

PERANCANGAN DAN ANALISIS PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA KAPASITAS 10 MW ON GRID DI YOGYAKARTA

Sigit Sukmajati; Mohammad Hafidz
Jurusan Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknik PLN

Abstract

Solar energy (solar) provides many benefits to human life. One of the utilization of solar energy that can be done is in the form of Solar Power Generation (PLTS). In this thesis will design of a solar cell power system with a capacity of 10 MW on-grid with location in Yogyakarta. Performance solar cell power system 10 MW on-grid simulated using software RETScreen Clean Energy Project Analysis Software, which was designed by Natural Resources Canada. The project began with a prefeasibility study of the solar cell power system 10 MW on-grid using RETScreen software that has an extensive database of meteorological data including daily global horizontal solar radiation and also databases of various components of renewable energy systems from different manufacturers. Technical and financial performance of the solar cell power system 10 MW on-grid simulated using RETScreen software. Preliminary analysis of the simulation results show that this project is socially beneficial to the community. The draft is expected to be used as a model to develop a network of Solar Power System (PLTS).

Keywords: Solar energy, solar cell, RETScreen,

Abstrak

Energi matahari (surya) banyak memberikan manfaat bagi kehidupan manusia. Salah satu pemanfaatan energi surya yang bisa dilaksanakan adalah dalam bentuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Pada Tesis ini akan di rancang suatu sistem tenaga listrik solar cell dengan kapasitas 10 MW on-grid yang berlokasi di sekitar wilayah D.I. Yogyakarta. Kinerja sistem tenaga listrik solar cell 10 MW on-grid disimulasikan dengan menggunakan software RETScreen Clean Energy Project Analysis software, yang dirancang oleh Natural Resources Canada. Proyek ini dimulai dengan studi prefeasibility sistem tenaga listrik solar cell 10 MW on-grid menggunakan software RETScreen yang memiliki database yang luas dari data meteorologi termasuk radiasi global harian horisontal surya dan juga database berbagai komponen sistem energi terbarukan dari produsen yang berbeda. Kinerja teknis dan finansial dari sistem tenaga listrik solar cell 10 MW on-grid disimulasikan dengan menggunakan software RETScreen. Analisis awal dari hasil simulasi menunjukkan bahwa proyek ini secara sosial bermanfaat bagi masyarakat. Rancangan ini diharapkan dapat digunakan sebagai model untuk mengembangkan jaringan Sistem Tenaga Listrik Tenaga Surya (PLTS).

Kata kunci : Energi surya, solar cell, RETScreen,

A. PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Tenaga listrik merupakan salah satu jenis energi yang sangat diperlukan dalam pembangunan. Oleh karena itu dengan pertumbuhan ekonomi yang diperkirakan sekitar 7%-10% per tahun sampai tahun 2025, konsumsi listrik Indonesia akan meningkat dengan cepat.

Kebutuhan tenaga listrik di Indonesia mencapai sekitar 120 GW pada tahun 2025. Untuk memenuhi kebutuhan tenaga listrik ini sesuai Kebijakan Energi Nasional (Kepres No. 5 Tahun 2006) harus dikembangkan berbagai energi alternatif termasuk energi terbarukan, yang ditargetkan mencapai lebih dari 17% dari pangsa energi primer nasional.

Energi baru dan terbarukan mempunyai peran yang sangat penting dalam memenuhi

kebutuhan energi. Hal ini disebabkan penggunaan bahan bakar untuk pembangkit-pembangkit listrik konvensional dalam jangka waktu yang panjang akan menguras sumber minyak bumi, gas dan batu bara yang makin menipis dan juga dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan.

Energi surya merupakan energi yang potensial dikembangkan di Indonesia, mengingat Indonesia merupakan negara yang terletak di daerah khatulistiwa. Energi surya yang dapat dibangkitkan untuk seluruh daratan Indonesia yang mempunyai luas 2 juta km² adalah 4,8 kWh/m²/hari atau setara dengan 112.000 GWp yang didistribusikan. Oleh karena itu energi surya memiliki keunggulan - keunggulan dibandingkan dengan energi fosil, diantaranya:

1. Sumber energi yang mudah didapatkan.
2. Ramah lingkungan.
3. Sesuai untuk berbagai macam kondisi geografis.
4. Instalasi, pengoperasian dan perawatan mudah.
5. Listrik dari energi surya dapat disimpan dalam baterai.

Berkaitan dengan potensi pengembangan PLTS yang prospektif, penelitian ini bermaksud untuk merancang sistem tenaga listrik *solar cell* (PV Cell) dengan kapasitas 10 MW di Indonesia saat ini dan peluangnya di masa depan.

2. Rumusan Masalah

Untuk merancang suatu system Pembangkit Listrik Tenaga Surya dengan kapasitas 10 MW diperlukan kajian dan analisis yang mendalam dan teliti serta komprehensif. Kajian tersebut meliputi :

1. Berapa modul PV Cell yang dibutuhkan untuk membangkitkan listrik 10 MW?
2. Berapa luas lahan terbuka yang diperlukan untuk menggelar modul-modul PV Cell?
3. Konfigurasi Sistem yang sesuai
4. Komponen dan peralatan yang dibutuhkan
5. Perhitungan efisiensi, losses, energi yields dan analisis finansialnya.

3. Ruang Lingkup Penelitian

Di dalam penelitian ini maka batasan masalahnya adalah bahwa perancangan PLTS 10 MW on-grid hanya di wilayah DI. Yogyakarta. Analisis menggunakan software PVSyst dan RETScreen untuk simulasi.

4. Tujuan Penelitian

Untuk merancang sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PV Cell) dengan kapasitas 10 MW On Grid yang terletak disekitar wilayah D.I. Yogyakarta.

5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini dapat menjadi acuan bagi semua pihak yang ingin mengembangkan penggunaan energi baru dan terbarukan khususnya energi surya, dan pihak yang membutuhkan pengetahuan tentang rancangan sistem tenaga listrik *solar cell*.

F. TINJAUAN PUSTAKA

1. Energi Surya

Kebutuhan energi dunia akhir-akhir ini sangat meningkat tajam, terutama dengan munculnya negara-negara industri raksasa. Fakta menunjukkan konsumsi energi terus meningkat sejalan dengan laju pertumbuhan ekonomi dan penambahan penduduk. Terbatasnya sumber energi fosil menyebabkan perlunya pengembangan energi terbarukan dan konservasi energi.

Yang dimaksud dengan energi terbarukan di sini adalah energi non-fosil yang berasal dari alam dan dapat diperbaharui. Bila dikelola dengan baik, sumber daya itu tidak akan habis. Di Indonesia pemanfaatan energi terbarukan dapat digolongkan dalam tiga kategori. Yang pertama adalah energi yang sudah dikembangkan secara komersial, seperti biomassa, panas bumi dan tenaga air.

Energi surya yang dapat dibangkitkan untuk seluruh daratan Indonesia yang mempunyai luas 2 juta km² adalah sebesar 4,8 kWh/m²/hari atau setara dengan 112.000 GWp yang didistribusikan. Indonesia memanfaatkan baru sekitar 10 MWp, sehingga masih banyak dibutuhkan dan dibangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di wilayah Indonesia untuk dapat menghasilkan listrik.

2. Radiasi Matahari

Radiasi matahari adalah sinar yang dipancarkan dari matahari kepermukaan bumi, yang disebabkan oleh adanya emisi bumi dan gas pijar panas matahari. Radiasi dan sinar matahari dipengaruhi oleh berbagai hal sehingga pancarannya yang sampai dipermukaan bumi sangat bervariasi.

2.1. Geometri Radiasi Matahari

Untuk mengetahui energi radiasi yang jatuh pada permukaan bumi dibutuhkan beberapa parameter letak kedudukan dan posisi matahari, hal ini perlu untuk mengkonversikan harga fluks berkas yang diterima dari arah matahari menjadi hubungan harga ekuivalen ke arah normal permukaan.

Berikut ini adalah beberapa definisi yang digunakan, antara lain :

1. Sudut datang θ adalah sudut antara sinar datang dengan normal pada permukaan pada sebuah bidang
2. Sudut latitude ϕ pada suatu tempat adalah sudut yang dibentuk oleh garis radial ke pusat bumi pada suatu lokasi dengan proyeksi garis pada bidang equator. Sudut deklinasi berubah harga maksimum +23,450 pada tanggal 21 juni ke harga minimum -23,450 pada tanggal 21 desember. Deklinasi 00 terjadi pada tanggal 21 maret dan 22 desember.
3. Sudut Zenit θ_z adalah sudut yang dibuat oleh garis vertikal ke arah zenit dengan garis ke arah titik pusat matahari.
4. Sudut Azimuth δ_z adalah sudut yang dibuat oleh garis bidang horizontal antara garis selatan dengan proyeksi garis normal pada bidang horizontal. Sudut azimuth positif jika normal adalah sebelah timur dari selatan dan negatif pada sebelah barat dan selatan.
5. Sudut latitude a adalah sudut yang di buat oleh garis ke titik pusat matahari dengan garis proyeksinya pada bidang horizontal.
6. Sudut kemiringan (*slope*) β adalah sudut kemiringan yang di buat oleh permukaan bidang dengan horizontal.

2.2. Intensitas Radiasi Surya

Karena adanya perubahan letak matahari terhadap bumi maka intensitas radiasi surya yang tiba di permukaan bumi juga berubah-ubah. Maka berkaitan dengan hal tersebut di atas radiasi surya yang tiba pada suatu tempat di permukaan bumi dapat kita bedakan menjadi 3 jenis. Ketiga jenis radiasi itu adalah:

1. Radiasi Langsung (*direct radiation*)
Intensitas radiasi langsung atau sorotan per jam pada sudut masuk normal I_{bn} dari persamaan berikut ini.

$$I_{bn} = \frac{I_b}{\cos \theta_z} \dots \dots \dots (1)$$

dimana I_b adalah radiasi sorotan pada sumbu permukaan horizontal dan $\cos \theta_z$ adalah sudut zenit. Dengan demikian, untuk suatu permukaan yang dimiringkan dengan sudut β terhadap bidang horizontal, intensitas dari komponen sorotan adalah

$$I_{bT} = I_{bn} \cos \theta_T = I_b \frac{\cos \theta_T}{\cos \theta_z} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana θ_T disebut sudut masuk, dan didefinisikan sebagai sudut antara arah sorotan pada sudut masuk normal dan arah komponen tegak lurus (90°) pada permukaan bidang miring.

2. Radiasi Sebaran (*diffuse radiation*)
Radiasi sebaran yang disebut juga radiasi langit (*sky radiation*), adalah radiasi yang dipancarkan ke permukaan penerima oleh atmosfer, dan karena itu berasal dari seluruh bagian hemisfer langit. Radiasi sebaran (langit) didistribusikan merata pada hemisfer (disebut distribusi isotropik), maka radiasi sebaran pada permukaan miring dinyatakan dengan :

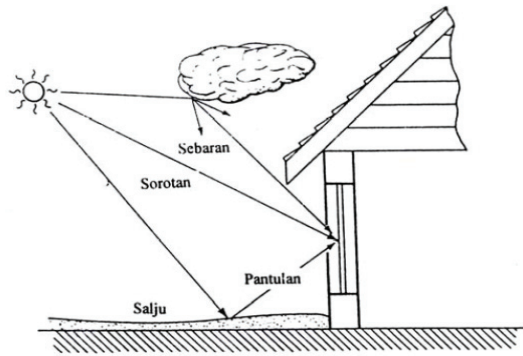
$$I_{dT} = I_d \left[\frac{1 + \cos \beta}{2} \right] \dots \dots \dots (3)$$

Dimana β adalah sudut miring dari permukaan miring dan I_d menunjukkan besarnya radiasi sebaran per jam pada suatu permukaan horizontal.

3. Radiasi Pantulan
Selain komponen radiasi langsung dan sebaran, permukaan penerima juga mendapatkan radiasi yang dipantulkan dari permukaan yang berdekatan, jumlah radiasi yang dipantulkan tergantung dari reflektansi α (albeldo) dari permukaan yang berdekatan itu, dan kemiringan permukaan yang menerima. Radiasi yang dipantulkan per jam, juga disebut radiasi pantulan.

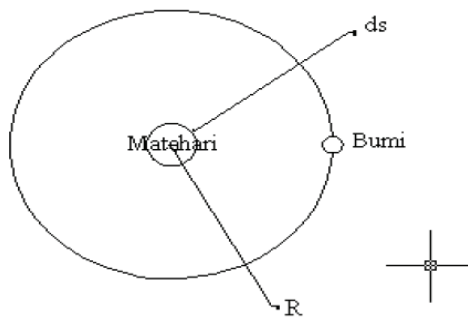
$$I_{yT} = \alpha (I_b + I_d) \left[\frac{1 - \cos \beta}{2} \right] \dots \dots \dots (4)$$

Dimana reflektansi α dianggap 0,20 – 0,25 untuk permukaan-permukaan tanpa salju dan 0,7 untuk lapisan salju yang baru turun, kecuali jika tersedia data yang lain.



Gambar 1. Jenis-jenis radiasi

Lapisan luar dari matahari yang disebut fotosfer memancarkan suatu spektrum radiasi yang kontinu. Untuk pembahasan ini cukup dianggap matahari sebagai sebuah benda hitam, sebuah radiator sempurna pada 5762 K. Dalam ilmu fotovoltaik dan studi mengenai permukaan tertentu, distribusi spektral adalah penting.



Gambar 2. Bola Surya

Dimana :

D_s = Diameter matahari

R = Jarak rata-rata matahari – bumi.

Radiasi yang dipancarkan oleh permukaan matahari, E_s , adalah sama dengan hasil perkalian konstanta Stefan-Boltzman σ , pangkat empat temperatur permukaan absolut T_s^4 dan luas permukaan πd_s^2 ,

$$E_s = \sigma \cdot \pi d_s^2 T_s^4 W \dots\dots\dots (5)$$

Dimana $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} W/(m^2.K^4)$, temperatur permukaan T_s dalam K, dan diameter matahari d_s dalam meter. dari gambar di atas dapat dilihat jari-jari R adalah sama dengan jarak rata-rata antara matahari dan bumi. Luas permukaan bumi adalah sama dengan $4\pi R^2$, dan fluksa radiasi pada satu satuan luas dari permukaan bola tersebut yang dinamakan iradiansi, menjadi

$$G = \frac{\sigma d_s^2 T_s^4}{4R^2} W/m^2 \dots\dots\dots (6)$$

Dengan garis tengah matahari $1,39 \times 10^9$ m, temperatur permukaan matahari 5762 K, dan jarak rata-rata antara matahari dan bumi sebesar $1,5 \times 10^{11}$ m, maka fluksa radiasi persatuan luas dalam arah yang tegak lurus pada radiasi tepat diluar atmosfer bumi adalah

$$G = \frac{5,67 \times 10^{-8} W/(m^2.K^4) \times (1,39 \times 10^9)^2 m^2 \times (5,762 \times 10^3)^4 K^4}{4 \times (1,5 \times 10^{11})^2 m^2} = 1353 W/m^2$$

Radiasi surya yang diterima pada satuan luasan di luar atmosfer tegak lurus permukaan matahari pada jarak rata-rata antara matahari dengan bumi disebut konstanta surya adalah $1353 W/m^2$ dikurangi intensitasnya oleh penyerapan dan pemantulan atmosfer sebelum mencapai permukaan bumi.

2.3. Intensitas Radiasi Surya Pada Bidang Permukaan

Bumi berevolusi pada sumbunya selama 365 hari, bumi juga berotasi pada sumbunya selama satu hari. Selama berevolusi dan berotasi pada sumbunya bumi mengalami kemiringan terhadap sumbu vertikalnya sebesar $23,5^\circ$.



Gambar 3. Deklinasi matahari, posisi pada musim panas

Pada gambar diatas (gambar 5) dapat dinyatakan di dalam suatu hubungan persamaan sebagai berikut :

$$\cos \theta = \sin \delta (\alpha - \beta) + \cos \delta \cdot \cos(\alpha - \beta) \cdot \cos \omega \dots\dots\dots (7)$$

(sumber "Tekhnologi Rekayasa Surya", Diterjemahkan oleh prof. Wiranto Arismunandar)

Dimana :

θ : Sudut sinar datang terhadap garis normal permukaan

δ : Sudut deklinasi

α : Garis lintang dari posisi alat

β : Kemiringan sudut permukaan dan alat

ω : Sudut waktu

Bila hasil perkalian intensitas surya yang diterima bumi dengan cosinus sudut sinar datang, maka besarnya laju energi yang diterima oleh suatu permukaan di bumi dengan luasan persegi dapat ditulis dengan persamaan.

$$\frac{q}{A} = G_T \cdot \cos \theta \dots\dots\dots (8)$$

(sumber "Teknologi Rekayasa Surya", Diterjemahkan oleh prof. Wiranto Arismunandar)

Dimana :

q : Laju energi, (W)

A : Satuan luas pada bidang, (m²)

G_T : Intensitas radiasi surya yang diterima oleh permukaan bumi, (W/m²)

θ : Sudut sinar datang

2.4. Prinsip Kerja Teknologi Tenaga Listrik Solar Cell (PV Cell)

Cahaya matahari dapat diubah menjadi energi listrik melalui modul surya yang terbuat dari bahan semikonduktor. Bahan semikonduktor, merupakan bahan semi logam yang memiliki partikel yang disebut elektron-proton, yang apabila digerakkan oleh energi dari luar akan membuat pelepasan elektron sehingga menimbulkan arus listrik dan pasangan elektron *hole*. Modul surya mampu menyerap cahaya sinar matahari yang mengandung gelombang elektromagnetik atau energi foton ini. Energi foton pada cahaya matahari ini menghasilkan energi kinetik yang mampu melepaskan elektron-elektron ke pita konduksi sehingga menimbulkan arus listrik. Energi kinetik akan makin besar seiring dengan meningkatnya intensitas cahaya dari matahari. Intensitas cahaya matahari tertinggi diserap bumi di siang hari sehingga menghasilkan tenaga surya yang diserap bumi ada sekitar 120.000 terra Watt. Jenis logam yang digunakan juga akan menentukan kinerja daripada sel surya.

2.5. Komponen Sistem PV

2.5.1. Solar Cell (PV Cell)

Photovoltaic adalah alat yang dapat mengkonversi cahaya matahari secara langsung untuk diubah menjadi listrik. Kata *photovoltaic* biasa disingkat dengan PV[4]. Bahan semikonduktor seperti *silicon*, *gallium arsenide*, dan *cadmium telluride* atau *copper indium deselenide* biasanya digunakan sebagai bahan bakunya. *Solar cell crystalline* biasanya digunakan secara luas untuk pembuatan *solar cell* ⁵.

Jenis kristal solar cell (PV cell) yang banyak dipasaran adalah tipe :

- Monocrystalline solar panels** : menggunakan silicon murni yang dihasilkan dengan proses *crystal-growth* yang cukup rumit dengan ketebalan sekitar 0.2 – 0.4 mm. Efisiensinya cukup tinggi berkisar 13 – 19 %.
- Polycrystalline solar panels** : kadang-kadang disebut dengan *multi-crystalline*, panel surya dibuat dari *Polycrystalline cells* yang lebih murah dan efisiensinya masih dibawah *mono-crystalline*, berkisar 11 – 15 %.
- Amorphous solar panels** : jenis ini tidak merupakan kristal yang real, tetapi berupa lapisan tipis silikon yang dideposit diatas base material seperti metal atau gelas yang bentuk permukaannya bebas. Efisiensinya lebih kecil, yaitu sekitar 5 – 8 %.

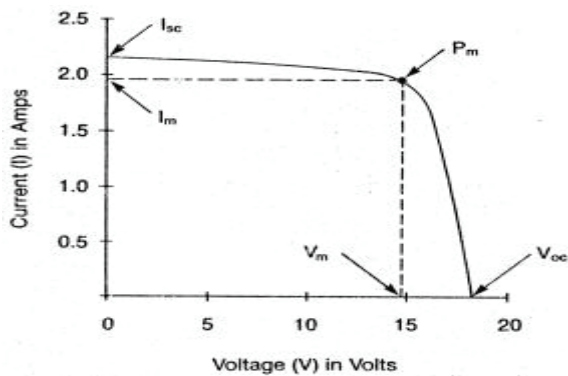
Jenis solar (PV) cell yang lebih lengkap tercantum pada Tabel 1, dimana tercantum juga luas area cell yang diperlukan untuk menghasilkan daya sebesar 1 kWp.

Tabel 1. Material solar cell dan efisiensinya

CELL MATERIAL	MODULE EFFICIENCY	SURFACE AREA NEED FOR 1 kWp
Monocrystalline silicon	13–19%	5–8 m ² 
Polycrystalline silicon	11–15%	7–9 m ² 
Micromorphous tandem cell (a-Si/μc-Si)	8–10%	10–12 m ² 
Thin film copper-indium/gallium-sulfur/disenide (CI/GS/Se)	10–12%	8–10 m ² 
Thin-film cadmium telluride (CdTe)	9–11%	9–11 m ² 
Amorphous silicon (a-Si)	5–8%	13–20 m ² 

Sebuah Sel Surya dalam menghasilkan energi listrik (energi sinar matahari menjadi photon) tidak tergantung pada besaran luas bidang Silikon, dan secara konstan akan menghasilkan energi berkisar ± 0.5 volt - max 600 mV pada 2 amp[3], dengan kekuatan radiasi solar matahari 1000 W/m² = "1 Sun" akan menghasilkan arus listrik (I) sekitar 30 mA/cm² per sel surya³.

Pada grafik I-V Curve dibawah yang menggambarkan keadaan sebuah Sel Surya beroperasi secara normal. Sel Surya akan menghasilkan energi maximum jika nilai V_m dan I_m juga maximum. Sedangkan I_{sc} adalah arus listrik maximum pada nilai volt = nol; I_{sc} berbanding langsung dengan tersedianya sinar matahari. V_{oc} adalah volt maximum pada nilai arus nol; V_{oc} naik secara logaritma dengan peningkatan sinar matahari, karakter ini yang memungkinkan Sel Surya untuk mengisi accu.



Sumber: Strong, Steven J,
The Solar Electric House, p.58
Gambar 4. Grafik I-V Curve

Dimana:

I_{sc} = short-circuit current

V_{sc} = open-circuit voltage

V_m = voltage maximum power

I_m = current maximum power

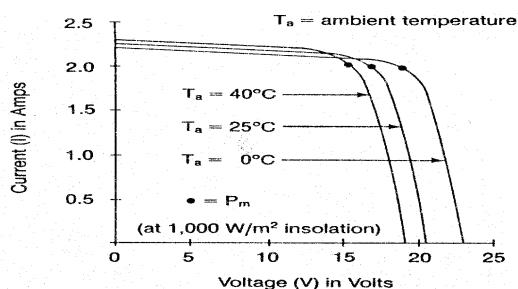
P_m = Power maximum-output dari PV array (watt)

2.5.1.1. Faktor Pengoperasian Sel Surya

Pengoperasian maximum Sel Surya sangat tergantung pada :

a. Ambient air temperature

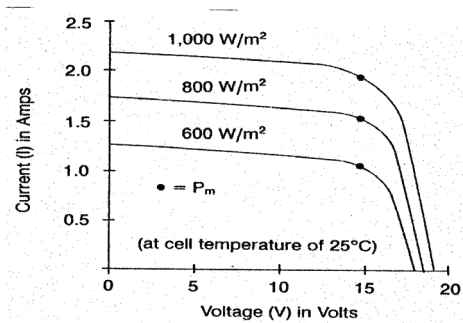
Sebuah Sel Surya dapat beroperasi secara maximum jika temperatur sel tetap normal (pada 25 derajat Celsius), kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperature normal pada PV sel akan melemahkan voltage (V_{oc}). Setiap kenaikan temperatur Sel Surya 1 derajat celsius (dari 25 derajat) akan berkurang sekitar 0.4 % pada total tenaga yang dihasilkan[3] atau akan melemah 2x lipat untuk kenaikan temperatur Sel per 10 derajat C.



Gambar 5. Effect of Cell Temperature on Voltage (V)

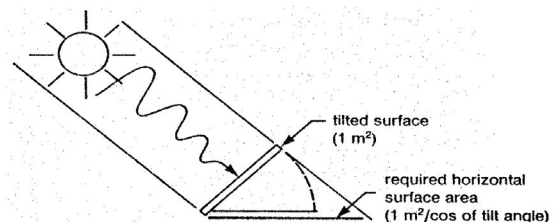
b. Radiasi solar matahari (*insolation*)

Radiasi solar matahari di bumi dan berbagai lokasi bervariasi, dan sangat tergantung keadaan spektrum solar ke bumi. Insolation solar matahari akan banyak berpengaruh pada current (I) sedikit pada volt.



Gambar 6. Effect of Insolation Intensity on Current (I)

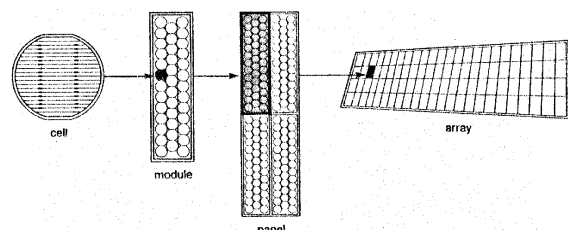
- c. Kecepatan angin bertiup
- d. Keadaan atmosfer bumi
- e. Orientasi panel atau array PV
- f. Posisi letak sel surya (*array*) terhadap matahari (*tilt angle*)



Gambar 7. Extra Luasan Panel PV dalam posisi datar

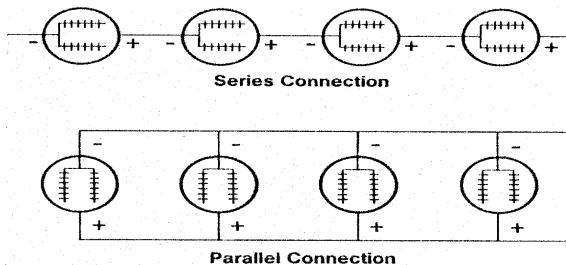
2.5.1.2. Rangkaian Photovoltaics (PV) Generator

Agar dapat memperoleh sejumlah voltage atau ampere yang dikehendaki, maka umumnya masing-masing sel surya dikaitkan satu sama lainnya baik secara hubungan "seri" ataupun secara "pararel" untuk membentuk suatu rangkaian PV yang lazim disebut "Modul". Sebuah modul PV umumnya terdiri dari 36 sel surya atau 33 sel, dan 72 sel. Beberapa modul pv dihubungkan untuk membentuk satu rangkaian tertentu disebut "PV Panel", sedangkan jika berderet-deret modul pv dihubungkan secara baris dan kolom disebut "PV Array".



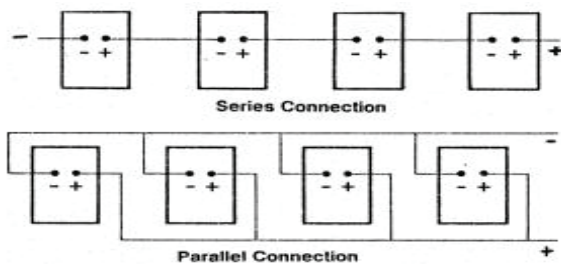
Gambar 8. Diagram Hubungan Sel Surya, Modul, Panel & Array

Hubungan sel-sel surya dalam Modul dapat dilakukan secara "Seri" untuk mendapatkan varian voltage umumnya 12V, dan secara "Pararel" untuk mendapatkan varian "Arus Listrik" (current).



Gambar 9. Diagram Rangkaian Sel Surya (PV sel) dalam Modul

Hubungan Modul-modul PV pada Array juga dapat dihubungkan secara "Seri" untuk mendapatkan voltage yang tinggi, dan dihubungkan secara "Pararel" untuk mendapatkan amps yang besar.



Gambar 10. Diagram Rangkaian Modul PV dalam Array.

"Seri" — 4 modul pv @ 12 volt, 2 amp dihubungkan secara seri akan mendapatkan 48 volt, 2 amp.

"Pararel" — 4 modul pv @ 12 volt, 2 amp dihubungkan secara seri akan mendapatkan 12 volt, 8 amp

2.5.1.3. Beberapa Cara Peletakan modul PV

Agar dapat memperoleh energi optimum dari sisi peletakkan modul/deretan PV baik pada unit perumahan maupun bangunan komersial, maka ada 5 cara peletakkan deretan/modul PV:

1. Fixed Array

"Latitude Angle Location + 23 derajat "

Padahal sudut "altitude" dari matahari berubah secara konstan dalam hitungan hari dalam setahun, maka sudut deklinasi harus diperhitungkan untuk posisi matahari, yaitu posisi tepat-->

desember 21 = - 23.45 derajat

maret 21 = 0 derajat
juni 21 = + 23.45 derajat
september 21 = 0 derajat

maka untuk "Tilt Angle" berdasarkan sudut altitude matahari pada suatu lokasi dalam suatu waktu :

Altitude Angle = 90 derajat - latitude angle + declination angle

Atau untuk suatu lokasi yang energi radiasi hampir konstan dalam setahun (sangat dekat ke Equator) maka dapat juga pakai rumus ini untuk "Tilt Angle" optimum fixed arrays, :

Latitude + 15 derajat

Disamping menemukan "tilt angle" optimum, maka deretan modul-modul PV tetap diarahkan ke Utara untuk lokasi di latitude Selatan, dan sebaliknya.

2. Seasonally Adjusted Tilting

Deretan modul PV dapat dirubah secara manual sesuai waktu (Maret/Juni/Sept./Des.) yang dikehendaki untuk pengoptimalan "tilt angle". Untuk lokasi yang terletak pada "Midlatitude" dapat mengubah sudut modul PV setiap 3 bulan, dan akan meningkatkan produksi energi surya $\pm 5\%$.

3. One Axis Tracking

Panel modul PV dapat mengikuti lintasan pergerakan matahari dari Timur ke Barat secara otomatis; akan mendapatkan efisiensi $\pm 20\%$ dibandingkan Fixed Arrays.

4. Two Axis Tracking

Panel modul PV dapat mengikuti lintasan pergerakan matahari dari Timur ke Barat serta orientasi Utara-Selatan secara otomatis; akan mendapatkan efisiensi $\pm 40\%$ dibandingkan Fixed Arrays.

5. Concentrator Arrays

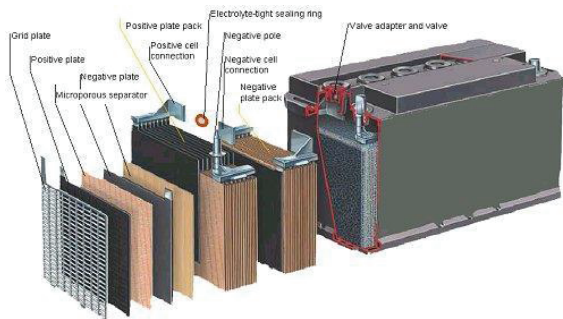
Deretan lensa optik dan cermin yang menfokuskan pada suatu area Sel Surya (PV) efisiensi tinggi.



Gambar 11. Concentrator Arrays

2.5.2. Baterai / Aki

Baterai atau aki adalah penyimpan energi listrik pada saat matahari tidak ada. Secara garis besar, baterai dibedakan berdasarkan aplikasi dan konstruksinya. Berdasarkan aplikasi maka baterai dibedakan untuk automotif, marine dan deep cycle. Sedangkan secara konstruksi maka baterai dibedakan menjadi type basah, gel dan AGM (Absorbed Glass Mat). Baterai jenis AGM biasanya juga dikenal dgn VRLA (Valve Regulated Lead Acid). Baterai yang cocok digunakan untuk PV adalah baterai *deep cycle lead acid* yang mampu menampung kapasitas 100 Ah, 12 V, dengan efisiensi sekitar 80%. Waktu pengisian baterai/aki selama 12 jam - 16 jam.



Gambar 12. Baterai / Aki sebagai penyimpan energi listrik

2.5.3. Solar Charge Controller

Solar Charge Controller adalah peralatan elektronik yang digunakan untuk mengatur arus searah yang diisi ke baterai dan diambil dari baterai ke beban. *Solar charge controller* mengatur *overcharging* (kelebihan pengisian - karena baterai sudah 'penuh') dan kelebihan tegangan dari panel surya / solar cell. Kelebihan tegangan dan pengisian akan mengurangi umur baterai.

Panel surya / solar cell 12 Volt umumnya memiliki tegangan output 16 - 21 Volt. Baterai umumnya di-charge pada tegangan 14 - 14.7 Volt. Jadi tanpa *solar charge controller*, baterai akan rusak oleh *over-charging* dan ketidakstabilan tegangan.

Beberapa fungsi detail dari *solar charge controller* adalah sebagai berikut:

- Mengatur arus untuk pengisian ke baterai, menghindari *overcharging*, dan *over-voltage*.
- Mengatur arus yang dibebaskan/ diambil dari baterai agar baterai tidak '*full discharge*', dan *overloading*.
- *Monitoring* temperatur baterai

Untuk membeli *solar charge controller* yang harus diperhatikan adalah:

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

Solar Charge Controller biasanya terdiri dari : 1 input (2 terminal) yang terhubung dengan output panel surya/solar cell, 1 output (2 terminal) yang terhubung dengan baterai /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 '*diode protection*' yang hanya melewatkan arus listrik DC dari panel surya/solar cell ke baterai, bukan sebaliknya.



Gambar 13. Solar charge controller

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 to DC (*Direct Current*). 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.

2.5.4. Inverter

Inverter merupakan rangkaian elektronika daya yang berfungsi sebagai pengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC) dengan menggunakan metode *switching* dengan frekuensi tertentu. *Switching* itu

sendiri adalah proses perpindahan antara kondisi ON dan OFF ataupun sebaliknya.

Jenis-jenis inverter

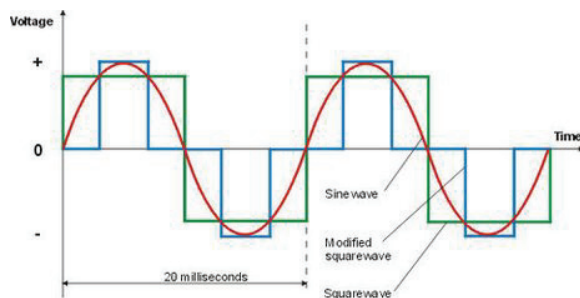
Jenis jenis inverter DC ke AC berdasarkan jumlah fasa *output inverter* dapat dibedakan sebagai berikut :

- a. Inverter 1 fasa
Inverter dengan output 1 fasa
- b. Inverter 3 fasa
Inverter dengan output 3 fasa

Jenis jenis inverter berdasarkan pengaturan tegangannya :

- a. *Voltage Fed Inverter (VFI)*
Inverter dengan tegangan *input* yang diatur konstan
- b. *Current fed Inverter (CFI)*
Inverter dengan arus *input* yang diatur konstan
- c. *Variable DC linked inverter*
Inverter dengan tegangan *input* yang dapat diatur

Jenis jenis inverter berdasarkan bentuk gelombang outputnya :



Gambar 14. Bentuk gelombang inverter

- a. Square sine wave inverter
- b. Modified sine wave inverter
- c. Pure sine wave inverter
- d. Grid Tie Inverter

2.6. Aplikasi Pemanfaatan PLTS

Terdapat empat aplikasi utama dalam pemanfaatan PLTS¹ yaitu :

2.6.1. Sistem Off-grid Domestic

Sistem *Off-grid domestic* menyediakan listrik untuk rumah tangga dan desa-desa yang tidak terhubung jaringan listrik. Biasanya sistem ini berfungsi untuk menyediakan listrik untuk penerangan atau beban berdaya rendah. Sistem *Off-grid domestic* ini telah digunakan hampir diseluruh dunia dan merupakan teknologi yang tepat untuk memenuhi tenaga listrik bagi masyarakat yang jauh dari jaringan listrik.

Kecenderungan pemanfaatan sistem ini secara komunal saat ini sering dijumpai dengan kapasitas terpasang minimal 1 kW dan dapat disalurkan ke beban dengan jarak sekitar 1 sampai 2 km sehingga dapat membentuk mini *grid* di suatu perdesaan.



Gambar 15. Sistem Off-grid domestic

2.6.2. Sistem Off-grid non domestic

Sistem *Off-grid non domestic* merupakan aplikasi secara komersial. Dimana pemanfaatannya dipergunakan secara luas untuk berbagai aplikasi seperti untuk telekomunikasi, pompa air, bantuan navigasi, dan lain-lain.



Gambar 16. Sistem Off-grid non domestic

2.6.3. Sistem On-Grid Distributed

Sistem *On-Grid distributed* biasanya digunakan untuk menyediakan tenaga listrik ke *grid-connected customer* atau secara langsung terhubung ke jaringan listrik. Yang menjadi ciri utama sistem ini adalah dihubungkannya beban ac ke jaringan distribusi listrik yang dimiliki oleh perusahaan listrik.



Gambar 17. Sistem Grid-connected distributed

2.6.4. Sistem Grid-connected Centralized

Sistem On-Grid terpusat merupakan suatu pembangkit listrik terpusat. Daya yang dihasilkan pembangkit ini tidak tersambung langsung ke pelanggan, melainkan ke suatu sistem jaringan tenaga listrik. Biasanya sistem ini memiliki daya terpasang yang cukup besar.



Gambar 18. Sistem Grid-connected centralized

2.7. Perkembangan Teknologi Solar Cell

Dengan tujuan untuk mencapai pengurangan biaya yang signifikan dan peningkatan efisiensi, bagian R&D secara berkesinambungan terus memperbaiki baik teknologi yang ada sekarang maupun teknologi yang baru berkembang. Pada tabel-tabel berikut dibawah ini menginformasikan target teknologi sistem solar cell secara spesifik, diharapkan penggunaan energi dan material dalam proses pabrikan akan lebih efisien secara signifikan.

Tabel 2. Target teknologi dan key R&D issues untuk crystalline silicon

Crystalline silicon technologies	2010 – 2015	2015 – 2020	2020 – 2030 / 2050
Efficiency targets in % (commercial modules)	- Single-crystalline: 21% - Multi-crystalline: 17%	- Single-crystalline: 23% - Multi-crystalline: 19%	- Single-crystalline: 25% - Multi-crystalline: 21%
Industry manufacturing aspects	Si consumption < 5 grams / Watt (g/W)	Si consumption < 3 g/W	Si consumption < 2 g/W
Selected R&D areas	- New silicon materials and processing - Cell contacts, emitters and passivation	- Improved device structures - Productivity and cost optimisation in production	- Wafer equivalent technologies - New device structures with novel concepts

Tabel 3. Target teknologi dan key R&D issues untuk thin film

Thin film technologies	2010 – 2015	2015 – 2020	2020 – 2030
Efficiency targets in % (commercial modules)	- Thin film Si: 10% - Copper indium gallium (di)selenide (CIGS): 14% - Cadmium-telluride (CdTe): 12%	- Thin film Si: 12% - CIGS: 15% - CdTe: 14%	- Thin film Si: 15% - CIGS: 18% - CdTe: 15%
Industry manufacturing aspects	- High rate deposition - Roll-to-roll manufacturing - Packaging	- Simplified production processes - Low cost packaging - Management of toxic materials	- Large high-efficiency production units - Availability of manufacturing materials - Recycling of modules
Selected R&D areas	- Large area deposition processes - Improved substrates and transparent conductive oxides	- Improved cell structures - Improved deposition techniques	Advanced materials and concepts

Tabel 4. Prospek dan key R&D issues untuk teknologi concentrating PV emerging dan novel

	Concentrating PV	Emerging technologies	Novel technologies
Type of cell	High cost, super high efficiency	Low cost, moderate performance	Very high efficiency Full spectrum utilisation
Status and potential	23% alternating-current (AC) system efficiency demonstrated Potential to reach over 30% in the medium-term	Emerging technologies at demonstration level (e.g. polymer PV, dye PV, printed CIGS) First applications expected in niche market applications	Wide variety of new conversion principle and device concepts at lab level Family of potential breakthrough technologies
Selected R&D areas	Reach super high efficiency over 45% Achieve low cost, high-performance solutions for optical concentration and tracking	Improvement of efficiency and stability to the level needed for first commercial applications Encapsulation of organic-based concepts	Proof-of-principle of new conversion concepts Processing, characterisation and modelling of especially nano-structured materials and devices

G. METODOLOGI PENELITIAN

Proyek ini dimulai dengan tinjauan literatur sistem solar cell. Hal ini diikuti oleh pra studi kelayakan sederhana (menggunakan RETScreen) untuk mendapatkan gambaran tentang jumlah energi yang akan dihasilkan oleh sistem, memperkirakan total area yang diperlukan untuk instalasi sistem dan akses ekonomi keseluruhan proyek. Sebuah rancangan sistem solar cell on-grid hingga prosedur standar dikembangkan yang dapat digunakan untuk meniru desain sistem solar cell on-grid skala besar.

Draft Prosedur terdiri dari langkah-langkah berikut;

1. Pengkajian data radiasi matahari untuk lokasi dari berbagai lembaga yang membantu untuk memperkirakan jumlah listrik yang dihasilkan. Kebanyakan simulasi perangkat lunak juga memiliki data radiasi matahari yang dapat digunakan untuk tujuan yang sama ini.
2. Pengkajian solar farm
3. Pengkajian sistem aplikasi PLTS.
4. Mendapatkan informasi dan pemilihan PV Cell, Inverter, Controller dan lain-lain yang dibutuhkan dalam PLTS dari berbagai sumber. Informasi ini mencakup spesifikasi teknis secara lengkap dari masing-masing peralatan.
5. Mendapatkan penggunaan lahan peta lokasi yang digunakan untuk proyek tersebut. Dalam hal ini akan digunakan suatu lokasi di daerah Yogyakarta sekitaran Gunung Kidul.
6. Konfirmasi berbagai lokasi, penggunaan peta dan informasi yang diperlukan.
7. Mengidentifikasi akses jaringan dan kebutuhan untuk koneksi jaringan.
8. Penilaian lahan dan orientasi lapangan.

9. Desain tata letak sistem untuk setiap PV Cell yang dipilih.

Simulasi kinerja teknis dan keuangan dari desain dilakukan dengan menggunakan perencanaan dan perangkat lunak RETScreen Clean Energi Project Analisis Software, yang dikembangkan oleh Natural Resources Canada. Draft Prosedur akan diperbarui berdasarkan dengan informasi yang dikumpulkan dari berbagai komponen desain sampai prosedur standar yang dapat digunakan untuk meniru desain sistem *solar cell on-grid* tersebut diperoleh.

Desain PLTS 10 MW on-grid

Desain PLTS 10 MW on-grid didasarkan pada prosedur yang dikembangkan dalam

metodologi. Dataset radiasi matahari yang digunakan dari data satelit *American Space Agency NASA* (digunakan dalam Software RETScreen). Komponen PV cell yang digunakan diarahkan menghadap ke Utara karena wilayah Yogyakarta berada disebelah selatan *equator*, dapat menerima radiasi dengan jumlah tertinggi. Penilaian komponen PV Cell kemudian dilakukan dengan informasi dari berbagai produsen dari mana komponen biaya yang paling efektif dipilih. Tabel 7 memberikan ringkasan dari beberapa parameter desain dasar yang digunakan dalam PLTS 10 MW on-grid.

Tabel 5. Parameter desain dasar PLTS 10 MW on-grid

Meteo Data	
Radiasi matahari harian horizontal	4.80kWh/m ² /day
PV Modul & Inverter	
Tipe Modul	Monocrystalline (mono-si LPC250SM)
Kapasitas modul	250Wp
PV Modul & Inverter	
Efisiensi Modul	15.6%
Total kapasitas terpasang	10000kWp
Jumlah modul	40000
Kapasitas Inverter	100kW
Inverter Efficiency	97%
Number of inverters	100

H. ANALISIS PERANCANGAN DAN ESTIMASI HASIL

Analisis hasil awal meliputi analisis teknis dan finansial untuk "Desain dan Analisis dari

Pembangkit Listrik Tenaga Surya 10 MW On-Grid" dan ini dilakukan dengan bantuan dua perencanaan dan simulasi software PC.

4.1 Analisis Teknikal

Tabel 6. Spesifikasi PV modul

Performance at Standard Test Conditions (STC) : Irradiance 1000 W/m ² , AM 1.5, and cell temperature 25 °C Maximum power		
Maximum power voltage	Vmp (V)	30.5
Maximum power current	Imp (A)	8.20
Open circuit voltage	Voc (V)	37.6
Short circuit current	Isc (A)	8.66
Module efficiency		15.62%

Performance at Standard Test Conditions (STC) : Irradiance 1000 W/m ² , AM 1.5, and cell temperature 25 °C Maximum power		
Maximum power		200
Maximum power voltage	V _{mp} (V)	30.9
Maximum power current	I _{mp} (A)	6.51
Open circuit voltage	V _{oc} (V)	37.6
Short circuit current	I _{sc} (A)	6.90

Pengukuran daya solar modul yang tercantum pada spesifikasi teknis hanya dapat dilakukan di laboratorium dengan mengikuti besaran Standar Internasional pengukuran *Output Solar Modul* sebagai berikut :

- *Illumination* (cahaya) 1 kW/ m² pada distribusi spectral AM 1,5
- *Temperature cell* 25°C
- Daya puncak solar modul W_p (Watt Peak)

Pada PLTS terpusat ini dengan *Array to Load Ratio* (ALR) sebesar 1, maka panel surya yang harus disediakan sejumlah 40000pcs.



Gambar 19. Sistem Proteksi

Untuk sistem proteksi menggunakan kabel *grounding* dari tembaga yang menghubungkan sistem panel langsung ke *ground* (tanah) dan *surger aresster* yang terdapat dalam *panel box*. Sehingga jika terjadi kelebihan muatan secara tiba-tiba, seperti petir, maka muatan tersebut langsung dinetralkan.

Pemilihan peta lokasi lahan yang digunakan adalah sekitar wilayah kabupaten gunung kidul. Secara geografis kabupaten gunung kidul terletak diantara 07°16'30" – 07°19'30" LS dan 110°19'30" – 110°25'30" BT dengan luas wilayah 1.485 km².

Pemilihan sistem aplikasi PLTS adalah sistem *on-grid* terpusat dengan asumsi lahan yang ada di kabupaten gunung kidul masih terdapat lahan luas yang bisa dimanfaatkan.

Tabel 7. Spesifikasi inverter

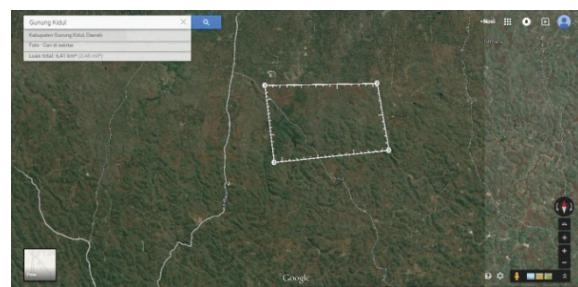
Type designation	PVS800-57-0100kW-A
	100 kW
Input (DC)	
Recommended max input power (PPV)	120 kW _p
DC voltage range, mpp (UDC)	450 to 750 V (- 825 V*)
Maximum DC voltage (U _{max} (DC))	900 V (1000 V*)
Maximum DC current (I _{max} (DC))	245 A
Voltage ripple	< 3%
Number of protected DC inputs (parallel)	1 (+/-) / 4

Type designation	PVS800-57-0100kW-A
Output (AC)	
Nominal AC output power (PN (AC))	100 kW
Nominal AC current (IN (AC))	195 A
Nominal output voltage (UN (AC))	300 V
Output frequency	50 / 60 Hz
Harmonic distortion, current	< 3%
Power factor compensation (cosφ)	Yes
Distribution network type	TN and IT
Efficiency	
Maximum	98.0%
Euro-eta	97.5%
Power consumption	
Own consumption in operation	< 350 W
Standby operation consumption	< appr. 55 W
External auxiliary voltage	230 V, 50 Hz
Dimensions and weight	
Width / Height / Depth, mm (W / H / D)	1030 / 2130 / 644
Weight appr.	550 kg

Kemudian analisis teknis dilakukan dengan bantuan software PVSYST, paket perangkat lunak PC untuk studi, ukuran, simulasi dan analisis data dari sistem PV lengkap. Perangkat lunak ini memiliki database yang luas dari data meteorologi untuk lokasi yang berbeda, komponen sistem dan spesifikasi produsen dan mensimulasikan kinerja system PV, dengan mempertimbangkan berbagai kemungkinan kerugian.

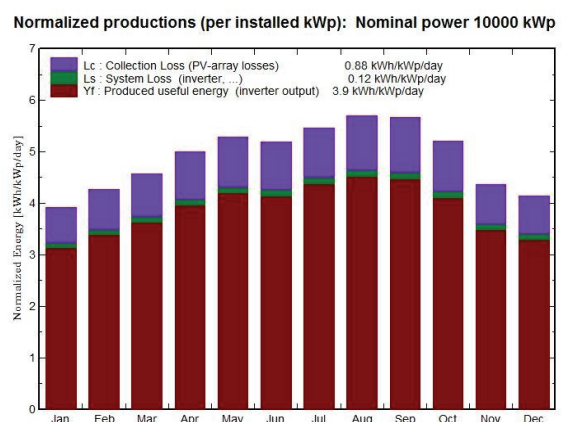
Simulasi dari software ini dapat menentukan PV modul yang digunakan dengan spesifikasi lengkap dari berbagai produsen, inverter, sudut kemiringan dari modul PV dan radiasi yang diterima oleh modul PV tersebut, *shading*, peletakan PV modul serta konfigurasi, jumlah dari PV modul, jumlah inverter, dan sebagainya. Sehingga akan menghasilkan energi maksimal dan luas wilayah yang dibutuhkan.

Hasil simulasi menunjukkan penempatan *solar cell (PV cell)* dipasang dengan kemiringan 15° menghadap ke utara akan menghasilkan energi yang maksimal. PV modul yang dibutuhkan adalah 40000 modul, inverter 100 buah dengan kapasitas masing-masing inverter 100 kW. Luas lahan yang dibutuhkan adalah 64026 m² atau sekitar 6,4 hektar. Dengan *shading* 0, karena perancangan diasumsikan sistem *on-grid* terpusat sehingga peletakan PV dilahan terbuka. Asumsi lahan peta lokasi seperti gambar 4.2 dibawah.



Gambar 20. Peta lokasi lahan untuk sistem tenaga listrik 10 MW on-grid

Hasil simulasi menunjukkan bahwa, total energi yang dihasilkan oleh PLTS 10 MW on-grid diperkirakan 14237 MWh/tahun. Gambar 33 menunjukkan rata-rata menghasilkan energi bulanan untuk sistem.



Gambar 21. Hasil rata-rata energi bulanan

Rasio kinerja (*Performance Ratio*) didefinisikan sebagai jumlah aktual energi PV dikirimkan ke grid pada suatu periode tertentu, dibagi dengan jumlah teoritis menurut STC data modul. Rasio kinerja 79,6% dan dianggap sistem berkinerja sangat baik.

Tabel 8. Ringkasan hasil simulasi

Grid-Connected System: Main results				
Project :	proyek 10 mw di yogyakarta			
Simulation variant :	New simulation variant			
Main system parameters				
System type	Grid-Connected			
PV Field Orientation	tilt	15°	azimuth	0°
PV modules	Model	LPC250SM-06	Phom	250 Wp
PV Array	Nb. of modules	40000	Phom total	10000 kWp
Inverter	Model	PVS800-57-0100kW-A	Phom	100 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	100.0	Phom total	10000 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			
Main simulation results				
System Production	Produced Energy	14237 MWh/year	Specific prod.	1424 kWh/kWp/year
	Performance Ratio PR	79.6 %		
Investment	Global incl. taxes	17595000 US\$	Specific	1.76 US\$/Wp
Yearly cost	Annuities (Loan 5.0%, 20 years)	1411868 US\$/yr	Running Costs	0 US\$/yr
Energy cost		0.10 US\$/kWh		

4.2 Analisis Finansial

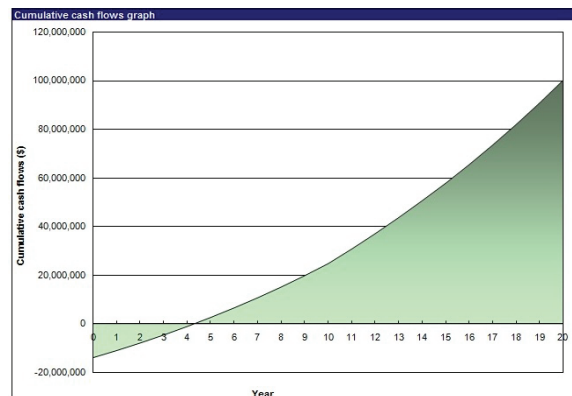
Analisis ekonomi dari PLTS 10 MW on-grid dilakukan untuk menilai biaya dan manfaat dari proyek ini. Ini dilakukan dengan bantuan software RETScreen. Perangkat lunak ini mudah digunakan dan memiliki kemampuan simulasi *net present value* dan *payback period* sederhana serta memperkirakan penghematan dari potensi efek rumah kaca (*greenhouse gas*) proyek-proyek energi terbarukan selama beroperasi.

Dari hasil perhitungan berdasarkan simulasi, dengan memasukkan semua biaya yang diperlukan diketahui biaya total investasi yang harus dikeluarkan adalah sebesar \$20,009,000. Biaya total investasi terdiri dari komponen-komponen berikut; modul, inverter, kabel, struktur pemasangan, teknik dan manajemen proyek, tenaga kerja dan biaya lain-lain. Biaya dari berbagai komponen PV surya yang digunakan untuk penelitian ini berdasarkan estimasi internasional diambil dari perusahaan riset PV surya secara *online*. Modul dan inverter biaya saja membuat sampai sekitar 90% dari total biaya investasi.

Tabel 9. Estimasi perhitungan biaya

Initial costs (credits)	Unit	Quantity	Unit cost	Amount	Relative costs
Feasibility study	cost	1	\$ 15,000	\$ 15,000	0.1%
Subtotal				\$ 15,000	
Development	cost	1	\$ 15,000	\$ 15,000	0.1%
Subtotal				\$ 15,000	
Engineering	cost	1	\$ 60,000	\$ 60,000	0.3%
Subtotal				\$ 60,000	
Power system					
Photovoltaic	kW	10,000.00	\$ 1,750	\$ 17,595,000	
Road construction	km			\$ -	
Transmission line	km			\$ -	
Substation	project			\$ -	
Energy efficiency measures	project			\$ -	
User-defined	cost	1	\$ 500,000	\$ 500,000	
Subtotal				\$ 18,095,000	90.4%
Balance of system & miscellaneous					
Spare parts	%			\$ -	
Transportation	project			\$ -	
Training & commissioning	p-d	10	\$ 100	\$ 5,000	
User-defined	cost			\$ -	
Contingencies	%	10.0%	\$ 18,100,000	\$ 1,810,000	
Interest during construction		(12 months)	\$ 20,009,000	\$ -	
Subtotal				\$ 1,824,000	9.1%
Total initial costs				\$ 20,009,000	100.0%

Analisis ekonomi untuk pekerjaan ini dilakukan dengan terlebih dahulu mengembangkan skenario kasus dasar yang terdiri dari biaya listrik saat ini dan parameter keuangan lainnya. Skenario berikutnya dikembangkan dari kasus dasar ini untuk membantu menganalisis implikasi dari berbagai pilihan pembiayaan pada proyek. Beberapa pilihan dianggap termasuk hibah/subsidi modal, *feed-in tariff* (Fit) dan pembiayaan kredit karbon.



Gambar 22. Grafik commulative cash flow

I. KESIMPULAN

1. Draft prosedur yang dikembangkan untuk perancangan PLTS diperlukan pertimbangan dalam desain sistem jaringan skala besar. Langkah-langkah desain ini adalah penilaian dari data radiasi matahari untuk lokasi, identifikasi dan penilaian lokasi yang akan digunakan, pemilihan komponen sistem PV surya dan akhirnya, merancang tata letak PLTS on-grid.

2. Dalam merancang PLTS 10 MW *on-grid* di daerah Yogyakarta, prosedur rancangan dikembangkan. Perancangan teknik disimulasikan dengan menggunakan *software* PVSyst. Dalam perancangan ini digunakan PV modul yang berada dipasaran dengan daya *output* per modul sebesar 250 Wp maka dibutuhkan sekitar 40000 PV modul dan 100 buah inverter 100 kW. Pemilihan inverter 100 kW ini diharapkan pada saat operasi dan pemeliharaan akan lebih mudah, dan bila terjadi gangguan tidak perlu dimatikan semua unit, hanya unit-unit yang perlu dipadamkan saja.
4. Luas lahan yang dibutuhkan sekitar 6,4 hektar untuk membangkitkan 10 MW dari PLTS. Asumsi sistem PLTS yang digunakan adalah sistem PLTS terpusat (*Grid-connected Centralized*), karena diasumsikan PLTS ini akan dibentangkan pada lahan terbuka dengan shading 0.
5. Analisis hasil simulasi menunjukkan bahwa, ketika proyek dilaksanakan akan memasok sekitar 14237 MWh listrik per tahun. Proyek ini juga berkesempatan untuk menyelamatkan sekitar 6465 ton CO₂ yang seharusnya dipancarkan oleh pembangkit listrik dengan bahan bakar fosil untuk menghasilkan jumlah listrik yang sama. Biaya total investasi yang harus dikeluarkan adalah sebesar \$20,009,000. Sekitar 90% dari biaya total

investasi adalah untuk modul PV dan inverter. Dengan simulasi sederhana menggunakan RetScreen, proyek ini dapat dianggap layak secara finansial.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Trends in Photovoltaic Application, survey report of selected IEA countries between 1992 and 2009, Report IEA-PVPS T1-19:2010
- [2] Hasan H. 2012. "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Pulau Saugi". Jurnal Riset dan Teknologi Kelautan (JRTK) Volume 10, Nomor 2, Juli - Desember 2012 169.
- [3] Strong, Steven J., *The Solar Electric House, A Design Manual for Home-Scale Photovoltaic Power Systems*, Pennsylvania, Rodale Press, 1987.
- [4] Wibowo, Riyanto. 2009. "Studi Penggunaan Solar Reflector Untuk Optimalisasi Output Daya Pada Photovoltaic Modul". Skripsi universitas Kristen petra. Surabaya.
- [5] Naville, Richacard C. 1995. *Solar Energy Conversion*. Elsevier. USA
- [6] Kumi, Ebenezer Nyarko. 2013. *Design and Analysis of a 1MW Grid-Connected Solar PV System in Ghana*, ATPS working paper no.78