

ANALISIS PENEMPATAN SEL SURYA PADA ATAP SETENGAH LINGKARAN SEBAGAI APLIKASI SISTEM TENAGA *OFF GRID*

Adista Ayu Wideasanti^{*)}, Hermawan^{*)}, and Karnoto^{*)}

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail : *adis.santi@gmail.com, hermawan.60@gmail.com, karnoto69@gmail.com*

Abstrak

Energi listrik mengambil peran yang sangat penting bagi penunjang kehidupan manusia. Kebanyakan pembangkit listrik menggunakan bahan bakar fosil dan keberadaannya semakin lama semakin menipis. Sel surya atau fotovoltaik merupakan salah satu energi baru terbarukan yang memiliki potensial besar untuk digunakan di Indonesia. Pemilik gedung Terminal LPG Semarang juga berencana menggunakan fotovoltaik sebagai sumber tenaga, dimana energi listrik pada bangunan tidak dihubungkan dengan PLN atau off grid. Modul fotovoltaik diletakkan pada atap melengkung gedung Terminal LPG Semarang dengan 10 variasi kemiringan sudut. Hal itu dimaksudkan agar tidak merusak arsitektur dari bangunan. Sepuluh slope tersebut menghasilkan perbedaan nilai daya output yang nantinya akan dijumlahkan untuk mendapatkan nilai daya total. Perhitungan intensitas radiasi matahari menggunakan MATLAB 2008 untuk mencari nilai radiasi sebagai masukan hingga daya keluaran yang dapat dihasilkan oleh total modul PV. Hasil perhitungan intensitas radiasi matahari pada gedung Terminal LPG Semarang dengan 10 kemiringan sudut modul fotovoltaik menunjukkan bahwa kemiringan sudut fotovoltaik yang dapat menerima irradiasi paling kecil adalah pada sudut 36°. Jumlah energi yang dapat diberikan oleh 120 modul fotovoltaik pada atap gedung Terminal LPG Semarang 15.31 MWh dalam kurun waktu satu tahun dengan indeks kecerahan minimum (kt sebesar 0.3).

Kata kunci : fotovoltaik, radiasi matahari, sistem off-grid

Abstract

Electricity takes an important role to support human activities. The electricity is taken from fossil fuel and its existence is increasing out. Solar cell or photovoltaic became one of the renewable energy which has great potential to be applied in Indonesia. The owner of Terminal LPG Semarang is going to use photovoltaic as source of electrical energy, and the electrical energy in building is not connected with PLN. Photovoltaic modules are placed on the curve roof Terminal LPG Semarang with 10 variations angle slope. It is intended to preserve the architecture of the building. The solar irradiation calculation was carried out by using MATLAB 2008 to find the total output of the photovoltaic modules. The result of solar irradiation calculation at the roof of Terminal LPG Semarang with 10 angle of the slope photovoltaic modules shows that the minimum angle which is able to receive the smallest solar irradiation is 36°. The total energy given by 120 photovoltaic modules on the roof of Terminal LPG Semarang is 15.31 MWh within a year with the minimum clearness index (kt is 0.3).

Keyword: photovoltaic, solar irradiation, PV slope, off-grid system

1. Pendahuluan

Penurunan cadangan energi fosil merupakan masalah bagi kebutuhan energi listrik yang terus meningkat. Oleh karena itu, penggunaan *renewable* energi sebagai energi alternatif semakin dikembangkan, mengingat kelebihannya yang juga ramah lingkungan. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan aplikasi dari penggunaan energi terbarukan, dengan matahari sebagai energi primer. Sel surya menerima radiasi matahari yang kemudian dikonversikan menjadi energi listrik.

Sistem pembangkitan energi surya bergantung pada radiasi yang diterima oleh modul fotovoltaik dengan sudut kemiringan (*slope*) tertentu. Besarnya daya yang dihasilkan oleh fotovoltaik berbanding lurus dengan besarnya radiasi matahari yang diterima modul fotovoltaik. Selain slope, radiasi juga ditentukan oleh lokasi penempatan sel surya. Indonesia merupakan lokasi yang berpotensi besar untuk pembangunan PLTS dengan karena berada tepat di garis khatulistiwa dengan 6° LU – 11° LS dan 95° BT - 141° BT. Letak geografis Indonesia

tersebut menyebabkan radiasi harian matahari rata - rata yang diterima relatif tinggi yaitu 4.5 kWh/m²/hari.

Menurut data dari Kementerian Lingkungan Hidup, 2009, sektor energi merupakan penyumbang terbesar gas rumah kaca (GRK), khususnya CO₂. PT. PLN (persero) sebagai industri penghasil energi juga berkontribusi sebagai penghasil emisi CO₂ dari proses konversi energi. Hal itu disebabkan oleh penggunaan bahan bakar dalam proses pembangkitan yang selama ini lebih banyak menggunakan bahan bakar fosil, seperti solar, minyak diesel, residu, gas alam, dan juga batu bara. Penurunan nilai emisi CO₂ dapat dilakukan dengan menambah konsentrasi pepohonan, dapat dilakukan bekerja sama dengan Departemen Kehutanan. Selain itu, pengaplikasian energi baru terbarukan (EBT) dapat dijadikan alternatif sebagai solusi permasalahan tersebut. Teknologi fotovoltaik merupakan salah satu energi yang dapat digunakan dalam usaha pembangkitan tenaga listrik yang ramah lingkungan.

Selain keunggulan Sel Surya yang ramah lingkungan karena tidak melepaskan polutan seperti halnya berbagai bahan bakar fosil, Sel Surya dapat menunjang pemerataan energi listrik di Indonesia karena dapat ditempatkan di daerah terisolasi atau terpencil. Teknologi fotovoltaik ini dapat diimplementasikan menjadi *Solar Home Sistem* (SHS), yaitu pemasangan sel surya pada perumahan untuk menjangkau daerah yang terpencil.

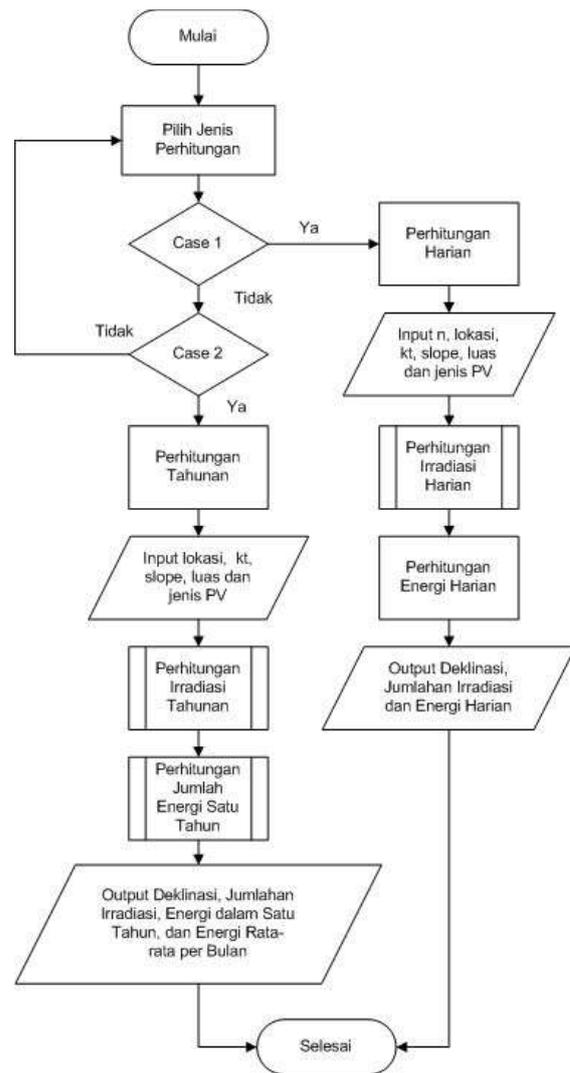
Penempatan modul *photovoltaic* biasanya ditempatkan dengan satu sudut kemiringan yang telah ditentukan. Namun, permasalahan timbul apabila atap bangunan berbentuk setengah lingkaran dan tidak diperkenankan untuk merusak arsitekturnya. Sebagai solusi, *photovoltaic* dipasang mengikuti bentuk atap, yaitu setengah lingkaran dengan *slope* yang bervariasi, seperti yang terdapat pada gedung Terminal LPG Semarang. Pemilik fasilitas umum tersebut menginginkan adanya *array* fotovoltaik pada atap gedung Terminal LPG Semarang sebagai suatu sistem tenaga *off grid*. Tiap *slope* pada atap gedung Terminal LPG Semarang menghasilkan daya keluaran yang berbeda-beda bergantung pada nilai *slope* modul surya.

Teknologi fotovoltaik mengkonversi sinar matahari menjadi energi listrik. Untuk mendapatkan jumlah radiasi matahari, pada penelitian ini digunakan software MATLAB[®] 2008 untuk membantu perhitungan daya keluaran dari fotovoltaik dengan inputan intensitas radiasi matahari.

2. Metode

2.1 Perancangan Simulasi Sistem

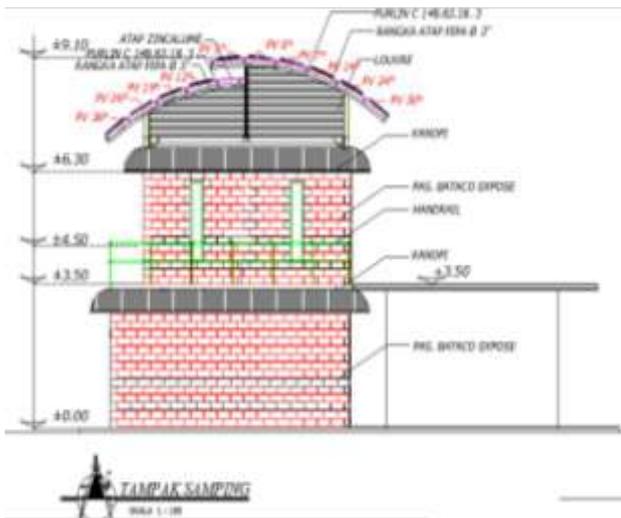
Nilai intensitas radiasi matahari pada perhitungan dilakukan secara bertahap. Diagram alir tahap perancangan dan pembuatan program pada penelitian ini dapat diilustrasikan dengan Gambar 1 sebagai berikut :



Gambar 1 Blok Diagram Alir Tahap Pembuatan Program

Data lokasi yang digunakan pada penelitian ini terletak di Kota Semarang dengan letak geografis di -7° LU, pada bangunan Terminal LPG Semarang. Terminal LPG Semarang ini direncanakan sebagai sebuah fasilitas umum yang difungsikan sebagai tempat peristirahatan para pengemudi truk-truk pembawa gas LPG. Gambar 2 merupakan tampak depan Terminal LPG Semarang.

Dari Gambar 2 diketahui bahwa secara garis besar peletakkan fotovoltaik dikelompokkan menjadi dua bagian, bagian kanan yang menghadap selatan, dengan bagian kiri yang menghadap ke arah utara. Bagian kanan terdapat lima variasi *slope* dengan satu variasi terletak horizontal menghadap langit, atau dengan kata lain kemiringan sudut fotovoltaik 0° . Selain 0° , empat variasi *slope* lain yang ada pada bagian kanan adalah 30° , 24° , 14° , dan 7° . Bagian kiri terdiri dari lima variasi *slope* yaitu 36° , 26° , 19° , 12° , dan 5° .



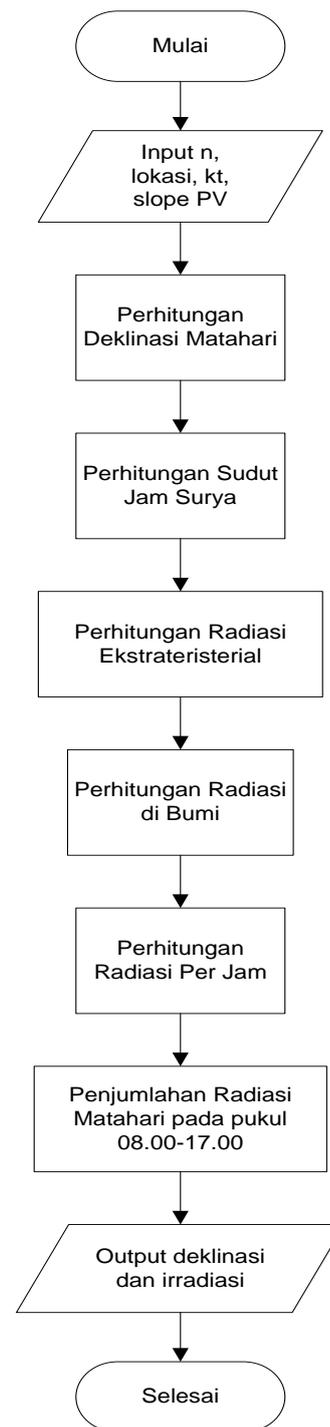
Gambar 2 Rancang bangun Terminal LPG Semarang

Perhitungan dilakukan dengan bantuan MATLAB 2008 untuk memperoleh nilai intensitas radiasi matahari dan energi untuk nilai harian dan tahunan. Sedangkan untuk membuat tampilan program, digunakan *Graphic User Interface* (GUI) untuk mempermudah pengguna memasukkan data dan juga membuat tampilan lebih menarik.

2.2 Perhitungan Intensitas Radiasi Matahari Untuk Mendapatkan Nilai Energi

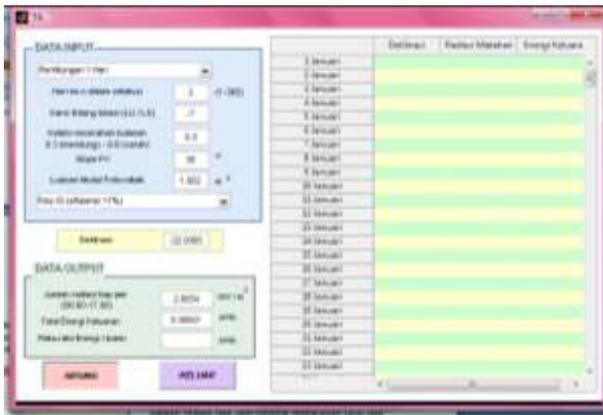
Perhitungan intensitas radiasi matahari harian yang dilakukan pada penelitian penelitian ini dapat dijelaskan dengan diagram alir yang terdapat di Gambar 3.

Sebelumnya nilai inputan hari ke-n dimasukkan untuk menghitung deklinasi matahari. Dari nilai deklinasi, untuk mendapatkan H_o (*extraterrestrial radiation*), nilai deklinasi dan titik lokasi dalam LU dipergunakan untuk mendapatkan nilai sudut surya terbenam. Dalam program ini, inputan lokasi menggunakan acuan bumi bagian utara atau LU. Apabila lokasi peletakkan fotovoltaik berada di bumi bagian selatan, nilai lokasi dikalikan minus 1 (-1). Nilai radiasi ekstraterrestrial selanjutnya digunakan untuk mencari nilai radiasi matahari dengan memperhitungkan nilai inputan indeks kecerahan dan juga sudut kemiringan fotovoltaik.



Gambar 3 Diagram alir irradiansi harian

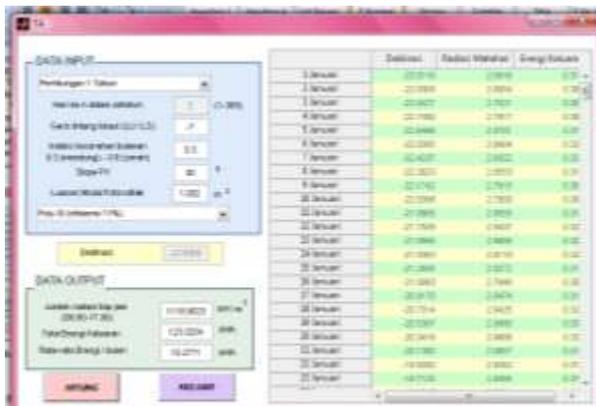
Nilai radiasi yang dapat dihitung oleh program ini dalam satuan kWatt/m^2 . Radiasi matahari tersebut dikalikan dengan satuan waktu hingga didapatkan nilai energi dalam $\text{kWh/m}^2/\text{hari}$. Seperti pada diagram alir, Gambar 1, nilai energi inilah yang kemudian dikalikan dengan nilai efisiensi dan luasan fotovoltaik yang akan digunakan untuk menghitung total energi keluaran yang bisa diberikan fotovoltaik.



Gambar 4 Tampilan perhitungan energi matahari harian di Semarang

Gambar 4 mengilustrasikan tampilan untuk perhitungan harian. Dalam gambar tersebut dapat diketahui nilai deklinasi matahari, total jumlahan radiasi matahari dari jam 8.00 sampai jam 17.00 WIB dan juga nilai energi keluaran yang dapat diberikan dalam satuan kWh/m²/hari.

Untuk perhitungan tahunan, data radiasi dan energi diletakkan pada tabel. Tabel pada perhitungan tahunan berisi data deklinasi, nilai radiasi matahari, beserta nilai energi yang dapat dibangkitkan oleh fotovoltaik. Tabel disusun sesuai tanggal dalam kurun waktu satu tahun, yaitu 1 Januari sampai dengan 31 Desember. Kemudian, pada energi tahunan diberikan juga rata-rata energi per bulan dalam satuan kWh.



Gambar 5 Tampilan perhitungan energi matahari tahunan di Semarang

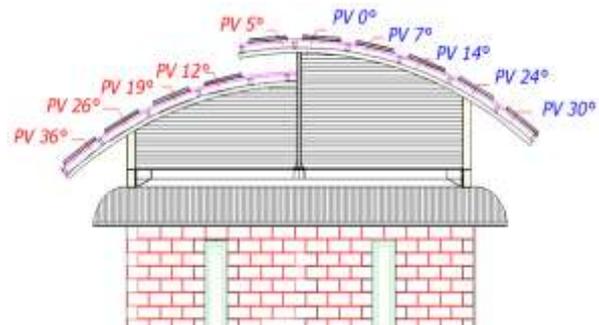
Pada perhitungan tahunan, menu input hari ke-n tidak diaktifkan karena ditampilkan pada tabel, seperti yang terjadi pada nilai sudut deklinasi. Sedangkan, menu jumlah radiasi tiap jam yang ada pada perhitungan harian, pada perhitungan tahunan juga aktif. Namun, keduanya memiliki nilai yang berbeda seperti yang terlihat pada Gambar 5.

Pada perhitungan tahunan, nilai dari menu jumlah radiasi tiap jam tersebut merupakan total dari nilai radiasi matahari dalam kurun waktu satu tahun. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 5. Nilai keseluruhan intensitas radiasi matahari dalam kurun waktu satu tahun yang didapatkan dengan perhitungan kemudian dikalikan dengan luasan modul fotovoltaik dan juga nilai efisiensi berdasarkan jenis modul. Hal tersebut dilakukan dalam kurun waktu satu tahun untuk mendapatkan nilai energi yang bisa dibangkitkan oleh fotovoltaik. Kemudian, hasil perhitungan tersebut dijumlahkan untuk mendapatkan nilai energi total dalam setahun, yang kemudian dibagi jumlah bulan untuk mendapatkan nilai rata-rata energi pada tiap bulan selama satu tahun.

3. Hasil dan Analisa

3.1 Hasil Perhitungan Intensitas Radiasi Matahari

Perhitungan intensitas radiasi matahari dilakukan pada sepuluh variasi kemiringan sudut modul fotovoltaik seperti pada Gambar 6 berikut :



Gambar 6 Variasi pemasangan modul fotovoltaik pada atap setengah lingkaran

Perhitungan intensitas radiasi matahari dilakukan dengan menggunakan atap fasilitas umum Terminal LPG Semarang. Variasi kemiringan sudut yang digunakan terdapat sepuluh macam, yang dikelompokkan menjadi dua bagian besar. Bagian kanan beserta satu *slope* terletak horizontal menghadap langit, dan juga bagian kiri yang terdiri dari lima *slope* yang bervariasi. Bagian kanan menghadap arah selatan, berwarna biru dan bagian kiri menghadap utara, yang ditandai dengan warna merah.

Untuk pengambilan data, dilakukan perhitungan dengan mencari nilai intensitas radiasi matahari harian. Contoh tampilan perhitungan terlihat pada Gambar 5, dimana perhitungan radiasi matahari dilakukan untuk kemiringan sudut (*slope*) fotovoltaik 30°. Dalam perhitungan, digunakan modul fotovoltaik dengan luasan 1,002 meter persegi dan berjenis Poly-Si (*poly-crystalline*) dengan efisiensi 11%. Total radiasi pada jam 08.00 hingga 17.00 WIB dalam pada tanggal 2 Januari (n = 2) mencapai nilai 2.8054 kWh/m².

Perhitungan intensitas radiasi matahari dilakukan pada kesembilan variasi *slope* lainnya. Selain nilai *slope* modul fotovoltaik, data input dari keempat perhitungan selanjutnya memiliki nilai yang samadengan data inputan pada *slope* 30°.

Tabel 1 Perhitungan irradiansi pada 10 variasi *slope*

Bulan	Rata-rata Intensitas Radiasi Matahari (kWatt/m ² .hari)									
	0°	5°	7°	12°	14°	19°	24°	26°	30°	36°
Januari	3.377	3.335	3.313	3.248	3.218	3.132	3.031	2.987	2.892	2.735
Februari	3.440	3.416	3.402	3.355	3.332	3.262	3.178	3.140	3.057	2.917
Maret	3.410	3.413	3.409	3.389	3.377	3.334	3.275	3.248	3.185	3.073
April	3.242	3.272	3.280	3.289	3.288	3.274	3.245	3.229	3.189	3.111
Mei	3.023	3.074	3.090	3.120	3.128	3.137	3.130	3.124	3.103	3.053
Juni	2.899	2.959	2.979	3.019	3.030	3.049	3.053	3.051	3.038	3.002
Juli	2.959	3.015	3.034	3.069	3.079	3.093	3.092	3.088	3.071	3.029
Agustus	3.167	3.206	3.217	3.235	3.238	3.233	3.213	3.201	3.168	3.102
September	3.361	3.374	3.375	3.366	3.357	3.325	3.277	3.254	3.199	3.100
Oktober	3.437	3.422	3.411	3.373	3.353	3.292	3.216	3.181	3.105	2.974
November	3.402	3.364	3.344	3.284	3.255	3.172	3.075	3.033	2.940	2.787
Desember	3.356	3.308	3.284	3.214	3.182	3.090	2.984	2.938	2.840	2.678
TOTAL	39.073	39.158	39.140	38.960	38.836	38.395	37.772	37.472	36.788	35.559

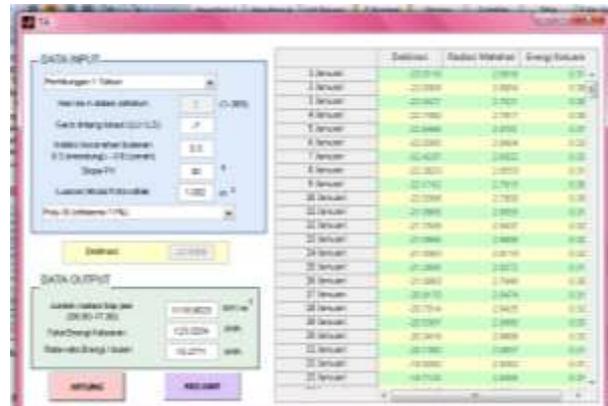
Tabel 1 menjelaskan bahwa kemiringan suatu modul fotovoltaik berpengaruh terhadap nilai intensitas radiasi matahari yang dapat diterima. Terlihat pada Tabel 1, nilai total terbesar yang didapatkan pada perhitungan irradiansi untuk gedung Terminal LPG Semarang adalah pada sudut 5° dan terkecil terdapat pada sudut 36° sebesar 35.559 kwatt/meter².

Tabel perhitungan irradiansi dengan 10 variasi *slope* pada gedung Terminal LPG Semarang menggambarkan bahwa rentang data irradiansi matahari yang tidak terlalu besar apabila perbedaan sudut tidak sampai 10°, untuk sudut kemiringan di bawah 30°. Untuk nilai irradiansi matahari pada sudut 0°, 5° dan 7°, perbedaan diantara ketiganya tidak begitu besar, tidak lebih dari 0.2 kWatt untuk ketiganya. Tetapi, perbedaan pada sudut 30° dan 36° menghasilkan perbedaan sebesar 1.229 kWatt. Sehingga, dapat diambil kesimpulan, bahwa modul fotovoltaik pada gedung Terminal LPG Semarang akan lebih optimal apabila variasi *slope* untuk pemasangan modul fotovoltaik dilakukan dengan kemiringan sudut maksimal 30° dengan catatan pemasangan modul dilakukan menghadap ke arah utara.

3.2 Hasil Perhitungan Energi

Energi yang dapat dibangkitkan oleh fotovoltaik dipengaruhi oleh nilai intensitas radiasi matahari yang diterima oleh modul. Perhitungan energi juga dimasukkan dalam program di penelitian ini. Setelah radiasi didapatkan, dilakukan perkalian dengan luasan modul dan efisiensi modul untuk setiap jenis modul fotovoltaik. Pada perhitungan energi harian, akan didapatkan total energi yang dapat dibangkitkan oleh fotovoltaik dalam pengukuran satu hari. Sedangkan, pada perhitungan satu

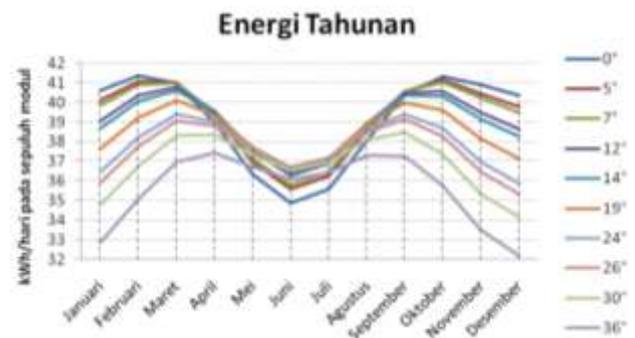
tahun, diberikan data total dalam kurun waktu satu tahun dan data rata-rata bulanan dalam satu tahun.



Gambar 8 Tampilan perhitungan energi tahunan pada sudut 30° di Semarang

Perhitungan energi dilakukan untuk kesepuluh variasi modul fotovoltaik yang akan diletakkan pada atap setengah lingkaran di Terminal LPG Semarang,. Lokasi penelitian berada pada -7 LU. Untuk mendapatkan nilai keandalan, digunakan 0.3 sebagai indeks kecerahan minimum, agar estimasi perhitungan energi terendah yang dapat dibangkitkan oleh fotovoltaik dapat diketahui. Pada perhitungan energi dalam penelitian ini digunakan modul fotovoltaik dengan luasan 1.002 meter persegi berjenis Poly-Si.

Perhitungan energi untuk keseluruhan modul fotovoltaik yang akan diletakkan pada atap Terminal LPG Semarang dilakukan dalam kurun waktu satu tahun, seperti yang ditampilkan pada Gambar 8. Gambar tampilan energi tahunan pada program dengansudut 30° memberikan data total energi yang dapat dibangkitkan adalah 123.33 kWh dengan rata-rata per bulan 10.28 kWh. Hal yang sama dilakukan pada kesepuluh variasi *slope*, yaitu 36°, 30°, 26°, 24°, 19°, 14°, 7°, 5° dan 0° yang masing-masing terdiri dari dua belas modul fotovoltaik dirangkai seri.

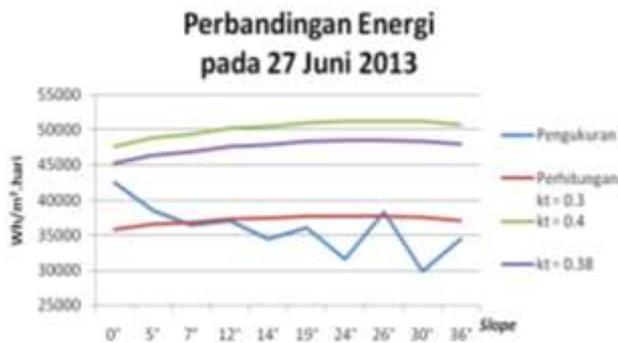


Gambar 9 Grafik energi tahunan oleh perhitungan di Semarang

Perhitungan energi matahari yang dilakukan dengan bantuan MATLAB® 2008 terdapat pada Gambar 9, untuk sudut 30°. Pada grafik energi tahunan di Gambar 9, dapat dilihat bahwa besarnya energi matahari yang dapat dibangkitkan oleh fotovoltaik bervariasi dalam kurun satu tahun sesuai perubahan posisi bumi terhadap matahari.

3.3 Validasi Hasil Perhitungan

Pada pengujian hasil perhitungan harian, dilakukan pengukuran dengan irradian meter sebagai nilai pembanding. Gambar 10 memberikan ilustrasi tentang perbandingan data pengukuran dengan perhitungan.



Gambar 10 Perbandingan data pengukuran dengan perhitungan saat 27 Juni 2013

Hasil percobaan menunjukkan adanya perbedaan yang ditampilkan di grafik perbandingan energi matahari pada tanggal 27 Juni 2013. Perbedaan tersebut dikarenakan di lapangan, keadaan langit berbeda-beda pada setiap jam sehingga nilai indeks kecerahan berbeda-beda untuk setiap selang waktunya dan kedua kelompok bagian variasi *slope* menghadap ke arah yang berbeda. Grafik menunjukkan bahwa bagian *slope* yang menghadap ke selatan mendapat radiasi yang lebih sedikit daripada *slope* yang menghadap ke utara. Hal itu dikarenakan lokasi geografis Semarang, Indonesia adalah -7 LU. Kelompok fotovoltaik yang menghadap ke arah utara diperkirakan dapat memberikan daya keluaran yang maksimum, karena letak peletakkan sistem fotovoltaik ini berada di bumi bagian selatan sedangkan pada tanggal 27 Juni 2013 matahari terltak di utara.

Perhitungan intensitas radiasi tahunan divalidasi dengan perbandingan data dari NASA dan Stasiun Klimatologi BMKG Semarang, serta dengan program yang telah ada, yaitu RETScreen® International Software. Perbandingan antara nilai perhitungan, BMKG dan NASA serta perhitungan dengan RETScreen® International Software dapat dilihat pada Tabel 2.

Perbedaan data pada data NASA dengan perhitungan dan BMKG diperkirakan karena lama waktu pengukuran yang dilakukan. Data BMKG merupakan hasil pengukuran pada tahun 2012, sedangkan NASA diambil dalam kurun

waktu 22 tahun. Data yang dipublikasikan merupakan data rata-rata, sedangkan keadaan bumi dalam rentang waktu 22 tahun tersebut sudah mengalami banyak perubahan, baik keadaan lingkungan, atmosfer, suhu, alam, bahkan aktivitas yang terjadi di bumi.

Tabel 2 Perbandingan data perhitungan, NASA, dan BMKG, serta RETScreen® International Software

BULAN	Rata-rata Intensitas Radiasi Matahari (kWh/m².hari)					
	Perhitungan	Perhitungan	BMKG	BMKG	NASA	RETScreen®
	kt = 0.3	kt = 0.68	2012	2011		
Januari	31.27	68.39	30.68	35.47	42.20	42.65
Februari	32.50	72.09	36.05	41.88	45.30	44.67
Maret	33.11	74.86	35.47	36.28	54.30	51.35
April	32.42	74.78	36.52	39.78	55.20	49.02
Mei	30.98	72.65	35.58	36.40	55.00	45.76
Juni	30.08	71.10	38.38	40.48	52.70	42.47
Juli	30.05	71.90	43.87	41.07	57.30	46.31
Agustus	31.98	74.25	43.17	42.00	64.10	54.46
September	32.99	75.13	42.82	45.50	68.00	62.19
Oktober	32.77	73.13	45.27	42.35	64.00	62.48
November	31.66	69.48	41.53	38.03	53.30	54.00
Desember	30.88	67.23	30.22	33.72	46.10	47.16
TOTAL	380.67	865.00	459.55	434.93	657.50	602.50

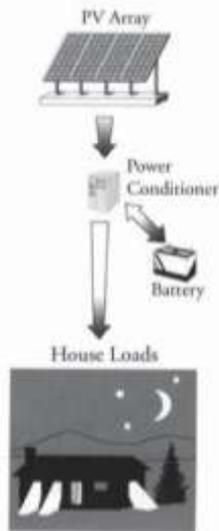
Tabel 2 memberikan informasi tentang hasil perbandingan nilai irradiansi dari perhitungan, BMKG dan NASA, serta data perhitungan dengan RETScreen®. Ketiga data bervariasi dan memiliki nilai yang berbeda-beda. Namun, perbedaan yang sangat besar terlihat pada data intensitas radiasi matahari yang didapat dari data NASA dan RETScreen®. Data irradiansi dari NASA melebihi nilai 650 kilo watt hour per meter persegi. Sedangkan perbedaan nilai data perhitungan intensitas radiasi matahari untuk Gedung Terminal LPG Semarang dengan kedua data BMKG (2011 dan 2012) tidak terlalu jauh.

Perbedaan data pada data NASA dengan perhitungan dan BMKG dipikirkan karena lama waktu pengukuran yang dilakukan. Data BMKG merupakan hasil pengukuran pada tahun 2012, sedangkan NASA diambil dalam kurun waktu 22 tahun. Data yang dipublikasikan merupakan data rata-rata, sedangkan keadaan bumi dalam rentang waktu 22 tahun tersebut sudah mengalami banyak perubahan, baik keadaan lingkungan, atmosfer, suhu, alam, bahkan aktivitas yang terjadi di bumi.

3.4 Perancangan Sistem Tenaga Off-Grid

Pada penelitian penelitian ini, sebagai asumsi beban, digunakan instalasi penerangan pada fasilitas umum Gedung Terminal LPG Semarang. Perencanaan akan dimulai dengan perhitungan beban penerangan di dalam gedung. Hal tersebut dilakukan dengan perhitungan titik lampu. Perhitungan titik lampu yang digunakan disesuaikan dengan fungsi dari ruangan yang ada di dalam public facility Gedung Terminal LPG Semarang. Susunan komponen-komponen yang ada di dalam sebuah sistem

tenaga *off-grid* untuk fotovoltaik dapat dilihat pada Gambar 11



Gambar 11 Gambaran skematik sistem *stand alone*^[2]

Setiap ruangan memiliki nilai satandar iluminasi dalam satuan lux yang berbeda-beda sesuai dengan fungsi atau kegunaan ruangan. Nilai jumlah titik lampu yang dibutuhkan dalam setiap ruangan pada Gedung Terminal LPG Semarang diberikan pada Tabel 3. Perhitungan jumlah titik lampu setiap ruangan pada Terminal LPG Semarang menggunakan acuan SNI 03-6197-2000 tata pencahayaan gedung sebagai dasar penentuan nilai iluminasi standar dalam satuan lux^[20].

Tabel 3 Perhitungan titik lampu untuk setiap ruangan

No.	Jenis Ruangan	Luasan (m ²)	Iluminasi Standar (lux)	Jumlah Titik	Lampu LED	
					Tipe	Daya (W)
I.	Lantai Dasar					
	Musholla	72.8	100	13	Bulb	6
	Kafetaria	91	200	14	Bulb	8
	Kamar Mandi	34.125	100	12	Bulb	5
II.	Lantai Dua					
	Kantor Keamanan	51.558	300	6	Tube	10
	Kamar Sopir	60	100	11	Bulb	6
	Tangga	12	150	5	Bulb	6

Tabel 3 tidak hanya menampilkan data untuk jumlah titik lampu pada setiap ruangan di gedung Terminal LPG Semarang dengan memperhitungkan jumlah iluminasi standar, tetapi juga jenis lampu beserta daya yang digunakan. Dalam perencanaan ini, digunakan lampu LED karena sifatnya yang hemat energi dan memiliki *lifetime* yang panjang. Hal tersebut didukung dengan sifat bangunan gedung Terminal LPG Semarang ini sebagai bangunan baru, sehingga pemilihan material lebih mudah dilakukan.

Data perhitungan jumlah titik lampu pada Tabel 3 kemudian digunakan sebagai dasar perhitungan beban pada Gedung Terminal LPG Semarang. Data perhitungan beban ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Perhitungan beban total

No.	Jenis Ruangan	Jumlah Titik	Lampu LED		Total Daya (W)	Jam Operasi (h)	Beban (Wh)
			Tipe	Daya (W)			
I.	Lantai Dasar						
	Musholla	13	Bulb	6	78	5	390
	Kafetaria	14	Bulb	8	112	24	2688
	Kamar Mandi	12	Bulb	5	60	12	720
II.	Lantai Dua						
	Kantor Keamanan	6	Tube	10	60	10	600
	Kamar Sopir	11	Bulb	6	66	8	528
	Tangga	5	Bulb	6	30	12	360
TOTAL BEBAN							5286

Dari perhitungan beban total yang telah dilakukan, data hasil perhitungan ditampilkan pada Tabel 4. Beban total instalasi penerangan pada Gedung Terminal LPG Semarang diestimasikan sebesar 5.286 kWh/hari. Beban total instalasi penerangan pada Terminal LPG Semarang sebesar 1.929 MWh dalam kurun waktu satu tahun dapat dicukupi oleh sistem fotovoltaik yang ada, dimana energi yang dapat diberikan oleh keseluruhan modul fotovoltaik sebesar 15.31 MWh.

Hasil perhitungan yang dilakukan dengan beban 5286 kWh/hari, kapasitas baterai yang dibutuhkan adalah 3238.97 Ah. Baterai yang digunakan adalah Solar 12-250, 12 V 250 Ah dari BSB power. Untuk sistem, digunakan 13 baterai tipe Solar 12-250. Gambar 12 merupakan gambar fisik dari baterai 12 Volt 250 Ah.



Gambar 12 Baterai Solar 12-250 produksi BSB power

Setelah penentuan kapasitas baterai, dilakukan pemilihan inverter sebagai alat konversi DC ke AC. Inverter yang digunakan harus memiliki tegangan input 12 Volt DC dan output 220 Volt AC. Tegangan input dari inverter merupakan nilai dasar tegangan yang diperlukan untuk memilih *charge controller* yang sesuai, dalam sistem ini sebesar 12 Volt. Penggunaan *charge controller* dimaksudkan agar penggunaan energi lebih efektif karena

baterai tidak perlu diisi terus menerus. Hal itu juga memperpanjang umur dari komponen baterai yang digunakan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Perhitungan intensitas radiasi matahari yang dilakukan dengan sepuluh variasi sudut kemiringan (36° , 30° , 26° , 24° , 19° , 14° , 7° , 5° dan 0°) modul fotovoltaik di Semarang dengan nilai indeks kecerahan minimum ($k_t = 0.3$) menghasilkan jumlah irradiasi yang cukup besar, yaitu 11.576 MWatt/tahun dari sepuluh modul dengan sepuluh variasi *slope* (36° , 30° , 26° , 24° , 19° , 14° , 7° , 5° dan 0°), dengan rata-rata setiap harinya 3.17 kWatt/meter².hari dan diketahui bahwa kota Semarang memiliki nilai indeks kecerahan rata-rata bulanan sebesar 0.37 untuk tahun 2011 dan 2012.
2. Pemasangan modul fotovoltaik dengan sepuluh variasi sudut kemiringan modul fotovoltaik yaitu 36° , 30° , 26° , 24° , 19° , 14° , 7° , 5° dan 0° pada Terminal LPG Semarang memperlihatkan rentang data irradiasi matahari yang tidak terlalu besar jika perbedaan sudut tidak sampai 10° , untuk sudut kemiringan di bawah 30° dimana perbedaan irradiasi matahari pada sudut 30° dengan 36° sebesar 1.229 kWatt karena modul fotovoltaik tidak dapat menerima intensitas radiasi matahari secara optimal apabila dipasang dengan *slope* yang terlalu besar (lebih dari 30°).
3. Hasil perhitungan energi yang dilakukan oleh program pada PENELITIAN ini merupakan energi *brutto* yang dapat dibangkitkan oleh sistem fotovoltaik pada gedung Terminal LPG Semarang dengan total 15.31 MWh dalam kurun waktu satu tahun dengan rata-rata setiap bulannya sebesar 1.28 kWh.
4. Untuk gedung Terminal LPG Semarang dengan beban instalasi penerangan sebesar 5.286 kWh/hari, diperlukan baterai berkapasitas 3238.97 Ah sebagai komponen penyimpanan energi sehingga digunakan tiga belas baterai berkapasitas 250 Ah.
5. Dengan energi keluaran sebesar 15.31 MWh dari 120 modul fotovoltaik dalam waktu satu tahun, gedung Terminal LPG Semarang dapat menjadi bangunan mandiri energi, sehingga untuk memenuhi kebutuhan tenaga listriknya, khususnya beban instalasi penerangan sebesar 5.286 kWh/hari atau 1.929 MWh/tahun, tidak diperlukan tenaga listrik dari jaringan PLN.

Daftar Pustaka

- [1]. Bachtiar, Muhammad. Prosedur Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya untuk Perumahan (Solar Home System). Jurnal SMARTek, Vol 4, No.3, Agustus 2006:176-182.
- [2]. CANMET Energy Technology Centre- Varennes (CETC). Photovoltaic Project Analysis Chapter. Minister of Natural Resources Canada. 2001- 2004.
- [3]. CANMET Energy Technology Centre- Varennes (CETC). RETScreen Software Online User Manual. Minister of Natural Resources Canada. 1997 - 2005.
- [4]. Costello, Frederick A., H.L. Macomber and John B. Ruzek. Preliminary Engineering Design Handbook. U.S Department of Energy Conservation and Renewable Energy. Agustus 1981.
- [5]. Gati, Matilda M dkk. Desain Photovoltaic di Kontrakan Ferdinan dengan Menggunakan RETScreen Energy Model-Photovoltaic Project. UGM. 2006.
- [6]. J. Surya Kumari dan Ch. Sai Babu. Mathematical Modeling and Simulation of Photovoltaic Cell using Matlab-Simulink Environment. International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE). Vol. 2, No. 1. February 2012.
- [7]. Kumar, Ashok. Optimization of Tilt Angle for Photovoltaic Array. International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST) Vol.3 No.4 Apr 2011.
- [8]. Kurniawan, Singgih. Maximum power Point Tracking (MPPT) dengan Konverter DC - DC Tipe Cuk Menggunakan Metode Logika Fuzzy pada Fotovoltaik. UNDIP. 2012.
- [9]. Lande, Nelly Malik. Solusi Komunikasi Bertenaga Matahari Aplikasi Fotovoltaik pada Base Transceiver Station. Jurnal Sains dan Teknologi Vol. 10 No. 3. Desember 2008.
- [10]. Panwar, Sonal dan DR. R.P. Saini. Development and Simulation of Solar Photovoltaic model using Matlab/simulink and its parameter extraction. International Conference on Computing and Control Engineering (ICCCCE 2012). 12&13 April 2012.
- [11]. Saodah, Siti dan Nasrun Haryanto. Analisis Teknik dan Ekonomi Power Hybrid (Solar Cell-Genset) sebagai Sumber Daya pada BTS Selular. Simposium Nasional RAPI X FT UMS-2011.
- [12]. Salmi, Tarak, Mounir bouzguenda, Adel Gatsli and Ahmed Masmoudi. MATLAB/Simulink Based Modelling of Solar Photovoltaic Cell. International Journal of Renewable Energy Research Vol. 2 No. 2. February 2012
- [13]. Skvarenina, Timothy L. The Power Electronics Handbook. Part 3 Chapter 18. CRC Press LLC. 2002
- [14]. Kementrian Negara Lingkungan Hidup. Emisi Gas Rumah Kaca Dalam Angka. November 2009.
- [15]. Duffie, John A. and William A. Beckman. Solar Engineering of Thermal Process. 3rd ed., John Wiley & Sons. 2006.
- [16]. www.greenpeace.org/seasia/id/campaigns/perubahan-iklim-global/Energi-Bersih/Energi_matahar/
- [17]. www.esdm.go.id/news-archives/323-energi-baru-dan-terbarukan/6259-dukung-kebijakan-energi-nasional-dengan-pemetaan-potensi-energi-baru-terbarukan.html
- [18]. eosweb.larc.nasa.gov
- [19]. Arifin, Fajar. Perhitungan Titik lampu. UNDIP
- [20]. Fauzi, Muhammad Imam. Perancangan Website Audit Energi Pada Hotel Menggunakan Bahasa Pemrograman PHP. UNDIP. 2011
- [21]. www.yohanessurja.com
- [22]. www.susdesign.com/popups/sunangle/hour-angle.php
- [23]. toolbox.flexiblelearning.net.au/demosites/series12/12_04/toolbox1204/resources/04diagrams/03electrical/04wirirng_diag.htm