mengakibatkan efisiensi PLTS Makalehi menurun dari tahun ke tahun.

PLTS Makalehi yang dibangun dengan biaya sebesar 13 miliar, namun saat ini tidak lagi sesuai dengan daya output yang diharapkan, sehingga masyarakat yang ada di pulau Makalehi mengalami pemadaman bergilir akibat daya yang disuplai PLTS Makalehi tidak maksimal.

PLTD yang ada di PLN Makehi yang diharapkan tidak akan lagi beroperasi disebabkan karena biaya bahan bakar yang terus naik, ternyata diluar dari apa yang diharapkan. PLTD tetap beroperasi pada jam beban puncak, karena daya PLTS tidak maksimum.

#### E. KESIMPULAN DAN SARAN

PLTS Makalehi sejak bulan Mei tahun 2014 sampai saat ini hanya menyuplai daya rata-rata 20 jam per hari kepada pelanggan PLN di Pulau Makalehi dan daya *output* PLTS Makalehi maksimum pada bulan April sampai Juli dengan nilai tertinggi 115,6 kWp dan terendah pada bulan September sampai pada awal tahun bulan Januari 85,5 kWp. Peralatan/komponen PLTS Makalehi tidak lagi di perbaharui sehingga mengakibatkan daya *output* PLTS Makalehi menurun dari tahun ke tahun dan tidak mampu menyuplai daya maksimum seperti daya mampu PLTS Makalehi yaitu 150 kWp. Disarankan bahwa

PLN Makalehi disarankan agar mendatangkan tenaga ahli di bidang PLTS untuk melengkapi kekurangan tenaga pengelola yang ada dan disampaikan kepada PT PLN (Persero) untuk memperbaharui peralatan atau komponen PLTS Makalehi yang mengalami gangguan maupun kerusakan dan perlu adanya perhatian dari pemerintah untuk mengembangkan kesejahteraan masyarakat di pulau Makalehi dan di pulau terluarlainnya melalui Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Firmansyha., dkk., *Dasar Konversi PLTS.*, Fakultas Teknik Universitas Indonesia., 2012.
- [2] Isdawima., *Analisis Kinerja PLTS.*, Fakultas Teknik Universitas Indonesia., 2010.
- [3] Mulyanto.,*Pembagian Sistem Kelistrikan PLTS.*, UNUD., 2000.