

# Jurnal Ilmiah

## ENERGI & KELISTRIKAN



SEKOLAH TINGGI TEKNIK - PLN

STUDI ANALISIS PENGARUH PARTIAL DISCHARGE PADA SKTM TERHADAP KEHANDALAN PENYULANG

*Supriadi Legino; Firman Jurjani*

PENGUJIAN KONDISI ISOLASI MAIN TRANSFORMATOR GTG 1.1 DENGAN METODE DIELECTRIC RESPONSE ANALYSIS (DIRANA)

*Erlina; Muhlas*

PEMODELAN KONTROL FREKUENSI BEBAN DAN STRATEGI PEMUTUSAN BEBAN PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GAS

*Erick Sutjiadi; Soetjipto Soewono*

STUDI ANALISIS SISTEM MONITORING TEMPERATUR RUANG BEARING

*Tri Joko Pramono; Adang Maksus*

PERANCANGAN SOLAR CELL SYSTEM OFFGRID PADA DAERAH RAWAN GEMPA YANG TERDAPAT SITUS BERSEJARAH (Studi Kasus : Kawasan Candi Prambanan)

*Kukuh Aris Santoso; Tri Wahyu Kuningsih*

PEMANFAATAN SAMPAH MENJADI SUMBER ENERGI

*Isworo Pujotomo*

KAJIAN POTENSI ENERGI SURYA DI PROVINSI NUSA TENGGARA BARAT (NTB)

*Heri Suyanto*

ANALISIS SISTEM DISTRIBUSI KABEL BERCABANG DENGAN KABEL KONVENSIIONAL DI APARTEMEN ANCOL MANSION

*Eko Sawiji; Juara Mangapul Tambunan*

SISTEM PROTEKSI PADA PESAWAT BOEING 737 – CLASSIC

*Retno Aita Diantari; Shulli Alifiannisa Putri*

STUDI EVALUASI PEMADAMAN PADA JARINGAN DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK 20 kV

*Tony Koerniawan*

ISSN 1979-0783



9 771979 078352

SEKOLAH TINGGI TEKNIK - PLN (STT-PLN)

ENERGI & KELISTRIKAN

VOL. 8

NO. 2

HAL.67 - 136

JUNI - DESEMBER 2016

ISSN 1979-0783

# PERANCANGAN SOLAR CELL SYSTEM OFFGRID PADA DAERAH RAWAN GEMPA YANG TERDAPAT SITUS BERSEJARAH (Studi Kasus : Kawasan Candi Prambanan)

Kukuh Aris Santoso<sup>1)</sup>, Tri Wahyu Kuningsih<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Teknik Elektro, Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta  
kukuhpw@gmail.com

<sup>2)</sup>Teknik Sipil, Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta  
triwahyukuningsih@yahoo.co.id

**Abstract :** *Determination of Prambanan temple as a world cultural heritage implications for the nation's responsibility and obligation to protect and preserve the building in accordance with the convention set by UNESCO. The Convention, among others keep building preservation from the danger of war, physical damage because with age, and natural disasters. An earthquake with magnitude 6.3 in Yogyakarta in 2006 made Prambanan little structural damage. One of them is the fall of the temple stones. Historical sites requires electrical energy, especially light to keep the nation's inheritance of crime and vandalism. The electricity supply is particularly important given the current post-earthquake infrastructure much impaired and this is where alternative energy power plants is needed. The application of solar power technology offgrid System in the future is as a replacement or substitution in diesel fuel usage, as well as to increase the ratio of electricity. The study provides recommendations placement of solar cell three locations namely at location A (coordinates 110.491 -7.751 S E) with an area of 0.31 hectares, the location B (coordinates 110.493 -7.752 S E) with an area of 0.06 hectares, and the location C Location C (coordinates 110.491 -7.750 S E) with an area of 0.05 hectares. Solar modules produced when dibutuhkan power of 1500 Watts takes 47 modules with energy generated by 40 kWh. Based on a simulation of a computer program on the area of 100m<sup>2</sup> takes 50 solar modules for generating electrical energy 53.56 kWh per day.*

**Keyword:** *Electricitypower, Earthquake, OffgridSystem, SolarModule*

**Abstrak :** Penetapan Candi Prambanan sebagai warisan budaya dunia berimplikasi pada tanggung jawab dan kewajiban bangsa untuk melindungi dan memelihara bangunan tersebut sesuai dengan konvensi yang telah ditetapkan oleh UNESCO. Konvensi tersebut antara lain menjaga pelestarian bangunan dari bahaya perang, kerusakan fisik karena termakan usia, dan bencana alam. Gempa dengan magnitude 6,3 SR di Yogyakarta pada 2006 membuat Candi Prambanan sedikit mengalami kerusakan secara struktural. Salah satunya adalah jatuhnya batu-batu candi. Situs – situs bersejarah memerlukan energi listrik terutama penerangan untuk menjaga harta warisan bangsa dari tindakan kriminal dan vandalisme. Pasokan listrik ini sangat penting mengingat saat pasca gempa infrastruktur banyak yang mengalami gangguan dan disinilah pembangkit listrik energi alternatif sangat diperlukan. Penerapan teknologi PLTS sistem *Offgrid* di masa mendatang adalah sebagai pengganti atau substitusi penggunaan BBM pada PLTD, maupun untuk meningkatkan rasio kelistrikan. Hasil penelitian ini memberikan rekomendasi tiga lokasi penempatan solar cell yaitu di lokasi A ( koordinat -7,751 S 110,491 E) dengan luas 0,31 Ha, lokasi B (koordinat -7,752 S 110,493 E ) dengan luas 0,06 Ha, dan lokasi C Lokasi C (koordinat -7,750 S 110,491 E) dengan luas 0,05 Ha. Solar modul yang dihasilkan apabila dibutuhkan daya sebesar 1500 Watt dibutuhkan 47 modul dengan energi yang di hasilkan sebesar 40 kWh. Berdasarkan simulasi dari program komputer pada luas area 100M<sup>2</sup> dibutuhkan 50 solar modul untuk menghasilkan energi listrik 53,56kWh perhari.

**Kata Kunci :** *PLTS, Gempa, Offgrid, Solar Modul*

## 1. PENDAHULUAN

Kompleks Candi Prambanan telah ditetapkan sebagai salah satu warisan budaya dunia (World Heritage) oleh UNESCO pada tahun 1991, bernama Prambanan Temple Compound. Selain Candi Prambanan, Prambanan Temple Compound di dalamnya terdapat beberapa candi berlatar belakang agama Budha, yaitu : Kompleks Candi Sewu, Candi Lumbung, Candi Bura, dan Candi Asu (Gana). Penetapan candi sebagai warisan budaya dunia berimplikasi pada tanggung jawab dan kewajiban bangsa pelindungan dan pemeliharaan bangunan tersebut sesuai dengan konvensi yang telah ditetapkan oleh UNESCO.

Konvensi tersebut antara lain menjaga pelestarian bangunan dari bahaya perang, kerusakan fisik karena termakan usia, dan bencana alam.[1].

Pada hari Sabtu tanggal 27 Mei 2006, Yogyakarta dan sebagian wilayah Klaten digoncang gempa tektonik dengan kekuatan 5,9 SR. Gempa yang terjadi tidak hanya meluluhlantakan sendi-sendi kehidupan sebagian masyarakat kota Yogyakarta, tetapi juga bangunan yang dilewatinya. Termasuk di dalamnya situs-situs bangunan bersejarah, salah satunya Kompleks Candi Prambanan. Hal ini dikarenakan secara geologis Kompleks Candi Prambanan berada di atas sesar aktif yang membentang dari wilayah Prambanan, Piyungan, Pleret, Imogiri, dan Pundong. Sesar ini

sering disebut dengan patahan Opak. Sesar tersebut kembali aktif karena dipicu oleh aktivitas gempa yang terjadi.

Akibat aktivitas gempa ini, Kompleks Candi Prambanan mengalami kerusakan yang relatif parah. Berdasarkan hasil observasi diketahui bahwa semua bangunan di Kompleks Candi Prambanan mengalami kerusakan struktural maupun kerusakan material dengan jenis dan kondisi kerusakannya cukup bervariasi. Jenis kerusakan yang terjadi, meliputi: kerusakan struktural berupa miring, runtuh, dan deformasi vertikal – horizontal, sedangkan kerusakan material berupa retak, patah, pecah, dan mengelupas.[1].

Suryolelono dan Rifai dalam [1], Di bagian halaman candi banyak batu-batu candi (bagian ratna) berserakan akibat guncangan gempa, seperti terlihat pada Gambar 1, namun secara keseluruhan seolah-olah masih tegak berdiri dengan kokoh, dan kekhawatiran akan adanya gempa susulan yang mungkin mengakibatkan bertambah parah kondisi sekarang ini. Selama ini masih sering terjadi gempa susulan di kawasan Yogyakarta dengan kekuatan gempa lebih kecil.

Situs – situs bersejarah memerlukan listrik terutama penerangan untuk menjaga harta warisan bangsa dari tindakan kriminal dan vandalisme. Situs bersejarah ini sangat dimungkinkan terkena dampak dari gempa bumi sebagai contoh gempa 2006 yang melanda Yogyakarta. Pasokan listrik ini sangat penting mengingat saat pasca gempa infrastruktur banyak yang mengalami gangguan dan disinilah pembangkit listrik alternative sangat diperlukan. Penerapan teknologi PLTS dimasa mendatang adalah sebagai pengganti atau substitusi penggunaan BBM pada PLTD, maupun untuk meningkatkan rasio kelistrikan. Pengembangan PLTS kapasitas besar pada pulau dan wilayah diluar Jawa oleh PLN dengan sistem *on grid* maupun *off grid* sangat mendukung pengurangan penggunaan BBM dengan PLTD [2].

Sehingga dibutuhkan sebuah penelitian yang bertujuan untuk mengetahui :

- a. lokasi yang aman ditempatkan *solar cell* sebagai energi alternatif listrik,

- b. jumlah energi listrik yang dihasilkan oleh *solar cell* untuk penerangan pasca gempa jika terjadi gempa di Kompleks Candi Prambanan,
- c. menjaga Candi Prambanan dari tindakan kriminal dan vandalisme sebagai perlindungan terhadap situs bersejarah,
- d. memberikan pengetahuan kepada masyarakat tentang *solar cell* sebagai alternatif energi listrik.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pengertian Gempa Bumi

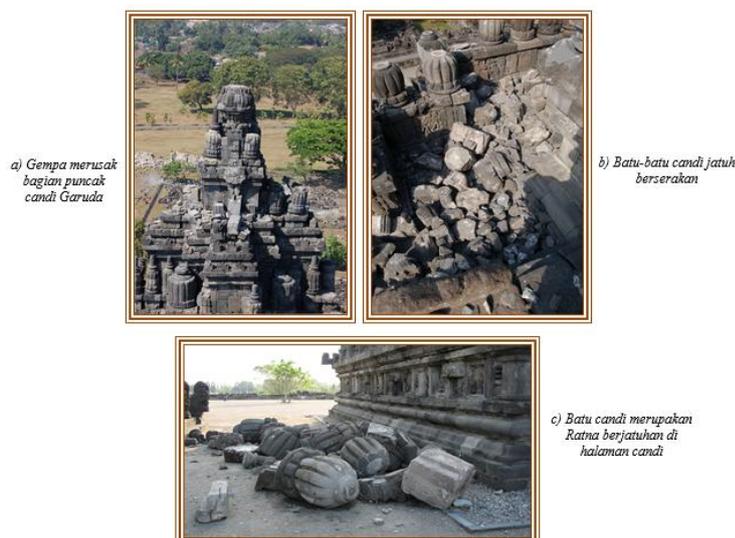
Gempabumi adalah peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Akumulasi energi penyebab terjadinya gempabumi dihasilkan dari pergerakan lempeng-lempeng tektonik. Energi yang dihasilkan dipancarkan kesegala arah berupa gelombang gempabumi sehingga efeknya dapat dirasakan sampai ke permukaan bumi.[3].

Karakteristik gempa menurut BMKG [3] :

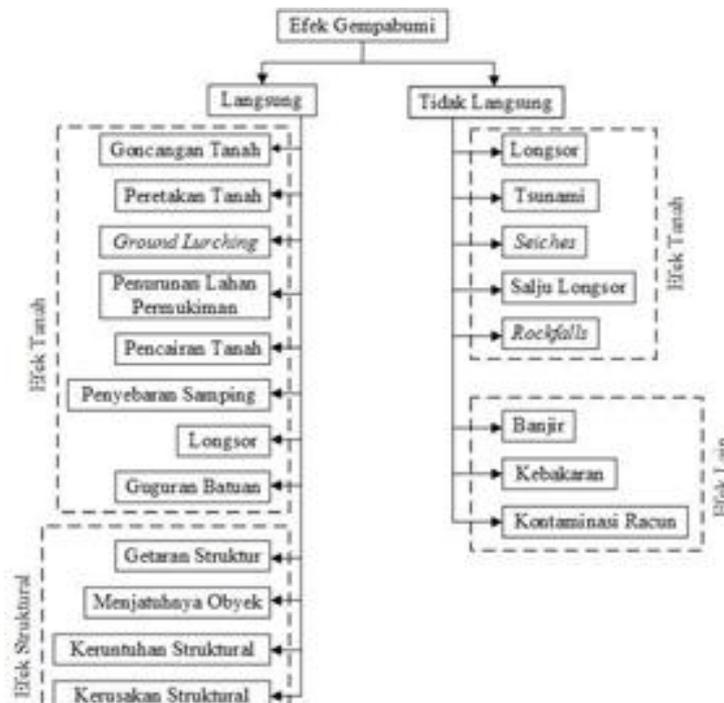
- a. berlangsung dalam waktu yang sangat singkat,
- b. lokasi kejadian tertentu,
- c. akibatnya dapat menimbulkan bencana,
- d. berpotensi terulang lagi,
- e. belum dapat diprediksi,
- f. tidak dapat dicegah, tetapi akibat yang ditimbulkan dapat dikurangi.

### 2.2 Efek Gempa Bumi

Menurut Elnashai dan Sarno [4], secara umum efek gempa bumi terdiri atas efek langsung dan tak langsung. Efek tersebut seperti dalam Gambar 1. Sejauh ini, guncangan tanah merupakan bahaya yang paling penting. Kerusakan struktural merupakan sebuah ciri utama dari sistem tahan beban secara vertikal dan lateral yang dapat bervariasi antara kerusakan ringan dan keruntuhan. Kerusakan non struktural terdiri atas kegagalan arsitektural, sistem mekanik dan kelistrikan, serta komponen dalam sebuah bangunan.



**Gambar 1.** Kondisi Tiga Hari Setelah terjadi gempa di Yogyakarta ( Sumber : Suryolelono, 2007 dalam Laporan Tim Penyusunan Detail Engineering Design (DED), 2012, Kegiatan Studi Teknis Pelestarian Candi Siwa, Kompleks Candi Prambanan, BPCB Yogyakarta.)



Gambar 2. Efek gempa bumi secara langsung dan tidak langsung.[4].

Faktor – faktor yang mengakibatkan kerusakan akibat gempa bumi [3] :

- kekuatan gempa bumi,
- kedalaman gempa bumi,
- jarak hiposenter gempa bumi,
- lama getaran gempa bumi,
- kondisi tanah setempat,
- kondisi bangunan.

### 2.3 Klasifikasi Site

Untuk mendapatkan percepatan maksimum dan respon spektra di permukaan tanah di suatu lokasi tujuan, terlebih dahulu perlu dilakukan klasifikasi *site* (jenis tanah). Mengacu SNI 1726 – 2012 [5], Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung perhitungan SPT rata – rata dinyatakan dengan Persamaan 1 sebagai berikut :

$$\frac{\sum_{i=1}^n N_i}{\sum_{i=1}^n d_i} \quad (\text{Pers. 1})$$

keterangan :

$\sum_{i=1}^n N_i = 1$  = kedalaman titik bor yang ditinjau (maksimal 30 meter)

$\sum_{i=1}^n d_i = 1$  = ketebalan lapisan dengan per N-SPT lapisan tersebut.

Klasifikasi site berdasarkan nilai N-SPT disajikan pada Tabel 1.

### 2.4 Percepatan Puncak Di Permukaan Tanah

Parameter getaran gelombang gempa yang dicatat oleh seismograf umumnya adalah simpangan kecepatan (*velocity*) dalam satuan kine (cm/s). Selain *velocity*, tentunya parameter yang lain seperti simpangan (*displacement*) dalam satuan micrometer dan percepatan (*acceleration*) dalam satuan gal ( $\frac{cm}{s^2}$ ), juga dapat ditentukan. Besar

kecilnya percepatan tanah tersebut memberikan pengaruh risiko gempa bumi yang perlu diperhitungkan sebagai salah satu bagian dalam perencanaan bangunan tahan gempa. [6].

Djumarna, dkk., [7] melakukan penelitian geoseismik menggunakan mikrotremor di Candi Prambanan, percepatan puncak terhitung gempa bumi Yogyakarta 2006 di dan sekitar daerah ini adalah 2-3 m/detik<sup>2</sup> atau 0,2 – 0,3 g (GFZ, 2007). Berdasarkan parameter utama kegempaan ini, dapat dinyatakan candi Prambanan terletak di daerah potensi bencana gempa bumi dengan guncangan tanah tinggi, disajikan dalam Gambar 3.

Besarnya nilai *peak ground acceleration* (PGA) yang digunakan dalam penelitian ini merupakan PGA yang dikeluarkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum yang bekerja sama dengan Pusat Penelitian Mitigasi Bencana, Institut Teknologi Bandung. Nilai PGA tersebut diakses di website PusKim dan PusAir. Nilai PGA yang diakses melalui website belum bisa digunakan langsung, tetapi perlu dikoreksi dengan faktor amplifikasi. Percepatan puncak di permukaan tanah dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 2berikut :

$$PGA_M = F_{PGA} \times PGA \quad (\text{Pers.2})$$

keterangan :

$PGA_M$  : nilai percepatan puncak di permukaan tanah berdasarkan klasifikasi site

$F_{PGA}$  : faktor amplifikasi untuk PGA

$PGA$  : nilai PGA di batuan dasar mengacu pada Peta Gempa Indonesia 2010.[8].

Nilai faktor amplifikasi disajikan pada Tabel 2.

### 2.5 Solar Cell Sistem Offgrid

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) atau Solar Cell dengan Sistem offgrid, Merupakan PLTS untuk memasok energi listrik yang di butuhkan

tanpa adanya PLN ataupun pasokan listrik dari generator yang berbahan bakar fosil lainnya, sistem ini terdiri dari beberapa komponen yang terangkai dalam sebuah sistem [9] seperti Gambar 4.

hal ini adalah pemakaian listrik untuk menjalankan sistem yang ada di situs bersejarah, hal ini dapat di hitung kebutuhan energi listrik sebuah situs bersejarah. Rumus pemakaian adalah sebagai berikut (Pers 3) [9] :

a. **Load/Beban**

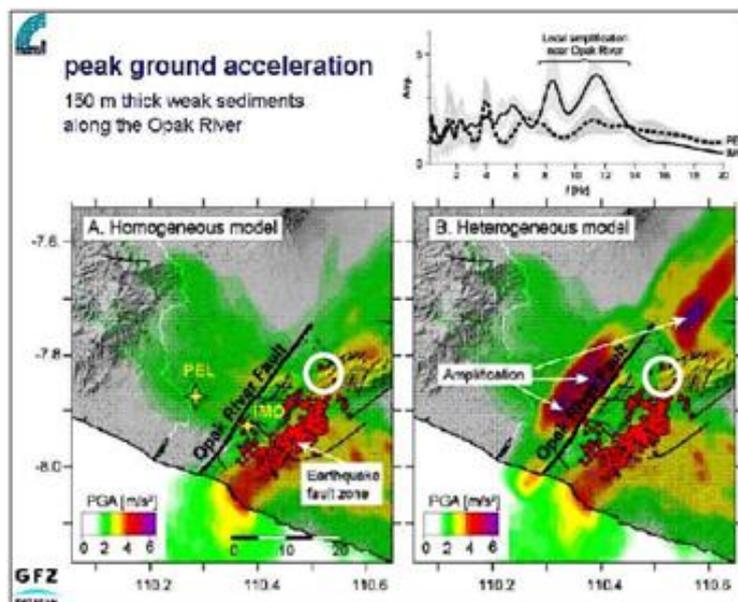
Sebuah sistem pembangkit listrik di rancang untuk kebutuhan konsumsi beban pemakaiannya, dalam

Tabel 1 Klasifikasi site berdasarkan atas korelasi penyelidikan tanah lapangan dan laboratorium [5]

Nilai N rata - rata	Klasifikasi Site
N > 50	Tanah sangat padat dan batuan lunak ( SC )
15 ≤ N ≤ 50	Tanah Sedang ( SD )
N < 15	Tanah lunak (SE)

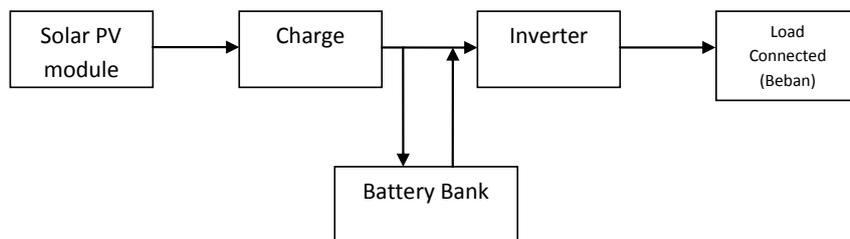
Tabel 2 Faktor amplifikasi untuk PGA ( F<sub>PGA</sub> ) [5]

Klasifikasi Site	S <sub>PGA</sub>				
	PGA ≤ 0,1	PGA = 0,2	PGA = 0,3	PGA = 0,4	PGA ≥ 0,5
Batuan Keras ( S <sub>A</sub> )	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan ( S <sub>B</sub> )	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak ( S <sub>C</sub> )	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
Tanah Sedang ( S <sub>D</sub> )	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
Tanah Lunak ( S <sub>E</sub> )	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
Tanah Khusus ( S <sub>F</sub> )	SS	SS	SS	SS	SS



Gambar 3. Homogeneous and heterogeneous models of peak ground acceleration (GFZ, 2007), circle the location of Prambanan Temple complex [8]

□□□□ □□□□□□□□ = □□□□ □□□□ (□□□□) × □□□□ □□□□□□□□ (Pers. 3)



Gambar 4. Sistem Offgrid

## b. Baterai

Komponen dari PLTS sistem *offgrid* yang penting adalah baterai karena baterai adalah yang akan menjadi sumber tenaga listrik. Saat sel surya menyerap energi matahari ada sebagian dari energi matahari yang akan disalurkan ke baterai untuk di simpan saat malam hari dimana sel surya tidak lagi menghasilkan energi matahari untuk di rubah ke dalam energi listrik. Dan berikut ada beberapa hal yang di perlukan untuk perancangan kebutuhan baterai.

### 1. *Autonomy days*

*Autonomy days* adalah hari dimana tidak ada penyinaran matahari, hari tersebut bisa terjadi karena hujan, salju ataupun kondisi dimana sel surya tidak dapat menyerap energi matahari.

### 2. *Depth of Discharge (DOD)*

Ketentuan penggunaan baterai sampai batas tertentu, sehingga baterai tidak di gunakan sampai habis, hal ini menjaga usia baterai.

### 3. *Battery Temperature Derate*

Baterai pada umumnya berada pada kondisi tertentu dari pabrikan baterai untuk menjaga kapasitasnya berkurang, pada temperature 25°suhu yang normal untuk baterai. Apabila tidak sesuai lebih baik dikenakan koreksi faktor untuk perhitungannya, seperti terlihat pada Gambar 5. [10].

## c. Solar Module

Modul surya terdiri dari sel surya yang tersusun dalam sebuah rangkaian atau array, kemudian di susun secara seri atau parallel pada sistem PLTS. Sel surya sendiri mempunyai kapasitas daya listrik yang berbeda beda dan diantaranya 80 wp, 100 wp, 125 Wp ataupun 285 WP, yang mempunyai tegangan maupun arus minimum ( $V_m$  &  $I_m$ ), seperti terlihat pada Gambar 6.

## d. Charge Controller & Inverter

*Charge controller* digunakan untuk mencegah baterai *oversize* dalam pengisiannya, sehingga daya listrik di langsung ke beban. Sedangkan *inverter* mengubah arus DC menjadi AC apabila beban menggunakan arus AC dalam pengoperasiannya. Disajikan dalam Gambar 7.

## 3. METODOLOGI

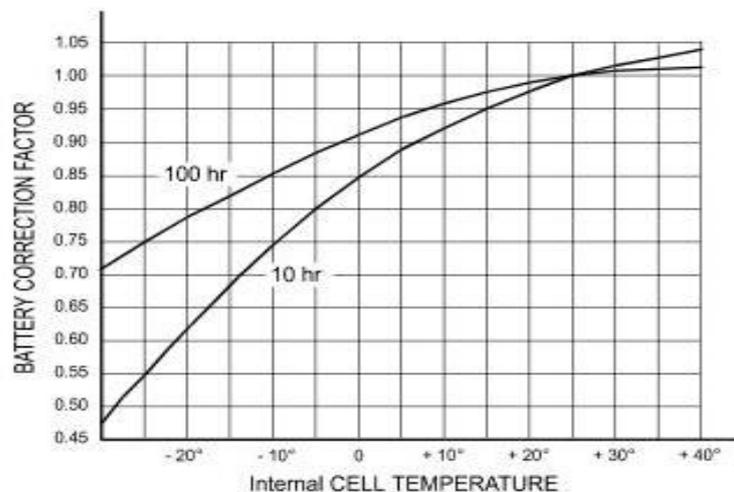
### 3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan dengan melakukan perhitungan dan kemudian hasil perhitungan di simulasikan pada *software* komputer untuk mendesign modul sel surya. Berikut Gambar 8 adalah *flow chart* rancangannya.

Pada *flowchart* di atas hal nya harus dilakukan adalah menentukan lokasi koordinat dari pembangunan PLTS serta data awal seperti energi yang dibutuhkan setiap harinya oleh situs bersejarah tersebut dan juga radiasi matahari rata rata daerah tersebut. Setelah didapatkan semuanya diperlukan perhitungan teknis untuk dan simulasi dalam sebuah *software* komputer untuk merancang kebutuhan sel surya modul serta baterai yang diperlukan oleh area tersebut tersebut. Kemudian analisis serta diambil kesimpulannya bahwa rangsangan tersebut sudah dapat diimplementasikan.

### 3.2 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Kompleks Candi Prambanan, Yogyakarta dapat dilihat pada Gambar 9. Uji geoteknik dilakukan di lapangan dengan menggunakan alat bor mesin sampai kedalaman 15,00 m. Titik uji dapat dilihat pada Gambar 10.



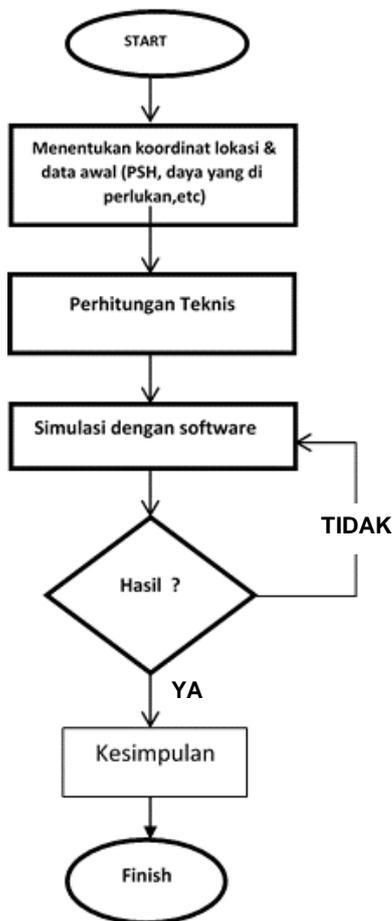
Gambar 5 Battery Temperature Derate



Gambar 6 Solar Module



Gambar 7 Charger Controller & Inverter  
( Sumber : Atkinson electronic & Aurora Inverter Datasheet )



Gambar 8. Bagan Alir Penelitian

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### 4.1 Penentuan Lokasi Penempatan Solar Cell

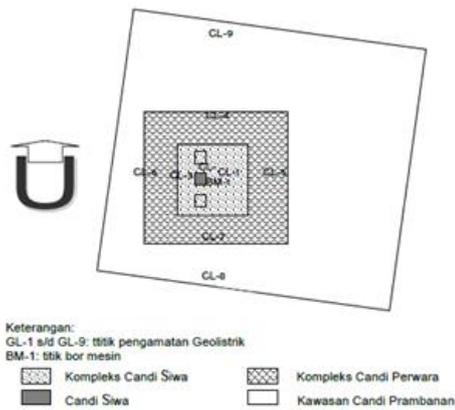
Perhitungan N-SPT untuk klasifikasi site didapatkan hasil bahwa jenis tanah dikompleks Candi Prambanan termasuk jenis SD ( tanah sedang ).

Rencana lokasi penempatan solar cell (Gambar 11) dipilih berdasarkan nilai PGA terkecil untuk menghindari kerusakan jika terjadi gempa. Besarnya nilai PGA yang didapat dari website PusAir dan telah dikalikan dengan faktor amplifikasi disajikan dalam Tabel 3.

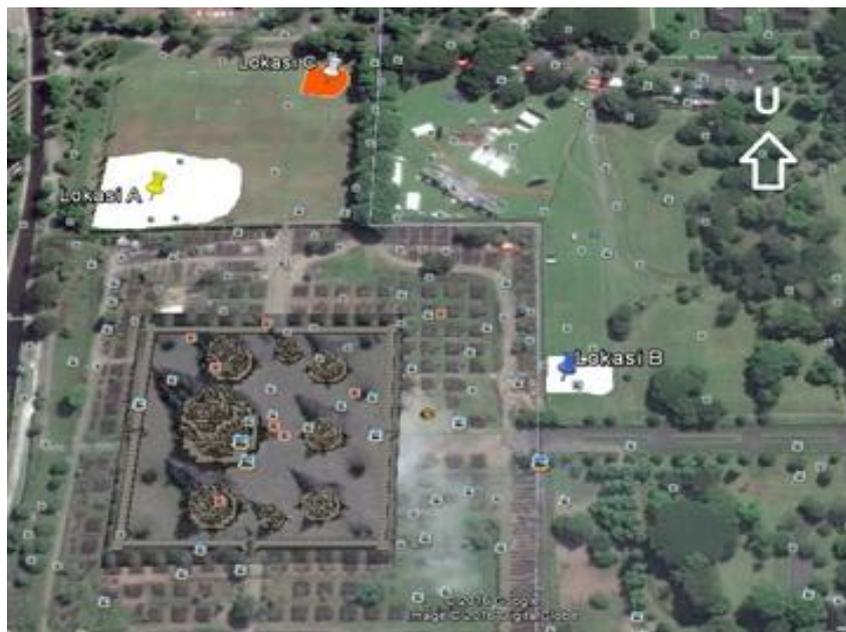
Dari hasil perhitungan, diberikan rekomendasi tiga lokasi penempatan solar cell, yaitu Lokasi A, B, dan C. Luas wilayah dihitung dengan bantuan [earthpoint.us/shapes.aspx](http://earthpoint.us/shapes.aspx)



Gambar 9. Lokasi Penelitian [8]



Gambar 10. Skema lokasi uji bor mesin dan geolistrik di lokasi Candi Prambanan [1]



Gambar 11. Lokasi Penempatan solar cell  
 (Sumber : google earth tanggal pencitraan 25/8/2016 )

Tabel 3 Nilai Percepatan Puncak di Permukaan Tanah untuk periode ulang 100 tahun

Lokasi	Luas	$S_{PGA}$	$F_{PGA}$	$PGA_M$
A	0,31 hektar	0,136 g	1,529	0,207 g
B	0,06 hektar	0,136 g	1,529	0,207 g
C	0,05 hektar	0,136 g	1,529	0,207 g

#### 4.2 Artikel Ulasan

Untuk Indonesia sendiri belum terdapat rumusan pasti tentang formula empiris untuk analisis *peak ground acceleration*, oleh karena itu formula empiris yang digunakan nantinya mengadopsi persamaan atenuasi yang telah digunakan oleh peneliti – peneliti sebelumnya.

Tim Studi Mitigasi Bencana di Kawasan Cagar Budaya Candi Prambanan [11], meneliti sebaran percepatan puncak muka tanah di Kompleks Candi Prambanan berdasarkan gempa Yogyakarta 2006

dengan menggunakan persamaan empiris Kanai. Percepatan puncak pada situs Prambanan diamati masing-masing 1-1,5 gals hingga 4,0-4,5 gals. Berdasarkan hasil puncak pergerakan permukaan tanah di 124 lokasi, diperoleh peta PGA seperti dalam Gambar 12.

Nilai PGA hasil perhitungan penulis sesuai dalam range yang telah diberikan oleh Djumarma [7] dan Tim Studi Mitigasi Bencana Candi Prambanan [11] yaitu 0,2 g berdasarkan gempa Yogyakarta 2006.

### 4.3 Perhitungan dan Simulasi Solar Cell

Dalam perhitungan pembuatan sistem PLTS menggunakan sistem off grid yaitu sistem tanpa adanya sistem dari PLN. Untuk menghitung kebutuhan sel surya module yang dibutuhkan, digunakan beberapa data awal yakni:

#### a. Lokasi koordinat wilayah & PSH yang akan di bangun PLTS sistem

Candi Prambanan di kota Yogyakarta dipilih sebagai wilayah yang akan di gunakan untuk dibangun PLTS sebagai sumber energi listrik alternative yakni pada koordinat latitude 7,752 S dan 110,491 E. Setelah menentukan lokasi koordinat wilayah kemudian, dicari radiasi matahari rata rata untuk daerah tersebut, dengan bantuan NASA Surface Meteorology and Solar Energi dapat di tentukan bahwa daerah tersebut mempunyai daily solar radiasi rata rata atau biasa di kenal dengan PSH (Peak Sun Hours) yaitu 4,8 [12] untuk lebih lengkapnya disajikan pada Gambar 13.

#### b. Perhitungan Solar Cell

Dalam perhitungannya misalkan dibutuhkan daya 1500 watt dan daya pemakaian 24 jam sehingga : Pemakaian energi =  $W \times t$ .

Daya Power	1500	Watt
Waktu pemakaian	24	Jam
Pemakaian energi /hari	36.000	Wh

Jika listrik arus AC yang di gunakan maka perlu di hitung efisiensi dari Inverter yaitu 85%-90 % [11], digunakan efisiensi inverter 90% sehingga di hitung : Kebutuhan energy perhari :  $36.000 / 0.9 = 40.000Wh$ . Maka berikut adalah perhitungan detailnya:

#### 1. Menghitung Kebutuhan Baterai

Untuk mengkonversi sistem watt- hours menjadi ampere-hours menggunakan perhitungan pembagian kedalam sistem voltase baterai. Voltase baterai ada 2 macam yaitu 48 V dan 24 V, kali ini perhitungan menggunakan sistem baterai 24 volt, sehingga di dapat :

$$\text{Ampere-hours (Ah)} = 40.000Wh / 24 v = 1.667 \text{ Ah}$$

#### 2. Menghitung Autonomy Days

Dalam kenyataan sering kali didapatkan musim yang tidak ada matahari yang bersinar sehingga di perlukan arus dari baterai sebagai input power hal ini disebut sebagai Autonomy days, untuk perhitungannya di gunakan AD = 2 hari, sehingga : Battery capacity :  $1.667Ah \times 2 = 3.333 \text{ Ah}$ .

### 3. Menghitung Maximum Depth of Discharge (DOD)

Dalam manufaktur baterai, disaran kan tidak menggunakan baterai sampai habis untuk menjaga usia baterai, sehingga di tentukan maximum DOD yaitu berkisar 50% - 80% tergantung dari pabrikan baterai tersebut, digunakan DOD sebesar 70% Sehingga :

$$\text{Battery capacity} : 3.333 \text{ Ah} \times 70\% = 4.762 \text{ Ah.}$$

### 4. Menghitung Kebutuhan Arus Battery

Dalam penggunaan baterai baru efisiensi baterai adalah 90% sehingga penambahan energi dari PV array memperhitungkan hal tersebut sehingga kebutuhannya energy menjadi  $1.667 \text{ Ah} / 90\% = 1.852 \text{ Ah}$ . Dengan Asumsi PSH 4,8 maka  $1.852 / 4,8 = 386 \text{ A}$  output arus yang diperlukan untuk menjalankan sistem.

### 5. Oversize factor

Banyak designer solar cell mempertimbangkan oversize factor karena sistem yang stand-alone alias tidak energi lain yang mencharge baterai seperti genset. Untuk negara pacific menggunakan 10 % sebagai oversize factor, sehingga  $386 \times 1.1 = 425 \text{ A}$  arus baterai.

### 6. Jumlah Baterai

Dengan mengasumsikan baterai yang di gunakan adalah 2 volt 2.000Ah maka :  $4.762 \text{ Ah} / 2.000Ah = 2.34$  biasanya di bulat kan menjadi 3 bank secara paralel dan secara seri  $24\text{volt} / 2 \text{ volt} = 12$ .

### 7. Sel surya Modul Array –MPPT

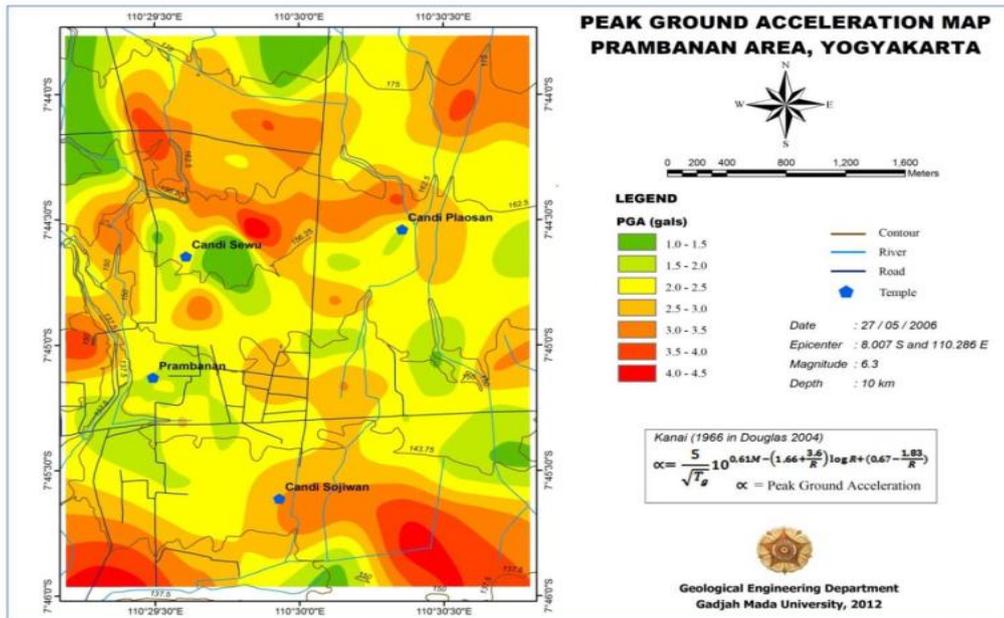
Sistem *charging controller* dengan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) di gunakan untuk mendapatkan power dari sel surya yang maksimum sesuai dengan kebutuhan. Untuk menghitungnya terlebih dahulu menghitung *loss* dari sistem, *Losses* yang di maksud adalah Kabel loss, MPPT efisiensi dan baterai efisiensi dengan nilai masing masing yaitu 3%,95% dan 80 %.

Ada beberapa designer memperhitungkan *loss* lainnya seperti panel loss, inverter loss serta pengaruh kemiringan wilayah dengan nilai masing masing diasumsikan sebesar 95%.

Sehingga system efisiensi =  $0.97 \times 0.95 \times 0.80 \times 0.95 \times 0.95 \times 0.95 = 0.63$  Dengan PSH 4,8 maka PV array output adalah :

- $40.000 \text{ Wh} / (0.63 \times 4,8) = 13228 \text{ Wp}$  dengan oversize factor 10% maka
- $13228 \times 1,1 = 14551 \text{ Wp}$ .

Jika solar panel yang di gunakan adalah Merek Solar Watt 275 Wp maka kebutuhan solar panel adalah  $14551 \text{ Wp} / 275 \text{ Wp} = 53$  solar panel.



Gambar 12. Peak Ground Acceleration Map Prambanan Area, Yogyakarta. [11]

NASA Surface meteorology and Solar Energy: RETScreen Data

Latitude -7.782 / Longitude 110.491 was chosen.

Parameter	Unit	Climate data location
Latitude	°S	-7.782
Longitude	°E	110.491
Elevation	m	160
Heating design temperature	°C	20.87
Cooling design temperature	°C	28.48
Earth temperature amplitude	°C	6.63
Frost days at site	day	0

Month	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
January	25.1	86.3%	4.28	99.2	3.0	26.3	0	469
February	25.1	83.8%	4.47	99.2	3.1	26.1	0	430
March	25.4	82.7%	4.59	99.2	2.3	26.6	0	478
April	25.4	82.6%	4.72	99.2	2.6	26.6	0	463
May	25.1	82.4%	4.73	99.2	3.6	26.0	0	469
June	24.5	84.0%	4.55	99.2	4.0	25.4	0	438
July	24.2	80.2%	4.80	99.3	4.6	25.2	0	441
August	24.6	78.1%	5.25	99.4	4.7	26.0	0	432
September	25.1	75.4%	5.54	99.3	4.0	26.9	0	432
October	25.4	78.6%	5.39	99.3	3.1	27.4	0	478
November	25.3	84.5%	4.71	99.2	2.6	26.9	0	437
December	25.1	86.2%	4.57	99.2	2.3	26.4	0	467
Annual	25.0	82.8%	4.80	99.2	3.3	26.3	0	504
Measured at (m)					10.0	0.0		

Responsible > Data: Paul H. Swinbank, Ph.D.  
 Officials > Author: John H. Burman  
 Site Administration/Help: NASA Langley ASDI Team  
 Sources: (Contact Us)  
 (Privacy Policy and Important Disclaimers)  
 Document generated on Sat Aug 05 02:17:10 EDT 2016

Gambar 13. Daily Peak Sun Hour [12]

**System parameters** General data

Name: System1

Site description:

Address:

Town: Prambanan Postcode:

---

**Connection data**

Type of connection: Three-phase in Medium Voltage

---

**Summary**

Total annual energy [kWh]	19 282.42	Phase power L1 [kW]	4.583	Modules total surface [m <sup>2</sup> ]	99.00
Total power [kW]	13.750	Phase power L2 [kW]	4.583	Total number of modules	50
Energy per kW [kWh/kW]	1 402.36	Phase power L3 [kW]	4.583	Total number of inverters	1

Gambar 14. Summary Total Energi yang Dihasilkan



Gambar 15. Prediksi Energi Rata – Rata yang Dhasilkan Dalam 12 Bulan

### c. Simulasi Perancangan Solar Cell

Terdapat tiga tempat dalam perhitungan lokasi yaitu lokasi A dengan luas 0,31 Ha, lokasi B luas 0,06 Ha serta lokasi C luas 0.05 Ha. Besaran hektar dapat di konversi menjadi meter dengan faktor pengali 10.000 M<sup>2</sup> sehingga simulasi *solar cell* dirancang dengan *software* untuk mempermudah perhitungan di setting untuk luas area 100 M<sup>2</sup>. Berikut adalah hasil simulasi dilakukan dengan software komputer, yaitu Gambar 14 dan 15.

Pada Gambar 14 dan 15 dengan total luas area hampir 100 M<sup>2</sup> yaitu 99 M<sup>2</sup> di butuhkan solar modul 50 buah dengan produksi energi annualnya sebesar 19282,42 kWh dan setiap bulannya mencapai 1606.87 kWh atau sehari dapat memproduksi sekitar 53,56 kwh.

Sehingga dihitung secara kasar bahwa apabila lokasi A,B Dan C di pasang solar modul maka hasilnya produksi harian Energi Listriknya yaitu :

Lokasi / Luas lahan serta Energi yang dihasilkan Per hari

- A / 0.31 Hasebesar 1660,36 kWh per hari.
- B / 0.06 Ha sebesar 321,36 kWh per hari.
- C / 0.05 Hasebesar 267,8 kWh per hari.

### 5. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dihasilkan adalah sebagai berikut :

- a. pada daerah situs bersejarah yaitu Candi Prambanan terdapat 3 area yang direkomendasikan yaitu :
  - Lokasi A( koordinat -7,751 S 110,491 E) dengan luas 0,31 Ha.
  - Lokasi B (koordinat -7,752 S 110,493 E ) dengan luas 0,06 Ha.
  - Lokasi C (koordinat -7,750 S 110,491 E) dengan luas 0,05 Ha.
- b. Solar modul yang dihasilkan apabila dibutuhkan daya sebesar 1500 Watt dibutuhkan 47 modul dengan energi yang di hasilkan sebesar 40 kWh.
- c. Berdasarkan simulasi dari program komputer pada luas area 100M<sup>2</sup> dibutuhkan 50 solar modul untuk menghasilkan energi listrik 53,56kWh perhari.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tim Penyusunan Detail Engineering Design (DED), 2012, Kegiatan Studi Teknis Pelestarian Candi Siwa, Kompleks Candi Prambanan, BPCB Yogyakarta.
- [2] Sidik Boedoyo, Mohamad, 2012, Potensi Dan Peranan PLTS Sebagai Energi Alternatif Masa Depan Di Indonesia.
- [3] <http://www.bmkg.go.id> diakses 4 Agustus 2016.
- [4] Elnashai, A.S. and Sarno, L.D., 2008, *Fundamentals of Earthquake Engineering*, John Wiley and Sons, Ltd., West Sussex, United Kingdom.
- [5] Badan Standardisasi Nasional. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung No 1726 : 2012. Jakarta, 2012.
- [6] Ibrahim, G. dan Subardjo, 2003, Pengetahuan Seisomologi, Badan Meteorologi dan Klimatologi, Manado, Indonesia.
- [7] Djumarma, A., Soehaimi, A., and Marjiyono, 2010, *Geoseismic Research Concerning The Safeguard From The Earthquake Hazards To The World Heritage Of Prambanan Temple*, Bulletin Vulkanologi dan Bencana Geologi, Vol. 5 Nomor 2.
- [8] Kementerian Pekerjaan Umum., 2010, Peta Hazard Gempa Indonesia 2010 Sebagai Acuan Dasar Perancangan Infrastruktur Tahan Gempa. Jakarta, Indonesia.
- [9] Jayakumar, P., 2009, *Solar Energy Resource Assessment Handbook, Asian and Pacific Centre for Transfer of Technology Of the United Nations – Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (ESCAP), 2009*
- [10] Sustainable Energy Industry Association of the Pacific Islands & Pacific Power Association, 2012, Off Grid PV Power Systems, System Design Guidelines, September 2012.
- [11] Tim Studi Mitigasi Bencana di Kawasan Cagar Budaya Candi Prambanan, 2012, Jurusan Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- [12] Nasa Surface meteorology and solar energy, <https://eosweb.larc.nasa.gov> diakses 30 agustus 2016.