

STUDI POTENSI ENERGI MATAHARI UNTUK SISTEM  
PHOTOVOLTAIK DI SULAWESI SELATAN BERBASIS  
“RETSCREEN INTERNATIONAL TOOLS”



OLEH :

GIOVANNY RYLAND R

D411 08867

RAHMAT HADIKUSUMA

D411 08864

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2013

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah dengan memanjatkan puji syukur kehadiran Tuhan YME atas segala rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyusun tugasakhir ini sampai selesai. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus di penuhi untuk menempuh ujian sarjana pada jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Dengan judul tugas akhir penulis adalah :

### STUDI POTENSI ENERGI MATAHARI UNTUK SISTEM PHOTOVOLTAIK DI SULAWESI SELATAN BERBASIS RETSCREEN INTERNATIONAL TOOLS

Penyusunan tulisan ini didasarka pada teori-teori/literature-literatur yang berhubungan dengan topic pembahasan serta bahan-bahan kuliah yang penulis peroleh di bangku kuliah, dan atas bimbingan serta petunjuk-petunjuk dari dosen pembimbing penulis.

Atas terwujudnya tulisan ini,Maka penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada

1. Bapak Ibu dosen pembimbing penulis:

- Dr. Eng. Syafaruddin., ST., M.Eng ( Pembimbing I )
- Ir.Ansar suyuti., MT ( Pembimbing II )

Yang telah rela meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam membimbing penulis sehingga tulisan ini dapat selesai.

2. Bapak Dr. Ir. H Andani Achamd, MT. sebagai Ketua Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak-bapak dan ibu-ibu Dosen beserta seluruh staf Jurusan Teknik Elektro.

4. Kedua orang tua dan saudara-saudara kami tercinta, serta seluruh keluarga atas segala doa restu, bantuan, nasehat dan motivasinya Semoga tuhan membalasnya.  
Aamiin
5. Terima kasih kepada teman-teman jurusan teknik elektro sudah banyak membantu dalam menyelesaikan Tugas akhir ini . Keep on fighting till the end

Atas segala jerih payah,bimbingan , bantuan serta dorongan semangat yang telah member manfaat bagi penulis dengan hati terbuka akan menerima setiap saran dan kritik untuk perbaikan tulisan ini.Akhirnya penulis berharap semoga tulisan yang sederhana ini bias bermanfaat bagi semua pihak yang memerlukan.

Makassar, 2012

Penulis

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	
viii	
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
ABSTRAK.....	xii
ABSTRAC.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1. Latar Belakang.....	1
2. Perumusan Masalah.....	4
3. Tujuan Penelitian.....	4
4. Batasan Masalah.....	4
5. Sistematika Penulisan.....	5
BAB. II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Photovoltaik.....	7
2.1.1 Informasi Umum.....	7

2.1.2 Panel Surya.....	7
2.1.3 Bahan Sel Surya.....	9
2.1.3.1 Silikon Untuk Sel surya.....	9
2.1.4 Prinsip Kerja Photovoltaik.....	16
2.1.5 Lama Usia Dari Solar Sel.....	16
2.1.6 Charge Controller – Solar Controller.....	17
2.1.7 Baterai atau Aki.....	20
2.1.8.1 Charging dan Discharging Baterai atau Aki Pada Photovoltaik...	23
2.1.8.1.1 Charging Baterai atau Aki.....	23
2.1.9 Inverter.....	25
2.1.10 Pemeliharaan panel Surya.....	28
2.1.11 Faktor Pengoperasian Sel Surya.....	28
2.1.12 Sistem PLTS.....	30
2.1.12.1 PLTS-Grid Connected.....	31
2.1.12.2 PLTS Berdiri Sendiri (Stand Alone).....	32
2.2 Aspek Ekonomi terhadap PLTS.....	33
2.3 Kabel Instalasi Photovoltaik.....	34

### BAB. III METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian.....	36
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian.....	36
3.3 Pengolahan Data.....	36
3.4 Retscreen International.....	37

3.5 Penentuan Manufaktur.....	39
3.6 Metode Analisa.....	39
3.6.1 Inetnsitas Cahaya Matahari.....	40
3.7 Langkah-langkah Penelitian.....	41

#### BAB. IV PENUTUP UJI COBA DAN IMPLEMENTASI

4.1 Objek Lokasi Penelitian.....	42
4.1.1 Kondisi Geografis Wilayah Makassar (Bandar Udara Hasanuddin).....	43
4.1.1.1 Orientasi Wilayah.....	43
4.1.1.2 Foto Lokasi Penelitian di Kota Makassar (Bandara Udara Sultan Hasanuddin).....	44
4.1.1.3 Data Intensitas Cahaya Rata-rata Bulanan Dalam 1 Tahun.....	45
4.1.2. Kondisi Geografis Wilayah Pare-pare.....	45
4.1.2.1 Orientasi Wilayah.....	45
4.1.3 Kondisi Geografis Wilayah Bone.....	47
4.1.3.1 Orientasi Wilayah.....	47
4.1.3.2 Foto Lokasi Penelitian di Kota Bone.....	48
4.1.3.3 Data intensitas Cahaya Rata-rata Bulanan dalam 1 Tahun.....	49
4.1.4 Kondisi Geografis Wilayah Palopo.....	49
4.1.4.1 Orientasi Wilayah.....	50
4.1.4.2 Foto lokasi penelitian di Kota Palopo.....	50

4.1.4.3 Data Intensitas Cahaya Rata-rata Bulanan dalam 1 Tahun.....	51
4.1.5 Kondisi Geografis Wilayah Toraja (Rantepao).....	51
4.1.5.1 Orientasi Wilayah.....	51
4.1.5.2 Foto lokasi penelitian di Kota Toraja.....	52
4.1.5.3 Data Intensitas Cahaya Rata-rata Bulanan dalam 1 tahun.....	49
4.2 Manufaktur.....	53
4.2.1 Manufaktur Helios tipe mono-Si-6T-245W.....	54
4.2.2 Manufaktur Schott tipe poly-Si-235W.....	55
4.3 Perhitungan Intensitas cahaya Di setiap Daerah Sulawesi Selatan.....	56
4.3.1 Menghitung Intesitas Cahaya Kota Makassar (Bandara Hasanuddin)....	56
4.3.2 Menghitung Intensitas Cahaya Kota Pare-pare.....	60
4.3.3 Menghitung Intensitas Cahaya Kota Bone.....	62
4.3.4 Menghitung Intensitas Cahaya Kota Palopo.....	65
4.3.5 Menghitung Intensitas Cahaya Kota Toraja (Rantepao).....	67
4.4 Perbandingan Daya.....	70
4.5 Perbandingan spesifikasi Modul Manufaktur.....	72
4.6 Efisiensi Manufaktur.....	74
4.7 Biaya Manufaktur.....	75
4.7.1 Biaya Manufaktur Permodul.....	75
4.7.2 Total Biaya Manufaktur Untuk Pembangkitan 100kW.....	77
4.8 Sistem Pembangkitan 100 kW.....	80

## BAB V SIMPULAN DAN SARAN

5.1 SIMPULAN.....	90
5.2 SARAN.....	91

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Hubungan sel surya, modul, panel & array.....	8
Gambar 2.2	Panel Surya Monokristal.....	10
Gambar 2.3	Panel Surya Polykristal.....	12
Gambar 2.4	Panel Surya Amorphous.....	13
Gambar 2.5	Panel Surya Coumpound pada Satelit Komunikasi Luar Angkasa.....	13
Gambar 2.6	Diagram sistem PLTS-Grid connected.....	32
Gambar 2.7	Diagram sistem PLTS berdiri sendiri dengan baterai.....	33
Gambar 4.1	Foto Objek lokasi penelitian Di Kota Makassar.....	44
Gambar 4.2	Foto Objek Lokasi Penelitian di Kota Pare-pare.....	46
Gambar 4.3	Foto objek Lokasi penelitian di Kota Bone.....	48
Gambar 4.4	Foto Objek Lokasi Penelitian di Kota Palopo.....	50
Gambar 4.5	Foto Objek Lokasi Peneliian di Kota Toraja.....	52
Gambar 4.6	Helios tipe mono-Si-6T-245W .....	75
Gambar 4.7	Schott tipe poly-Si - Schott poly 235W .....	76
Gambar 4.8	Daya Output (kW/h) tiap manufaktur .....	71
Gambar 4.9	Perbandingan tingkat efisiensi (%).....	75
Gambar 4.10	Perbandingan biaya manufaktur (Rp).....	76
Gambar 4.11	Tabel Intensitas cahaya pada daerah-daerah yang berpotensi untuk pembangunan PLTS.....	79
Gambar 4.12	Sistem pembangkit 100 kW.....	80
Gambar 4.13	Informasi proyek pada Retscreen International.....	87
Gambar 4.14	Hasil Simulasi Analisa lingkungan.....	88

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbedaan bahan secara umum.....	15
Tabel 2.2	Gauge kabel standard Amerika.....	35
Tabel 4.1	Data lokasi, koordinat dan ketinggian setiap daerah.....	43
Tabel 4.2	Data Suhu Udara, Kelembaban dan intensitas cahaya Kota Makassar.....	45
Tabel 4.3	Data Suhu Udara, Kelembaban dan intensitas cahaya Kota Pare – pare.....	47
Tabel 4.4	Data Suhu Udara, Kelembaban dan Intensitas cahaya Kota Bone.....	49
Tabel 4.5	Data Suhu Udara, Kelembaban dan Intensitas cahaya Kota Palopo.....	51
Tabel 4.6	Data Suhu Udara, Kelembaban dan Intensitas cahaya Kota Toraja.....	53
Tabel 4.7	Intensitas Cahaya Di Wilayah Makassar.....	57
Tabel 4.8	Intensitas Cahaya Di Wilayah Pare-pare.....	60
Tabel 4.9	Intensitas Cahaya Di Wilayah Bone.....	62
Tabel 4.10	Intensitas Cahaya Di Wilayah Palopo.....	65
Tabel 4.11	Intensitas Cahaya Di Wilayah Toraja (Rantepao).....	67
Tabel 4.12	Tabel Simulasi Perbandingan Daya.....	71
Tabel 4.13	Perbandingan Spesifikasi manufaktur jenis <b>Helios tipe mono-Si-6T-245W dan</b> Schott tipe poly-Si - Schott poly 235 W 235W...	72
Tabel 4.14	Efisiensi Manufaktur (%).....	74
Tabel 4.15	Tabel daftar biaya manufaktur.....	76
Tabel 4.16	Tabel total biaya investasi untuk pembangkitan 100 kW.....	77

Tabel 4.17	Tabel Intensitas cahaya matahari di daerah-daerah yang berpotensi untuk pengembangan PLTS.....	78
Tabel 4.18	Perbandingan Emisi Gas Rumah Kaca.....	80
Tabel 4.19	perbandingan modul jenis monokristal dan polykristal pada setiap Daerah di Sulawesi Selatan.....	82
Tabel 4.20	Modul jenis monokristal untuk sistem 100 kW untuk daerah Sulawesi Selatan.....	84
Tabel 4.21	Modul jenis polykristal untuk sistem 100 kW untuk daerah Sulawesi Selatan.....	86

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1: Hasil simulasi Retscreen International untuk sistem Photovoltaik 100kW pada KotaMakassar.....	92
Lampiran 2: Hasil simulasi Retscreen International untuk sistem Photovoltaik 100 kW pada Kota Parepare.....	95
Lampiran 3: Hasil simulasi Retscreen International untuk sistem Photovoltaik 100 kW pada Kota Toraja (Rantepao).....	98
Lampiran 4: Hasil simulasi Retscreen International untuk sistem Photovoltaik 100 kW pada Kota Bone.....	101
Lampiran 5: Hasil simulasi Retscreen International untuk sistem Photovoltaik 100kW pada Kota Palopo.....	104

## ABSTRAK

Giovanny Ryland R (D41108867) dan Rahmat Hadikusuma (D4108864). **Studi Potensi Energi Matahari Untuk Sistem Photovoltaik Di Sulawesi Selatan Berbasis Retscreen International Tools (2012)**. Dibimbing Oleh Dr. Eng. Syafaruddin. ST. M.Eng dan Ir. Ansar suyuti. MT.

Dewasa ini Kebutuhan akan energi khususnya energi listrik semakin meningkat, hal ini memaksa kita untuk terus mencari energi alternatif. Retscreen International Tools merupakan program berbasis Microsoft Excel, program ini dapat digunakan untuk memfasilitasi studi pra-kelayakan dan studi kelayakan proyek-proyek energi bersih. Retscreen International tools juga menyediakan fasilitas studi kelayakan untuk berbagai teknologi energi bersih yaitu: energi angin energi skala kecil, energi surya, energi biomassa dan lain-lain. Ada beberapa output yang dihasilkan pada program Retscreen International Tools adalah analisa finansial, analisa sensitifitas dan analisa resiko dan estimasi pengurangan emisi gas rumah kaca. Tujuan dari penelitian ini adalah menghitung potensi energi matahari untuk pemanfaatan photovoltaik di Sulawesi Selatan, menentukan manufaktur yang memiliki tingkat efisiensi yang baik.

Hasil dari penelitian ini dapat diketahui potensi energi surya di setiap daerah-daerah yang menjadi objek penelitian untuk penerapan sistem pembangkit listrik tenaga surya di Sulawesi Selatan.

**Kata kunci** : *photovoltaik, Retscreen International Tools, pembangkit listrik tenaga surya, monokristal, polykristal, sel surya.*

## ABSTRAC

**Giovanny Ryland R (D41108867) and Rahmat Hadikusuma (D4108864).**

Solar Energy Potential Study for photovoltaic systems in South Sulawesi

Retscreen International-Based Tools (2012). Guided By Dr. Eng. Syafaruddin.

ST. M.Eng and Ir. Ansar Suyuti. MT.

Today the need for energy especially electricity increases, it forces us to continue to look for alternative energy. Retscreen International Tools is a Microsoft Excel-based program, the program can be used to facilitate the study of pre-feasibility and feasibility studies for clean energy projects. Retscreen International tools also provide feasibility studies for a variety of clean energy technologies, namely: small-scale wind power energy, solar energy, biomass and others. There are several output produced on Retscreen International Tools program is financial analysis, sensitivity analysis and analysis resiko dan estimate greenhouse gas emission reductions. purpose of this research is to calculate the potential for the use of photovoltaic solar energy in South Sulawesi, define manufacturing with a good level of efficiency.

Results from The studies can know the potential of solar energy in any areas that become the object of study for the application of solar power plants in South Sulawesi.

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **I. LATAR BELAKANG**

Kebutuhan akan energi yang terus meningkat dan semakin menipisnya cadangan minyak bumi memaksa manusia untuk mencari sumber-sumber energi alternatif. Negara-negara maju juga telah bersaing dan berlomba membuat terobosan-terobosan baru untuk mencari dan menggali serta menciptakan teknologi baru yang dapat menggantikan minyak bumi sebagai sumber energi. Semakin menipisnya persediaan energi dan juga ketergantungan pada salah satu jenis energi dimana hingga saat ini pemakaian bahan bakar minyak sangat besar sekali dan hampir semua sektor kehidupan menggunakan bahan bakar ini, sementara itu bahan bakar minyak merupakan komoditi ekspor yang dominan untuk pendapatan negara.

Kondisi geografis Indonesia yang terdiri atas beberapa pulau yang besar dan ribuan gugusan pulau-pulau kecil, banyak pulau terpencil yang menyebabkan sulit untuk dijangkau oleh jaringan listrik yang bersifat interkoneksi. Matahari merupakan salah satu sumber daya alam yang sangat berlimpah di Indonesia. Dengan penyinaran matahari konstan sepanjang tahun selama 12 jam per hari, tentu ini merupakan salah satu sumber energi yang sangat potensial dikembangkan di negara kita Indonesia. Disamping adanya bahan bakar yang berlimpah ruah, tentu saja sumber energi matahari ini sangat ramah lingkungan. Listrik dari sumber energi surya ini tentu saja akan sangat berguna untuk pemerataan listrik ke daerah-daerah terpencil yang belum terjangkau saluran transmisi PLN.

Dalam upaya pencarian sumber energi baru sebaiknya memenuhi syarat yaitu menghasilkan jumlah energi yang cukup besar, biaya ekonomis dan tidak berdampak negatif terhadap lingkungan. Oleh karena itu pencarian tersebut diarahkan pada pemanfaatan energi matahari baik secara langsung maupun tidak langsung. Sebagai salah satu sumber energi alternatif yang dapat dimanfaatkan dalam pemenuhan kebutuhan akan energi listrik ialah energi matahari. Namun, tidak semua daerah memiliki potensi intensitas cahaya yang sama, begitu juga di Indonesia. Salah satu daerah di Indonesia yang memiliki potensi energi matahari adalah daerah Sulawesi Selatan. Di mana intensitas cahaya matahari di Sulawesi Selatan sangat baik. Di daerah Sulawesi Selatan sendiri telah terdiri beberapa kota, di setiap kota mempunyai intensitas cahaya yang berbeda dan ada juga yang hampir sama, namun data yang tersedia di program Retscreen International hanya mewakili beberapa daerah di Sulawesi Selatan, karena dapat mewakili intensitas cahaya dari beberapa daerah itu sendiri. Sebagai contoh Kota Makassar mempunyai intensitas cahaya yang hampir sama antara kota Maros dan kota Gowa.

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui potensi energi matahari di Propinsi Sulawesi Selatan sebagai energi alternatif untuk memenuhi kebutuhan masyarakat yang semakin meningkat. Dalam mengkaji potensi energi matahari di Propinsi Sulawesi Selatan diperlukan data intensitas cahaya dari beberapa daerah di Sulawesi Selatan.

Photovoltaik (PV) adalah sektor teknologi dan penelitian yang berhubungan dengan aplikasi [panel surya](#) untuk [energi](#) dengan mengubah [sinar matahari](#) menjadi [listrik](#). Karena permintaan yang terus meningkat terhadap sumber energi bersih, pembuatan [panel surya](#) dan [kumpulan photovoltaik](#) telah meluas secara dramatis dalam beberapa tahun belakangan ini.



Prinsip kerja sederhana photovoltaik adalah sinar matahari dapat dianggap sebagai sebuah gelombang cahaya atau sebagai paket energi (photon). Untuk menjelaskan efek pada sel photovoltaik yang paling mudah adalah dengan menganggap sinar matahari sebagai paket energi (photon). Elektron dapat pindah dari lapisan N ke P tetapi tidak sebaliknya. Photon dengan energi cukup yang mengenai sel tersebut berfungsi untuk mendorong elektron dari lapisan P ke lapisan N karena pada lapisan N terjadi kelebihan elektron sedang pada lapisan P kekurangan elektron. Hal ini menimbulkan beda tegangan yang dapat digunakan sebagai suatu sumber tenaga.

Ada beberapa keuntungan dari segi lingkungan yang dapat diperoleh yaitu tenaga matahari bebas polusi dalam penggunaannya, tidak memerlukan bahan bakar dan pemeliharaan serta jumlahnya cukup besar secara kontinu. Beberapa kekurangan dari segi lingkungan untuk pembangkit listrik tenaga matahari selalu lebih mahal dibandingkan listrik yang dihasilkan oleh sumber yang lain dan listrik tenaga matahari tidak dapat bekerja pada malam hari dan kurang efektif jika dalam cuaca berawan, oleh karena itu diperlukan sebuah sistem penyimpanan.

Disamping itu jika ditinjau dari segi ekonomi mempunyai kelebihan yaitu biaya operasional sangat rendah dibandingkan teknologi pembangkit yang ada saat ini, serta mempunyai kekurangan dari segi ekonomi yaitu biaya produksi sel surya terbilang mahal, sel surya harus memiliki perangkat-perangkat pendukung seperti baterai, inverter, penghantar, dan infrastruktur.

## II. PERUMUSAN MASALAH

- Bagaimana menghitung seberapa besar potensi energi matahari di Sulawesi Selatan untuk pengaplikasian photovoltaik.

- Bagaimana memperoleh gambaran penghematan biaya dalam hal emisi CO<sub>2</sub> dan investasi ekonomi sistem.

### III. TUJUAN PENELITIAN

- Menghitung potensi energi matahari di beberapa daerah di Sulawesi Selatan untuk pemanfaatan photovoltaik bentuk monokristal dan polykristal.
- Menentukan manufaktur yang memiliki tingkat efisiensi yang dapat digunakan didaerah Sulawesi Selatan.

### IV. BATASAN MASALAH

Beberapa batasan masalah yang terdapat pada tugas akhir ini adalah :

1. Menghitung rata-rata intensitas cahaya matahari dalam setahun di beberapa daerah di Sulawesi Selatan.
2. Menentukan manufaktur photovoltaik yang dapat digunakan berdasarkan data intensitas cahaya yang diperoleh dari parameter :
  - Menghitung daya yang mampu dibangkitkan untuk setiap daerah di Sulawesi Selatan.
  - Menghitung biaya manufaktur yang dibutuhkan dalam proses pembangunan pembangkit listrik tenaga surya.

### V. SISTEMATIKA PENULISAN

Untuk mempermudah penulisan agar pembahasan yang disajikan lebih sistematis, maka laporan ini dibagi dalam lima bab, isi masing-masing bab diuraikan secara singkat dibawah ini :

#### BAB I PENDAHULUAN

Bab ini dijelaskan tentang alasan mengambil topik ini sebagai skripsi, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini akan dibahas tentang penjelasan-penjelasan umum mengenai teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan seperti unsur-unsur klimatologi yang akan digunakan dan program Retscreen International.

## BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini dijelaskan mengenai langkah-langkah perancangan sistem prediksi intensitas cahaya dari program Retscreen Internatioal.

## BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisi analisis dari pengujian (validasi) dibandingkan dengan data aktual dari program Retscreen International.

## BAB V PENUTUP

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari penelitian yang dilakukan.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Photovoltaik**

##### **2.1.1 Pengertian Photovoltaik**

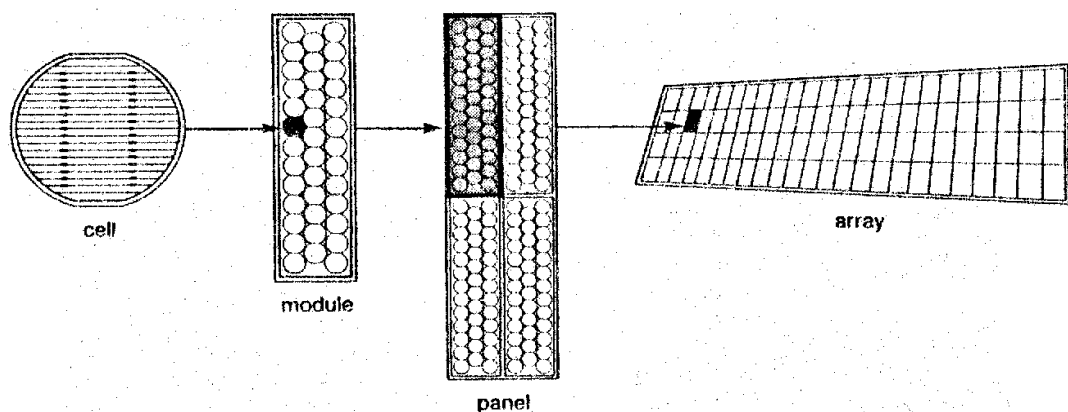
Photovoltaik (PV) adalah sektor teknologi dan penelitian yang berhubungan dengan aplikasi [panel surya](#) untuk [energi](#) dengan mengubah [sinar matahari](#) menjadi [listrik](#). Karena permintaan yang terus meningkat terhadap sumber energi bersih, pembuatan [panel surya](#) dan [kumpulan photovoltaik](#) telah meluas secara dramatis dalam beberapa tahun belakangan ini. Sel surya atau sel photovoltaik adalah sebuah alat semikonduktor yang terdiri dari sebuah wilayah besar dioda P-N junction dimana dalam hadirnya cahaya matahari mampu menciptakan energi listrik yang berguna. Perubahan ini disebut efek photovoltaik. Bidang riset berhubungan dengan sel surya dikenal sebagai photovoltaik. Sel surya memiliki banyak aplikasi seperti, satelit pengorbit (bumi), kalkulator genggam, pompa air, dan sebagainya. Sel surya (dalam bentuk modul atau panel surya) dapat dipasang di atap gedung di mana mereka berhubungan dengan inverter ke grid listrik dalam sebuah pengaturan net metering [2], [4].

##### **2.1.2 Panel Surya**

Panel surya adalah alat yang terdiri dari sel surya yang mengubah cahaya menjadi listrik. Matahari merupakan sumber cahaya terkuat yang dapat dimanfaatkan. Panel surya sering kali disebut sel photovoltaik, photovoltaik dapat diartikan sebagai cahaya listrik. Sel surya atau sel PV bergantung pada efek

photovoltaik untuk menyerap energi matahari dan menyebabkan arus mengalir antara dua lapisan bermuatan yang berlawanan.

Jumlah penggunaan panel surya di porsi pemroduksian listrik dunia sangat kecil, tertahan oleh biaya tinggi per watt-nya dibandingkan dengan bahan bakar fosil yang dapat lebih tinggi sepuluh kali lipat, tergantung keadaan. Sekarang ini biaya panel listrik surya membuatnya tidak praktis untuk penggunaan sehari-hari di mana tenaga listrik kabel telah tersedia. Bila biaya energi naik dalam jangka tertentu, atau bila penerobosan produksi terjadi yang mengurangi ongkos produksi panel surya, ini sepertinya tidak akan terjadi dalam waktu dekat. Berikut diagram hubungan antara sel surya, modul, panel surya dan array [5], [6].



Gambar 2.1 Hubungan sel surya, modul, panel & array (Yusliharya, 2007, jbptunikomp, online, 11 Juli 2012).

## Menghitung Energi Surya

Untuk menghitung energi surya dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q_p = L_{MS} \times H_{td} \dots\dots\dots \{2.1\}$$

Dimana :

$$L_{MS} = \text{Luas Modul Surya (m}^2\text{)}.$$

$$H_{td} = \text{Insolasi Disain/Radiasi Standar (} \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \text{/d)}.$$

### 2.1.3 Bahan Sel Surya

#### 2.1.3.1 Silikon untuk sel surya

Sel surya dibuat dari silikon yang berbentuk bujur sangkar pipih dengan ukuran 5 x 5 cm atau 10 x 10 cm persegi. Ketebalan silikon ini sekitar 2 mm. Lempengan bujur sangkar pipih ini disebut dengan wafer silikon untuk sel surya. Bentuk wafer silikon sel surya berbeda dengan wafer silikon untuk semikonduktor lain (*chip*, prosesor komputer, RAM memori) yang berbentuk bundar pipih meski memiliki ketebalan yang sama. Wafer silikon dibuat melalui proses pembuatan wafer silikon dengan memanfaatkan silikon berkadar kemurnian tinggi sebelumnya (*semiconductor grade silicon*). Berikut beberapa cara membuat wafer silikon untuk keperluan sel surya yaitu :

- monokristal silikon.

Monokristal di sini berarti silikon tersebut tersusun atas satu kristal saja. Wafer silikon monokristal dibuat melalui proses Czochralski (Cz) yang merupakan jantung dari proses pembuatan wafer silikon untuk semikonduktor pula. Prosesnya melibatkan peleburan silikon semikonduktor *grade*, diikuti dengan pemasukan batang umpan silikon ke dalam leburan silikon. Ketika batang umpan ini ditarik perlahan dari leburan silikon, maka secara otomatis silikon dari leburan akan menempel di batang umpan dan membeku sebagai satu kristal besar silikon. Suhu proses berkisar antara 1000 - 1200 °C, yakni suhu di mana silikon dapat melebur atau meleleh atau mencair. Silikon yang telah membeku ini akhirnya dipotong-potong menghasilkan wafer dengan ketebalan sekitar 2 mm.



Gambar 2.2 Panel Surya Monokristal (Sumber : Modul Pengenalan Teknologi Tenaga Surya, 2008, online, 25 Juli 2012).

- Polykristal Silikon.

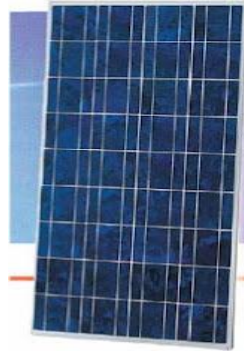
Wafer silikon monokristal relatif jauh lebih sulit dibuat dan lebih mahal. Silikon monokristal inilah yang digunakan untuk bahan dasar semikonduktor pada mikrochip, prosesor, transistor, memori dan sebagainya. Keadaannya yang monokristal (mengandung hanya satu kristal tunggal) membuat silikon monokristal nyaris tanpa cacat dan sangat baik tingkat hantar listrik dan panasnya. Sel surya akan bekerja dengan sangat baik dengan tingkat efisiensi yang tinggi jika menggunakan silikon jenis ini.

Namun demikian, perlu diingat bahwa isu besar sel surya ialah bagaimana menurunkan harga yang masih jauh dari jangkauan masyarakat. Penggunaan silikon monokristal jelas akan melonjakkan harga sel surya yang akhirnya justru kontraproduktif. Komunitas industri dan peneliti sel surya akhirnya berpaling ke jenis silikon yang lain yang lebih murah, lebih mudah dibuat, meski agak sedikit mengorbankan tingkat efisiensinya. Saat ini, baik silikon monokristal maupun polikristal sama-sama banyak digunakan oleh masyarakat.

Pembuatan silikon polykristal pada intinya sama dengan mengecor logam. *Semikonduktor grade silikon* dimasukkan ke dalam sebuah tungku atau tanur bersuhu tinggi hingga melebur atau meleleh. Leburan silikon ini akhirnya dimasukkan ke dalam cetakan cor dan selanjutnya dibiarkan membeku. Persis seperti pengecoran besi, aluminium, tembaga maupun logam lainnya. Silikon yang beku kemudian dipotong-potong menjadi berukuran 5 x 5 cm atau 10 x 10 cm persegi dengan ketebalan kira-kira 2 mm untuk digunakan sebagai sel surya.



Proses pembuatan silikon polykristal dengan cara ini merupakan proses yang paling banyak dilakukan karena sangat efektif baik dari segi ekonomis maupun teknis.



Gambar 2.3 Panel Surya Polykristal (Sumber : Modul Pengenalan Teknologi Tenaga Surya, 2008, online, 25 Juli 2012).

- Amorphous

Silikon amorphous (a-Si) digunakan sebagai bahan baku panel surya untuk kalkulator pada waktu tertentu. Meskipun kinerjanya rendah daripada sel surya c-Si (*crystalline*) tradisional, hal ini tidak terlalu penting dalam kalkulator, yang menggunakan tenaga sangatlah minim. Saat ini perkembangan pada teknik a-Si membuat mereka menjadi lebih efektif untuk area yang luas digunakan solar sel panel. Efisiensi tinggi dapat dicapai dengan penyusunan beberapa layar sel a-Si yang tipis di bagian atas satu sama lain, setiap rangkaian diatur untuk bekerja pada frekuensi cahaya tertentu. Pendekatan ini tidak berlaku untuk sel c-Si, dimana sangatlah tebal sebagai hasil dari teknik pembangunan dan buram, menghalangi cahaya pada lapisan ditiap susunan. Keuntungan dari dasar a-Si menggunakan sekitar 1% silikon daripada sel c-Si dan biaya untuk silikon adalah faktor terbesar dalam biaya sel.



Gambar 2.4 Panel Surya Amorphous (Sumber : Modul Pengenalan Teknologi TenagaSurya, 2008, online, 25 Juli 2012).

- Compound (GaAs)

Compound Gallium Arsenide (GaAs) dapat mengkonversi sekitar 40% radiasi matahari menjadi listrik, sehingga dua kali lebih efektif dibandingkan silikon. Efisiensi ini membuat gallium arsenide menjadi bahan pilihan untuk membangun sel surya pesawat ruang angkasa, tetapi harga gallium *arsenide* sangat mahal.



Gambar 2.5 Panel Surya Coumpound pada Satelit Komunikasi Luar Angkasa (Sumber: Modul Pengenalan Teknologi Tenaga Surya, 2008, online, 25 Juli 2012).

- Sel surya film tipis (Thin film solar cells)

Sel surya yang terbuat dari film tipis (*Thin film solar cells*) diantaranya ada tiga material yang sedang dikembangkan secara intensif yaitu  $\text{CuInSe}_2$  (atau paduannya seperti  $\text{CuInS}_2$  atau  $\text{CuInGaSe}_2$ ), CdTe dan silikon amorphous. Sel surya film tipis CdTe telah dapat diproduksi dalam bentuk modul percobaan dengan efisiensi sekitar 10%. Diterima dengan baik karena mengandung unsur cadmium. Material  $\text{CuInSe}_2$  adalah juga diharapkan dapat digunakan secara luas. Material dengan daya absorpsi cahaya yang besar ini, secara teoritik mempunyai efisiensi 20% bahkan lebih. Dalam skala laboratorium saat ini telah dibuat efisiensi di atas 15%. Yang terakhir adalah silikon amorphous, material ini juga dikenal sebagai bahan dasar pembuatan flat panel display untuk layar komputer atau televisi portabel. Ini dimungkinkan karena material ini bisa ditumbuhkan dalam ukuran besar dengan lebar lebih dari satu meter. Film tipis silikon amorphous biasanya dibuat dengan menguraikan gas monosilane ( $\text{SiH}_4$ ) dalam plasma yang dibangkitkan oleh penguat frekuensi radio (*glow discharge*).

Tabel 2.1 Perbedaan bahan secara umum (sumber : jenis panel surya, 2010, online, 19 juli 2012).

	Efisiensi Perubahan Daya	Daya Tahan	Biaya	Keterangan	Penggunaan
Monokristal	Sangat Baik	Sangat baik	Baik	Kegunaan pemakaian luas	Sehari – hari
Polykristal	Baik	Sangat baik	Sangat baik	Cocok untuk produksi massal di masa depan	Sehari – hari
Amorphous (a-Si)	Cukup baik	Cukup baik	Baik	Bekerja baik dalam pencahayaan fluorescent	Sehari – hari dan perangkat komersial (kalkulator)
Compound (GaAs)	Sangat baik	Sangat baik	Cukup baik	Berta dan rapuh	Pemakaian diluar angkasa

Bagian utama perubah energi sinar matahari menjadi listrik adalah *absorber* (penyerap), meskipun demikian, masing-masing lapisan juga sangat berpengaruh terhadap efisiensi dari solar sel. Sinar matahari terdiri dari bermacam-macam jenis gelombang elektromagnetik. Oleh karena itu absorber disini diharapkan dapat menyerap sebanyak mungkin solar radiation yang berasal dari cahaya matahari [17].

#### **2.1.4 Prinsip Kerja**

Prinsip kerja sederhana photovoltaik adalah sinar matahari dapat dianggap sebagai sebuah gelombang cahaya atau sebagai paket energi (photon). Untuk menjelaskan efek pada sel photovoltaik yang paling mudah adalah dengan menganggap sinar matahari sebagai paket energi (photon). Elektron dapat pindah dari lapisan N ke P tetapi tidak sebaliknya. Photon dengan energi cukup yang mengenai sel tersebut berfungsi untuk mendorong elektron dari lapisan P ke lapisan N karena pada lapisan N terjadi kelebihan elektron sedang pada lapisan P kekurangan elektron. Hal ini menimbulkan beda tegangan yang dapat digunakan sebagai suatu sumber tenaga [4].

#### **2.1.5 Lama Usia dari Solar Sel**

Sebuah photovoltaik (PV) sistem dengan perawatan yang baik dapat bertahan hingga lebih dari 20 tahun. Sebenarnya dengan kondisi dimana sistem solar sel tidak dipindah-pindah dan terinterkoneksi langsung pada alat listrik, modul solar sel yang melalui fabrikasi yang baik mampu bertahan hingga 30 tahun. Cara terbaik agar sistem solar sel dapat bertahan lama serta tetap stabil performansinya (efisiensinya) adalah dengan melakukan pemasangan dan perawatan yang sesuai serta dalam waktu yang teratur. Berbagai kasus dalam permasalahan solar sel yang paling banyak dijumpai adalah dikarenakan buruknya cara pemasangan serta tidak rapinya proses instalasi. Kasus yang sering dijumpai tersebut antara lain seperti koneksi yang tidak baik, ukuran kabel yang tidak tepat, ataupun komponen yang tidak sesuai untuk aliran DC.

Selain itu juga kesalahan sering terjadi pada tidak seimbangya sistem (*balance of system* atau BOS) bagian-bagian yang dipasang yaitu kontroler, inverter, serta proteksi komponen. Baterai dapat lebih cepat rusak jika diberi beban kerja diluar batas spesifikasinya. Pada sistem sel surya, baterai digunakan dan diberi muatan secara perlahan-lahan bahkan hingga periode beberapa hari bahkan satu minggu. Kondisi ini berbeda dengan cara kerja baterai yang umumnya langsung diisi segera setelah digunakan, yang menyebabkan baterai pada sistem solar sel dapat lebih cepat rusak jika tidak menggunakan tipe baterai yang sesuai dengan karakteristik ini.

#### **2.1.6 Charge Controller - Solar Controller**

*Charge Controller* adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengatur pengisian arus searah dari panel surya ke baterai dengan mengatur penyaluran arus dari baterai ke peralatan listrik (beban). *Solar charge controller* mengatur *overcharging* (kelebihan pengisian - karena baterai sudah penuh). Bila baterai sudah penuh terisi maka secara otomatis pengisian dari arus panel surya berhenti. Cara deteksi adalah melalui monitor level tegangan baterai. *Charge controller* akan mengisi baterai sampai level tegangan tertentu, kemudian apabila level tegangan telah mencapai level terendah, maka baterai akan diisi kembali. Apabila telah terjadi pengisian secara terus – menerus dan tanpa dibatasi oleh *charge controller* dapat mengurangi umur baterai. *Charge controller* adalah indikator yang akan memberikan informasi mengenai kondisi baterai sehingga penggunaan PLTS dapat mengendalikan konsumsi energi menurut ketersediaan listrik yang terdapat didalam baterai. *Solar charge controller* menerapkan

teknologi [Pulse width modulation](#) (PWM) untuk mengatur fungsi pengisian [baterai](#) dan pembebasan arus dari baterai ke beban. Jadi tanpa *solar charge controller*, [baterai](#) akan rusak oleh *over charging* dan ketidakstabilan tegangan. Baterai umumnya di *charge* pada tegangan 14 – 14,7 Volt. Beberapa fungsi detail dari *solar charge controller* adalah sebagai berikut:

- Mengatur arus untuk pengisian ke [baterai](#), menghindari *overcharging*, dan *overvoltage*.
- Mengatur arus yang dibebaskan atau diambil dari baterai agar baterai tidak *full discharge* dan *overloading*.
- Monitoring temperatur baterai.

Beberapa yang perlu diperhatikan dalam pemilihan *solar charge controller* adalah :

- *Voltage* 12 Volt DC / 24 Volt DC.
- Kemampuan (dalam arus searah) dari *controller*. Misalnya 5 Ampere, 10 Ampere dan seterusnya.
- *Full charge* dan *low voltage cut*.

Dalam pengaturan *charging* , umumnya [baterai](#) diisi dengan tiga tahapan metode *charging*:

1. *Fase bulk* : baterai akan di-*charge* sesuai dengan tegangan setup (*bulk* - antara 14,4 – 14,6 Volt) dan arus diambil secara maksimum dari

[panel surya atau solar sel](#). Pada saat [baterai](#) sudah pada tegangan setup (*bulk*) dimulailah *fase absorption*.

2. *Fase absorption* : pada fase ini, tegangan [baterai](#) akan dijaga sesuai dengan tegangan *bulk*, sampai [solar charge controller timer](#) (umumnya satu jam) tercapai, arus yang dialirkan menurun sampai tercapai kapasitas dari [baterai](#).
3. *Fase float* : [baterai](#) akan dijaga pada tegangan *float setting* (umumnya 13,4 – 13,7 Volt). Beban yang terhubung ke baterai dapat menggunakan arus maksimum dari [panel surya atau solar sel](#) pada *stage* ini.

*Solar Charge Controller* biasanya terdiri dari : 1 input ( 2 terminal ) yang terhubung dengan *output* [panel surya atau solar sel](#), 1 output ( 2 terminal ) yang terhubung dengan [baterai atau aki](#) dan 1 output ( 2 terminal ) yang terhubung dengan beban ( *load* ). Arus listrik DC yang berasal dari baterai tidak mungkin masuk ke panel sel surya karena biasanya ada dioda *protection* yang hanya melewatkan arus listrik DC dari panel surya atau solar sel ke baterai, bukan sebaliknya. Ada dua jenis teknologi yang umum digunakan oleh *solar charge controller* :

1. PWM (*Pulse Wide Modulation*), seperti namanya menggunakan lebar pulse dari on dan off elektrik, sehingga menciptakan seakan-akan *sine wave electrical form*.
2. MPPT (*Maximun Power Point Tracker*), yang lebih efisien konversi DC ke DC. MPPT dapat mengambil maksimum daya dari PV. MPPT *charge controller* dapat menyimpan kelebihan daya yang tidak digunakan oleh



beban ke dalam [baterai](#), dan apabila daya yang dibutuhkan beban lebih besar dari daya yang dihasilkan oleh PV, maka daya dapat diambil dari baterai [10].

### 2.1.7 Baterai atau aki

Baterai atau aki adalah sebuah alat penyimpan tenaga listrik arus searah ( DC ). Ada beberapa jenis baterai atau aki di pasaran yaitu :

1. Baterai atau aki basah atau konvensional.
2. *Hybrid*.
3. *Maintenance Free* ( MF ).

Aki basah atau konvensional berarti masih menggunakan asam sulfat (  $H_2SO_4$  ) dalam bentuk cair, sedangkan aki MF sering disebut juga aki kering karena asam sulfatnya sudah dalam bentuk gel atau selai. Dalam hal mempertimbangkan posisi peletakkannya maka aki kering tidak mempunyai kendala, lain halnya dengan aki basah. Aki konvensional juga kandungan timbalnya ( Pb ) masih tinggi sekitar 2,5% untuk masing-masing sel positif dan negatif, sedangkan jenis *hybrid* kandungan timbalnya sudah dikurangi menjadi masing-masing 1,7%, hanya saja sel negatifnya sudah ditambahkan unsur *Calcium*, sedangkan aki MF / aki kering sel positifnya masih menggunakan timbal 1,7% tetapi sel negatifnya sudah tidak menggunakan timbal melainkan *Calcium* sebesar 1,7%. Pada *Calcium* baterai Asam Sulfatnya (  $H_2SO_4$  ) masih berbentuk cairan, hanya saja hampir tidak memerlukan perawatan karena tingkat penguapannya kecil sekali dan dikondensasi kembali. Teknologi sekarang bahkan

sudah memakai bahan silver untuk campuran sel negatifnya. Berikut ini beberapa pertimbangan dalam pemilihan aki yaitu :

1. Tata letak, apakah posisi tegak, miring atau terbalik. Bila pertimbangannya untuk segala posisi maka aki kering adalah pilihan utama karena cairan air aki tidak akan tumpah. Aki kering tahan guncangan sedangkan aki basah bahan elektrodanya mudah rapuh terkena guncangan.
2. *Voltage*/tegangan, dipasaran yang mudah ditemui adalah yang bertegangan 6V, 12V dan 24V. Ada juga yang *multipole* yang mempunyai beberapa titik tegangan.
3. Kapasitas aki yang tertulis dalam satuan Ampere *hour* ( Ah ), yang menyatakan kekuatan aki, seberapa lama aki tersebut dapat bertahan menyuplai arus untuk beban atau *load*.
4. *Cranking* Ampere yang menyatakan seberapa besar arus *start* yang dapat disuplai untuk pertama kali pada saat beban dihidupkan. Aki kering biasanya mempunyai *cranking* ampere yang lebih kecil dibandingkan aki basah, akan tetapi suplai tegangan dan arusnya relatif stabil dan konsisten. Itu sebabnya perangkat audio mobil banyak menggunakan aki kering.
5. Pemakaian dari aki itu sendiri apakah untuk kebutuhan rutin yang sering dipakai ataukah cuma sebagai *back-up* saja. Aki basah, tegangan dan kapasitasnya akan menurun bila disimpan lama tanpa *recharge*, sedangkan aki kering relatif stabil bila disimpan untuk jangka waktu lama tanpa *recharge*.

6. Harga, karena aki kering mempunyai banyak keunggulan maka harganya pun jauh lebih mahal daripada aki basah.

Secara garis besar, baterai dibedakan berdasarkan aplikasi dan konstruksinya. Berdasarkan aplikasi maka baterai dibedakan untuk *automotif*, *marine* dan *deep cycle*. *Deep cycle* itu meliputi baterai yang biasa digunakan untuk Photovoltaik dan *back up power*. Sedangkan secara konstruksi maka baterai dibedakan menjadi tipe basah, gel dan AGM (*Absorbed Glass Ma*). Baterai jenis AGM biasanya juga dikenal dgn VRLA (*Valve Regulated Lead Acid*).

Adapun jenis baterai kering *deep cycle* juga dirancang untuk menghasilkan tegangan yang stabil dan konsisten. Penurunan kemampuannya tidak lebih dari 1-2% per bulan tanpa perlu *discharge*. Bandingkan dengan baterai konvensional yang bisa mencapai 2% per minggu untuk *self discharge*. Konsekuensinya untuk *charging* pengisian arus ke dalam baterai *Deep Cycle* harus lebih kecil dibandingkan baterai konvensional sehingga butuh waktu yang lebih lama untuk mengisi muatannya. Antara tipe gel dan AGM hampir mirip hanya saja baterai AGM mempunyai semua kelebihan yang dimiliki tipe gel tanpa memiliki kekurangannya. Kekurangan tipe Gel adalah pada waktu *di-charge* maka tegangannya harus 20% lebih rendah dari baterai tipe AGM ataupun basah. Bila *overcharged* maka akan timbul rongga di dalam gelya yang sulit diperbaiki sehingga berkurang kapasitas muatannya. Karena tidak ada cairan yang dapat membeku maupun mengembang, membuat baterai *Deep Cycle* tahan terhadap cuaca ekstrim yang membekukan. Ada 2 rating untuk baterai yaitu CCA dan RC yaitu :

- *Cold Cranking Ampere* ( CCA ) menunjukkan seberapa besar arus yang dapat dikeluarkan serentak selama 30 detik pada titik beku air yaitu 0 °C.
- *Reserve Capacity* ( RC ) menunjukkan berapa lama ( dalam menit ) baterai tersebut dapat menyalurkan arus sebesar 25 A sambil tetap menjaga tegangannya di atas 10,5 Volt.
- Baterai *Deep Cycle* mempunyai 2-3 kali lipat nilai RC dibandingkan baterai konvensional. Umur baterai AGM rata-rata antara 5-8 tahun [7], [8].

### **2.1.8.1 Charging dan discharging baterai atau aki pada Photovoltaik**

#### **2.1.8.1.1 Charging Baterai atau Aki**

Waktu pengisian [baterai aki atau sealed lead acid](#) adalah 12 sampai 16 jam. Dengan arus pengisian yang lebih tinggi dan metode pengisian *multi-stage*, waktu pengisian dapat berkurang sampai dengan 10 jam atau kurang.

Pengisian *multi-stage*, terdiri dari 3 *stage* atau tahap, *constant-current charge*, *topping charge* dan *float charge*. Selama *constant-current charge*, [baterai](#) diisi sampai 70 % dalam waktu 5 jam, sisanya 30 persen adalah pengisian pelan-pelan dalam *topping charge*. *Topping charge* butuh sekitar 5 jam yang lain dan ini sangat penting untuk menjaga baterai tetap baik. Jika pola pengisian baterai tidak lengkap sesuai dengan kedua *stage* diatas, maka baterai akan kehilangan kemampuan untuk menerima *full charge* dan kinerja baterai akan berkurang. Tahap ketiga adalah *float charge*, kompensasi *self discharge* setelah baterai terisi penuh.

[Baterai atau aki](#), terdiri dari beberapa sel. Baterai aki 12 Volt, terdiri dari 6 sel. Batas tegangan satu sel umumnya mulai dari 2,30 V sampai 2,45 V. Jadi baterai aki 12 Volt, tegangan sebenarnya adalah antara 13,8 V – 14,7 Volt. Kondisi baterai aki tergantung dari suhu. Suhu tinggi menyebabkan baterai cepat rusak. Pada saat *charging* baterai pada suhu ruangan melebihi 30 derajat celsius, tegangan yang direkomendasikan adalah 2,35 V/sel. Pada saat *charging* dan suhu ruangan tetap dibawah 30 °C, tegangan charger untuk masing-masing sel disarankan 2,40 Volt sampai 2,45 Volt.

Tegangan float *charge* yang direkomendasikan dari kebanyakan [baterai aki lead acid](#) adalah di antara 2,25 sampai 2,30 V/sel. Kompromi yang baik adalah 2,27 V. *Float charge* yang optimal bergeser tergantung dari suhu. Pada suhu tinggi dibutuhkan tegangan lebih kecil dan suhu lebih rendah dibutuhkan tegangan lebih tinggi. *Charger* dengan suhu yang fluktuatif harus dilengkapi dengan sensor suhu untuk mengoptimalkan *float voltage*.

[Baterai aki](#) memerlukan periodik *discharge*, untuk memperpanjang umur baterai. Penerapan sekali dalam sebulan, dimana *discharge* dilakukan hanya berkisar 10% dari total kapasitas. *Full discharge* sebagai bagian dari pemeliharaan rutin tidak direkomendasikan karena akan mengurangi siklus hidup baterai.

[Baterai aki](#) memiliki tegangan puncak bervariasi pada suhu yang bervariasi saat pengisian ulang dan *float charge*. Menerapkan kompensasi suhu pada charger untuk menyesuaikan suhu ekstrim memperpanjang umur baterai hingga 15 %, ini benar jika dijalankan pada suhu tinggi [8], [11].

### 2.1.8.1.2 *Discharging* Baterai atau Aki

Kapasitas [baterai](#) sebesar 100 Ampere *hour* (Ah), artinya arus baterai akan habis dalam satu jam, bila beban menggunakan 100 Ampere. *Level discharge* [baterai aki](#) yang direkomendasikan adalah sampai dengan tegangan 1,75 Volt per sel. Baterai aki akan rusak apabila tegangan per sel lebih kecil dari 1,75 Volt (atau 10,5 Volt untuk baterai 12 Volt).

Masa [baterai](#) dihitung dalam jumlah *cycle*. Satu *cycle* adalah satu kali penggunaan dan pengisian. *Depth of discharge* (jumlah pemakaian ampere baterai), mempengaruhi jumlah *cycle* baterai aki. Pada suhu 25 derajat Celcius [8].

- 150 - 200 cycle dengan 100 % *depth of discharge* (*full discharge*).
- 400 - 500 cycle dengan 50 % *depth of discharge* (*partial discharge*).
- 1000 atau lebih dengan 30 % *depth of discharge* (*shallow discharge*).

### 2.1.9 [Inverter](#)

[Inverter](#) adalah perangkat elektrik yang digunakan untuk mengubah arus listrik searah (DC) menjadi arus listrik bolak balik (AC). Inverter mengkonversi DC dari perangkat seperti [baterai, panel surya atau solar sel](#) menjadi AC. Penggunaan [inverter](#) dari dalam [Pembangkit Listrik Tenaga Surya](#) (PLTS) adalah untuk perangkat yang menggunakan AC (Alternating Current), kulkas, televisi dan lain - lain.

Beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan [inverter](#):

- Kapasitas beban dalam Watt, usahakan memilih [inverter](#) yang beban kerjanya mendekati dengan beban yang hendak kita gunakan agar efisiensi kerjanya maksimal.
- Input DC 12 Volt atau 24 Volt.
- *Sinewave* ataupun *square wave output AC*.

*True sine wave inverter* diperlukan terutama untuk beban-beban yang masih menggunakan motor agar bekerja lebih mudah, lancar dan tidak cepat panas. Oleh karena itu dari sisi harga maka *true sine wave inverter* adalah yang paling mahal diantara yang lainnya karena dialah yang paling mendekati bentuk gelombang asli dari jaringan listrik PLN [9].

Dalam perkembangannya dipasaran juga beredar *modified sine wave inverter* yang merupakan kombinasi antara *square wave* dan *sine wave*. Perangkat yang menggunakan kumparan masih bisa beroperasi dengan *modified sine wave inverter*, hanya saja kurang maksimal, sedangkan pada *square wave inverter* beban-beban listrik yang menggunakan kumparan atau motor tidak dapat bekerja sama sekali. Selain itu dikenal juga istilah *Grid Tie Inverter* yang merupakan special inverter yang biasanya digunakan dalam sistem energi listrik terbarukan, yang mengubah arus listrik DC menjadi AC yang kemudian diumpankan ke jaringan listrik yang sudah ada. *Grid Tie Inverter* juga dikenal sebagai *synchronous inverter* dan perangkat ini tidak dapat berdiri sendiri, apalagi bila jaringan tenaga listriknya tidak tersedia. Dengan adanya *grid tie inverter*

kelebihan KWh yang diperoleh dari sistem PLTS ini bisa disalurkan kembali ke jaringan listrik PLN untuk dinikmati bersama dan sebagai pengantinya besarnya KWh yang disuplai harus dibayar PLN ke penyedia PLTS, tentunya dengan tarif yang telah disepakati sebelumnya. Sayangnya sampai sekarang ketentuan tarif semacam ini masih terus digodok seiring dengan aturan mengenai listrik swasta. Tugas lain yang harus dilakukan *grid tie inverter* adalah proses metering bersih. Metode metering bersih ini akan memungkinkan anda untuk menyimpan sedikit energi pada listrik. Pemeliharaan menjadi lebih mudah karena tidak menggunakan baterai. GTIs akan dimatikan otomatis jika tidak ada saat diidentifikasi. *Grid-tie inverter* dirancang untuk memutuskan sambungan dari kotak jika grid utilitas turun. Jika terjadi pemadaman, maka *Grid-tie inverter* akan mencegah energi yang dihasilkan yang dapat merugikan pekerja. *Grid tie inverter* yang digunakan dengan baterai disebut inverter multi fungsi. *Grid* energi terbarukan terdiri dari banyak bagian penting yang berbeda tetapi bagian yang jauh lebih penting dan mutlak bagi sistem adalah *grid tie inverter*. Tanpa *grid tie inverter* sistem tidak dapat bekerja dengan baik. *Grid-tie inverter* termasuk *tracker* titik maksimum *power* pada sisi input yang memungkinkan inverter untuk mengambil jumlah yang optimal dari sumber daya listrik tertentu.

Rugi-rugi atau *loss* tegangan yang terjadi pada [inverter](#) biasanya berupa dissipasi daya dalam bentuk panas. Efisiensi tertinggi dipegang oleh *grid tie inverter* yang diclaim bisa mencapai 95-97% bila beban outputnya hampir mendekati *rated* bebannya. Sedangkan pada umumnya efisiensi *inverter* adalah berkisar 50-90% tergantung dari beban outputnya. Bila beban outputnya semakin



mendekati beban kerja inverter yang tertera maka efisiensinya semakin besar, demikian pula sebaliknya. *Modified sine wave* inverter ataupun *square wave inverter* bila dipaksakan untuk beban-beban induktif maka efisiensinya akan jauh berkurang dibandingkan dengan *true sine wave inverter*. Perangkatnya akan menyedot daya 20% lebih besar dari yang seharusnya [13].

### **2.1.10 Pemeliharaan Panel Surya**

Pada umumnya [panel surya atau solar sel](#) tidak membutuhkan pemeliharaan yang rutin seperti genset. Genset umumnya diharuskan untuk dihidupkan satu kali seminggu, pemeriksaan oli, pemeriksaan [baterai](#), dan lain-lain. Pemeliharaan panel surya atau solar sel:

- Dibersihkan berkala untuk tidak mengurangi penyerapan intensitas matahari.
- Mengatur letak dari panel surya atau solar sel supaya mendapatkan sinar matahari langsung dan tidak terhalangi objek (pohon, jemuran, bangunan, dan lain-lain).

### **2.1.11 Faktor pengoperasian sel surya**

Beberapa faktor dari pengoperasian sel surya agar mendapatkan nilai yang maksimum sangat tergantung pada:

- a) 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) [15].

b) *Ambient* temperatur udara

Sebuah sel surya dapat beroperasi secara maksimum jika temperatur sel tetap normal pada 25 °C. Kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal pada sel surya akan melemahkan tegangan  $V_{oc}$ . Setiap kenaikan temperatur sel surya 10 °C dari 25 °C akan berkurang sekitar 0,4 % pada total tenaga yang dihasilkan atau akan melemah dua kali lipat untuk kenaikan temperatur sel per 10 °C [14].

c) Kecepatan angin bertiup

Kecepatan tiupan angin disekitar lokasi sel surya akan sangat membantu terhadap pendinginan temperatur permukaan sel surya sehingga temperatur dapat terjaga dikisaran 25 °C [15].

d) 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 [15].

e) 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 [15].

f) Posisi letak sel surya terhadap matahari (*tilt angle*)

Mempertahankan sinar matahari jatuh ke sebuah permukaan modul surya secara tegak lurus akan mendapatkan energi maksimum. Untuk mempertahankan ke tegak lurus antara sinar matahari terhadap panel surya dibutuhkan pengaturan posisi modul surya, karena *sun latitude* akan berubah setiap jam dalam sehari [15].

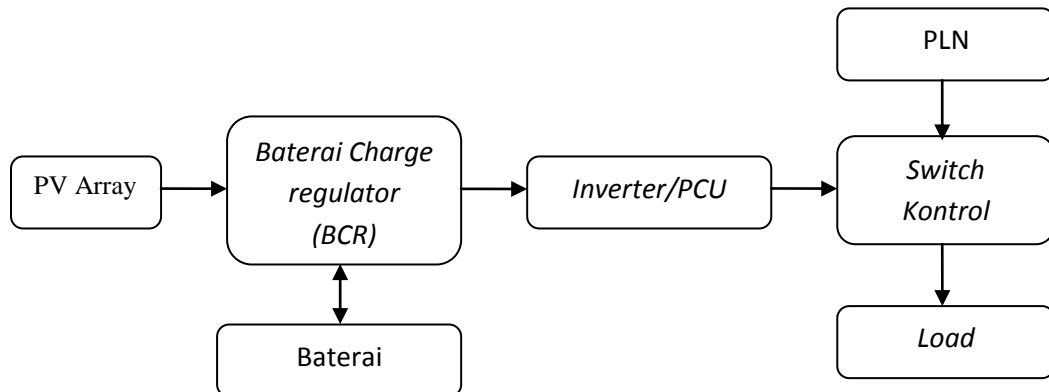
### **2.1.12 Sistem PLTS**

Sistem PLTS pada umumnya diklasifikasikan menurut konfigurasi komponennya. Pada umumnya ada dua klasifikasi, yaitu PLTS yang terhubung dengan jaringan listrik (*PLTS-Grid connected*) dan PLTS berdiri sendiri (*Stand Alone*).

### 2.1.12.1 PLTS-Grid Connected

Sistem PLTS-*Grid connected* pada dasarnya adalah menggabungkan PLTS dengan jaringan listrik (PLN). Komponen utama dari sistem ini adalah inverter atau *power conditioning unit* (PCU). *Inverter* inilah yang mengubah daya DC yang dihasilkan oleh PLTS menjadi daya AC sesuai dengan persyaratan dari jaringan listrik yang terhubung (*utility grid*). Sesuai namanya, *Grid Connected-PV*, maka sistem ini akan tetap berhubungan dengan jaringan PLN dengan mengoptimalkan pemanfaatan energi Photovoltaik (PV) untuk menghasilkan energi listrik semaksimal mungkin.

Pada siang hari modul Surya yang terpasang pada atap akan mengkonversi sinar matahari menjadi energi listrik arus searah (DC). Selanjutnya sebuah komponen yang disebut *Grid-inverter* merubah listrik arus searah (DC) dari PV menjadi listrik arus bolak-balik (AC) yang kemudian dapat digunakan untuk mensuplai berbagai peralatan rumah tangga seperti lampu, TV, kulkas, mesin cuci serta peralatan yang menggunakan arus bolak-balik. Pada siang hari, kebutuhan energi listrik berbagai peralatan disuplai langsung oleh modul surya. Jika pada kondisi ini terdapat kelebihan energi dari PV maka kelebihan energi ini dapat dijual ke PLN (tergantung kebijakan). Pada malam hari atau jika kondisi cuaca mendung maka peralatan akan disupport oleh jaringan PLN. Hal ini dimungkinkan karena sistem ini tetap terkoneksi dengan jaringan PLN. Berikut gambar sistem PLTS-*Grid connected* di bawah ini :



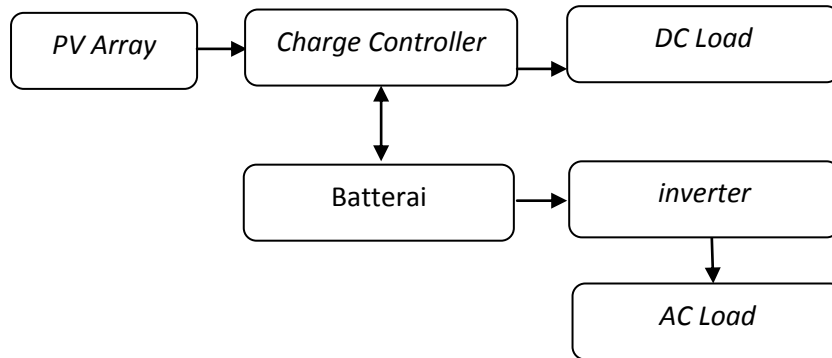
Gambar 2.6 Diagram sistem PLTS-Grid connected (sumber : Florida Energy Centre, unut, 2011, online, 11 Juli 2011).

Cara kerja sistem adalah Selama modul surya menghasilkan listrik maka beban di suplai oleh PLTS. Apabila beban yang dicatu melebihi kemampuan PLTS, maka listrik dari PLN akan masuk membantu. Untuk alasan keamanan, bila listrik dari PLN mati dan PLTS menghasilkan daya yang kurang dari beban yang ada, maka sistem otomatis akan mati. Hal ini mencegah terjadinya *islanding*. Ukuran dari PLTS *grid connected* dapat beragam sesuai dengan kemampuan. Kapasitas yang tersedia dipasaran dari 30 Watt sampai 3000 Watt. Dengan desain sistem bersifat modular, sistem seperti ini bisa dibuat menjadi ratusan MW atau tanpa batas, dengan cara menggabungkan sistem satu atau dengan yang lainnya. Keuntungan sistem modular ini adalah sistem bisa dibuat dari kapasitas kecil sampai kapasitas yang besar [16].

#### 2.1.12.2 PLTS Berdiri Sendiri (Stand Alone)

Sistem PLTS yang berdiri sendiri (*Stand Alone*) dirancang beroperasi mandiri untuk memasok beban DC atau AC. Jenis ini dapat diaktifkan oleh *array* photovoltaik saja atau dapat menggunakan sumber tambahan energi lain,

seperti: angin, air dan diesel. Baterai banyak digunakan dalam sistem PLTS berdiri sendiri untuk menyimpan energi. Diagram dibawah ini akan menunjukkan PLTS berdiri sendiri.



Gambar 2.7 Diagram sistem PLTS berdiri sendiri dengan baterai (sumber : Florida Energy Centre, 2011, online, 11 Juli 2011).

Pada diagram sistem pembangkit listrik tenaga surya berdiri sendiri (*stand alone*) dirancang untuk beroperasi secara tunggal atau tanpa bantuan pembangkit lainnya. Cara kerjanya photovoltaik memproduksi listrik secara tunggal kemudian *charge controller* meneruskan ke baterai dan beban DC, kemudian pada baterai akan diteruskan ke *inverter* untuk mengubah arus DC menjadi AC kemudian masuk ke peralatan listrik [16].

## 2.2 Aspek Ekonomi Terhadap PLTS

Pertimbangan aspek ekonomi pembangkit umumnya meliputi 3 lingkup besar, yaitu biaya investasi awal, biaya operasional dan biaya perawatan pembangkit. Sifat ekonomis sebuah sistem pembangkit listrik dapat dilihat dari harga jual listrik untuk setiap kWh (kilo Watt per-jam). Salah satu faktor yang mempengaruhi bahwa pembangkit listrik ekonomis (harga jual listrik serendah mungkin untuk setiap kWh) adalah biaya bahan bakar.

### 2.3 Kabel Instalasi Photovoltaik

Kabel untuk menghubungkan komponen perangkat dalam implementasi [pembangkit listrik tenaga surya](#) sebaiknya memperhatikan spesifikasi perkabelan untuk mengurangi *loss* (kehilangan) daya, pemanasan pada kabel dan kerusakan pada perangkat. Untuk menghubungkan perangkat [charge controller](#) dan [panel surya](#) atau [solar sel](#) perhatikan spesifikasi kabel, karena dalam dengan tegangan 12 Volt, spesifikasi kabel yang sesuai dapat mengurangi *loss* 3% ataupun mengurangi penurunan tegangan.

Kabel memiliki resistansi (dalam Ohm), semakin besar kabel, resistansinya semakin kecil. Pada tegangan 12 Volt, pengurangan tegangan terjadi pada kabel yang panjang, sehingga mengurangi efisiensi dari instalasi [pembangkit listrik tenaga surya](#) kita. Untuk itu kita mesti memperhatikan tabel gauge kabel standard Amerika (AWG) yang tertera pada Tabel 2.2:

Diameter kabel yang kecil memiliki nomor *wire gauge* yang besar. Tabel 2.2 adalah untuk ukuran kabel tunggal. Salah satu contoh saja, kabel UTP cat 5 adalah 24 AWG [18].

Tabel 2.2 : *Gauge* kabel standard Amerika (AWG) (sumber : Kabel instalasi panel surya, 2011,online, 12 juli 2012).

AWG	Diameter (mm)	Resistansi ( $\Omega$ /km)
0000 (4/0)	11,68	0,16
000 (3/0)	10,4	0,2
00 (2/0)	9,27	0,26
0 (1/0)	8,25	0,32
1	7,35	0,41
2	6,54	0,51
3	5,83	0,65
4	5,19	0,82
5	4,62	1,03
6	4,12	1,3
7	3,67	1,63
8	3,26	2,06
9	2,91	2,6
10	2,59	3,28
11	2,31	4,13
12	2,05	5,21
13	1,83	6,57
14	1,63	8,29
15	1,45	10,45
16	1,29	13,17
17	1,15	16,61
18	1,02	20,95
19	0,91	26,42
20	0,81	33,31
21	0,72	42
22	0,64	52,96
23	0,57	66,79
24	0,51	84,22
25	0,46	106,2



## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Lokasi Penelitian**

Studi penelitian ini memfokuskan di daerah-daerah Sulawesi selatan yang memiliki potensi energi matahari yang besar yakni Makassar, Bone, Palopo, Parepare, Toraja (Rantepao).

#### **3.2 Waktu Dan Tempat Penelitian**

Penelitian dan penulisan Tugas Akhir ini berlangsung pada bulan Mei sampai Juli bertempat di Makassar.

#### **3.3 Pengolahan Data**

Studi penelitian yang dikerjakan pada tugas akhir ini adalah jenis penelitian survei, adapun metode yang digunakan adalah sebagai berikut :

##### **1. Metode Perhitungan**

Metode perhitungan ini menggunakan program Retscreen International, dimana program ini digunakan untuk mendapatkan data dari setiap daerah yang menjadi objek penelitian dan data-data fisik mengenai manufaktur Photovoltaik.

##### **2. Metode Dokumentasi**

Metode ini digunakan untuk memperoleh data-data yang akurat tentang intensitas cahaya dari perbandingan sumber data-data yang diperoleh dan Program Retscreen International merupakan sumber data dalam penelitian ini.

#### **3.3 Retscreen International**

Retscreen International adalah [Microsoft Excel](#) berbasis [perangkat lunak bebas](#) paket yang digunakan untuk menentukan kelayakan proyek-proyek energi bersih, yang mencakup [energi terbarukan](#) instalasi dan sarana untuk menilai berbagai opsi efisiensi energi. Perangkat lunak ini menyediakan pengguna dengan berbagai pilihan untuk menilai kesesuaian, teknis keuangan dan lingkungan untuk investasi dalam proyek [energi bersih](#), yang mencakup efisiensi energi, energi terbarukan dan *cogeneration* (gabungan panas dan tenaga). Ini mengintegrasikan sejumlah *database* untuk membantu penilai situs, termasuk *database* global kondisi iklim yang diperoleh dari 4.700 tanah berbasis stasiun dan [NASA](#) satelit data.

Retscreen International juga digunakan untuk memfasilitasi studi pra-kelayakan dan studi kelayakan proyek-proyek energi bersih. Dengan menerapkan lima langkah analisa proyek sesuai standar internasional, Retscreen International dapat membantu para *stakeholders* (terutama calon investor) untuk membuat keputusan-keputusan penting menjelang implementasi proyek.

Retscreen International dikelola di bawah kepemimpinan dan dukungan finansial yang sedang berlangsung dari pusat penelitian *Canmet* energi dari [Sumber daya alam Kanada](#), sebuah Departemen Pemerintah Kanada. Hal ini dikembangkan dalam kerjasama dengan sejumlah pemerintah lainnya dan organisasi-organisasi multilateral dan dengan dukungan teknis dari jaringan besar ahli dari industri, pemerintah dan akademisi.

Retscreen International secara luas digunakan untuk proyek-proyek di seluruh dunia dan sering dikutip dalam literatur. Contoh penggunaannya dalam evaluasi efektivitas instrumen kebijakan dalam mendukung pembangunan pertanian angin di [Argentina](#), penilaian terhadap potensi energi gelombang [Turki](#), studi tentang potensi tekno-ekonomi berkonsentrasi tenaga surya di [India](#) dan kinerja termal pemanas air surya di [Kanada](#).

Retscreen International yang didesain oleh Retscreen International Canada, menyediakan fasilitas studi kelayakan untuk berbagai teknologi energi bersih, yaitu: energi angin, energi air skala kecil, energi surya, *cogeneration* (gabungan listrik dan panas), energi biomassa, pemanas udara tenaga surya, pemanas air tenaga surya, sistem pengendalian temperatur gedung pasif, dan pemompa panas dari sumber bawah tanah (panas bumi). Tiga output yang dihasilkan Retscreen International meliputi analisa finansial, analisa sensitifitas dan analisa resiko, dan estimasi pengurangan emisi gas rumah kaca.

### **3.4 Penentuan Manufaktur**

Dalam penelitian ini manufaktur yang kami tentukan dari beberapa data-data manufaktur yang ada dan manufaktur yang kami tentukan untuk disanalisa dalam studi ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan manufaktur

Dalam hal ini manufaktur yang akan diperbandingkan adalah Helios mono – Si – 6T 245W dan Schott tipe poly-Si - Schott poly 235W.

2. Perbandingan daya output dari masing manufaktur

Dalam hal ini akan dibandingkan output manufaktur Helios mono – Si – 6T 245W dan Schott tipe poly-Si - Schott poly 235W.

3. Menganalisa biaya dari masing-masing manufaktur

Dalam hal ini akan dibandingkan kedua manufaktur Helios mono – Si – 6T 245W dan Schott tipe poly-Si - Schott poly 235W dari segi ekonominya.

### **3.5 Metode Analisa**

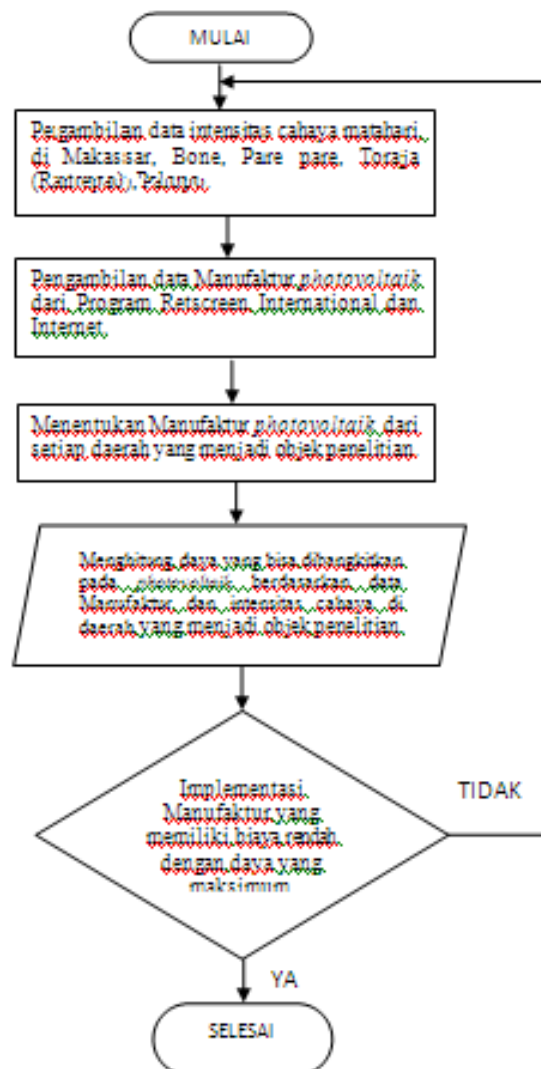
Pada penelitian ini, kami akan menganalisa perhitungan daya yang dibangkitkan photovoltaik dan perhitungan ekonomis untuk implementasi pembangkit listrik tenaga surya di daerah Sulawesi Selatan yang berdasarkan program Retscreen International.

#### **3.5.1 Intensitas Cahaya Matahari**

Perhitungan Intensitas cahaya matahari diperlukan untuk mengetahui intensitas cahaya matahari pada suatu daerah yang mempunyai nilai variabel intensitas cahaya matahari yang berbeda-beda. Pada daerah-daerah yang terdapat di Sulawesi Selatan mempunyai intensitas cahaya yang baik karena intensitas

radiasi sinar matahari mencapai 4,8 kWh/m<sup>2</sup>/d. Untuk menghitung intensitas cahaya matahari, dapat digunakan rumus persamaan {2.1}.

### 3.6 Langkah-langkah Penelitian



## **BAB IV**

### **UJICoba DAN IMPLEMENTASI**

#### **4.1. Objek Lokasi Penelitian**

Dalam penelitian ini akan digunakan 2 tipe modul manufaktur yaitu Helios tipe mono-Si-6T-245W dengan Schott tipe-poly-Si-235W, dua tipe modul tersebut tersedia dalam program Retscreen International.

Pada ujicoba dan implementasi ini, sistem pembangkitan yang akan digunakan adalah 100 kW sesuai dengan bahan yang tersedia pada program Retscreen International. Dimana untuk menghasilkan 100 kW maka ditentukan jumlah photovoltaik yang dibutuhkan, daya yang dibangkitkan dari setiap manufaktur dan penghematan gas CO<sub>2</sub> serta perbandingan dari segi ekonomi dari setiap manufaktur yang disediakan oleh Retscreen International. Propinsi Sulawesi Selatan merupakan daerah yang kaya akan sumber energi terbarukan.

Hal ini merupakan bahan acuan untuk memikirkan pengaplikasiannya dalam bentuk pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) untuk beberapa tahun ke depan, dalam penelitian ini kami telah mengambil lima lokasi sebagai bahan objek penelitian, koordinat dan ketinggian lokasi penelitian sebagai berikut :

Tabel 4.1 Data lokasi, koordinat dan ketinggian setiap daerah.

No	Lokasi	Koordinat	Ketinggian
1	Makassar (Bandara Hasanuddin)	5,1 <sup>0</sup> 04'12"LU, 119,6 <sup>0</sup> 33'00"BT	14,33 mdpl
2	Pare Pare	3,9 <sup>0</sup> 52'00"LU, 119,6 <sup>0</sup> 37'18"BT	452 mdpl
3	Bone	4,5 <sup>0</sup> 32'24"LU, 120,3 <sup>0</sup> 19'12"BT	36,03 mdpl
4	Palopo	3,1 <sup>0</sup> 06'00"LU, 120 <sup>0</sup> 14'24"BT	187,83 mdpl
5	Toraja ( Rantepao)	3 <sup>0</sup> 58'48"LU, 119,9 <sup>0</sup> 54'00"BT	1065,97 mdpl

#### **4.1.1. Kondisi Geografis Wilayah Makassar (Bandara Udara Sultan Hasanuddin)**

Kota Makassar merupakan kota terbesar keempat di Indonesia dan terbesar di Kawasan Timur Indonesia memiliki luas areal 175,79 km<sup>2</sup> dengan penduduk 1.112.688, sehingga kota ini sudah menjadi kota Metropolitan. Kota Makassar ialah ibu Kota Sulawesi Selatan dan memiliki titik koordinat : 5,1<sup>0</sup>04'12"LU, 119,6<sup>0</sup>33'00"BT. Pada daerah titik koordinat yang dimaksudkan ialah Bandar Udara Sultan Hasanuddin.

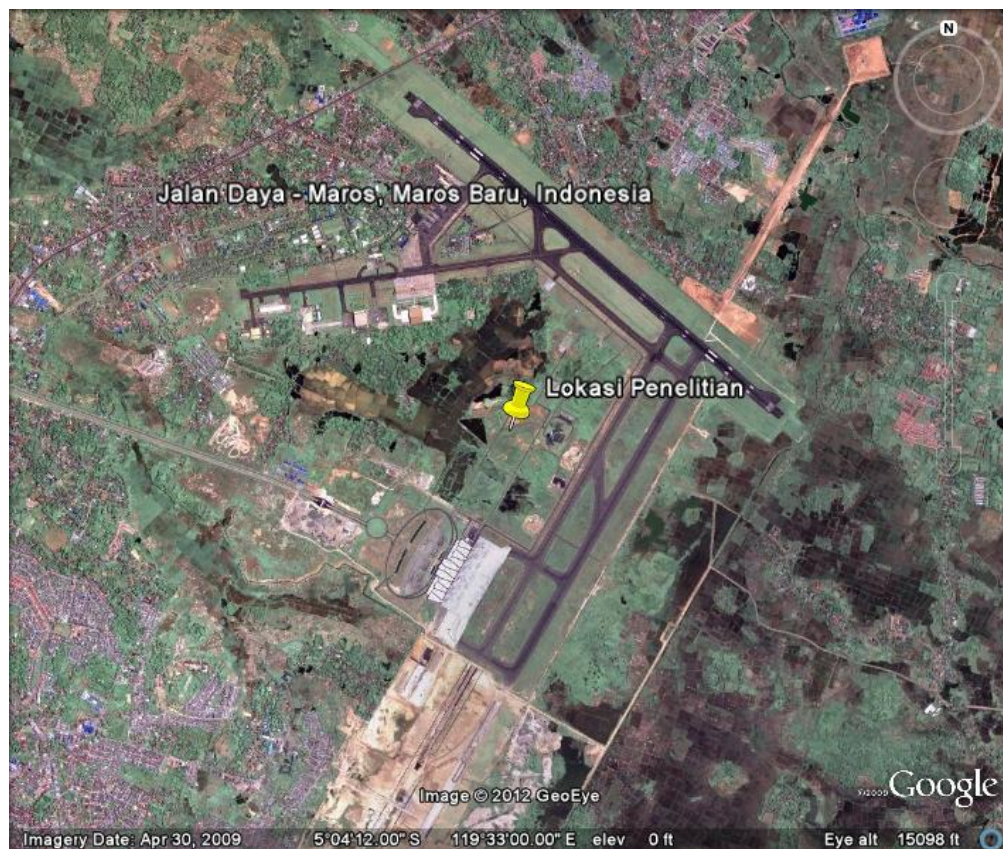
##### **4.1.1.1 Orientasi Wilayah**

Secara geografis Kota Metropolitan Makassar terletak di pesisir pantai barat Sulawesi Selatan pada koordinat 119°18'27,97" 119°32'31,03" Bujur Timur dan 5°00'30,18" - 5°14'6,49" Lintang Selatan dengan luas wilayah 175.77 km<sup>2</sup> dengan batas-batas berikut :

- Batas Utara : Kabupaten Pangkajene Kepulauan
- Batas Selatan : Kabupaten Gowa
- Batas Timur : Kabupaten Maros
- Batas Barat : Selat Makasar

#### 4.1.1.2 Foto Lokasi Penelitian di Kota Makassar (Bandara Udara Sultan Hasanuddin).

Foto lokasi penelitian di Kota Makassar koordinat  $5^{\circ}04'12''$ LS,  $119^{\circ}33'00''$ BT sebagai berikut:



Gambar 4.1 Foto Objek Lokasi Penelitian di Kota Makassar (sumber : Google Map September 2012).



#### 4.1.1.3 Data Intensitas Cahaya Rata-Rata Bulanan dalam 1 tahun

Tabel 4.2 Data Suhu Udara, Kelembaban dan intensitas cahaya Kota Makassar  
(Sumber : Program Retscreen International Tools, 2012, 09 September 2012).

Bulan	Suhu Udara °C	Kelembaban udara %	Intensitas Cahaya kWh/m <sup>2</sup> /d
Januari	26,2	87,2	4,57
Februari	26,3	87,2	4,85
Maret	26,5	85,7	5,75
April	26,8	84,1	5,91
Mei	27,2	81	5,97
Juni	26,9	78,6	5,67
Juli	26,6	74	5,95
Agustus	27	66,8	6,70
September	27,8	61,8	7,22
Oktober	27,7	72,1	7,05
November	27	82,1	6,09
Desember	26,3	86,3	4,75
Tahunan	26,86	78,9	5,88

#### 4.1.2 Kondisi Geografis Wilayah Pare - pare

Pare – pare adalah sebuah kota yang pertumbuhan penduduk, ekonomi dan teknologi yang sangat pesat di daerah Sulawesi Selatan. Hal ini dibuktikan dengan makin majunya semua bidang di Pare – pare. Kota pare – pare memiliki titik koordinat 3,9<sup>0</sup>52'00"LU, 119,6<sup>0</sup>37'18"BT.

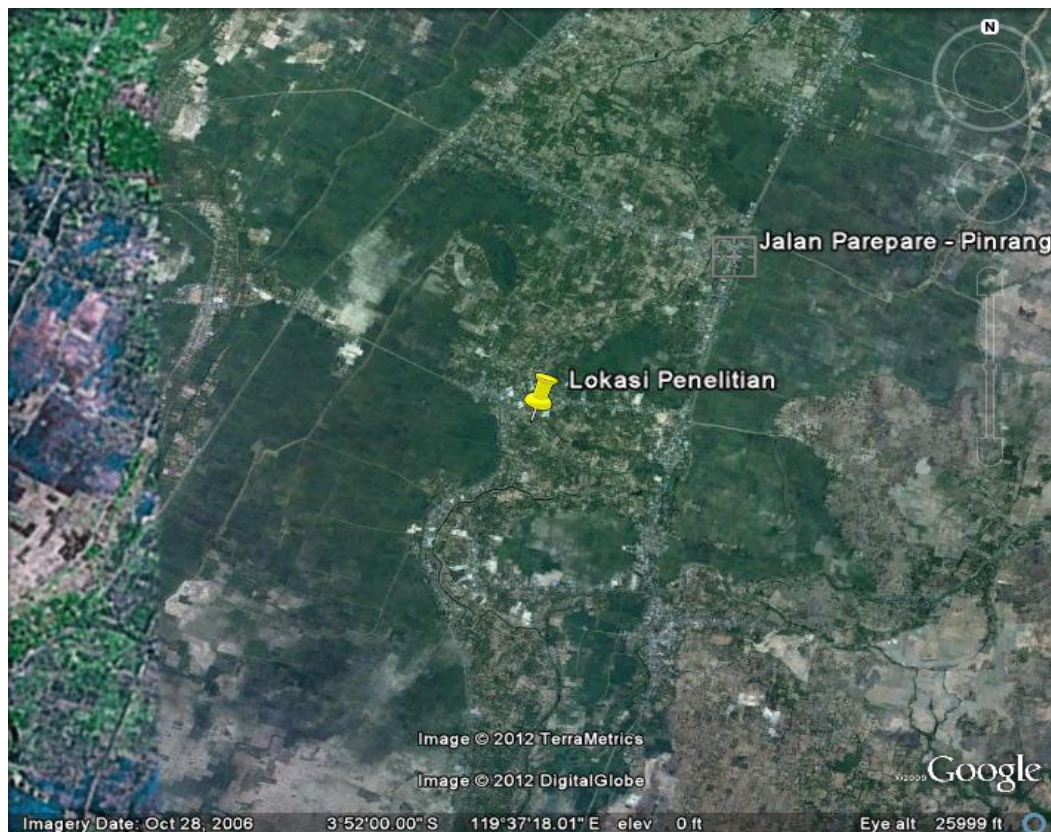
##### 4.1.2.1 Orientasi Wilayah

Secara geografis kota Pare – pare terletak pada di pesisir pantai barat Sulawesi Selatan pada koordinat 3,9<sup>0</sup>52'00" Lintang Utara dan atantara 119,6<sup>0</sup>37'18" Bujur Timur. Berikut adalah batas wilayah kota Pare – pare :

- Batas Utara : Kabupaten Pinrang
- Batas Timur : Kabupaten Sidenreng Rappang
- Batas Selatan : Kabupaten Barru
- Batas Barat : Selat Makassar

#### 4.1.2.2 Foto Lokasi Penelitian di Kota Pare-pare

Foto lokasi penelitian di Kota Pare-pare dengan Koordinat  $3^{\circ}52'00''\text{LS}$ ,  $119^{\circ}37'18''\text{BT}$  sebagai berikut :



Gambar 4.2 Foto Objek Lokasi Penelitian di Kota Pare-pare

#### 4.1.2.3 Data Intensitas Cahaya Rata-Rata Bulanan dalam 1 tahun

Tabel 4.3 Data Suhu Udara, Kelembaban dan intensitas cahaya Kota Pare – pare  
(Sumber : Program Retscreen International Tools, 2012, 09 September 2012).

Bulan	Suhu Udara °C	Kelembaban udara %	Intensitas cahaya kWh/m <sup>2</sup> /d
Januari	24,67	82,6	5,03
Februari	24,86	80,1	5,22
Maret	24,92	81,8	5,28
April	24,95	82,9	5,47
Mei	24,85	81,9	5,29
Juni	24,47	80,6	5,14
Juli	24,21	77	5,22
Agustus	25,09	68,8	5,83
September	25,83	66,5	6,11
Oktober	25,68	73,1	5,97
November	24,86	82	5,39
Desember	24,67	82,4	4,86
Tahunan	24,92	78,3	5,40

#### 4.1.3 Kondisi Geografis Wilayah Bone

Kabupaten Bone sebagai salah satu daerah yang berada di pesisir timur Sulawesi Selatan. Kabupaten Bone merupakan daerah dataran tinggi, dimana ketinggiannya 36,03 meter diatas permukaan laut dan mempunyai titik koordinat 4°13'- 5°6' Lintang Utara dan antara 119°42'-120°30' Bujur Timur.

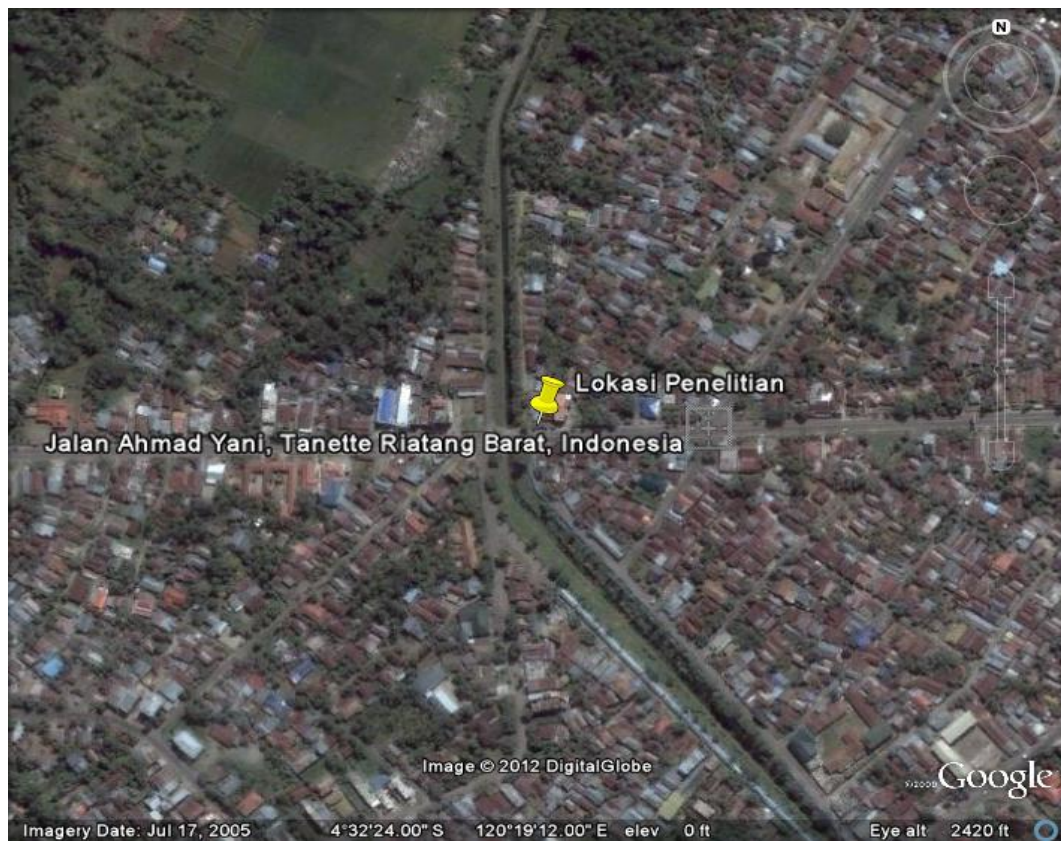
##### 4.1.3.1 Orientasi Wilayah

- Batas Utara : Kabupaten [Wajo](#), [Soppeng](#)
- Batas Selatan : Kabupaten [Sinjai](#), [Gowa](#)

- Batas Barat : Kabupaten [Maros](#), Kabupaten [Pangkep](#) dan Kabupaten [Barru](#)
- Batas Timur : [Teluk Bone](#)

#### 4.1.3.2 Foto Lokasi Penelitian di Kota Bone

Foto lokasi penelitian di Bone dengan koordinat  $4^{\circ}32'24''\text{LS}$ ,  $120^{\circ}19'12''\text{BT}$  sebagai berikut :



Gambar 4.3 Foto objek lokasi penelitian di Kota Bone

#### 4.1.3.3 Data Intensitas Cahaya Rata-Rata Bulanan dalam 1 tahun

Tabel 4.4 Data Suhu Udara, Kelembaban dan Intensitas cahaya Kota Bone  
(Sumber : Program Retscreen International Tools, 2012, 09 September 2012).

Bulan	Suhu Udara °C	Kelembaban udara %	Intensitas cahaya kWh/m <sup>2</sup> /d
Januari	25,45	82,7	4,81
Februari	25,62	80,5	4,85
Maret	25,63	81,9	5,11
April	25,63	82,2	4,91
Mei	25,4	81,4	4,61
Juni	24,91	81,1	4,38
Juli	24,53	78	4,54
Agustus	25,23	70,4	5,36
September	26,17	66,4	6,01
Oktober	26,63	69,1	5,90
November	26,02	77,9	5,36
Desember	25,55	81,7	4,77
Tahunan	25,6	77,8%	5,05

#### 4.1.4 Kondisi Geografis Wilayah Palopo

Pada awal berdirinya Palopo sebagai kota otonom. Palopo mengalami perkembangan yang sangat pesat dalam bidang teknologi informasi. Hal ini dibuktikan dengan masuknya kota Palopo dalam program Retscreen International. Kota Palopo mempunyai luas wilayah 155,19 km<sup>2</sup> dan berpenduduk kira – kira 120.784 jiwa. Kota Polopo memiliki titik koordinat 3,1<sup>0</sup>06'00" Lintang Utara dan antara 1202<sup>0</sup>14'24" Bujur Timur.

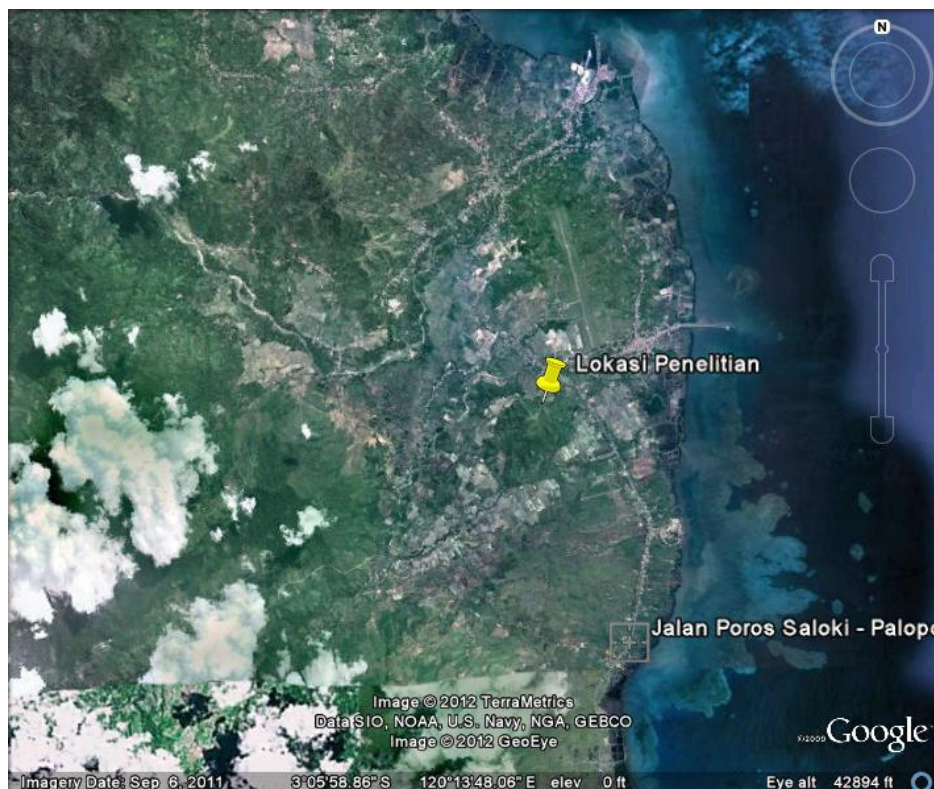


#### 4.1.4.1 Orientasi Wilayah

- Batas Utara : Kecamatan Walenrang, Kabupaten Luwu
- Batas Selatan : Teluk Bone
- Batas Barat : Kecamatan Walenrang dan Kecamatan Bessesang Tempe  
Kabupaten Luwu
- Batas Timur : Kecamatan Bua, Kabupaten Luwu

#### 4.1.4.2 Foto Lokasi Penelitian di Kota Palopo

Foto lokasi penelitian di Kota Palopo dengan koordinat  $3^{\circ}06'00''$ LS,  $120^{\circ}14'24''$ BT sebagai berikut :



Gambar 4.4 Foto Objek Lokasi Penelitian di Kota Palopo

#### 4.1.4.3 Data Intensitas Cahaya Rata-Rata Bulanan dalam 1 tahun

Tabel 4.5 Data Suhu Udara, Kelembaban dan Intensitas cahaya Kota Palopo  
(Sumber : Program Retscreen International Tools, 2012, 09 September 2012).

Bulan	Suhu Udara °C	Kelembaban udara %	Intensitas cahaya kWh/m <sup>2</sup> /d
Januari	24,21	83,5	4,89
Februari	24,44	80,5	4,99
Maret	24,43	82,5	5,05
April	24,36	83,6	4,88
Mei	24,08	83,1	4,57
Juni	23,55	82,8	4,34
Juli	23,2	79,7	4,35
Agustus	24,08	71	4,95
September	25,19	65,9	5,62
Oktober	25,47	70	5,66
November	24,55	80,7	5,26
Desember	24,21	83	4,87
Tahunan	24,31205	78,9	4,95

#### 4.1.5 Kondisi Geografis Wilayah Toraja (Rantepao)

Kota Toraja merupakan salah satu dari 23 Kabupaten yang ada dipropinsi Sulawesi selatan dimana ibu kotanya adalah Rantepao. Luas wilayah kabupaten tana toraja tercatat 3.200,277 Km<sup>2</sup> atau sekita 5% dari luas propinsi Sulawesi Selatan. Kota Toraja memiliki titik koordinat yaitu 3<sup>0</sup>58'48" Lintang Utara dan antara 119,9<sup>0</sup>54'00" Bujur Timur.

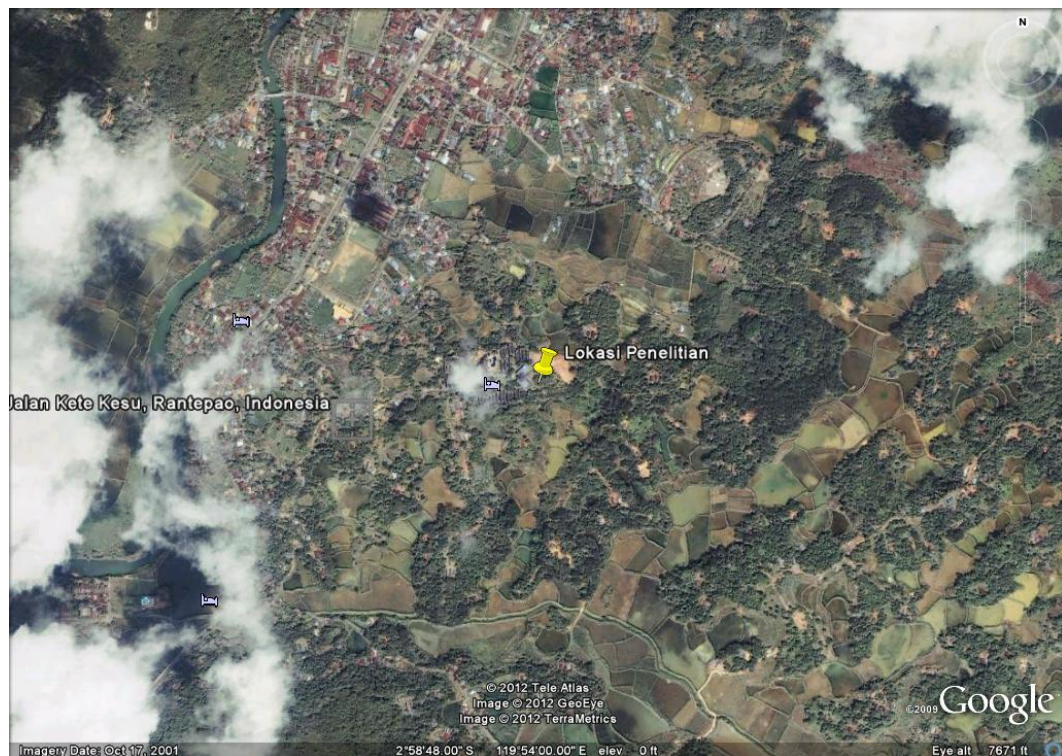
##### 4.1.4.1 Orientasi Wilayah

- Batas Utara : Kabupaten Luwu, Kabupaten Mamuju, Kabupaten Mamasa
- Batas timur : Kabupaten Luwu

- Batas selata : Kabupaten Enrekang dan Kabipaten Pinrang
- Batas Barat : Kabupaten Polmas

#### 4.1.5.2 Foto Lokasi Penelitian di Kota Toraja (Rantepao)

Foto lokasi penelitian di Toraja Koordinat  $2^{\circ}58'48''\text{LS}$ ,  $119^{\circ}54'00''\text{BT}$  sebagai berikut:



Gambar 4.5 Foto objek lokasi penelitian di Kota Toraja (Rantepao)



#### 4.1.5.3 Data Intensitas Cahaya Rata-Rata Bulanan dalam 1 tahun

Tabel 4.6 Data Suhu Udara, Kelembaban dan Intensitas cahaya Kota Toraja  
(Sumber : Program Retscreen International Tools, 2012, 09 September 2012).

Bulan	Suhu Udara °C	Kelembaban udara %	Intensitas cahaya kWh/m <sup>2</sup> /d
Januari	24,2	83,5%	5,07
Februari	24,4	80,5%	5,18
Maret	24,4	82,5%	5,31
April	24,4	83,6%	5,45
Mei	24,1	83,1%	5,28
Juni	23,6	82,8%	5,16
Juli	23,2	79,7%	5,26
Agustus	24,1	71,0%	5,83
September	25,2	65,9%	5,93
Oktober	25,5	70,0%	5,72
November	24,6	80,7%	5,29
Desember	24,2	83,0%	4,98
Tahunan	24,3	78,9%	5,37

#### 4.2 Manufaktur

Dalam studi penelitian ini, pemilihan manufaktur dalam program Retscreen International harus selaras dengan produksi yang masih ada sampai sekarang. Adapun model dari manufaktur yang menjadi perbandingan dalam studi ini adalah manufaktur Helios tipe mono-Si-6T-245W dan manufaktur Helios tipe mono-Si-6T-245W. Berikut data teknis yang ditentukan pada penelitian ini :

#### 4.2.1 Manufaktur Helios tipe mono-Si-6T-245W



Gambar 4.6 Helios tipe mono-Si-6T-245W (Sumber : Modul Pengenalan Teknologi Tenaga Surya, 2008, online, 25 Juli 2012).

Dimensi	= 1.680mm x990mm(66.14 "x38.98")
Area	= 1,66m <sup>2</sup> (17,87 SqFt)
Tebal	= 40mm
Berat	= 24kg
Tahun 1-10	= 90%
Tahun 11-25	= 80%
Nilai Daya PMPP	= 240 W
<i>Open Circuit Voltage Voc</i>	= 30.00 V
<i>Short Circuit Current Isc</i>	= 8,00 A
<i>Voltage at Maximim Power Vmp</i>	= 36,80 V
<i>Current at Maximim Power Imp</i>	= 8.70 A
Sistem Tegangan	= 1.000V
Temp. Koefisien PMPP	= -0.44% /°C
Temp. Koefisien ISC	= 0,07% /°C
Temp. Koefisien UOC	= -0.34% /°C
Jumlah sel	= 60 mono-kristal, 3bus bar
<i>Backside sheet</i>	= <i>Multilayer</i>
Dimensi sel	= 156 mm x156 mm

Kaca depan	= 4mm kaca surya, sangat transparan dan Anti-reflektif
Koneksi Kabel	= 2 x 1,2 m kabel surya dengan multi-kontak Konektor

#### 4.2.2 Manufaktur Schott tipe poly-Si - Schott poly 235W



Gambar 4.7 Schott tipe poly-Si - Schott poly 235W (Sumber : Modul Pengenalan Teknologi Tenaga Surya, 2008, online, 25 Juli 2012).

Dimensi	= 1.685 mm x 993 mm (66.34 "x39.09")
Area	= 1,66 m <sup>2</sup> (17,87 SqFt)
Tebal	= 40 mm
Berat	= 23 kg
Tahun 1-10	= 90 %
Tahun 11-25	= 80 %
Nilai Daya PMPP	= 235 W
<i>Open Circuit Voltage Voc</i>	= 37,1 V
<i>Short Circuit Current Isc</i>	= 8,42 A
<i>Voltage at Maximim Power Vmp</i>	= 30,2 V
<i>Current at Maximim Power Imp</i>	= 7,78 A
Temp. Koefisien PMPP	= -0,47% /°C
Temp. Koefisien ISC	= +0,03% /°C
Temp. Koefisien UOC	= -0.334% /°C

<i>Maximum System Voltage Vmax</i>	= 1.000 V
Kaca depan	= 4 mm <i>solar glass, highly transparent and anti-reflective</i>
Jumlah sel	= 60 poly-kristal, 3 bus bar
<i>Back side</i>	= <i>Multilayer sheet</i>
<i>Cell dimensions</i>	= 156 mm x 156 mm
Koneksi Kabel	= 2 x 1,2 m kabel surya dengan multi-kontak konektor

### 4.3 Perhitungan Intensitas Cahaya di setiap daerah Sulawesi Selatan

#### 4.3.1 Menghitung Intensitas Cahaya Kota Makassar (Bandara Hasanuddin)

Untuk menghitung energi surya berdasarkan data dari tiap lokasi objek penelitian melalui program Retscreen International, maka digunakan persamaan {2.1} sebagai sampel data yang digunakan yakni data intensitas cahaya rata-rata kota Makassar dalam setahun.

Diketahui	: Luas modul Mono dan Poly	= 1,66 m <sup>2</sup>
	Htd(radiasi standar terendah perhari)	= 3,45 kWh/m <sup>2</sup> /d

Penyelesaian :  $Q_P = L_{MS(Mono \text{ dan } Poly)} \times H_{td}$

$$Q_P = 1,66 \times 3,45$$

$$Q_P = 5,727 \text{ kWh/d}$$

Tabel 4.7 Intensitas Cahaya Di Wilayah Makassar (Sumber : Program Retscreen International Tools, 2012, 09 September 2012).

Bulan	Temperatur Udara °C	Intensitas Cahaya Matahari kWh/m <sup>2</sup> /d
<b>Januari</b>	<b>26,2</b>	<b>4,57</b>
Februari	26,3	4,85
Maret	26,5	5,75
April	26,8	5,91
Mei	27,2	5,97
Juni	26,9	5,67
Juli	26,6	5,95
Agustus	27,0	6,70
<b>September</b>	<b>27,8</b>	<b>7,22</b>
Oktober	27,7	7,05
November	27,0	6,09
Desember	26,3	4,75
Tahunan	26,9	5,88

Berdasarkan tabel 4.7 diatas, intensitas cahaya pada bulan Januari dan Februari memiliki perbedaan yang besar dimana intensitas cahayanya yaitu 4,57 kWh/m<sup>2</sup>/d dan 4,85 kWh/m<sup>2</sup>/d hal ini disebabkan karena masih berlangsungnya musim hujan. Pada bulan Maret sampai bulan Mei terjadi peningkatan intensitas cahaya matahari yaitu sebesar 5,75 kWh/m<sup>2</sup>/d, 5,91 kWh/m<sup>2</sup>/d dan 5,97 kWh/m<sup>2</sup>/d hal ini disebabkan karena pada bulan-bulan inilah masa transisi dari musim hujan ke musim kemarau atau panas. Pada bulan Juni terjadi penurunan yang kecil intensitas cahaya yaitu 5,67 kWh/m<sup>2</sup>/d. Pada bulan Juli sampai September terjadi kenaikan intensitas cahaya yang lumayan yaitu 5,95 kWh/m<sup>2</sup>/d, 6,70 kWh/m<sup>2</sup>/d dan 7,22 kWh/m<sup>2</sup>/d, pada bulan-bulan inilah puncak dari musim kemarau di daerah Makassar. Saat bulan Oktober dan November

terjadi penurunan yang lumayan yaitu 7,09 kWh/m<sup>2</sup>/d dan 6,09 kWh/m<sup>2</sup>/d pada bulan inilah terjadi transisi antara musim kemarau atau panas ke musim hujan. Pada saat bulan Desember terjadi penurunan yang sangat drastis yaitu 4,75 kWh/m<sup>2</sup>/d hal ini mungkin disebabkan karena intensitas curah hujan sangatlah tinggi. Intensitas cahaya paling tinggi di wilayah kota Makassar berdasarkan tabel 4.7 diatas berada pada bulan September yaitu 7,22 kWh/m<sup>2</sup>/d dan temperatur udara 27,8 °C. Untuk tingkat elevation = 14 mdpl dengan intensitas cahaya yang diperoleh nilai 11,985 kWh/d untuk jenis monokristal dan polykristal. Untuk intensitas cahaya yang paling rendah terdapat pada bulan Januari yaitu 4,57 kWh/m<sup>2</sup>/d dengan potensi energi surya 7,586 kWh/d dengan nilai temperatur udara = 26,2 °C untuk pembangkit jenis monokristal dan polykristal. Nilai rata-rata intensitas cahaya matahari dalam setahun di Kota Makassar 9,761 kWh/d dengan nilai temperatur udara = 26,9 °C.

Berdasarkan tabel diatas kota Makassar cukup berpotensi untuk penggunaan photovoltaik karena sebuah daerah dikatakan potensial jika intensitas radiasi sinar mataharinya mencapai 4,8 kWh/m<sup>2</sup>/d.

Berdasarkan data intensitas cahaya yang telah diperoleh diatas maka untuk menentukan penggunaan modul di kota Makassar akan menggunakan perbandingan dari segi efisiensi peralatan pada jenis photovoltaik tipe monokristal dan tipe polykristal. Untuk photovoltaik jenis monokristal dalam hal ini menggunakan manufaktur jenis Helios tipe mono-Si-6T-245W dengan efisiensi

14,73 % sedangkan jenis polykristal dalam hal ini menggunakan manufaktur jenis Schott tipe poly-Si - Schott poly 235W dengan efisiensi 14,04 %, untuk pembangkit listrik tenaga surya dengan tingkat efisiensi yang baik maka digunakan manufaktur monokristal yaitu Helios tipe mono-Si-6T-245W karena jenis manufaktur ini memiliki tingkat efisiensi 14,73 % untuk setiap pembangkitannya.

Untuk penerapan sistem 100 kW grid connected di wilayah Kota Makassar berdasarkan data yang ada pada Retscreen International untuk pembangkitan energi di kota Makassar dan berdasarkan dari jenis modul tipe monokristal, Helios tipe mono-Si-6T-245W yang memiliki tingkat efisiensi yang tinggi untuk sistem pembangkitan 100 kW *grid connected*. Hal ini didukung dari data intensitas cahaya rata-rata dalam setahun pada Kota Makassar yakni 5,88 kWh/m<sup>2</sup>/d.

### 4.3.2 Menghitung Intensitas Cahaya Kota Pare-pare

Tabel 4.8 Intensitas Cahaya Di Wilayah Pare-pare (Sumber : Program Retscreen International Tools, 2012, 09 September 2012).

Bulan	Temperatur Udara °C	Intensitas Cahaya Matahari kWh/m <sup>2</sup> /d
Januari	24,7	5,03
Februari	24,9	5,22
Maret	24,9	5,28
April	25	5,47
Mei	24,9	5,29
Juni	24,5	5,14
Juli	24,2	5,22
Agustus	25,1	5,83
<b>September</b>	<b>25,8</b>	<b>6,11</b>
Oktober	25,7	5,97
November	24,9	5,39
<b>Desember</b>	<b>24,7</b>	<b>4,86</b>
Tahunan	24,9	5,40

Berdasarkan tabel 4.8 diatas, intensitas cahaya pada bulan Januari sampai bulan April memiliki kedekatan intensitas cahaya yang hampir sama dan mengalami peningkatan yaitu 5,03 kWh/m<sup>2</sup>/d, 5,22 kWh/m<sup>2</sup>/d, 5,28 kWh/m<sup>2</sup>/d dan 4,47 kWh/m<sup>2</sup>/d hal ini disebabkan karena proses pergantian musim hujan dan musim panas. Pada bulan Mei dan bulan Juni terjadi penurunan intensitas cahaya matahari yaitu sebesar 5,29 kWh/m<sup>2</sup>/d dan 5,14 kWh/m<sup>2</sup>/d. Pada bulan Juli sampai bulan September terjadi peningkatan yang besar intensitas cahaya yaitu 5,22 kWh/m<sup>2</sup>/d, 5,83 kWh/m<sup>2</sup>/d dan 6,11 kWh/m<sup>2</sup>/d pada bulan-bulan inilah terjadi kemarau panjang, dimana intensitas cahaya matahari sangatlah tinggi. Pada bulan Oktober dan November terjadi penurunan intensitas cahaya yang lumayan



yaitu 5,97 kWh/m<sup>2</sup>/d, 5,390 kWh/m<sup>2</sup>/d pada bulan inilah terjadi transisi musim kemarau atau panas ke musim hujan. Pada bulan Desember terjadi penurunan yang sangat drastis yaitu 4,86 kWh/m<sup>2</sup>/d hal ini mungkin disebabkan karena intensitas curah hujan sudah mulai bertambah. Intensitas cahaya paling tinggi di wilayah kota Pare-pare berdasarkan tabel 4.8 diatas berada pada bulan September yaitu 6,11 kWh/m<sup>2</sup>/d dan temperatur udara 25,8 °C. Untuk tingkat elevation = 452 mdpl dengan intensitas cahaya yang diperoleh nilai 10,143 kWh/d untuk pembangkit jenis monokristal dan polykristal. Untuk intensitas cahaya yang paling rendah terdapat pada bulan Desember yaitu 4,86 kWh/m<sup>2</sup>/d dengan potensi energi surya 8,068 kWh/d dengan nilai temperatur udara = 24,7° C. Nilai rata-rata intensitas cahaya matahari dalam setahun di Kota Pare-pare 8,964 kWh/d dengan nilai temperatur udara = 24,9 °C.

Berdasarkan tabel diatas kota Pare-pare cukup berpotensi untuk penggunaan photovoltaik karena sebuah daerah dikatakan potensial jika intensitas radiasi sinar mataharinya mencapai 4,8 kWh/m<sup>2</sup>/d.

Berdasarkan data intensitas cahaya yang telah diperoleh diatas maka untuk menentukan penggunaan modul di kota Pare-pare akan menggunakan perbandingan dari segi efisiensi peralatan pada jenis photovoltaik tipe monokristal dan tipe polykristal. Untuk photovoltaik jenis monokristal dalam hal ini menggunakan manufaktur jenis Helios tipe mono-Si-6T-245W dengan efisiensi 14,73 % sedangkan jenis polykristal dalam hal ini menggunakan manufaktur

jenis Schott tipe poly-Si - Schott poly 235W dengan efisiensi 14,04 %, untuk pembangkit listrik tenaga surya dengan tingkat efisiensi yang baik maka digunakan manufaktur monokristal yaitu Helios tipe mono-Si-6T-245W karena jenis manufaktur ini memiliki tingkat efisiensi 14,73 % untuk setiap pembangkitannya.

Untuk penerapan sistem 100 kW *grid connected* di wilayah Kota Pare-pare berdasarkan data yang ada pada Retscreen International untuk pembangkitan energi di kota Pare-pare dan berdasarkan dari jenis modul tipe monokristal, Helios tipe mono-Si-6T-245W yang memiliki tingkat efisiensi yang tinggi untuk sistem pembangkitan 100 kW *grid connected*. Hal ini didukung dari data intensitas cahaya rata-rata dalam setahun pada Kota Pare-pare yakni 5,40 kWh/m<sup>2</sup>/d.

#### 4.3.3 Menghitung Intensitas Cahaya Kota Bone

Tabel 4.9 Intensitas Cahaya Di Wilayah Bone (Sumber : Program Retscreen International Tools, 2012, 09 September 2012).

Bulan	Temperatur Udara °C	Intensitas Cahaya Matahari kWh/m <sup>2</sup> /d
Januari	25,5	4,81
Februari	25,6	4,85
Maret	25,6	5,11
April	25,6	4,91
Mei	25,4	4,61
<b>Juni</b>	<b>24,9</b>	<b>4,38</b>
Juli	24,5	4,54
Agustus	25,2	5,36
<b>September</b>	<b>26,2</b>	<b>6,01</b>
Oktober	26,6	5,90
November	26	5,36
Desember	25,6	4,77
Tahunan	25,6	5,05

Berdasarkan tabel 4.9 diatas, intensitas cahaya pada bulan Januari sampai bulan Maret memiliki kedekatan intensitas cahaya yang hampir sama yaitu 4,81 kWh/m<sup>2</sup>, 4,85 kWh/m<sup>2</sup>/d dan 5,11 kWh/m<sup>2</sup>/d, hal ini di sebabkan karena masih terjadinya musim hujan pada bulan-bulan ini. Pada bulan April terjadi peningkatan intensitas cahaya matahari yaitu sebesar 4,91 kWh/m<sup>2</sup>/d hal ini disebabkan karena musim panas sudah mulai. Pada bulan Mei dan bulan Juni terjadi penurunan yang kecil intensitas cahaya yaitu 4,61 kWh/m<sup>2</sup>/d dan 4,38 kWh/m<sup>2</sup>/d hal ini disebabkan oleh cuaca berawan di Bone. Pada bulan Juli sampai September terjadi kenaikan intensitas cahaya yang lumayan yaitu 4,54 kWh/m<sup>2</sup>/d, 5,36 kWh/m<sup>2</sup>/d dan 6,01 kWh/m<sup>2</sup>/d hal ini disebabkan karena pada bulan inilah kemarau atau panas panjang di daerah Bone. Saat bulan Oktober dan November terjadi penurunan yang lumayan yaitu 5,90 kWh/m<sup>2</sup>/d dan 5,36 kWh/m<sup>2</sup>/d pada bulan ini sudah terjadi perubahan iklim dari panas ke musim hujan. Pada saat bulan Desember terjadi penurunan yang sangat signifikan yaitu 4,77 kWh/m<sup>2</sup>/d hal ini mungkin disebabkan karena intensitas curah hujan sangatlah tinggi pada bulan Desember. Intensitas cahaya paling tinggi di wilayah kota Bone berdasarkan tabel 4.9 diatas berada pada bulan September yaitu 6,01 kWh/m<sup>2</sup>/d dan temperatur udara 26,2 °C. Untuk tingkat elevation = 36 mdpl dengan intensitas cahaya yang diperoleh nilai 9,976 kWh/d untuk pembangkit jenis monokristal dan polykristal. Untuk intensitas cahaya yang paling rendah terdapat pada bulan Desember yaitu 4,77 kWh/m<sup>2</sup>/d dengan potensi energi surya

7,918 kWh/d dengan nilai temperatur udara 25,6° C. Nilai rata-rata intensitas cahaya matahari dalam setahun di Kota Bone 8,383 kWh/d dengan nilai temperatur bumi = 25,6° C.

Berdasarkan tabel diatas kota Bone cukup berpotensi untuk penggunaan photovoltaik karena sebuah daerah dikatakan potensial jika intensitas radiasi sinar mataharinya mencapai 4,8 kWh/m<sup>2</sup>/d.

Berdasarkan data intensitas cahaya yang telah diperoleh diatas maka untuk menentukan penggunaan modul di kota Bone akan menggunakan perbandingan dari segi efisiensi peralatan pada jenis photovoltaik tipe monokristal dan tipe polykristal. Untuk photovoltaik jenis monokristal dalam hal ini menggunakan manufaktur jenis Helios tipe mono-Si-6T-245W dengan efisiensi 14,73 % sedangkan jenis polykristal dalam hal ini menggunakan manufaktur jenis Schott tipe poly-Si - Schott poly 235W dengan efisiensi 14,04 %, untuk pembangkit listrik tenaga surya dengan tingkat efisiensi yang baik maka di gunakan manufaktur monokristal yaitu Helios tipe mono-Si-6T-245W karena jenis manufaktur ini memiliki tingkat efisiensi 14,73 % untuk setiap pembangkitannya.

Untuk penerapan sistem 100 kW *grid connected* di wilayah Kota Makassar berdasarkan data yang ada pada Retscreen International untuk pembangkitan energi di kota Bone dan berdasarkan dari jenis modul tipe mono, Helios tipe mono-Si-6T-245W yang memiliki tingkat efisiensi yang tinggi untuk sistem pembangkitan 100 kW *grid connected*. Hal ini didukung dari data intensitas cahaya rata-rata dalam setahun pada Kota Bone yakni 5,05 kWh/m<sup>2</sup>/d.

#### 4.3.4 Menghitung Intensitas Cahaya Kota Palopo

Tabel 4.10 Intensitas Cahaya Di Wilayah Palopo (Sumber : Program Retscreen International Tools, 2012, 09 September 2012).

Bulan	Temperatur Udara °C	Intensitas Cahaya Matahari kWh/m <sup>2</sup> /d
Januari	24,2	4,89
Februari	24,4	4,99
Maret	24,4	5,05
April	24,4	4,88
Mei	24,1	4,57
<b>Juni</b>	<b>23,6</b>	<b>4,34</b>
Juli	23,2	4,35
Agustus	24,1	4,95
September	25,2	5,62
<b>Oktober</b>	<b>25,5</b>	<b>5,66</b>
November	24,6	5,26
Desember	24,2	4,87
Tahunan	24,3	4,95

Berdasarkan tabel 4.10 diatas, intensitas cahaya pada bulan Januari sampai bulan April memiliki kedekatan intensitas cahaya yang hampir sama yaitu 4,89 kWh/m<sup>2</sup>/d, 4,99 kWh/m<sup>2</sup>/d, 5,05 kWh/m<sup>2</sup>/d dan 4,88 kWh/m<sup>2</sup>/d hal ini disebabkan karena pada terjadinya transisi pada musim hujan ke musim kemarau atau panas. Pada bulan Mei sampai bulan Juli terjadi penurunan intensitas cahaya matahari yaitu sebesar 4,57 kWh/m<sup>2</sup>/d, 4,34 kWh/m<sup>2</sup>/d dan 4,35 kWh/m<sup>2</sup>/d hal ini disebabkan pada bulan ini terjadi cuaca yang berawan. Pada bulan Agustus dan bulan bulan Oktober terjadi peningkatan yang lumayan dengan intensitas cahaya yaitu 4,95 kWh/m<sup>2</sup>/d, 5,62 kWh/m<sup>2</sup>/d dan 5,66 kWh/m<sup>2</sup>/d pada bulan inilah musim panas yang tinggi terjadi pada Kota Palopo. Pada bulan November dan

bulan Desember terjadi penurunan intensitas cahaya yang lumayan yaitu 5,26 kWh/m<sup>2</sup>/d, 4,87 kWh/m<sup>2</sup>/d hal ini disebabkan karena bulan inilah masuk musim hujan. Intensitas cahaya paling tinggi di wilayah kota Palopo berdasarkan tabel 4.10 diatas berada pada bulan Oktober yaitu 5,66 kWh/m<sup>2</sup>/d dan temperatur udara 25,5 °C. Untuk tingkat elevation = 188 mdpl dengan intensitas cahaya yang diperoleh nilai 9,396 kWh/d untuk pembangkit jenis monokristal dan polykristal. Untuk intensitas cahaya yang paling rendah terdapat pada bulan Juni yaitu 4,34 kWh/m<sup>2</sup>/d dengan potensi energi surya 7,204 kWh/d dengan nilai temperatur udara 23,6 °C. Nilai rata-rata intensitas cahaya matahari dalam setahun di Kota Palopo 8,217 kWh/d dengan nilai temperatur bumi = 24,3 °C.

Berdasarkan tabel diatas kota Palopo cukup berpotensi untuk penggunaan photovoltaik karena sebuah daerah dikatakan potensial jika intensitas radiasi sinar mataharinya mencapai 4,8 kWh/m<sup>2</sup>/d.

Berdasarkan data intensitas cahaya yang telah diperoleh diatas maka untuk menentukan penggunaan modul dikota Palopo akan menggunakan perbandingan dari segi efisiensi peralatan pada jenis photovoltaik tipe monokristal dan tipe polykristal. Untuk photovoltaik jenis monokristal dalam hal ini menggunakan manufaktur jenis Helios tipe mono-Si-6T-245W dengan efisiensi 14,73 % sedangkan jenis polykristal dalam hal ini menggunakan manufaktur jenis Schott tipe poly-Si - Schott poly 235W dengan efisiensi 14,04 %, untuk pembangkit listrik tenaga surya dengan tingkat efisiensi yang baik maka di gunakan manufaktur monokristal yaitu Helios tipe mono-Si-6T-245W karena jenis

manufaktur ini memiliki tingkat efisiensi 14,73 % untuk setiap pembangkitannya.

Untuk penerapan sistem 100 kW *grid connected* di wilayah Kota Palopo berdasarkan data yang ada pada Retscreen International untuk pembangkitan energi di kota Palopo dan berdasarkan dari jenis modul tipe mono, Helios tipe mono-Si-6T-245W yang memiliki tingkat efisiensi yang tinggi untuk sistem pembangkitan 100 kW *grid connected*. Hal ini didukung dari data intensitas cahaya rata-rata dalam setahun pada Kota Palopo yakni 4,95 kWh/m<sup>2</sup>/d.

#### 4.3.5 Menghitung Intensitas Cahaya Kota Toraja ( Rantepao)

Tabel 4.11 Intensitas Cahaya Di Wilayah Toraja (Rantepao) (Sumber : Program Retscreen International Tools, 2012, 09 September 2012).

Bulan	Temperatur Udara °C	Intensitas Cahaya Matahari kWh/m <sup>2</sup> /d
Januari	23,5	5,07
Februari	23,6	5,18
Maret	23,8	5,31
April	24	5,45
Mei	23,9	5,28
Juni	23,6	5,16
Juli	23,4	5,26
Agustus	24,1	5,83
<b>September</b>	<b>24,6</b>	<b>5,93</b>
Oktober	24,4	5,72
November	23,8	5,29
<b>Desember</b>	<b>23,6</b>	<b>4,98</b>
Tahunan	23,9	5,37

Berdasarkan tabel 4.11 diatas, intensitas cahaya pada bulan Januari sampai bulan April mengalami kenaikan intensitas cahaya yang sangat besaar yaitu 5,077 kWh/m<sup>2</sup>/d, 5,18 kWh/m<sup>2</sup>/d, 5,31 kWh/m<sup>2</sup>/d dan 5,45 kWh/m<sup>2</sup>/d hal ini

disebabkan karena peralihan antara musim hujan ke musim panas. Pada bulan Mei dan bulan Juni terjadi penurunan yang besar dengan intensitas cahaya matahari yaitu sebesar 5,28 kWh/m<sup>2</sup>/d dan 5,16 kWh/m<sup>2</sup>/d hal ini disebabkan karena pada bulan inilah sering terjadi cuaca berawan. Pada bulan Juli sampai bulan September terjadi kenaikan yang besar dengan intensitas cahaya yaitu 5,26 kWh/m<sup>2</sup>/d, 5,83 kWh/m<sup>2</sup>/d dan 5,93 kWh/m<sup>2</sup>/d pada bulan inilah kota Toraja (Rantepao) memiliki musim panas berkepanjangan. Pada bulan Oktober sampai bulan Desember terjadi penurunan yang sangat besar dengan intensitas cahaya yaitu 5,72 kWh/m<sup>2</sup>/d, 5,29 kWh/m<sup>2</sup>/d dan 4,98 kWh/m<sup>2</sup>/d hal ini mungkin disebabkan karena intensitas curah hujan sangatlah tinggi. Intensitas cahaya paling tinggi di wilayah kota Toraja berdasarkan tabel 4.11 di atas berada pada bulan September yaitu 5,93 kWh/m<sup>2</sup>/d dan temperatur udara 24,6 °C. Untuk tingkat elevation = 1.066 mdpl dengan intensitas cahaya yang diperoleh nilai 9,844 kWh/d untuk pembangkit jenis monokristal dan polykristal. Untuk intensitas cahaya yang paling rendah terdapat pada bulan Desember yaitu 4,98 kWh/m<sup>2</sup>/d dengan potensi energi surya 8,267 kWh/d dengan nilai temperatur udara 23,6 °C. Nilai rata-rata intensitas cahaya matahari dalam setahun di Kota Toraja 8,914 kWh/d dengan nilai temperatur bumi = 23,9 °C.

Berdasarkan tabel di atas kota Toraja cukup berpotensi untuk penggunaan photovoltaik karena sebuah daerah dikatakan potensial jika intensitas radiasi sinar matahari mencapai 4,8 kWh/m<sup>2</sup>/d.



Berdasarkan data intensitas cahaya yang telah diperoleh diatas maka untuk menentukan penggunaan modul dikota Toraja (Rantepao) akan menggunakan perbandingan dari segi efisiensi peralatan pada jenis photovoltaik tipe monokristal dan tipe polykristal. Untuk photovoltaik jenis monokristal dalam hal ini menggunakan manufaktur jenis Helios tipe mono-Si-6T-245W dengan efisiensi 14,73 % sedangkan jenis polykristal dalam hal ini menggunakan manufaktur jenis Schott tipe poly-Si - Schott poly 235W dengan efisiensi 14,04 %, untuk pembangkit listrik tenaga surya dengan tingkat efisiensi yang baik maka di gunakan manufaktur monokristal yaitu Helios tipe mono-Si-6T-245W karena jenis manufaktur ini memiliki tingkat efisiensi 14,73 % untuk setiap pembangkitannya.

Untuk penerapan sistem 100 kW *grid connected* di wilayah Kota Toraja (Rantepao) berdasarkan data yang ada pada Retscreen International untuk pembangkitan energi di kota Makassar dan berdasarkan dari jenis modul tipe mono, Helios tipe mono-Si-6T-245W yang memiliki tingkat efisiensi yang tinggi untuk sistem pembangkitan 100 kW *grid connected*. Hal ini didukung dari data intensitas cahaya rata-rata dalam setahun pada Kota Toraja (Rantepao) yakni 5,37 kWh/m<sup>2</sup>/d.

Berdasarkan data dari setiap daerah di Provinsi Sulawesi Selatan yaitu Kota Makassar, Pare Pare, Bone, Palopo dan Toraja (Rantepao), maka daerah yang mempunyai intensitas cahaya yang sangat potensial dalam setahun adalah Kota Makassar yang memiliki intensitas cahaya sebesar = 5,88 kWh/m<sup>2</sup>/d dengan rata-

rata intensitas cahaya matahari 20,286 kWh/m<sup>2</sup>/d. Sedangkan kota yang mempunyai intensitas cahaya yang terendah dalam setahun adalah kota Palopo yang memiliki intensitas cahaya sebesar = 4,95 kWh/m<sup>2</sup>/d dengan rata-rata intensitas cahaya matahari 17,077 kWh/m<sup>2</sup>/d.

#### **4.4 Perbandingan Daya**

Untuk membandingkan daya antar manufaktur, yang diperbandingkan adalah daya maksimum antar Manufaktur serta jumlah unit Manufaktur yang terpasang, manufaktur yang akan diperbandingkan yakni manufaktur Helios tipe mono-Si-6T-245W dan Schott tipe poly-Si - Schott poly 235W.

Helios tipe mono-Si-6T-245W = 240W

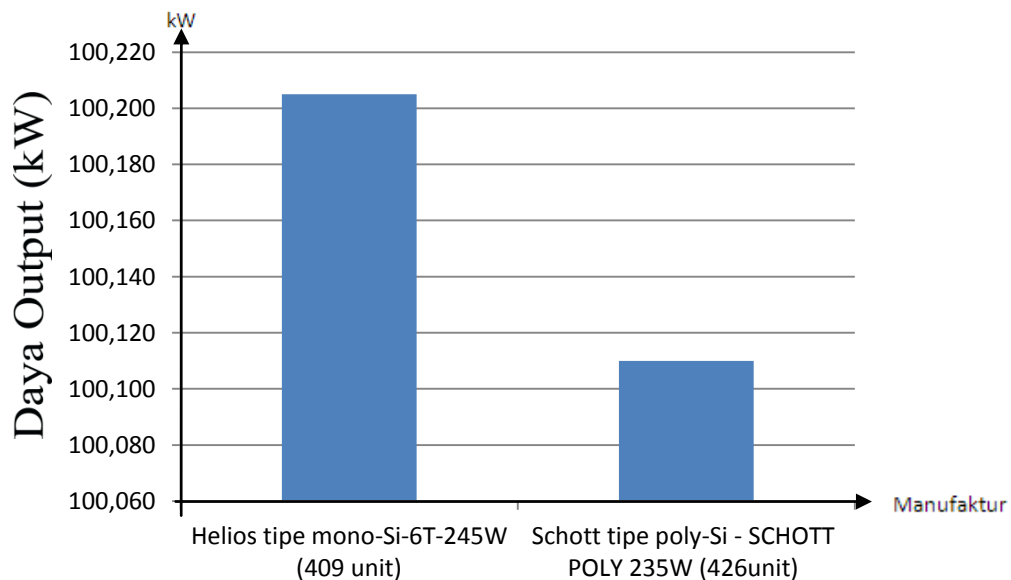
Schott tipe poly-Si - Schott Poly 235W = 235W

Daya terpasang yang kami tentukan untuk simulasi perbandingan adalah 100 kW maka jumlah unit yang terpasang untuk setiap manufaktur dapat terlihat pada tabel 4.6 di bawah :

Tabel4.12 Tabel Simulasi Perbandingan Daya (Sumber : Program Retscreen International Tools, 2012, 09 September 2012).

Model manufaktur	Daya maksimum per unit manufaktur	Daya yang ditentukan	Jumlah modul yang dibutuhkan	
			Berdasarkan Retscreen International	Berdasarkan perhitungan manual
Helios tipe mono-Si-6T-245W	245 W/Unit	100 kW	409	408
Schott tipe poly-Si - Schott poly 235W	235 W/Unit		426	425

Tabel 4.12 perbandingan daya yang dihasilkan dari jenis Manufaktur Helios tipe mono-Si-6T-245W dan Schott tipe poly-Si - Schott poly 235W, dapat dilihat pada kurva di bawah :



Gambar 4.8 Daya Output (kW/h) tiap manufaktur

Terlihat pada gambar di atas, untuk daya yang dibutuhkan 100 kW, jumlah unit Manufaktur Helios tipe mono-Si-6T-245W sebanyak 409 unit dan jumlah unit Manufaktur Schott tipe poly-Si - Schott poly 235W sebanyak 426 unit.

Untuk perbandingan daya sesuai yang disimulasikan pada tabel 4.6 terlihat model manufaktur yang paling efektif adalah Helios tipe mono-Si-6T-245W karena jumlah unit yang dibutuhkan paling rendah yakni 409 unit.

#### 4.5 Perbandingan Spesifikasi Modul Manufaktur

Tabel 4.13 Perbandingan Spesifikasi manufaktur jenis Helios tipe mono-Si-6T-245W dan Schott tipe poly-Si - Schott poly 235W

Model Manufaktur	Helios tipe mono-Si-6T-245W	Schott tipe poly-Si - Schott poly 235W
Dimensi	1,680 mm x 990 mm	1,685 x 993 mm
Area	1,66 m <sup>2</sup>	1,66 m <sup>2</sup>
Tebal	40 mm	40 mm
Berat	24 kg	23 kg
Daya PMPP	240 W	235 W
V <sub>oc</sub>	30 V	37,1 V
I <sub>sc</sub>	8 A	8,42 A
V <sub>mp</sub>	36,80 V	30,2 V
I <sub>mp</sub>	8,70 A	7,78 A

Berdasarkan tabel 4.13 diatas, terlihat jelas perbedaan spesifikasi dari kedua manufaktur antara Helios tipe mono-Si-6T-245W dan Schott tipe poly-Si - Schott poly 235W. Perbedaan dari dimensi alat dalam hal ini mempengaruhi penyerapan cahaya matahari sehingga makin banyak cahaya matahari yang mengenai solar selnya makin baik pula hasilnya. Persamaan terdapat pada area dan tebal dari solar ini, akan tetapi berat dari kedua manufaktur ini berbeda yaitu 24 kg dan 23 kg. Daya PMPP yang dihasilkan kedua manufaktur juga berbeda yaitu 240 W dan 235 W, perbedaan Voc juga terjadi dimana Helios tipe mono-Si-6T-245W adalah 30 V dan Schott tipe poly-Si - Schott poly 235W adalah 37,1 V hal ini mempengaruhi pembangkitan dari kedua manufaktur tersebut, dimana tegangannya akan bekerja pada yang terkecil pada manufaktur Helios tipe mono-Si-6T-245W yang baik dari Voc. Perbedaan juga terjadi di Isc dimana Helios tipe mono-Si-6T-245W adalah 8 A dan Schott tipe poly-Si - Schott poly 235W adalah 8,42 A hal ini mempunyai batasan dari *short* sirkuitnya. Untuk Vmp terjadi perbedaan antara manufaktur Helios tipe mono-Si-6T-245W adalah 36,80 V dan Schott tipe poly-Si - Schott poly 235W adalah 30,2 V dalam hal ini modul yang mempunyai tegangan maksimum tinggi adalah manufaktur Helios tipe mono-Si-6T-245W. Untuk Imp terjadi perbedaan pula dimana manufaktur Helios tipe mono-Si-6T-245W adalah 8,70 A dan Schott tipe poly-Si - Schott poly 235W adalah 7,78 A dalam hal ini yang mempunyai arus maksimum tinggi yang baik adalah manufaktur Helios tipe mono-Si-6T-245W adalah 8,70 A. Di antara manufaktur Helios tipe mono-Si-6T-245W dan Schott tipe poly-Si - Schott poly 235W terlihat jelas dari daya PMPP, Voc, Isc, Vmp dan Imp bahwa manufaktur

yang memiliki spesifikasi yang baik adalah Helios tipe mono-Si-6T-245W.

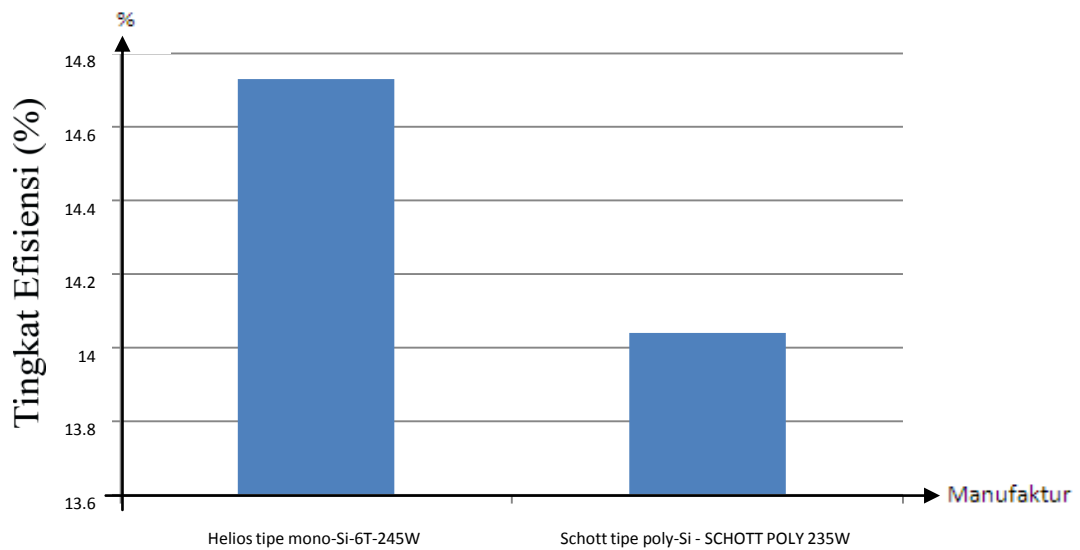
#### 4.6 Efisiensi Manufaktur

Untuk membandingkan tingkat efisiensi antar manufaktur yang akan digunakan yaitu tipe Monokristal manufaktur Helios tipe mono-Si-6T-245W dan tipe Polykristal manufaktur Schott tipe poly-Si - Schott poly 235W, dapat dilihat pada tabel 4.14 di bawah ini :

Tabel : 4.14 Efisiensi Manufaktur (%)(Sumber : Program Retscreen International Tools, 2012, 09 September 2012).

Jenis manufaktur	Tingkat efisiensi (%)
Helios tipe mono-Si-6T-245W	14,73
Schott tipe poly-Si - Schott poly 235W	14,04

Tabel 4.14 diatas adalah perbandingan tingkat efisiensi yang dihasilkan dari jenis Manufaktur Helios tipe mono-Si-6T-245W dan Schott tipe poly-Si - Schott poly 235W, dapat dilihat pada kurva perbandingan tingkat efisiensi di bawah:



Gambar : 4.9 Perbandingan tingkat efisiensi (%)

Dari gambar diatas dapat kita lihat manufaktur yang memiliki efisiensi tinggi yaitu jenis Helios tipe mono-Si-6T-245W adalah 14,73 % dibandingkan Schott tipe poly-Si - Schott poly 235W yang memiliki efisiensi lebih rendah yaitu 14,04%.

## 4.7 Biaya Manufaktur

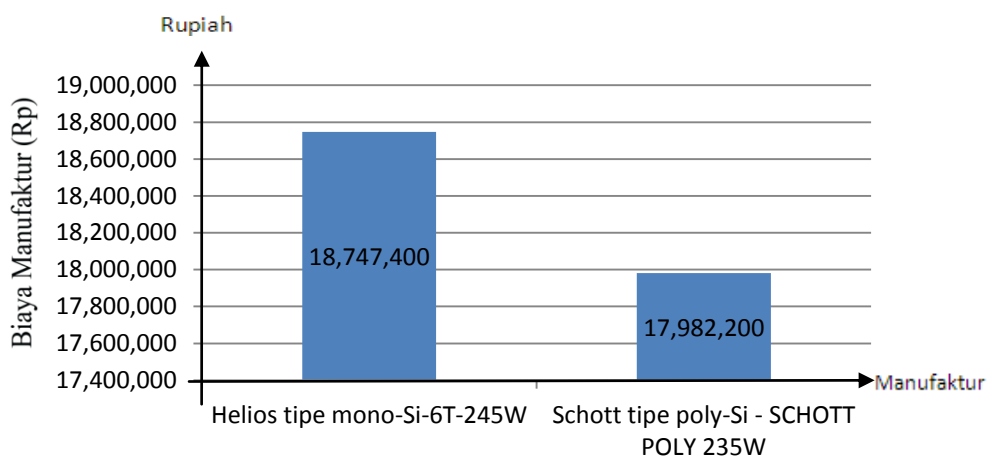
### 4.7.1 Biaya manufaktur permodul

Biaya manufaktur yang kami dapatkan sesuai dengan yang ada di situs program Retscreen International, dengan kurs Dollar per tanggal 09 September 2012 dapat dilihat pada table 4.14 di bawah:

Tabel 4.15 Tabel daftar biaya manufaktur (Sumber : Program Retscreen International Tools, 2012, 09 September 2012).

Model Manufaktur	Biaya	
	Harga	Harga dalam Rupiah 1 US Dollar =Rp. 9.565
Helios tipe mono-Si-6T-245W	USD \$ 1.960	Rp. 18.747.400,-
Schott tipe poly-Si - Schott poly 235W	USD \$ 1.880	Rp. 17.982.200,-

Tabel 4.15 diatas adalah perbandingan biaya jenis Manufaktur Helios tipe mono-Si-6T-245W dan Schott tipe poly-Si - Schott poly 235W, dapat dilihat pada kurva perbandingan daftar biaya di bawah:



Gambar 4.10 Perbandingan biaya manufaktur (Rp)

Biaya yang ada pada gambar di atas sudah termasuk biaya pengembangan atau penelitian, biaya finansial, biaya pekerjaan sipil, biaya pekerjaan elektrikal, harga photovoltaik dan lain-lain.



Dari gambar diatas dapat dilihat biaya untuk manufaktur Helios tipe mono-si-6T-245W adalah Rp. 18.747.400,- sedangkan Helios tipe mono –Si-6T-245W adalah Rp.17.982.200,- jadi manufaktur Schott tipe poly-Si - Schott poly 235W lebih rendah dalam biaya pembangunannya.

#### 4.7.2 Total biaya manufaktur untuk pembangkitan 100 kW

Tabel 4.16 Tabel total biaya investasi untuk pembangkitan 100 kW (Sumber : Program Retscreen International Tools, 2012, 09 September 2012).

Model Manufaktur	Biaya		
	Harga	Modul	Harga dalam Rupiah 1 US Dollar =Rp. 9.565
Helios tipe mono-Si-6T-245W	USD \$ 1.960	409	Rp. 7.667.686.600,-
Schott tipe poly-Si - Schott poly 235W	USD \$ 1.880	426	Rp. 7.660.417.200,-

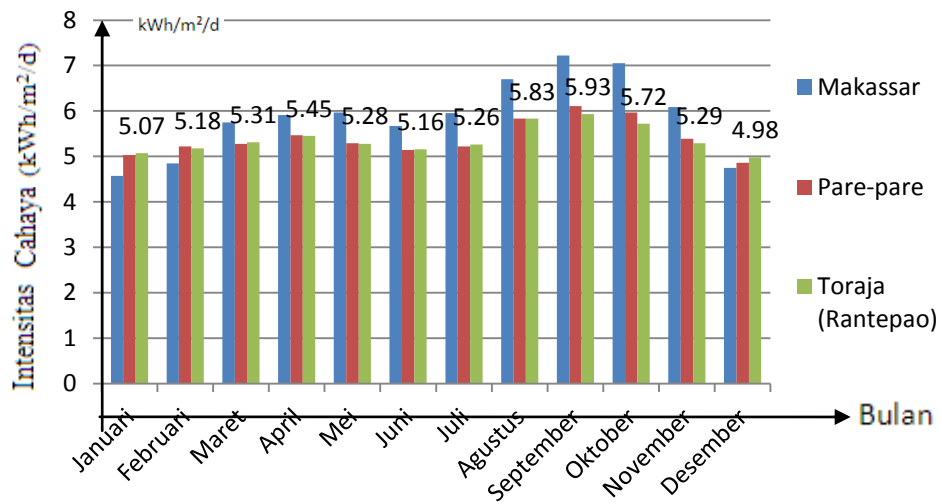
Tabel 4.16 diatas adalah perbandingan biaya total manufaktur antara manufaktur Helios tipe mono-Si-6T-245W dan Schott tipe poly-Si - Schott poly 235W. Dimana manufaktur Helios tipe mono-Si-6T-245W membutuhkan modul sebanyak 409 modul dengan total biaya sebesar Rp. 7.667.686.600,- sedangkan manufaktur Schott tipe poly-Si - Schott poly 235W membutuhkan 426 modul dengan total biaya sebesar Rp. 7.660.417.200,-, dapat terlihat jelas bahwa manufaktur yang mempunyai efisiensi tinggi dari segi ekonomi adalah manufaktur Helios tipe mono-Si-6T-245W dengan total biaya Rp. 7.667.686.600,- dan hanya membutuhkan sedikit modul untuk membangkitkan sistem 100 kW yaitu 409 modul berbanding terbalik dengan manufaktur Schott tipe poly-Si -

Schott poly 235W yang mempunyai tingkat efisiensi rendah dari segi ekonomi sebesar Rp. 7.660.417.200,- dan membutuhkan banyak modul untuk membangkitkan sistem 100 kW yaitu 426 modul. Biaya yang ada pada tabel 4.16 diatas sudah termasuk biaya pengembangan atau penelitian, biaya finansial, biaya pekerjaan sipil, biaya pekerjaan elektrikal, harga photovoltaik dan lain-lain.

Tabel 4. 17 Tabel Intensitas cahaya matahari di daerah-daerah yang berpotensi untuk pengembangan PLTS (Sumber : Program Retscreen International Tools, 2012, 09 September 2012).

No	Bulan	Intensitas Cahaya dalam setahun kWh/m <sup>2</sup> /d		
		Intensitas Cahaya Matahari Makassar kWh/m <sup>2</sup> /d	Intensitas Cahaya Matahari Pare-pare kWh/m <sup>2</sup> /d	Intensitas Cahaya Matahari Toraja(Rantepao) kWh/m <sup>2</sup> /d
1	Januari	4,57	5,03	5,07
2	Februari	4,85	5,22	5,18
3	Maret	5,75	5,28	5,31
4	April	5,91	5,47	5,45
5	Mei	5,97	5,29	5,28
6	Juni	5,67	5,14	5,16
7	Juli	5,95	5,22	5,26
8	Agustus	6,70	5,83	5,83
9	September	<b>7,22</b>	6,11	5,93
10	Oktober	7,05	5,97	5,72
11	November	6,09	5,39	5,29
12	Desember	4,75	4,86	4,98
13	Tahunan	5,88	5,40	5,37

Pada tabel 4.17 diatas adalah perbandingan dari beberapa contoh tiga Kota di Sulawesi Selatan yang mempunyai intensitas yang besar dari kelima kota yang telah disediakan oleh Program Retscreen International. Perbandingan tersebut dapat dilihat pada grafik dibawah ini :



Gambar 4.11 Tabel Intensitas cahaya pada daerah-daerah yang berpotensi untuk pembangunan PLTS

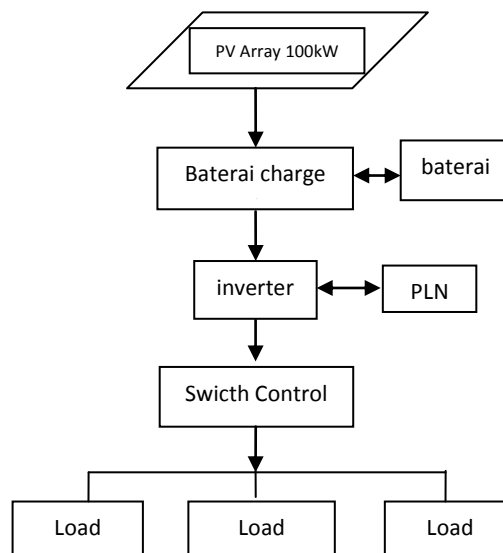
Berdasarkan Gambar 4.11 diatas, terlihat bahwa bulan Januari dan Februari intensitas cahaya di daerah makassar sangat rendah hal ini disebabkan pada bulan tersebut masih musim hujan, berbanding terbalik dengan Kota Pare-pare dan Toraja. Pada bulan Maret sampai September terlihat intensitas cahaya matahari di Kota Makassar sangatlah tinggi, hal ini disebabkan karena musim kemarau atau panas pada Kota Makassar sangatlah tinggi, berbanding terbalik dengan Kota Pare-pare dan Toraja yang memiliki intensitas cahaya matahari yang rendah. Kota Makassar merupakan daerah yang memiliki rata-rata intensitas cahaya paling tinggi yaitu 5,88 kWh/m<sup>2</sup>/d, kemudian Pare-pare dengan intensitas cahaya matahari 5,40 kWh/m<sup>2</sup>/d dan Toraja (Rantepao) mempunyai intensitas cahaya matahari sebesar 5,37 kWh/m<sup>2</sup>/d.

Tabel 4.18 Perbandingan Emisi Gas Rumah Kaca (Sumber : Program Retscreen International Tools, 2012, 09 September 2012).

Emisi GHG	Schott Poly-Si235W kgCO <sub>2</sub> /MWh	Helios Mono-Si-6T245W kgCO <sub>2</sub> /MWh
Base case	93,7	93,8
Proposed case	1,9	1,9
Emisi tahun GHG	91,8	91,9

Berdasarkan tabel 4.18 emisi GHG diatas, perbedaan emisi gas rumah kaca antara manufaktur Schott Poly-Si235W dan Helios Mono-Si-6T245W terlihat bahwa perbedaan pada *base case* dimana Schott Poly-Si235W adalah 93,7 kgCO<sub>2</sub>/MWh sedangkan Helios Mono-Si-6T245W adalah 93,8 KgCO<sub>2</sub>/MWh hal ini disebabkan karena perbedaan bahan dasar pada lapisan *array* penciptaan pada masing-masing perusahaan manufaktur.

#### 4.8 Sistem pembangkitan 100 kW



Gambar 4.12 Sistem pembangkit 100 kW.

Pada sistem pembangkit 100 kW *grid-connected* yang digunakan, pada dasarnya menggabungkan PLTS dan jaringan listrik dari PLN. Komponen-

komponen utama dalam pembangkit ini seperti *Battery Charge Regulator* (BCR) yang mengatur aliran listrik dari modul sel surya dan aliran listrik dari baterai ke peralatan listrik *inverter* dan melindungi pengiriman arus berlebihan ke input terminal. Kemudian aliran 100 kW ini masuk ke *inverter* yang berfungsi mengubah daya DC menjadi daya AC begitu pula sebaliknya dari daya AC menjadi daya DC, *switch control* berfungsi mengubah sumber daya yang di pakai antara PLTS dan daya listrik dari PLN dalam hal ini apabila daya yang dicatukan kepada PLTS berlebih maka *switch control* bekerja mengatur aliran yang masuk antara photovoltaik dan dari PLN dari sinilah kemudian diteruskan ke beban peralatan listrik.

Tabel : 4.19 Tabel perbandingan modul jenis monokristal dan polykristal pada setiap

Daerah Di Sulawesi Selatan (Sumber : Program Retscreen International Tools, 2012, 09 September 2012).

No	Daerah	Teknis						Investasi (Rp)		Penghematan (CO <sub>2</sub> )	
		Efisiensi (%)		Luas Array (m <sup>2</sup> )		Daya (W)		Mono	Poly	Mono	Poly
		Mono	Poly	Mono	Poly	Mono	Poly				
1	Makassar	14,73	14,04	1,66	1,66	245	235	18.747.400	17.982.200	91,9	91,8
2	Pare-pare	14,73	14,04	1,66	1,66	245	235	18.747.400	17.982.200	91,9	91,8
3	Bone	14,73	14,04	1,66	1,66	245	235	18.747.400	17.982.200	91,9	91,8
4	Palopo	14,73	14,04	1,66	1,66	245	235	18.747.400	17.982.200	91,9	91,8
5	Toraja (Rantepao)	14,73	14,04	1,66	1,66	245	235	18.747.400	17.982.200	91,9	91,8

Berdasarkan tabel 4.19 di atas dapat dilihat perbandingan antara modul jenis monokristal tipe Helios Mono-Si-6T245W dengan polykristal tipe Schott Poly-Si235W dimana data yang di tampilkan adalah data teknis , investasi dan penghematan CO<sub>2</sub>. Dari 5 daerah yang menjadi daerah penilitan. Dalam hal ini modul jenis Helios Mono-Si-6T245W adalah jenis photovoltaik yang berpotensi baik karena memiliki tingkat efisiensinya 14,73 %, luas array 1,66 m<sup>2</sup>, daya 245 yang baik. tetapi terjadi persamaan pada penghematan dimana CO<sub>2</sub> 91 KgCO<sub>2</sub>/MWh serta terjadi perbedaan investasi yang tinggi dibandingkan dengan tipe Schott Poly-Si235W.

Tabel : 4.20 Tabel Perbandingan modul jenis monokristal untuk sistem 100 kW untuk daerah Sulawesi Selatan (Sumber : Program Retscreen International Tools, 2012, 09 September 2012).

No	Daerah	Modul Helios tipe mono-Si-6T-245 W		Investasi (Rp)	Penghematan CO <sub>2</sub> (kgCO <sub>2</sub> /MWh)
		Efisiensi (%)	Jumlah modul		
1	Makassar	14,73	409	7.667.686.600,-	91,9
2	Pare-pare	14,73	409	7.667.686.600,-	91,9
3	Bone	14,73	409	7.667.686.600,-	91,9
4	Palopo	14,73	409	7.667.686.600,-	91,9
5	Toraja (Rantepao)	14,73	409	7.667.686.600,-	91,9

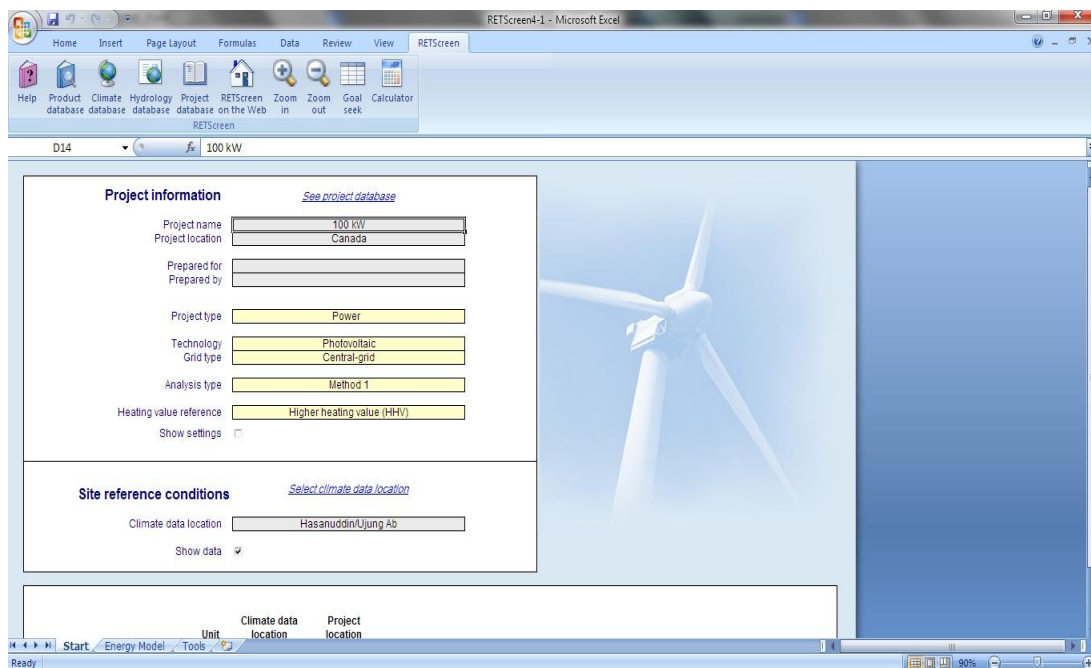


Berdasarkan tabel 4.20 Tabel modul jenis monokristal untuk sistem 100 kW untuk daerah Sulawesi Selatan dengan menggunakan manufaktur jenis monokristal tipe Helios Mono-Si-6T245W, dimana data yang di tampilkan adalah data teknis, investasi dan penghematan CO<sub>2</sub> dari 5 daerah yang menjadi daerah penilitan. Dalam hal ini modul yang digunakan sesuai dengan program Retscreen International dan yang tersedia dipasaran adalah jenis Helios Mono-Si-6T245W. Pada jenis photovoltaik ini yang berpotensi baik karena memiliki tingkat efisiensinya 14,73 %, luas array 1,66 m<sup>2</sup>, daya 245 kW, jumlah modul yang digunakan 409 unit, investasi Rp. 7.667.686.600,- akan tetapi memiliki data penghematan CO<sub>2</sub> sebesar 91,9 kgCO<sub>2</sub>/MWh cukup baik.

Tabel : 4.21 Tabel Perbandingan modul jenis polykristal untuk sistem 100 kW untuk daerah Sulawesi Selatan (Sumber : Program Retscreen International Tools, 2012, 09 September 2012).

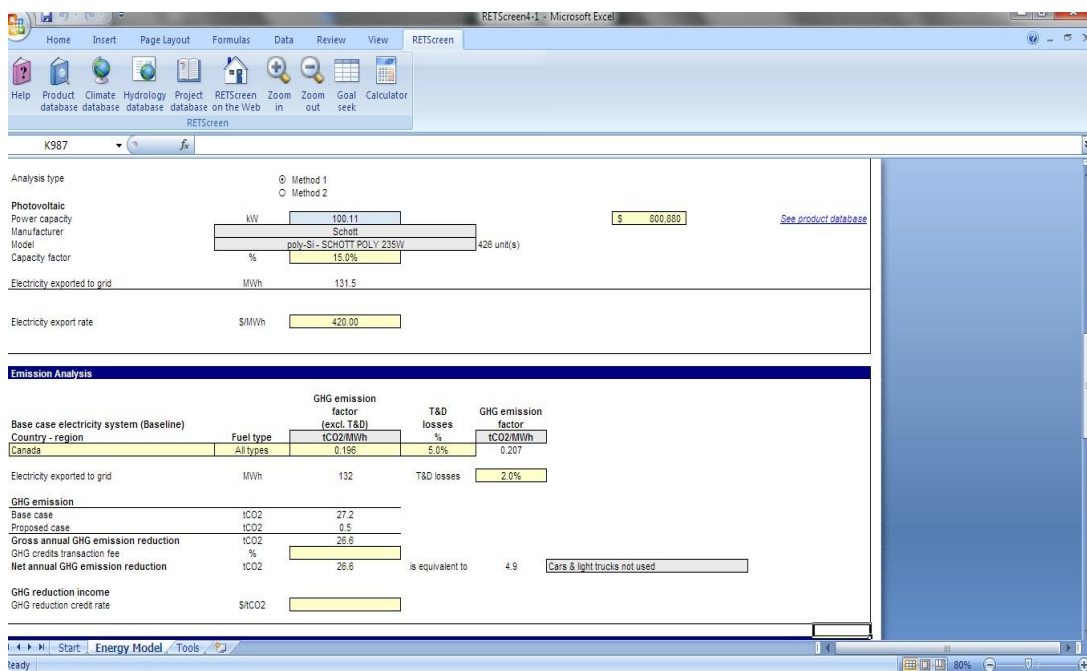
No	Daerah	Modul Schott tipe poly-Si-235 W		Investasi (Rp)	Penghematan CO <sub>2</sub> (kgCO <sub>2</sub> /MWh)
		Efisiensi (%)	Jumlah modul		
1	Makassar	14,04	426	7.660.417.200,-	91.8
2	Pare-pare	14,04	426	7.660.417.200,	91.8
3	Bone	14,04	426	7.660.417.200,	91.8
4	Palopo	14,04	426	7.660.417.200,	91.8
5	Toraja (Rantepao)	14,04	426	7.660.417.200,	91.8

Berdasarkan tabel 4.21 Tabel modul jenis polykristal untuk sistem 100 kW untuk daerah Sulawesi Selatan dengan menggunakan manufaktur jenis polykristal tipe Schott tipe poly-Si-235 W, dimana data yang di tampilkan adalah data teknis, investasi dan penghematan CO<sub>2</sub>, dari 5 daerah yang menjadi daerah penilitan. Dalam hal ini modul yang digunakan sesuai dengan program Retscreen International dan yang tersedia dipasaran adalah jenis Schott tipe poly-Si-235 W. Pada jenis photovoltaik ini yang berpotensi cukup baik karena memiliki tingkat efisiensinya 14,04 %, luas array 1,67 m<sup>2</sup>, daya 235 kW, jumlah modul yang digunakan 426 unit, investasi Rp. 7.660.417.200,- akan tetapi memiliki data penghematan CO<sub>2</sub> sebesar 91,8 kgCO<sub>2</sub>/MWh yang baik.



Gambar 4.13 informasi proyek pada Retscreen International

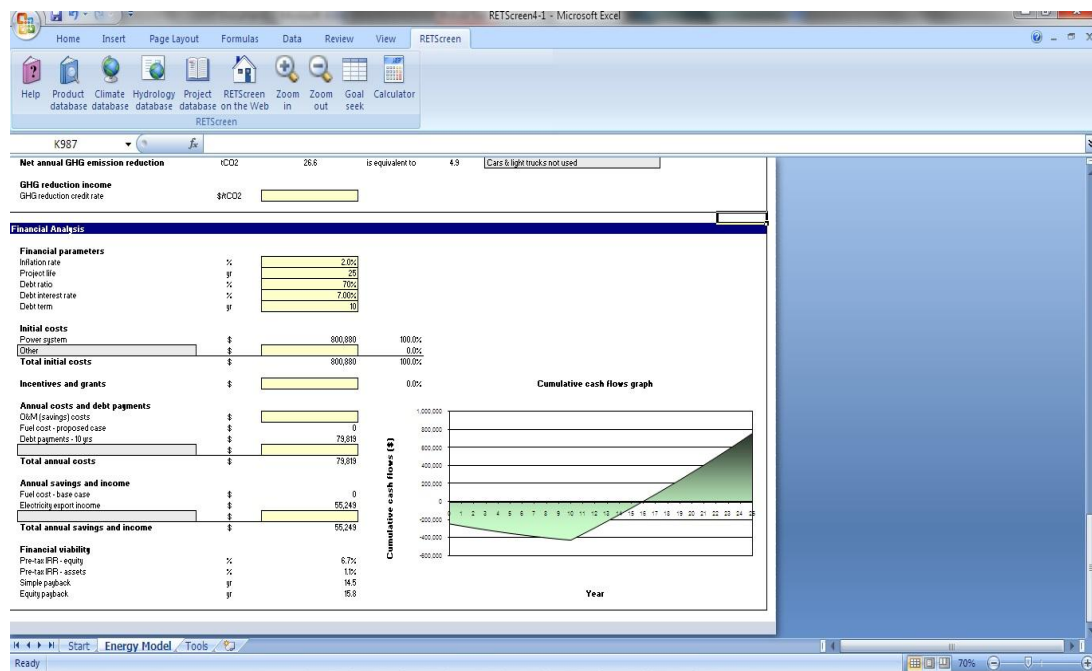
Gambar 4.13 diatas adalah contoh simulasi sistem pembangkitan 100 kW untuk kota makassar (Hasanuddin/Ujung Ab), simulasi ini menggunakan sentral grid (on grid) dimana menggabungkan PLTS dengan jaringan Listrik PLN. Pada sistem ini menggunakan analisis jenis metode 1 yang telah disediakan oleh Program Retscreen International. Pada gambar diatas pula telah tersedia kondisi iklim dari beberapa daerah di Sulawesi Selatan. Begitu pula hal yang sama untuk melakukan pergantian iklim pada setiap daerah seperti Kota Bone, Pare-pare, Palopo dan Toraja (Rantepao).



Gambar 4.14 Hasil Simulasi Analisa Lingkungan

Pada gambar 4.14 terlihat untuk sistem pembangkitan 100 kW dengan menggunakan manufaktur Schott poly-Si-Schott poly 235W itu membutuhkan 426 unit modul dengan total biaya Rp.7.660.417.200,- setelah di konversi ke Rupiah. Pada energi model telah disediakan pemilihan manufaktur yang ada

dalam program Retscreen International. Dalam gambar diatas juga terlihat data analisa emisi gas rumah kaca.



Gambar 4.14 Hasil Simulasi Analisa Finansial

Pada gambar 4.14 diatas terlihat analisis dari segi ekonomi. Dimana telah tersedia proyek investasi dari beberapa tahun kedepan dan total kebutuhan biaya yang dibutuhkan dalam pembangunan sebuah pembangkit photovoltaik dalam hal ini sudah termasuk biaya pengembangan atau penelitian, biaya finansial, biaya pekerjaan sipil, biaya pekerjaan elektrikal, harga Photovoltaik.

## **BAB V**

### **SIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 SIMPULAN**

1. Berdasarkan data intensitas cahaya matahari dari lima daerah objek penelitian yakni Kota Makassar, Bone, Parepare, Palopo, Toraja (Rantepao), daerah yang layak untuk diimplementasikan pembangkit listrik tenaga surya yakni Kota Makassar, Bone, Parepare, Palopo, Toraja (Rantepao) karena intensitas cahaya matahari di kelima daerah sangatlah berpotensi, hal terbukti dari rata-rata intensitas radiasi disetiap daerah lebih dari  $4,8 \text{ kWh/m}^2/\text{d}$ . Adapun daerah yang sangat tinggi intensitas cahaya matahari adalah Kota Makassar dengan nilai rata-rata intensitas cahaya matahari dalam setahun sebesar  $5,88 \text{ kWh/m}^2/\text{d}$  dengan nilai rata-rata temperatur udara =  $26,9^\circ \text{ C}$  pertahun. Sedangkan daerah yang rendah intensitas cahayanya adalah Kota Palopo dengan nilai rata-rata intensitas cahaya sebesar  $4,95 \text{ kWh/m}^2/\text{d}$  dengan nilai temperatur bumi =  $24,3^\circ \text{ C}$  pertahun.
2. Jika dilihat dari segi efisiensi maka model manufaktur yang digunakan adalah monokristal jenis Helios tipe mono-Si-6T-245W dimana efisiensinya 14,73 %, namun harganya sangat tinggi dibandingkan dengan tipe polykristal dimana manufaktur Schott tipe poly-Si - Schott poly 235W dimana harganya Rp. 17.982.200,-
3. Untuk sistem pembangkitan 100 kW pada manufaktur Helios tipe mono-Si-6T-245W dibutuhkan 409 modul sedangkan pada manufaktur Schott tipe poly-Si - Schott poly 235W dibutuhkan 426 modul. Dengan demikian dapat dilihat

bahwa manufaktur Helios tipe mono-Si-6T-245W hanya membutuhkan modul 409 unit modul untuk membangkitkan sistem 100 kW.

4. Untuk perbandingan emisi gas CO<sub>2</sub> untuk manufaktur jenis Helios tipe mono-Si-6T-245W mencapai 91,9 kgCO<sub>2</sub>/MWh sedangkan manufaktur jenis Schott tipe poly-Si - Schott poly 235W 91,8 kgCO<sub>2</sub>/MWh. Jadi manufaktur yang memiliki tingkat emisi gas CO<sub>2</sub> yang rendah adalah Schott tipe poly-Si - Schott poly 235W.

## **5.2 SARAN**

Untuk daerah-daerah di Sulawesi Selatan sebaiknya menggunakan energi terbarukan yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), karena daerah di Sulawesi selatan mempunyai potensi energi matahari yang baik.

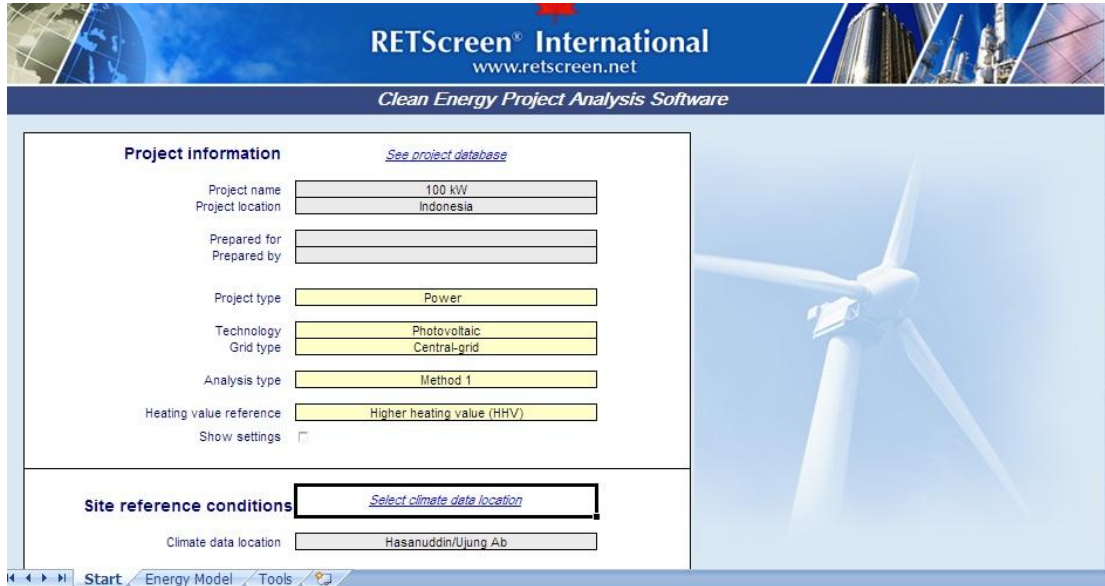
## DAFTAR PUSTAKA

- [1] RETScreen International tools.
- [2] <http://id.wikipedia.org/wiki/Photovoltaic> (Pengertian photovoltaic).
- [3] <http://ejurnal.bppt.go.id> (Analisa dampak lingkungan).
- [4] <http://www.alpensteel.com/article/46-102-energi-matahari--surya--solar/2250--pemanfaatan-energi-surya-dimulai.html> (Pemanfaatan energi surya).
- [5] <http://konversi.wordpress.com/2008/05/18/sekilas-photovoltaic-cell/>(sekilas tentang photovoltaic dan pengertian photovoltaic).
- [6] <http://armand10dma.blogspot.com/2011/08/panel-surya.html>(gambar dan keterangan gambar photovoltaic).
- [7] <http://www.panelsurya.com/index.php/id/batere/11-batere> (baterai untuk sel surya).
- [8] <http://www.panelsurya.com/index.php/id/batere/charge-and-discharge-baterai-deep-cycle> (charging, discharging baterai dan jenis baterai kering).
- [9] <http://www.panelsurya.com/index.php/id/inverter> (inverter untuk photovoltaic).
- [10] <http://www.panelsurya.com/index.php/id/solar-controller/12-solar-charge-controller-solar-controller> (cara solar controller charge).
- [11] <http://www.panelsurya.com/index.php/id/batere/charge-and-discharge/controller-charging/12-solar-charge-controller-solar-controller.htm> (fase solar charge controller)
- [12] <http://www.on-grid.com/on-grid.htm> (pembagian grid dan off grid).
- [13] <http://www.Sekilas-Photovoltaic-Cell.-Konversi-ITB.htm> (pembagian grid)



- [14] Ouaschning, 2005 (ambient temperatur udara)
- [15] <http://www.unud-332-1209885641.html> (Faktor pengoperasian sel surya)
- [16] <http://www.unud-257-836437215-florida-energy-centre2011.html> (Jenis connected grid dan stand alone PLTS)
- [17] <http://www.panelsurya.com/index.php/id./panel-surya-solar-cells-type.htm> (Pembagian PLTS).
- [18] <http://www.kabel-instalasi-panel-surya.html> (kabel instalasi)
- [19] Kusnandar Achmad. 2009. *Sel Surya*.

**Lampiran 1 : Hasil simulasi RetScreen International untuk sistem Photovoltaik 100 kW pada Kota Makassar**



**Data intensitas cahaya matahari pada Kota Makassar dalam 1 tahun**

Unit	Climate data location		Project location	
	°N	-5.1	-5.1	-5.1
Longitude	°E	119.6	119.6	119.6
Elevation	m	14	14	14
Heating design temperature	°C	21.1		
Cooling design temperature	°C	33.3		
Earth temperature amplitude	°C	3.3		

Month	Air temperature	Relative humidity	Daily solar radiation - horizontal	Atmospheric pressure	Wind speed	Earth temperature	Heating degree-days	Cooling degree-days
	°C	%	kWh/m <sup>2</sup> d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
January	28.2	87.2%	4.57	100.2	2.1	28.4	0	502
February	28.3	87.2%	4.85	100.2	2.1	28.3	0	456
March	28.5	85.7%	5.75	100.2	2.0	28.6	0	512
April	28.8	84.1%	5.91	100.2	1.8	28.8	0	504
May	27.2	81.0%	5.97	100.3	1.7	28.4	0	533
June	26.9	78.6%	5.67	100.3	1.7	27.7	0	507
July	26.6	74.0%	5.95	100.4	1.9	27.1	0	515
August	27.0	66.8%	6.70	100.4	2.1	27.3	0	527
September	27.6	61.8%	7.22	100.4	2.4	26.1	0	534
October	27.7	72.1%	7.05	100.3	2.1	26.1	0	549
November	27.0	82.1%	6.09	100.2	2.0	26.4	0	510
December	26.3	86.3%	4.75	100.2	2.1	26.6	0	505
<b>Annual</b>	26.9	78.9%	5.88	100.3	2.0	26.3	0	6,154
Measured at	m				10.0	0.0		

## Hasil simulasi Retscreen International menggunakan manufaktur "Helios tipe mono-Si-6T-245W"

**Proposed case power system**

Technology: Photovoltaic

Analysis type: Method 1

Photovoltaic Power capacity: 100.00 kW

Manufacturer: Helios

Model: mono-Si - 6T 245W

Capacity factor: 15.0%

Electricity exported to grid: 131.4 MWh

Electricity export rate: \$/MWh 420.00

Incremental initial cost: \$ 800,000

**Emission Analysis**

Country - region	Fuel type	GHG emission factor (excl. T&D) tCO2/MWh	T&D losses %	GHG emission factor tCO2/MWh
Canada	All types	0.196	5.0%	0.207

Electricity exported to grid: 131 MWh, T&D losses: 2.0%

**GHG emission**

Base case	tCO2	27.2
Proposed case	tCO2	0.5
Gross annual GHG emission reduction	tCO2	26.6
GHG credits transaction fee	%	

## Proposed case power system

RETScreen Energy Model - Power project

Proposed case power system

Technology: Photovoltaic

Analysis type: Method 1

Photovoltaic Power capacity: 100.21 kW

Manufacturer: Helios

Model: mono-Si - 6T 245W

Capacity factor: 15.0%

Electricity exported to grid: 131.7 MWh

Electricity export rate: \$/MWh 420.00

Incremental initial costs: \$ 801,640

Show alternative units

## Emission analysis

**Emission Analysis**

Country - region	Fuel type	GHG emission factor (excl. T&D) tCO2/MWh	T&D losses %	GHG emission factor tCO2/MWh
Canada	All types	0.196	5.0%	0.207

Electricity exported to grid: 132 MWh, T&D losses: 2.0%

**GHG emission**

Base case	tCO2	27.2
Proposed case	tCO2	0.5
Gross annual GHG emission reduction	tCO2	26.7
GHG credits transaction fee	%	
Net annual GHG emission reduction	tCO2	26.7

is equivalent to 4.9 Cars & light trucks not used

**GHG reduction income**

GHG reduction credit rate	\$/tCO2	
---------------------------	---------	--

## Hasil simulasi Retscreen International menggunakan manufaktur “Schott tipe poly-Si-235W “

**Proposed case power system**

Technology: Photovoltaic

Analysis type: Method 1

Photovoltaic: Power capacity 100.11 kW, Manufacturer Schott, Model poly-Si - SCHOTT POLY 235W, Capacity factor 15.0%, Electricity exported to grid 131.5 MWh, Electricity export rate \$/MWh 420.00

Incremental initial costs: \$ 800,880

**Emission Analysis**

Base case electricity system (Baseline)		GHG emission factor (excl. T&D)		T&D losses	GHG emission factor
Country - region	Fuel type	tCO2/MWh	%	%	tCO2/MWh
Canada	All types	0.196	5.0%	0.207	
Electricity exported to grid		MWh	132	T&D losses	2.0%
<b>GHG emission</b>					
Base case	tCO2	27.2			
Proposed case	tCO2	0.5			
<b>Gross annual GHG emission reduction</b>		tCO2	26.6		
GHG credits transaction fee		%			
<b>Net annual GHG emission reduction</b>		tCO2	26.6		is equivalent to 4.9 Cars & light trucks not used
<b>GHG reduction income</b>					
GHG reduction credit rate		\$/tCO2			

## Proposed case power system

RETScreen Energy Model - Power project

**Proposed case power system**

Technology: Photovoltaic

Analysis type: Method 1

Photovoltaic: Power capacity 100.11 kW, Manufacturer Schott, Model poly-Si - SCHOTT POLY 235W, Capacity factor 15.0%, Electricity exported to grid 131.5 MWh, Electricity export rate \$/MWh 420.00

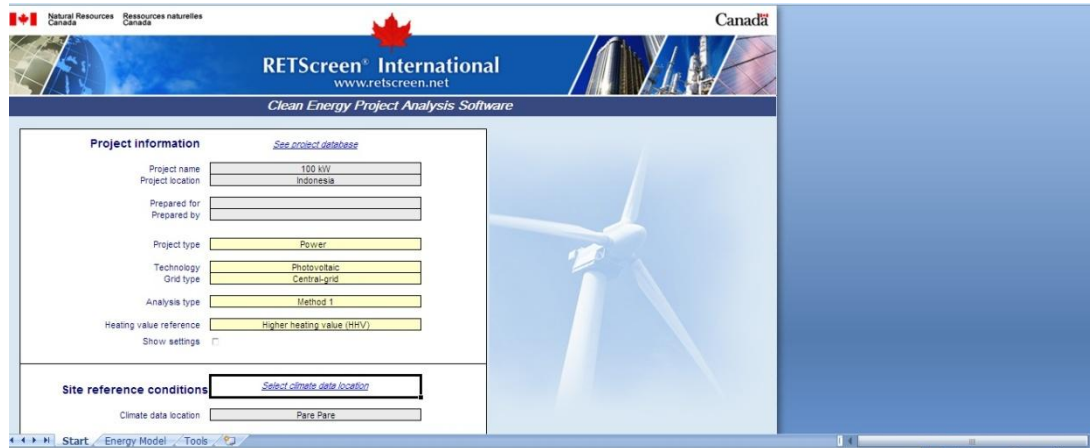
Incremental initial costs: \$ 800,880

## Emission analysis

**Emission Analysis**

Base case electricity system (Baseline)		GHG emission factor (excl. T&D)		T&D losses	GHG emission factor
Country - region	Fuel type	tCO2/MWh	%	%	tCO2/MWh
Canada	All types	0.196	5.0%	0.207	
Electricity exported to grid		MWh	132	T&D losses	2.0%
<b>GHG emission</b>					
Base case	tCO2	27.2			
Proposed case	tCO2	0.5			
<b>Gross annual GHG emission reduction</b>		tCO2	26.6		
GHG credits transaction fee		%			
<b>Net annual GHG emission reduction</b>		tCO2	26.6		is equivalent to 4.9 Cars & light trucks not used
<b>GHG reduction income</b>					
GHG reduction credit rate		\$/tCO2			

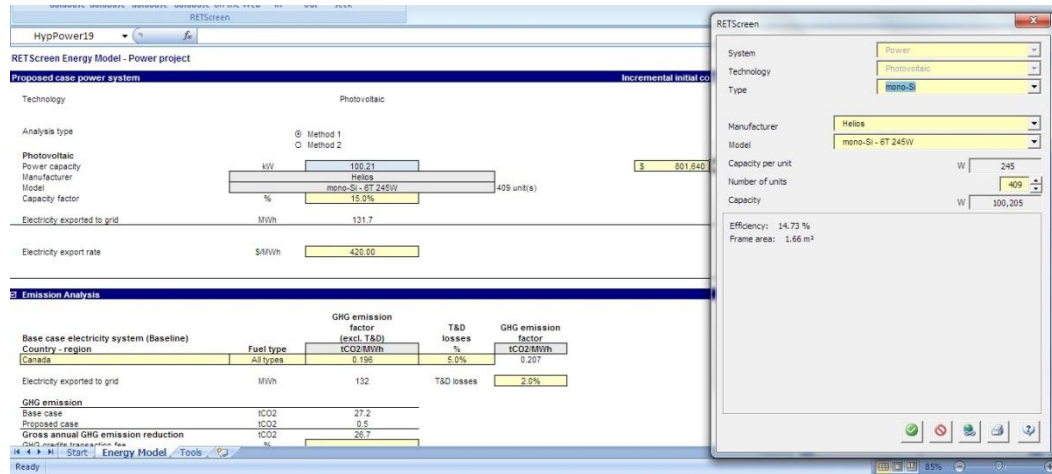
## Lampiran 2 : Hasil simulasi RetScreen International untuk sistem Photovoltaik 100 kW pada Kota Pare-pare.



## Data Intensitas cahaya matahari pada kota Pare-pare dalam 1 tahun

	Climate data		Project location					
	Unit	location	location					
Latitude	°N	-3.9	-3.9					
Longitude	°E	119.6	119.6					
Elevation	m	452	452					
Heating design temperature	°C	20.9						
Cooling design temperature	°C	28.9						
Earth temperature amplitude	°C	6.6						
Month	Air temperature	Relative humidity	Daily solar radiation - horizontal	Atmospheric pressure	Wind speed	Earth temperature	Heating degree-days	Cooling degree-days
	°C	%	kWh/m <sup>2</sup> /d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
January	24.7	82.6%	5.03	97.4	2.5	26.1	0	455
February	24.9	80.1%	5.22	97.4	2.5	26.4	0	416
March	24.9	81.8%	5.28	97.4	1.8	26.5	0	463
April	25.0	82.9%	5.47	97.4	1.6	26.4	0	449
May	24.9	81.9%	5.29	97.4	2.5	26.0	0	460
June	24.5	80.6%	5.14	97.5	2.9	25.5	0	434
July	24.2	77.0%	5.22	97.5	3.2	25.3	0	441
August	25.1	68.8%	5.83	97.5	3.4	26.5	0	468
September	25.8	66.5%	6.11	97.5	3.0	27.4	0	475
October	25.7	73.1%	5.97	97.4	2.1	27.4	0	486
November	24.9	82.0%	5.39	97.4	1.7	26.5	0	446
December	24.7	82.4%	4.86	97.4	2.1	26.2	0	455
Annual	24.9	78.3%	5.40	97.4	2.4	26.3	0	5,446
Measured at	m				10.0	0.0		

## Hasil simulasi Retcreen International menggunakan manufaktur “Helios mono-Si-6T-245W”.



### Proposed case power system

Proposed case power system		Incremental initial costs	
Technology	Photovoltaic		
Analysis type	<input checked="" type="radio"/> Method 1 <input type="radio"/> Method 2		
Photovoltaic			
Power capacity	100.21 kW	\$ 801,840	<a href="#">See product database</a>
Manufacturer	Helios		
Model	mono-Si-6T-245W		
Capacity factor	15.0%		
Electricity exported to grid	131.7 MWh		
Electricity export rate	\$/MWh 420.00		

### Emission analysis

Base case electricity system (Baseline)		GHG emission factor (excl. T&D)	T&D losses	GHG emission factor
Country - region	Fuel type	tCO <sub>2</sub> /MWh	%	tCO <sub>2</sub> /MWh
Canada	All types	0.196	5.0%	0.207
Electricity exported to grid	MWh	132	T&D losses	2.0%
<b>GHG emission</b>				
Base case	tCO <sub>2</sub>	27.2		
Proposed case	tCO <sub>2</sub>	0.5		
Gross annual GHG emission reduction	tCO <sub>2</sub>	26.7		
GHG credits transaction fee	%			
Net annual GHG emission reduction	tCO <sub>2</sub>	26.7	is equivalent to	4.9 <a href="#">Cars &amp; light trucks not used</a>
<b>GHG reduction income</b>				
GHG reduction credit rate	\$/tCO <sub>2</sub>			

## Hasil simulasi Retscreen International menggunakan manufaktur “Schott tipe poly-Si-Schott-poly 235W”.

The screenshot shows the RETScreen Energy Model interface. The main window displays the 'Proposed case power system' and 'Emission Analysis' sections. A 'RETScreen' dialog box is open on the right, showing system configuration details.

**Proposed case power system:**

- Technology: Photovoltaic
- Analysis type: Method 1
- Power capacity: 100.11 kW
- Manufacturer: Schott
- Model: poly-Si - SCHOTT POLY 235W
- Capacity factor: 15.0%
- Electricity exported to grid: 131.5 MWh
- Electricity export rate: \$/MWh 420.00
- Incremental initial cost: \$ 800,880

**Emission Analysis:**

Country - region	Fuel type	GHG emission factor (excl. T&D) tCO2/MWh	T&D losses %	GHG emission factor tCO2/MWh
Canada	All types	0.196	5.0%	0.207
Electricity exported to grid	MWh	132	T&D losses	2.0%

**GHG emission:**

Category	IC02
Base case	27.2
Proposed case	0.6
Gross annual GHG emission reduction	26.6
GHG credits transaction fee	%
Net annual GHG emission reduction	26.6

**RETScreen Dialog Box:**

- System: Power
- Technology: Photovoltaic
- Type: poly-Si
- Manufacturer: Schott
- Model: poly-Si - SCHOTT POLY 235W
- Capacity per unit: 235 W
- Number of units: 426
- Capacity: 100,110 W
- Efficiency: 14.04 %
- Frame area: 1.67 m<sup>2</sup>

## Proposed case power system

RETScreen Energy Model - Power project  Show alternative units

**Proposed case power system** **Incremental initial costs**

Technology: Photovoltaic

Analysis type: Method 1

Photovoltaic:

- Power capacity: 100.11 kW
- Manufacturer: Schott
- Model: poly-Si - SCHOTT POLY 235W
- Capacity factor: 15.0%
- Electricity exported to grid: 131.5 MWh
- Electricity export rate: \$/MWh 420.00
- Incremental initial cost: \$ 800,880 See product database

## Emission analysis

**Emission Analysis**

Country - region	Fuel type	GHG emission factor (excl. T&D) tCO2/MWh	T&D losses %	GHG emission factor tCO2/MWh
Canada	All types	0.196	5.0%	0.207
Electricity exported to grid	MWh	132	T&D losses	2.0%

**GHG emission:**

Category	IC02
Base case	27.2
Proposed case	0.6
Gross annual GHG emission reduction	26.6
GHG credits transaction fee	%
Net annual GHG emission reduction	26.6

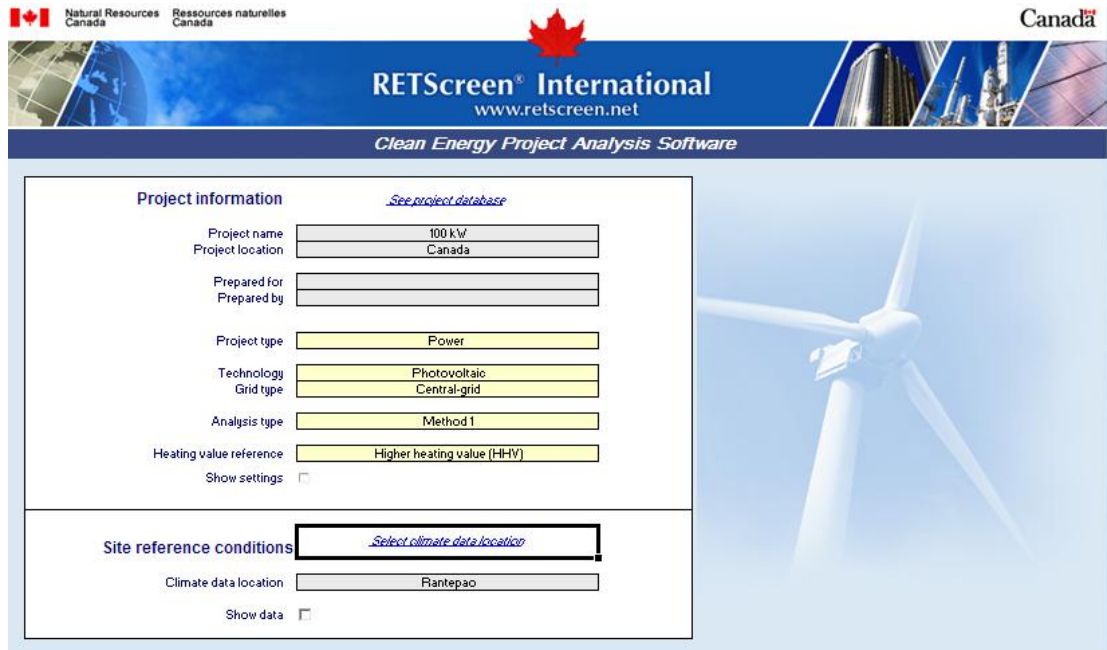
is equivalent to 4.9 Cars & light trucks not used

**GHG reduction income:**

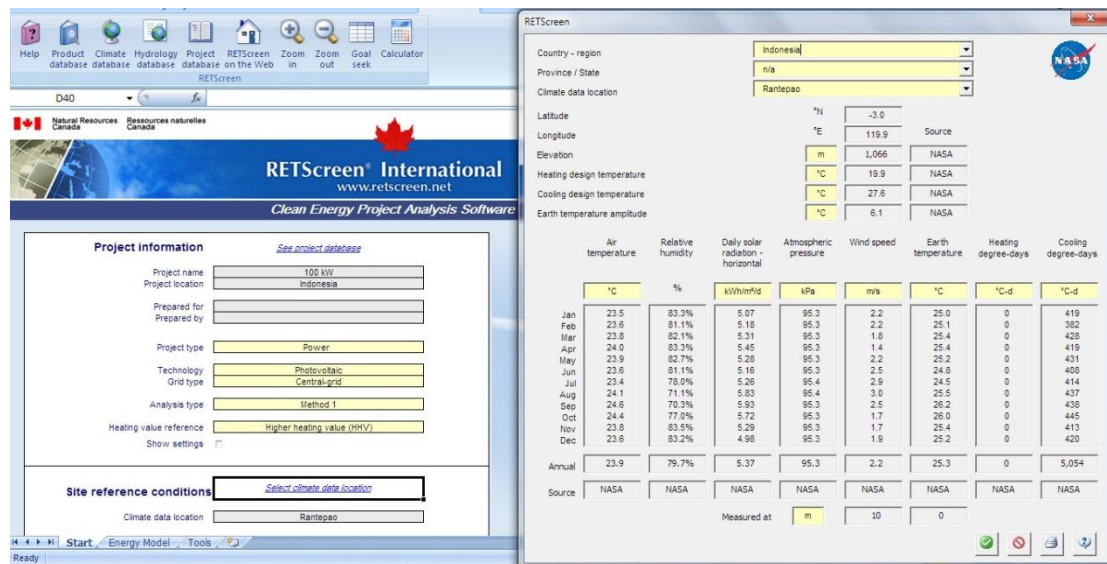
Category	\$/tCO2
GHG reduction credit rate	



### Lampiran 3 : Hasil simulasi Retscreen International untuk wilayah Toraja(Rantepao)

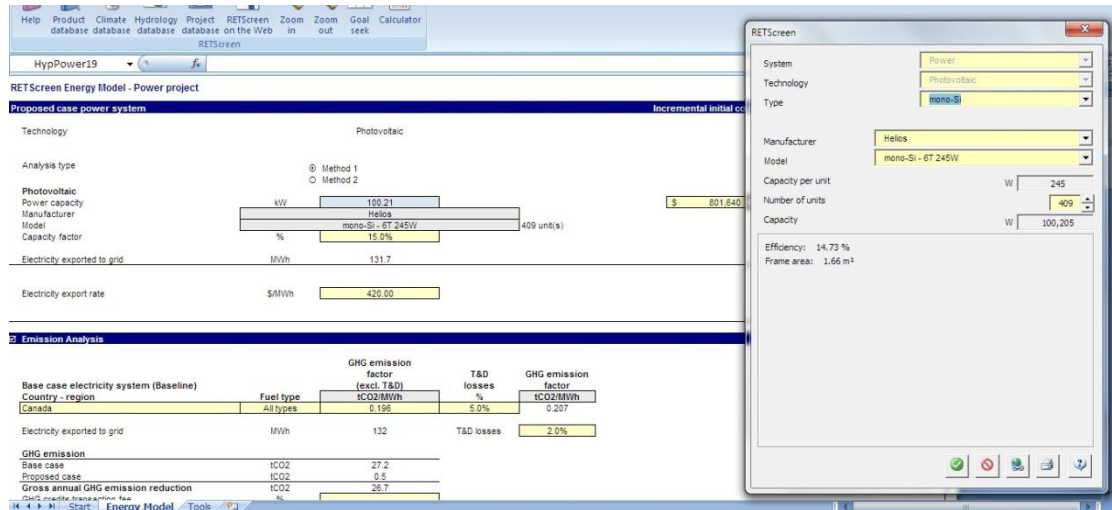


### Data intensitas cahaya matahari pada kota Toraja (Rantepao) dalam 1 tahun

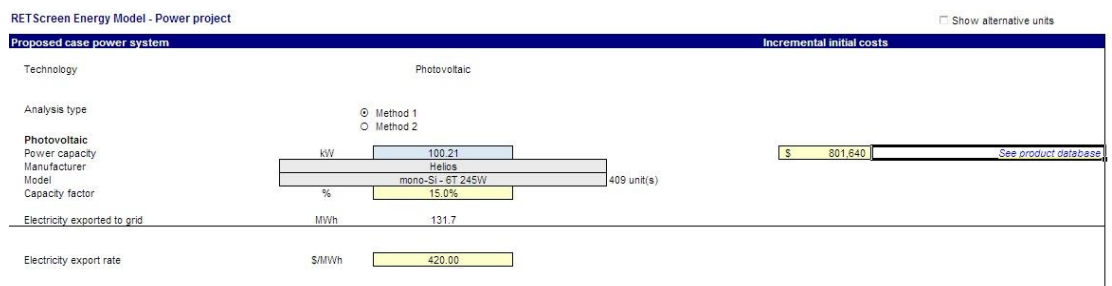




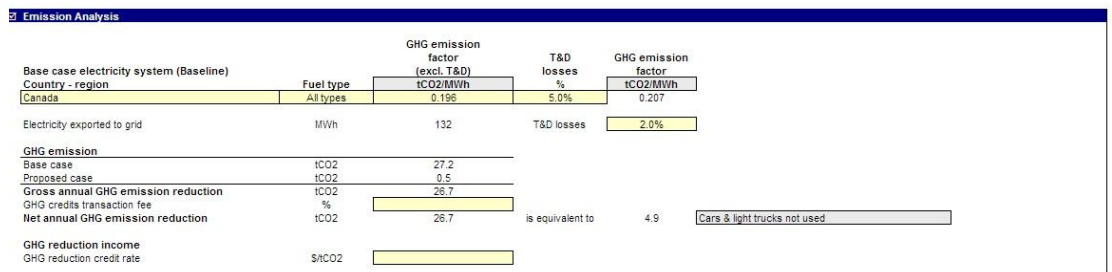
## Hasil simulasi Retscreen International menggunakan manufaktur “Helios mono-Si-6T-245W”.



### Proposed case power system



### Emission analysis



## Hasil simulasi Retscreen International menggunakan manufaktur “Schott tipe poly-Si-Schott-poly 235W”.

**Proposed case power system**

Parameter	Value	Unit	Cost
Photovoltaic Power capacity	100.11	kW	\$ 800,880
Manufacturer	Schott		
Model	poly-Si - SCHOTT POLY 235W		
Capacity factor	15.0%	%	
Electricity exported to grid	131.5	MWh	
Electricity export rate	420.00	\$/MWh	

**Emission Analysis**

Category	Fuel type	GHG emission factor (excl. T&D) tCO2/MWh	T&D losses %	GHG emission factor tCO2/MWh	
Base case electricity system (Baseline)					
Country - region	Canada	All types	0.196	5.0%	0.207
Electricity exported to grid	MWh	132	T&D losses	2.0%	
GHG emission					
Base case	tCO2	27.2			
Proposed case	tCO2	0.5			
Gross annual GHG emission reduction	tCO2	26.6			
GHG credits transaction fee	%				
Net annual GHG emission reduction	tCO2	26.6	is equivalent to	4.9 Cars & light trucks not used	
GHG reduction income					
GHG reduction credit rate	\$/tCO2				

## Proposed Case System

RETScreen Energy Model - Power project

**Proposed case power system**

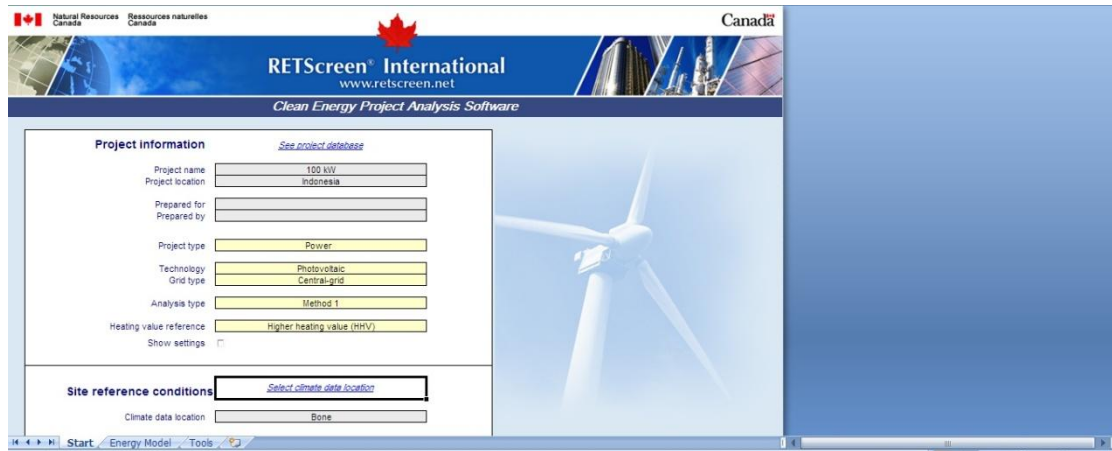
Parameter	Value	Unit	Cost
Photovoltaic Power capacity	100.11	kW	\$ 800,880
Manufacturer	Schott		
Model	poly-Si - SCHOTT POLY 235W		
Capacity factor	15.0%	%	
Electricity exported to grid	131.5	MWh	
Electricity export rate	420.00	\$/MWh	

## Emission Analysis

**Emission Analysis**

Category	Fuel type	GHG emission factor (excl. T&D) tCO2/MWh	T&D losses %	GHG emission factor tCO2/MWh	
Base case electricity system (Baseline)					
Country - region	Canada	All types	0.196	5.0%	0.207
Electricity exported to grid	MWh	132	T&D losses	2.0%	
GHG emission					
Base case	tCO2	27.2			
Proposed case	tCO2	0.5			
Gross annual GHG emission reduction	tCO2	26.6			
GHG credits transaction fee	%				
Net annual GHG emission reduction	tCO2	26.6	is equivalent to	4.9 Cars & light trucks not used	
GHG reduction income					
GHG reduction credit rate	\$/tCO2				

## Lampiran 4 : Hasil simulasi RetScreen International untuk wilayah Bone



## Data intensitas cahaya tahunan pada wilayah Bone

The screenshot shows the RETScreen International software interface with the 'Annual solar radiation' data table displayed. The table provides monthly and annual data for various climate parameters for Bone, Indonesia.

	Air temperature °C	Relative humidity %	Daily solar radiation - horizontal kWh/m <sup>2</sup> /d	Atmospheric pressure kPa	Wind speed m/s	Earth temperature °C	Heating degree-days °C-d	Cooling degree-days °C-d
Jan	25.5	82.7%	4.81	99.9	3.0	26.9	0	479
Feb	25.6	80.5%	4.85	99.9	3.0	27.1	0	437
Mar	25.6	81.9%	5.11	99.9	2.3	27.2	0	485
Apr	25.6	82.2%	4.91	99.9	2.2	27.0	0	469
May	25.4	81.4%	4.61	99.0	3.1	26.5	0	477
Jun	24.9	81.1%	4.38	99.0	3.4	25.9	0	447
Jul	24.5	78.0%	4.54	99.1	3.7	25.6	0	450
Aug	25.2	70.4%	5.36	99.1	3.8	26.7	0	472
Sep	26.2	66.4%	6.01	99.1	3.5	28.0	0	485
Oct	26.6	69.1%	5.90	99.0	2.6	26.7	0	516
Nov	26.0	77.9%	5.36	98.9	2.1	27.9	0	481
Dec	25.6	81.7%	4.77	98.9	2.5	27.1	0	482
Annual	25.6	77.8%	5.05	99.0	2.9	27.0	0	5,680
Source	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA
Measured at				m	10	0		

## Hasil simulasi Retscreen International menggunakan manufaktur “Helios mono-Si-6T-245W”.

The screenshot shows the RETScreen Energy Model interface. The main window displays the 'Proposed case power system' section, which includes a table of system parameters and an 'Emission Analysis' section. A separate window on the right shows the 'RETScreen' configuration panel with various settings.

**Proposed case power system**

Parameter	Value	Unit	Incremental initial cost
Technology	Photovoltaic		
Analysis type	Method 1		
Photovoltaic Power capacity	100.21	kW	\$ 801,640
Manufacturer	Helios		
Model	mono-Si - 6T 245W		
Capacity factor	15.0%	%	
Electricity exported to grid	131.7	MWh	
Electricity export rate	420.00	\$/MWh	

**Emission Analysis**

Base case electricity system (Baseline)	Fuel type	GHG emission factor (excl. T&D) tCO2/MWh	T&D losses %	GHG emission factor tCO2/MWh
Country - region	All types	0.196	5.0%	0.207
Electricity exported to grid	MWh	132	T&D losses	2.0%

**GHG emission**

Category	Value	Unit
Base case	27.2	tCO2
Proposed case	0.5	tCO2
Gross annual GHG emission reduction	26.7	tCO2
GHG credits transaction fee		%
Net annual GHG emission reduction	26.7	tCO2
GHG reduction income		\$/tCO2
GHG reduction credit rate		\$/tCO2

**RETScreen Configuration Panel:**

- System: Power
- Technology: Photovoltaic
- Type: mono-Si
- Manufacturer: Helios
- Model: mono-Si - 6T 245W
- Capacity per unit: 245 W
- Number of units: 409
- Capacity: 100,205 W
- Efficiency: 14.73 %
- Frame area: 1.66 m<sup>2</sup>

## Proposed power system

This screenshot shows the 'Proposed case power system' section of the RETScreen Energy Model. It displays a table of system parameters and an 'Emission Analysis' section. A separate window on the right shows the 'RETScreen' configuration panel.

**Proposed case power system**

Parameter	Value	Unit	Incremental initial costs
Technology	Photovoltaic		
Analysis type	Method 1		
Photovoltaic Power capacity	100.21	kW	\$ 801,640
Manufacturer	Helios		
Model	mono-Si - 6T 245W		
Capacity factor	15.0%	%	
Electricity exported to grid	131.7	MWh	
Electricity export rate	420.00	\$/MWh	

**Emission Analysis**

Base case electricity system (Baseline)	Fuel type	GHG emission factor (excl. T&D) tCO2/MWh	T&D losses %	GHG emission factor tCO2/MWh
Country - region	All types	0.196	5.0%	0.207
Electricity exported to grid	MWh	132	T&D losses	2.0%

**GHG emission**

Category	Value	Unit
Base case	27.2	tCO2
Proposed case	0.5	tCO2
Gross annual GHG emission reduction	26.7	tCO2
GHG credits transaction fee		%
Net annual GHG emission reduction	26.7	tCO2
GHG reduction income		\$/tCO2
GHG reduction credit rate		\$/tCO2

**RETScreen Configuration Panel:**

- System: Power
- Technology: Photovoltaic
- Type: mono-Si
- Manufacturer: Helios
- Model: mono-Si - 6T 245W
- Capacity per unit: 245 W
- Number of units: 409
- Capacity: 100,205 W
- Efficiency: 14.73 %
- Frame area: 1.66 m<sup>2</sup>

## Emission analysis

This screenshot shows the 'Emission analysis' section of the RETScreen Energy Model. It displays a table of system parameters and an 'Emission Analysis' section. A separate window on the right shows the 'RETScreen' configuration panel.

**Emission Analysis**

Base case electricity system (Baseline)	Fuel type	GHG emission factor (excl. T&D) tCO2/MWh	T&D losses %	GHG emission factor tCO2/MWh
Country - region	All types	0.196	5.0%	0.207
Electricity exported to grid	MWh	132	T&D losses	2.0%

**GHG emission**

Category	Value	Unit
Base case	27.2	tCO2
Proposed case	0.5	tCO2
Gross annual GHG emission reduction	26.7	tCO2
GHG credits transaction fee		%
Net annual GHG emission reduction	26.7	tCO2
GHG reduction income		\$/tCO2
GHG reduction credit rate		\$/tCO2

**RETScreen Configuration Panel:**

- System: Power
- Technology: Photovoltaic
- Type: mono-Si
- Manufacturer: Helios
- Model: mono-Si - 6T 245W
- Capacity per unit: 245 W
- Number of units: 409
- Capacity: 100,205 W
- Efficiency: 14.73 %
- Frame area: 1.66 m<sup>2</sup>

## Hasil simulasi Retscreen International menggunakan manufaktur “Schott tipe poly-Si-Schott-poly 235W”.

**Proposed case power system** Incremental initial costs

Technology: Photovoltaic

Analysis type:  Method 1  Method 2

Photovoltaic

Power capacity	kW	100.11		\$ 800,880
Manufacturer		Schott		
Model		poly-Si - SCHOTT POLY 235W	426 unit(s)	
Capacity factor	%	15.0%		

Electricity exported to grid: MWh 131.5

Electricity export rate: \$/MWh 420.00

---

**Emission Analysis**

Base case electricity system (Baseline)	Fuel type	GHG emission factor (excl. T&D) tCO2/MWh	T&D losses %	GHG emission factor tCO2/MWh
Country - region	All types	0.196	5.0%	0.207
Canada				

Electricity exported to grid: MWh 132 T&D losses 2.0%

**GHG emission**

Base case	tCO2	27.2
Proposed case	tCO2	9.5
Gross annual GHG emission reduction	tCO2	26.6
GHG credits transaction fee	%	
Net annual GHG emission reduction	tCO2	26.6

is equivalent to 4.9 Cars & light trucks not used

### Proposed case power system

**Proposed case power system** Incremental initial costs

Technology: Photovoltaic

Analysis type:  Method 1  Method 2

Photovoltaic

Power capacity	kW	100.11		\$ 800,880	<a href="#">See product database</a>
Manufacturer		Schott			
Model		poly-Si - SCHOTT POLY 235W	426 unit(s)		
Capacity factor	%	15.0%			

Electricity exported to grid: MWh 131.5

Electricity export rate: \$/MWh 420.00

### Emission analysis

**Emission Analysis**

Base case electricity system (Baseline)	Fuel type	GHG emission factor (excl. T&D) tCO2/MWh	T&D losses %	GHG emission factor tCO2/MWh
Country - region	All types	0.196	5.0%	0.207
Canada				

Electricity exported to grid: MWh 132 T&D losses 2.0%

**GHG emission**

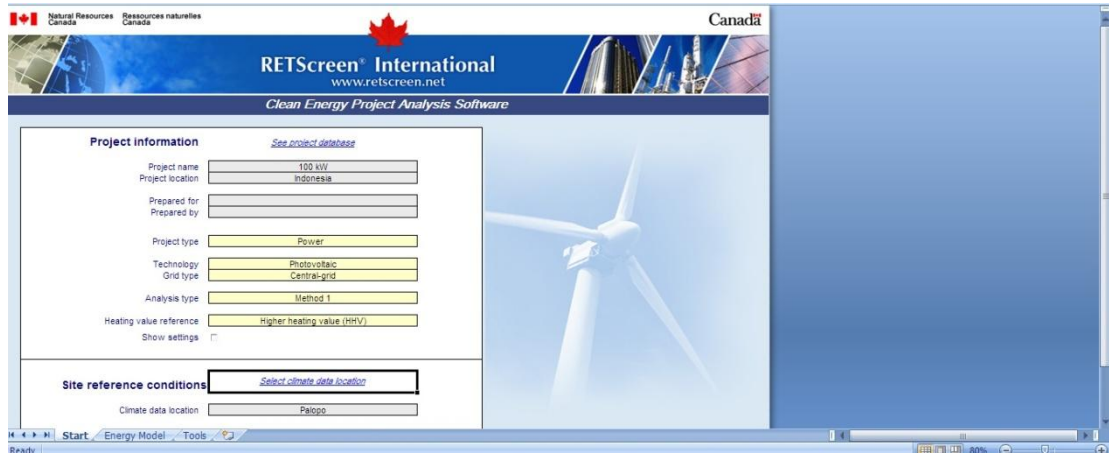
Base case	tCO2	27.2
Proposed case	tCO2	9.5
Gross annual GHG emission reduction	tCO2	26.6
GHG credits transaction fee	%	
Net annual GHG emission reduction	tCO2	26.6

is equivalent to 4.9 Cars & light trucks not used

GHG reduction income: \$/tCO2

GHG reduction credit rate: \$/tCO2

## Lampiran 5 : Hasil simulasi Retscreen International untuk sistem Photovoltaik 100 kW pada Kota Palopo.



## Data intensitas cahaya di Kota Pare-pare dalam 1 tahun

The screenshot shows the RETScreen International software interface with the climate data for Palopo, Indonesia. The 'Climate data location' is set to Palopo. The 'Climate data location' section includes:

- Country - region: Indonesia
- Province / State: n/a
- Climate data location: Palopo
- Latitude: -3.1 °N
- Longitude: 120.2 °E
- Elevation: 188 m
- Heating design temperature: 19.3 °C
- Cooling design temperature: 29.1 °C
- Earth temperature amplitude: 8.1 °C

The 'Climate data location' section also includes a table of monthly and annual climate data:

	Air temperature °C	Relative humidity %	Daily solar radiation - horizontal kWh/m <sup>2</sup> /d	Atmospheric pressure kPa	Wind speed m/s	Earth temperature °C	Heating degree-days °C-d	Cooling degree-days °C-d
Jan	24.2	83.5%	4.89	96.6	2.5	25.2	0	441
Feb	24.4	80.5%	4.99	96.6	2.6	25.6	0	404
Mar	24.4	82.5%	5.05	96.6	2.0	25.5	0	447
Apr	24.4	83.6%	4.88	96.6	1.8	25.3	0	431
May	24.1	83.1%	4.57	96.7	2.6	24.9	0	436
Jun	23.6	82.8%	4.34	96.7	2.8	24.2	0	407
Jul	23.2	79.7%	4.35	96.6	3.1	24.0	0	409
Aug	24.1	71.0%	4.95	96.8	3.2	25.3	0	436
Sep	25.2	65.9%	5.62	96.7	2.9	26.7	0	466
Oct	25.5	70.0%	5.66	96.7	2.1	27.0	0	480
Nov	24.6	80.7%	5.26	96.6	1.8	25.7	0	437
Dec	24.2	83.0%	4.67	96.6	2.2	25.2	0	441
Annual	24.3	78.9%	4.95	96.7	2.5	25.4	0	5,224
Source	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA
				Measured at	m	10	0	



## Hasil simulasi Retscreen International menggunakan manufaktur “Helios mono-Si-6T-245W”.

**Proposed case power system** Incremental initial costs

Technology: Photovoltaic

Analysis type:  Method 1  Method 2

Photovoltaic:

- Power capacity: kW 100.21 \$ 801,640
- Manufacturer: Helios
- Model: mono-Si - 6T 245W 409 unit(s)
- Capacity factor: % 15.0%

Electricity exported to grid: MWh 131.7

Electricity export rate: \$/MWh 420.00

---

**5 Emission Analysis**

Base case electricity system (Baseline)		GHG emission factor (excl. T&D)	T&D losses	GHG emission factor
Country - region	Fuel type	tCO2/MWh	%	tCO2/MWh
Canada	All types	0.196	5.0%	0.207

Electricity exported to grid: MWh 132 T&D losses 2.0%

**GHG emission**

Base case	tCO2	27.2
Proposed case	tCO2	0.5
Gross annual GHG emission reduction	tCO2	26.7
GHG credits transaction fee	%	
Net annual GHG emission reduction	tCO2	26.7

is equivalent to 4.9 Cars & light trucks not used

GHG reduction income: \$/tCO2

GHG reduction credit rate: \$/tCO2

## Proposed case power system

RETScreen Energy Model - Power project  Show alternative units

**Proposed case power system** Incremental initial costs

Technology: Photovoltaic

Analysis type:  Method 1  Method 2

Photovoltaic:

- Power capacity: kW 100.21 \$ 801,640 [See product database](#)
- Manufacturer: Helios
- Model: mono-Si - 6T 245W 409 unit(s)
- Capacity factor: % 15.0%

Electricity exported to grid: MWh 131.7

Electricity export rate: \$/MWh 420.00

## Emission analysis

**5 Emission Analysis**

Base case electricity system (Baseline)		GHG emission factor (excl. T&D)	T&D losses	GHG emission factor
Country - region	Fuel type	tCO2/MWh	%	tCO2/MWh
Canada	All types	0.196	5.0%	0.207

Electricity exported to grid: MWh 132 T&D losses 2.0%

**GHG emission**

Base case	tCO2	27.2
Proposed case	tCO2	0.5
Gross annual GHG emission reduction	tCO2	26.7
GHG credits transaction fee	%	
Net annual GHG emission reduction	tCO2	26.7

is equivalent to 4.9 Cars & light trucks not used

GHG reduction income: \$/tCO2

GHG reduction credit rate: \$/tCO2

## Hasil simulasi Retscreen International menggunakan manufaktur “Schott tipe poly-Si-Schott-poly 235W”.

The screenshot displays the RETScreen Energy Model interface. The main window shows the 'Proposed case power system' configuration for a Photovoltaic system. Key parameters include a power capacity of 100.11 kW, a manufacturer of Schott, and a model of poly-Si - SCHOTT POLY 235W. The system is configured with 428 units, a capacity factor of 15.0%, and an electricity export rate of \$420.00/MWh. The incremental initial cost is \$800,880. A pop-up window on the right provides detailed system settings, including System (Power), Technology (Photovoltaic), Type (poly-Si), Manufacturer (Schott), Model (poly-Si - SCHOTT POLY 235W), Capacity per unit (235 W), Number of units (428), and Capacity (100,110 W). It also lists an efficiency of 14.04% and a frame area of 1.67 m².

**Emission Analysis Summary:**

Country - region	Fuel type	GHG emission factor (excl. T&D)		T&D losses %	GHG emission factor tCO2/MWh
		tCO2/MWh	%		
Canada	All types	0.196	5.0%		0.207

Electricity exported to grid: 132 MWh, T&D losses: 2.0%.

**GHG Emission Reduction:**

Category	Unit	Value
Base case	tCO2	27.2
Proposed case	tCO2	0.5
Gross annual GHG emission reduction	tCO2	26.6
GHG credits transaction fee	%	
Net annual GHG emission reduction	tCO2	26.6

Net annual GHG emission reduction is equivalent to 4.9 Cars & light trucks not used.

GHG reduction credit rate: \$/tCO2.

## Proposed case power system

RETScreen Energy Model - Power project  Show alternative units

**Proposed case power system** **Incremental initial costs**

Technology: Photovoltaic

Analysis type:  Method 1  Method 2

Photovoltaic: Power capacity: 100.11 kW, Manufacturer: Schott, Model: poly-Si - SCHOTT POLY 235W, Capacity factor: 15.0%, Electricity exported to grid: 131.5 MWh, Electricity export rate: \$420.00/MWh, Incremental initial cost: \$800,880. [See product database](#)

## Emission analysis

**Emission Analysis**

Country - region	Fuel type	GHG emission factor (excl. T&D)		T&D losses %	GHG emission factor tCO2/MWh
		tCO2/MWh	%		
Canada	All types	0.196	5.0%		0.207

Electricity exported to grid: 132 MWh, T&D losses: 2.0%.

**GHG Emission:**

Category	Unit	Value
Base case	tCO2	27.2
Proposed case	tCO2	0.5
Gross annual GHG emission reduction	tCO2	26.6
GHG credits transaction fee	%	
Net annual GHG emission reduction	tCO2	26.6

Net annual GHG emission reduction is equivalent to 4.9 Cars & light trucks not used.

GHG reduction income: \$/tCO2.