

PERANCANGAN HYBRID SISTEM PHOTOVOLTAIC

DI GARDU INDUK BLIMBING-MALANG

Irwan Yulistiono¹, Teguh Utomo, Ir., MT.², Ungkul Wibawa, Ir., M.Sc.³

¹Mahasiswa Teknik Elektro, ^{2,3}Dosen Teknik Elektro, Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: irwan.y.46@gmail.com

ABSTRAK - Saat ini pembangkit energi listrik yang terdapat di Indonesia mayoritas menggunakan sumber energi tak terbarukan (*unrenewable*), sedangkan sumber energi terbarukan (*renewable*) masih sangat minim. Sehingga perlu ditingkatkan pemanfaatan sumber energi terbarukan. Satu-satunya perusahaan di Indonesia yang bergerak dalam bidang listrik adalah PT.PLN (persero). PLN berupaya untuk meningkatkan kualitas dari listrik yang dihasilkannya. Salah satu upaya PLN untuk meningkatkan keandalan dan stabilitas yang tinggi adalah merancang sistem *photovoltaic* sebagai *hybrid* di Gardu Induk (GI). Makalah ini membahas tentang perancangan *hybrid* sistem *photovoltaic* secara teknis yang sesuai dengan kondisi yang ada di GI Blimbings. Komponen sistem *photovoltaic* terdiri dari: modul PV, *battery control regulator*, baterai, inverter, dan *switch controller*. Pada hasil perancangan sistem *photovoltaic* modul yang terpasang sebanyak 20 buah dengan kapasitas modul 175 Wp. Sistem *photovoltaic* akan bekerja apabila tegangan baterai mencapai batas bawah rekoneksi 101 V dan tidak bekerja apabila tegangan baterai mencapai batas bawah 99 V. Baterai akan terisi penuh sampai pada tegangan batas atas 126 V. Sistem *photovoltaic* bekerja selama 16 jam pada cuaca cerah yaitu pada pukul 05.00-21.00, pada cuaca mendung bekerja selama 14 jam yaitu pada pukul 07.00-21.00, dan pada cuaca ekstrim bekerja selama 15 jam yaitu pada pukul 05.00-20.00.

Kata kunci: *grid connection*, *hybrid*, sistem *photovoltaic*, *gardu induk*.

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang mendapatkan sinar matahari sepanjang tahun. Artinya potensi pemanfaatan energi surya sangat besar. Hal ini tentunya merupakan sebuah alternatif yang sangat baik untuk mengurangi ketergantungan pembangkit pada sumber energi *fossil* yang semakin menipis. Salah satu pembangkit listrik yang menggunakan energi terbarukan adalah sistem *photovoltaic*. Sistem *photovoltaic* merupakan penyediaan energi listrik yang sumbernya menggunakan energi terbarukan yaitu radiasi matahari. Sistem *hybrid* disini merupakan penggabungan dua catu daya yaitu catu daya jala-jala PLN (*grid connection*) dan tenaga surya

(sistem *photovoltaic*). Tujuan penelitian ini adalah merancang *hybrid* sistem *photovoltaic* secara teknis yang sesuai dengan kondisi yang ada di GI Blimbings. Pada perancangan ini tidak membahas terlalu dalam tentang peralatan proteksi dan kontrol.

II. DASAR TEORI

2.1 Sistem *Photovoltaic*

sistem *photovoltaic* adalah sistem yang mengkonversi sinar matahari menjadi energi listrik. (Papadopoulou, 2011: 31)

Sistem *photovoltaic* menghasilkan daya keluaran hanya pada saat modul *photovoltaic* di sinari matahari, oleh karena itu sistem *photovoltaic* menggunakan mekanisme penyimpanan energi agar energi listrik selalu tersedia pada waktu matahari sudah tidak menyinari (malam hari). (Messenger, 2004:47)

Mekanisme sistem penyimpanan energi pada baterai umumnya digabungkan dengan *battery control regulator* yang digunakan untuk mencegah kondisi kelebihan pengisian (*overcharged*) atau kondisi kelebihan pengosongan (*overdischarged*). Jika beban yang disuplai sistem merupakan beban AC, maka dibutuhkan inverter untuk merubah tegangan DC menjadi tegangan AC.

2.1.1 Modul *photovoltaic*

Kapasitas daya modul *photovoltaic* dapat diperhitungkan dengan memperhatikan beberapa faktor, yaitu kebutuhan energi sistem yang disyaratkan, insolasi matahari, dan faktor penyesuaian (*adjustment factor*). Faktor penyesuaian pada kebanyakan instalasi PLTS adalah 1,1. (Bien, 2008: 42)

Kapasitas daya modul dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut: (Bien, 2008: 43)

$$\text{Kapasitas modul} = \frac{\text{Energi yang harus dipasok}}{\text{Jumlah jam kerja matahari}} \times \text{faktor penyesuaian}$$

Jumlah modul yang digunakan: (Papadopoulou, 2011: 119)

$$\text{Jumlah modul} = \frac{\text{kapasitas modul yang dirancang}}{\text{kapasitas modul yang digunakan}}$$

2.1.2 Array *photovoltaic*

Array photovoltaic adalah suatu unit pembangkit listrik yang lengkap, terdiri dari sejumlah modul *photovoltaic* dan panel *photovoltaic* yang terangkai menjadi satu melalui kabel dengan susunan tertentu

agar mampu menghasilkan tegangan dan arus tertentu. (Messenger, 2004: 56)

2.1.3 Battery Control Regulator (BCR)

Battery control regulator adalah pengontrol atau otak yang bekerja dari sistem pengisian sel *photovoltaic* ke baterai. Jika baterai sudah terisi penuh maka *battery control regulator* akan memutus arus dari sel *photovoltaic*. (Messenger, 2004: 76)

2.1.4 Baterai

Baterai adalah komponen sistem *photovoltaic* yang berfungsi menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh modul *photovoltaic* pada siang hari, untuk kemudian dipergunakan pada malam hari dan pada saat cuaca mendung. Baterai yang digunakan pada sistem *photovoltaic* mengalami proses siklus mengisi (*charging*) dan mengosongkan (*discharging*), tergantung pada ada tidaknya sinar matahari. (Messenger, 2004: 57)

Kapasitas suatu baterai menyatakan berapa lama kemampuannya untuk memberikan aliran listrik, pada tegangan tertentu yang dinyatakan dalam ampere-hour (Ah). Kapasitas baterai dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut: (Hankins, 2010: 133)

$$C = \frac{E_M}{V_B \times DOD \times \eta_{total}}$$

Keterangan :

C = kapasitas baterai (Ah)

E_M = energi total yang harus disuplai modul *photovoltaic* (Wh)

V_B = tegangan kerja baterai (volt)

DOD = Tingkat kedalaman pengosongan baterai (%)

η_{total} = efisiensi total sistem *photovoltaic* (%)

2.1.5 Inverter

Pemilihan Inverter juga akan tergantung pada apakah inverter akan menjadi bagian dari sistem *grid-connected* atau sistem yang berdiri sendiri. Kinerja inverter umumnya ditandai dalam hal nilai keluaran daya, kapasitas lonjakan, efisiensi, dan distorsi harmonik. Karena efisiensi maksimum dapat dicapai dengan rate keluaran, penting untuk mempertimbangkan efisiensi kurva daya keluaran untuk inverter ketika memilih inverter. (Messenger, 2004: 83)

2.1.6 Switch Controller

Proses kendali sistem *hybrid* antara *photovoltaic* dan sumber listrik lain dilakukan oleh unit kontroler. Sistem *hybrid* yang akan dirancang menggunakan prinsip kerja satu arah, yaitu dalam satu waktu tertentu beban hanya disuplai oleh salah satu pembangkit, oleh karena itu *switch controller* akan bertindak mengatur sumber pembangkit yang akan menyuplai beban. (Bien, 2008: 39)

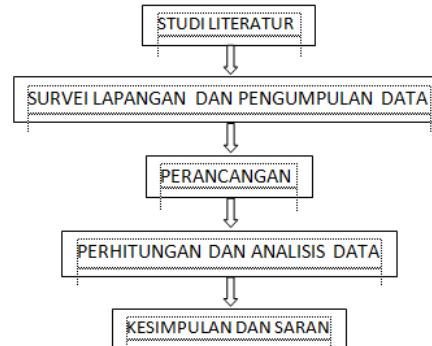
2.2 Hybrid Sistem Photovoltaic – Grid Connection (Jala-Jala PLN)

Hybrid system adalah gabungan atau *integrasi* antara dua atau lebih pembangkit listrik dengan sumber energi yang berbeda. Sistem hibrid yang paling baik digunakan di lokasi terpencil dimana sumber daya energi terbarukan adalah variabel dan dimana terdapat kebutuhan daya yang besar. Kebanyakan sistem hibrid yang digunakan adalah PV-diesel. (Hankins, 2010: 189)

III. METODE PENELITIAN

3.1 Kerangka Umum

Kerangka umum pengerjaan skripsi ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1. Kerangka Umum Metode Pengerjaan Penelitian

3.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mempelajari dan memahami materi dari buku-buku dan literatur yang menunjang pada penelitian ini, antara lain:

1. Mempelajari tentang teknologi *hybrid* sistem *photovoltaic*.
2. Mempelajari komponen sistem *photovoltaic*.
3. Mempelajari teknik perancangan *hybrid* sistem *photovoltaic* dengan jala-jala PLN.
4. Mempelajari beban peralatan kontrol dan peralatan proteksi.

3.3 Survey Lapangan dan Pengumpulan Data

Pada penelitian ini hanya menggunakan data sekunder yaitu data yang diperoleh dari bahan pustaka dan penelitian secara tidak langsung melalui media perantara. Data sekunder yang digunakan adalah:

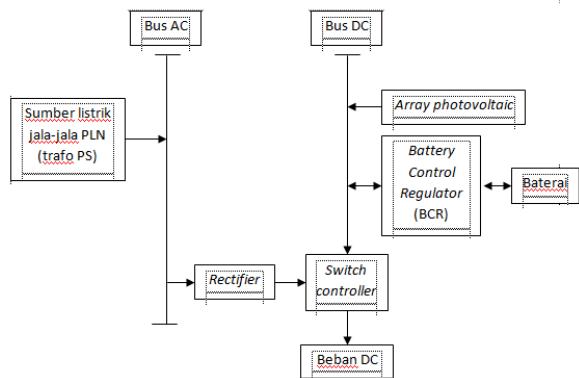
1. Radiasi matahari.
2. Sistem DC di GI Blimbing.
3. Kondisi fisik dilapangan.
4. Spesifikasi teknis dari modul *photovoltaic* dan komponen lain yang sesuai untuk merancang sistem *photovoltaic*.

- Rumus-rumus yang digunakan untuk menghitung atau mengolah data sekunder yang telah didapatkan.

3.4 Perancangan

Perancangan dilakukan setelah semua data yang diperlukan terkumpul. Perancangan yang meliputi spesifikasi teknis modul *photovoltaic*, komponen-komponen pada sistem *photovoltaic*, dan peletakan modul *photovoltaic*. Setelah semua peralatan sistem *photovoltaic* didapatkan, kemudian dilakukan perencanaan kinerja *hybrid* sistem *photovoltaic* dengan jala-jala PLN.

Perancangan dilakukan dengan berdasarkan perhitungan dan melihat kondisi lapangan agar sesuai dengan kebutuhan.



Gambar 3.2 Blok Diagram Perancangan *Hybrid* Sistem *Photovoltaic*-Jala-Jala PLN

3.5 Perhitungan dan Analisis Data

Data-data yang sudah terkumpul selanjutnya diolah melalui perhitungan dan dianalisis sehingga diperoleh perancangan *hybrid* sistem *photovoltaic* yang diharapkan. Perhitungan dimulai dari potensi energi masukan ke modul *photovoltaic* yang bersumber dari data radiasi matahari. Perhitungan tersebut digunakan untuk mendapatkan spesifikasi teknik modul yang akan digunakan. Selanjutnya perhitungan energi total yang harus disuplai oleh sistem *photovoltaic* dalam satu hari, dan faktor lain yang berhubungan dengan modul yang digunakan.

Spesifikasi baterai sudah ada di gardu induk maka kapasitas baterai yang digunakan untuk sistem penyimpanan sudah tersedia. Kapasitas baterai yang sudah ada digunakan sebagai dasar perhitungan jumlah kebutuhan energi total yang harus disuplai oleh sistem *photovoltaic*. Setelah didapatkan spesifikasi teknis modul *photovoltaic* yang dibutuhkan, maka selanjutnya melakukan analisis secara manual melalui metode perhitungan untuk mendapatkan peralatan yang digunakan pada sistem *photovoltaic* seperti *battery control regulator*, kabel instalasi, *switch controller*.

3.6 Kesimpulan dan Saran

Akhir dari kegiatan penelitian ini adalah disusunnya suatu kesimpulan dari semua proses perancangan yang telah dilakukan, serta saran agar kedepannya hasil yang diperoleh dalam perancangan sistem *photovoltaic* dapat lebih baik dan dapat digunakan pada sistem tenaga listrik yang lebih rumit.

IV. PERHITUNGAN DAN ANALISIS

4.1. Data Sistem DC DI GI Blimbing-Malang

Didalam sistem DC GI Blimbing, baterai yang digunakan untuk mensuplai peralatan kontrol dan proteksi pada saluran transmisi 70/20 kV adalah baterai proteksi 1 merk Friwo dengan kapasitas 150 Ah. Besarnya kapasitas *rectifier* yang terpasang pada baterai proteksi 1 adalah 20 A dan jumlah total besarnya beban DC (peralatan kontrol dan peralatan proteksi) pada saluran transmisi 70/20 kV adalah 12 A.

4.2. Data Radiasi Matahari Di Malang Raya

Tabel 4.1 Data Radiasi Matahari Dan Waktu Efektif Di Malang Raya Selama Tahun 2012

Bulan	Radiasi Matahari		Waktu Efektif	
	KJ/m ²	kWh/m ²	Prosentase (%)	Jam Efektif
Januari	288,99	3,360	23	2,76
Februari	367,51	4,273	44	5,28
Maret	316,23	3,677	30	3,6
April	409,02	4,756	57	6,84
Mei	378,63	4,403	59	7,08
Juni	378,49	4,401	59	7,08
Juli	337,92	3,929	57	6,84
Agustus	408,55	4,751	69	8,28
September	425,85	4,952	71	8,52
Okttober	435,86	5,068	70	8,4
November	389,79	4,532	54	6,48
Desember	338,52	3,936	38	4,56
Total	52,038		75,72	
Rata-rata	4,337		6,31	

Daya radiasi matahari terbesar rata-rata terjadi pada bulan oktober. Besarnya energi dari radiasi matahari yang masuk ke modul dapat ditentukan dengan

$$P_{in} = \frac{\text{radiasi bulan oktober}}{\text{waktu efektif bulan oktober}} = \frac{5,068 \frac{kWh}{m^2}}{8,4 h} \\ = 0,603 \frac{W}{m^2} = 603 \frac{W}{m^2}$$

Energi tersebut tidak akan menghasilkan keluaran maksimum dari sebuah modul *photovoltaic* karena masih dibawah *standart test condition*, yaitu 1000 W/m². *Standart test condition* merupakan

keadaan agar modul *photovoltaic* dapat menghasilkan daya *peak*-nya.

4.3. Perancangan Sistem Photovoltaic

Pada subbab ini akan dibahas tentang perancangan dari masing-masing komponen dari sistem *photovoltaic* berdasarkan karakteristik beban dan kondisi yang ada. Perancangan yang dilakukan pada subbab ini terdiri dari perancangan modul *photovoltaic* dan perancangan *battery control regulator*. Pada perancangan ini komponen baterai dan inverter tidak dilakukan. Baterai sudah tersedia dilapangan (di GI Blimbing-Malang) dan baterai akan dijadikan sebagai alat dasar dari perhitungan untuk mendapatkan kapasitas daya dari modul *photovoltaic*.

4.3.1 Perancangan Modul *Photovoltaic* Yang Digunakan

Energi yang tersimpan dalam baterai tidak boleh sampai keadaan habis, maka ada faktor lain yang perlu diperhitungkan yaitu *depth of discharge* (DOD). Besarnya DOD pada baterai umumnya 80%, artinya energi yang dapat diberikan hanya 80% dari kapasitas yang sesungguhnya, setelah itu baterai harus diisi kembali.

Besarnya total energi yang harus disuplai modul dapat ditentukan dengan

$$C = \frac{E_M}{V_B \times DOD \times \eta_{total}}$$

$$E_M = C \times V_B \times DOD \times \eta_{total}$$

$$E_M = 150 \times 110 \times 80\% \times 80\% = 10560 \text{ Wh}$$

Jadi total energi yang harus disuplai modul *photovoltaic* adalah sebesar 10560 Wh.

Data radiasi matahari yang digunakan dalam perhitungan kapasitas modul adalah radiasi pada bulan terendah yaitu bulan januari sebesar $3,360 \text{ kWh/m}^2$.

Untuk mendapatkan kapasitas daya modul, yang digunakan dalam perhitungan adalah jumlah jam kerja matahari bukan besar radiasi matahari. Oleh karena itu, data radiasi terendah yang ada harus kita bagi dengan *Standart Test Condition* yaitu 1000 W/m^2 .

$$\text{Jumlah jam kerja matahari} = \frac{3360 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2}}{1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} = 3,360 \text{ h}$$

$$\text{Kapasitas daya modul} = \frac{10560 \text{ Wh}}{3,360 \text{ h}} \times 1,1 = 3457,14 \text{ Wp}$$

Untuk memenuhi kebutuhan yang sesuai dengan kondisi dilapangan, maka digunakan sejumlah modul sehingga diperoleh jumlah yang diperlukan. Dalam perancangan ini digunakan modul berkapasitas 175 Wp yang tersedia di pasaran.

$$\text{Jumlah modul} = \frac{3457,14 \text{ Wp}}{175 \text{ Wp}} = 19,75 \approx 20 \text{ modul}$$

Jadi dalam perancangan sistem *photovoltaic* ini digunakan modul sebanyak 20 buah yang tersusun

secara seri dan paralel untuk mendapatkan hasil yang diperlukan.

4.3.2 Perancangan *Battery Control Regulator* Yang Digunakan

Tegangan kerja *Battery Control Regulator* harus sesuai dengan tegangan kerja baterai dan modul surya yaitu 110 V_{DC} . Kapasitas arus yang mengalir pada *Battery Control Regulator* dapat ditentukan dengan beban arus searah di lapangan yang besarnya 12 A. Sesuai dengan ketersedianya di pasaran maka *Battery Control Regulator* yang terpasang berkapasitas 60 A dengan tegangan 48 V_{DC} .

4.4. Analisis Teknis Perancangan Sistem *Photovoltaic*

Pada sub-bab sebelumnya telah dilakukan perhitungan secara elektrik, maka untuk merealisasikannya perlu dilakukan perbandingan antara hasil perhitungan dengan peralatan yang tersedia di pasaran.

Tabel 4.2 Daftar Komponen Yang Digunakan

No	Komponen Yang Terpasang	Keterangan
1	Modul <i>Photovoltaic</i> 175 Wp	Sejumlah 20 modul yang tersusun seri dan paralel. Disusun seri setiap 4 modul untuk mendapatkan tegangan keluaran 110 V_{DC} . Kemudian diparalel untuk mendapatkan daya keluaran yang dibutuhkan.
2	<i>Battery Control Regulator</i> 48 V, 60 A	Sejumlah 3 buah yang disusun seri agar mendapatkan tegangan kerja yang sesuai dengan baterai yaitu 110 V_{DC} .
3	Baterai jenis alkali, tegangan maksimum 1,5 V/sel, 150 Ah	Sudah tersedia di gardu induk Blimbing-Malang sejumlah 84 sel baterai yang disusun seri untuk mendapatkan tegangan kerja 110 V_{DC} .

4.5. Penentuan Arah Modul *Photovoltaic*

Secara geografis wilayah kota Malang terletak pada 7° - 8° Lintang Selatan (LS) dan 112° Bujur Timur (BT). Sesuai dengan letak geografis kota Malang, maka untuk mendapatkan sinar matahari yang optimal, modul *photovoltaic* dihadapkan ke arah utara dengan sudut kemiringan 8° terhadap horizontal. Sehingga modul akan tepat tegak lurus terhadap arah sinar matahari.

4.6. Analisis Kinerja *Hybrid* Sistem *Photovoltaic* Dengan Jala-Jala PLN

Sistem *photovoltaic* dirancang menggunakan *storage system* yaitu baterai. Pada baterai yang digunakan terdapat batas tegangan kerja sistem yang diatur oleh *Battery Charge Regulator* (BCR), yaitu indikator waktu kerja sistem *photovoltaic* dalam

mensuplai listrik ke beban. Batas tegangan kerja yang terdapat pada baterai yaitu tegangan batas bawah 99 V, tegangan batas bawah rekoneksi 101 V, dan tegangan batas atas 126 V.

Sistem *photovoltaic* akan bekerja (*on*) apabila tegangan baterai mencapai batas bawah rekoneksi dan tidak bekerja (*off*) apabila tegangan baterai mencapai batas bawah. Baterai akan terisi penuh sampai pada tegangan batas atas.

Tabel 4.3 Perencanaan Profil Tegangan *Battery Charge Regulator* Yang Mempengaruhi Kerja Sistem *Photovoltaic*

Waktu	Kondisi Pertama	Kondisi Kedua	Kondisi Ketiga
06.00	124,5 V	126,0 V	124,5 V
07.00	123,0 V	126,0 V	123,0 V
08.00	121,5 V	124,0 V	121,5 V
09.00	120,0 V	122,0 V	120,0 V
10.00	118,5 V	120,5 V	118,5 V
11.00	117,0 V	119,0 V	117,0 V
12.00	116,0 V	117,5 V	116,0 V
13.00	115,0 V	116,0 V	115,0 V
14.00	113,5 V	114,5 V	113,0 V
15.00	112,0 V	113,0 V	111,0 V
16.00	110,5 V	111,0 V	109,0 V
17.00	109,0 V	109,0 V	107,0 V
18.00	107,0 V	107,0 V	105,0 V
19.00	105,0 V	105,0 V	103,0 V
20.00	103,0 V	103,0 V	101,0 V
21.00	101,0 V	101,0 V	106,0 V
22.00	106,0 V	106,0 V	111,0 V
23.00	111,0 V	111,0 V	116,0 V
24.00	116,0 V	116,0 V	121,0 V
01.00	121,0 V	121,0 V	126,0 V
02.00	126,0 V	126,0 V	126,0 V
03.00	126,0 V	126,0 V	126,0 V
04.00	126,0 V	126,0 V	126,0 V
05.00	126,0 V	126,0 V	126,0 V

Ilustrasi perencanaan profil tegangan dibuat dalam daerah kerja batas bawah rekoneksi 101 V sampai dengan batas atas 126 V berdasarkan kondisi intensitas sinar matahari. Besarnya beban yang disuplai sistem *photovoltaic* konstan yaitu 12 A.

Keterangan tabel:

- Pada kondisi pertama (cuaca cerah):
 - Saat kondisi cuaca cerah sistem *photovoltaic* bekerja pada pukul 05.00-21.00. BCR mengatur tegangan pada baterai, BCR mulai membaca pengurangan tegangan pada pukul 06.00. Besarnya pengurangan tegangan dari pukul 05.00-11.00 adalah 1,5 V. Adanya radiasi matahari yang masuk ke modul mengakibatkan penambahan energi yang masuk ke baterai sehingga tegangan baterai berkurang 1,5 V dengan beban yang konstan.
 - Pada pukul 11.00-13.00 tegangan yang berkurang 1 V, dikarenakan pada saat itu letak matahari mendekati tegak lurus dengan modul. Artinya radiasi matahari yang masuk lebih banyak dan keluaran modul mendekati maksimum.

- Pada pukul 13.00-17.00 pengurangan tegangan besarnya kembali menjadi 1,5 V dikarenakan letak matahari sudah tidak tegak lurus lagi dengan modul. Artinya radiasi matahari yang masuk ke modul lebih sedikit.

- Pada pukul 17.00-21.00 pengurangan tegangan menjadi 2 V. Pengurangan tegangan ini sama seperti kondisi baterai yang tidak tersambung dengan sistem *photovoltaic* dalam mensuplai beban konstan tanpa adanya tambahan energi yang masuk ke baterai.

- Pada pukul 21.00-05.00 sistem *photovoltaic* sudah tidak bekerja. Beban kembali disuplai oleh trafo pemakaian sendiri dan pengisian energi pada baterai disuplai dari trafo pemakaian sendiri (jala-jala PLN).

2. Pada kondisi kedua (cuaca mendung):

- Saat kondisi cuaca mendung sistem *photovoltaic* bekerja pada pukul 07.00-21.00. Besarnya pengurangan tegangan pada pukul 07.00-09.00 adalah 2 V. Tidak adanya radiasi matahari yang masuk ke modul mengakibatkan pengurangan energi pada baterai sama seperti kondisi baterai yang tidak tersambung dengan sistem *photovoltaic* dalam mensuplai beban konstan tanpa adanya tambahan energi yang masuk ke baterai.

- Pada pukul 09.00-15.00 pengurangan tegangan menjadi 1,5 V. Itu dikarenakan pada waktu tersebut terdapat radiasi matahari yang masuk ke modul sehingga modul dapat mensuplai energi ke baterai.

- Pada pukul 15.00-21.00 pengurangan tegangan menjadi 2 V. Pengurangan tegangan ini sama seperti kondisi baterai yang tidak tersambung dengan sistem *photovoltaic* dalam mensuplai beban konstan tanpa adanya tambahan energi yang masuk ke baterai.

- Pada pukul 21.00-07.00 sistem *photovoltaic* sudah tidak bekerja. Beban kembali disuplai oleh trafo pemakaian sendiri dan pengisian energi pada baterai disuplai dari trafo pemakaian sendiri (jala-jala PLN).

3. Pada kondisi ketiga (cuaca ekstrim):

- Saat kondisi cuaca ekstrim sistem *photovoltaic* bekerja pada pukul 05.00-20.00. Besarnya pengurangan tegangan dari pukul 05.00-11.00 adalah 1,5 V. Adanya radiasi matahari yang masuk ke modul mengakibatkan penambahan energi yang masuk ke baterai sehingga tegangan baterai berkurang 1,5 V dengan beban yang konstan.

- Pada pukul 11.00-13.00 tegangan yang berkurang 1 V, dikarenakan pada saat itu

letak matahari mendekati tegak lurus dengan modul. Artinya radiasi matahari yang masuk lebih banyak dan keluaran modul mendekati maksimum.

- Pada pukul 13.00-20.00 besarnya pengurangan tegangan menjadi sangat besar, yaitu 2 V. Setelah pukul 13.00, cuaca berubah secara ekstrim dari cuaca cerah menjadi hujan deras. Oleh karena itu tidak ada radiasi matahari yang masuk ke modul *photovoltaic* dikarenakan cuaca berubah menjadi hujan deras.
- Pada pukul 20.00-05.00 sistem *photovoltaic* sudah tidak bekerja. Beban kembali disuplai oleh trafo pemakaian sendiri dan pengisian energi pada baterai disuplai dari trafo pemakaian sendiri (jala-jala PLN).

V. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian perancangan *hybrid* sistem *photovoltaic* di Gardu Induk Blimbings-Malang, di peroleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Besar potensi energi masukan (*input*) ke modul *photovoltaic* yang bersumber dari radiasi matahari tidak menghasilkan daya keluaran maksimum dari sebuah modul *photovoltaic*.
2. Dalam perancangan ini membutuhkan modul *photovoltaic* sebanyak 20 buah yang tersusun seri dan paralel dengan kapasitas modul sebesar 175 Wp.
3. Sistem *photovoltaic* akan bekerja (*on*) apabila tegangan baterai mencapai batas bawah rekoneksi 101 V dan tidak bekerja (*off*) apabila tegangan baterai mencapai batas bawah 99 V. Baterai akan terisi penuh sampai pada tegangan batas atas 126 V. Tegangan baterai yang digunakan diatur oleh *Battery Charge Regulator* (BCR). Pada kondisi cerah sistem *photovoltaic* dapat bekerja selama 16 jam dalam mensuplai beban DC yaitu pada pukul 05.00-21.00. Pada kondisi cuaca mendung sistem *photovoltaic* dapat bekerja selama 14 jam dalam mensuplai beban DC yaitu pada pukul 07.00-21.00.
4. Lokasi penelitian ini (GI Blimbings-Malang) kurang tepat dalam pengaplikasiannya, karena pada lokasi penelitian ini frekuensi gangguannya rendah dan sistemnya terinterkoneksi. Penelitian ini lebih tepat berada pada sistem yang tingkat pemadaman dan gangguannya tinggi, serta pada sistem yang *isolated*. Karena apabila lokasi

penelitian ini pada sistem yang *isolated*, maka sistem *photovoltaic* dapat digunakan sebagai *hybrid* untuk mencharge baterai proteksi 1. Energi yang tersimpan didalam baterai proteksi 1 akan digunakan untuk mensuplai beban DC yaitu peralatan kontrol dan proteksi pada saluran transmisi tegangan 70/20 kV.

5.2. SARAN

Saran dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

Penelitian ini diharapkan dapat turut ambil bagian dalam pengembangan teknologi sistem *photovoltaic* dan aplikasinya. Perancangan ini adalah perancangan sistem pembangkitan yang ditinjau dari segi teknis. Berupa kajian ilmiah yang secara teori mempelajari cara menghibridkan sistem *photovoltaic* dengan jala-jala PLN. Kajian ilmiah ini berdasarkan teori dan hasil analisis yang diperoleh untuk tempat pemasangan modul, pemasangan modul dibutuhkan tempat yang luas. Karena secara teori tugas akhir ini dapat dilakukan, tetapi secara nyata tugas akhir ini sedikit susah dilakukan dilokasi penelitian (GI Blimbings-Malang).

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Bien, LE, dkk. 2008. *Perancangan system Hibrid Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dengan Jala-Jala Listrik PLN Untuk Rumah Perkotaan*. Jakarta: Teknik Elektro Universitas Trisakti.
- [2]. Hankins, Mark. 2010. *Stand-Alone Solar Electric Systems*. London: Earthscan.
- [3]. Massenger, Roger A. dan Ventre, Jerry. 2004. *Photovoltaic Systems Engineering*. Second Edition. New York: CRC Press.
- [4]. Papadopoulou, Elena V.M. 2011. *Photovoltaic Industrial Systems*. Berlin: Springer.
- [5]. PT.PLN (persero) P3B Sektor Malang. 2006. *Instruksi Kerja Petunjuk Pengoperasian Gardu Induk Blimbings*. Malang: PT.PLN (persero) Penyaluran Dan Pusat Pengatur Beban Jawa Bali.