

ANALISIS PENGARUH SUDUT KEMIRINGAN PANEL SURYA TERHADAP RADIASI MATAHARI YANG DITERIMA OLEH PANEL SURYA TIPE LARIK TETAP

Pangestuningtyas D.L^{*)}, Hermawan, and Karnoto

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

^{*)}Email : pangestuningtyas@gmail.com

Abstrak

Sel surya merupakan teknologi yang mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Teknologi ini sangat berpotensi diterapkan di Indonesia yang mempunyai iklim tropis, tetapi permasalahan utama dari sistem ini adalah ketidakstabilan daya yang dihasilkan. Daya yang dihasilkan sangat bergantung pada intensitas matahari yang diterima oleh panel surya. Intensitas radiasi matahari yang diterima oleh panel surya dapat dimaksimalkan dengan cara memasang panel surya, dengan sudut kemiringan atau slope dan sudut azimut yang tepat. Tugas akhir ini membahas mengenai pengaruh sudut kemiringan dan sudut azimut panel surya terhadap radiasi rata – rata matahari yang diterima oleh panel surya tipe larik (array) tetap, dihitung dengan menggunakan software MATLAB 2008a. Radiasi rata – rata matahari yang diterima oleh panel surya untuk pemasangan di kota Semarang dapat maksimal, saat panel surya diletakkan pada sudut azimut 180° menghadap ke arah utara, dengan sudut kemiringan yang besarnya bervariasi untuk pemasangan setiap bulannya. Sudut kemiringan panel yang tepat untuk musim hujan adalah 1° sedangkan untuk musim kemarau adalah 24°. Sudut kemiringan untuk panel surya tipe larik tetap di kota Semarang sebesar 9°, dengan radiasi rata - rata yang dapat diterima panel surya saat kemiringan tersebut adalah 13,8958 MJ/m²hari.

Kata kunci : panel surya, intensitas radiasi matahari, slope, sudut azimut.

Abstract

Photovoltaic (PV) system is known as a technology which converts energy of solar radiation to an electrical energy. This technology is potentially applied in Indonesia due to tropical climate and location surrounding equatorial. However, the performance of PV module highly depends on the sunlight intensity reaching the module surface. The value of slope and azimuth angle of the PV array influence the amount of solar radiation reached the module. The optimal slope angle is found based on the calculation using MATLAB program. Module photovoltaic received the maximum radiation of sun if azimuth angle placed in 180°. The slope angle of array which received the maximum solar radiation monthly is different and it depends on the total radiation reaching the earth. The optimal slope angle is 1° in the rainy season which occur from October to March. The optimal slope angle is 24° in the dry season which occur from April to September. The suitable optimal slope angle for Semarang City is 9° and it gives the amount of solar radiation 13,8958 MJ/m²/day to the module.

Keywords : photovoltaic, solar radiation, slope angle, azimuth angle.

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara yang terletak di garis khatulistiwa yang mempunyai tingkat radiasi harian matahari rata - rata yang relatif tinggi yaitu 4,5 kWh/m²/hari[3]. Hal tersebut dapat digunakan sebagai modal utama pembangkitan listrik dengan menggunakan *photovoltaic*. Komponen utama dari sistem *photovoltaic* adalah sel surya yang berfungsi untuk mengkonversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik.

Permasalahan utama dari *photovoltaic* adalah besarnya daya keluaran yang dihasilkan relatif tidak konstan karena dipengaruhi oleh besarnya intensitas matahari serta suhu lingkungan di sekitarnya. Pada kondisi standarnya sistem *photovoltaic* yang mempunyai efisiensi sebesar 10% dapat menghasilkan daya sebesar 100 Watt pada saat intensitas matahari yang diterima sebesar 1.000 W/m² dan pada suhu sebesar 25°C [16].

Daya yang dihasilkan oleh *photovoltaic* berbanding lurus dengan besarnya intensitas matahari yang diterima panel

surya. Semakin besar intensitas matahari yang diterima oleh panel maka semakin besar daya yang dapat dihasilkan oleh *photovoltaic* tersebut. Besarnya intensitas matahari yang diterima oleh panel surya dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti letak astronomi lokasi pemasangan panel, gerak semu harian dan tahunan matahari serta cuaca[2].

Untuk memaksimalkan intensitas matahari yang diterima oleh panel surya maka pada perancangan sistem dibutuhkan sudut kemiringan panel yang paling tepat untuk menerima radiasi matahari yang paling tinggi. Sudut yang mempengaruhi pemasangan panel surya pada instalasi ada 2 macam yaitu sudut kemiringan panel surya terhadap bidang horisontal atau disebut juga dengan *slope* dan sudut yang diukur searah dengan acuan arah selatan yang disebut dengan sudut azimut.

Penelitian ini membahas tentang pengaruh sudut kemiringan panel surya terhadap radiasi matahari yang diterima oleh panel surya tipe *array* tetap yang terpasang di kota Semarang, Indonesia sehingga dapat mengetahui potensi energi matahari di kota Semarang yang dapat dijadikan modal utama dalam penerapan teknologi *photovoltaic*.

2. Metode

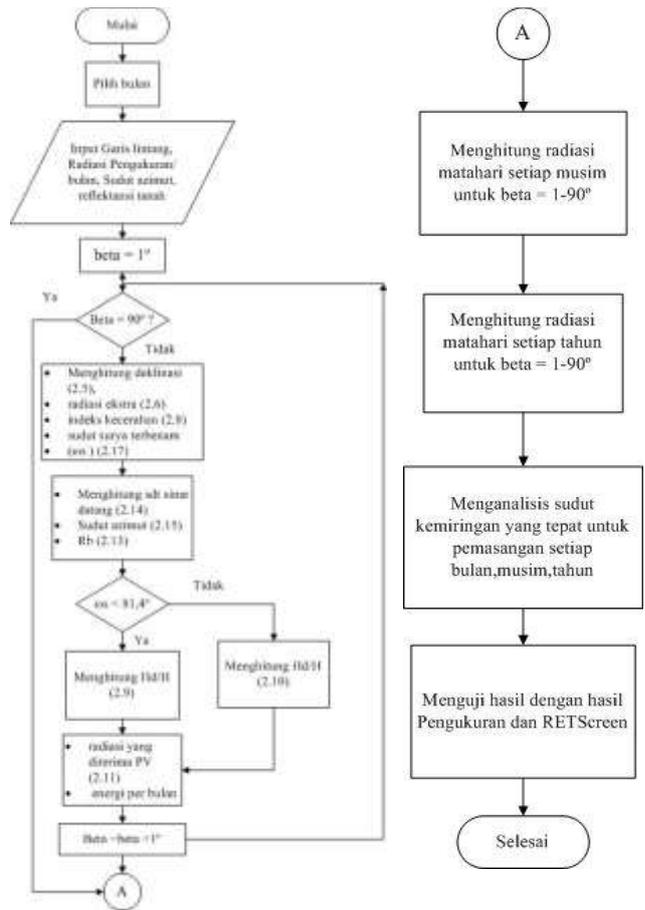
2.1. Pembuatan Program Simulasi

Perancangan program analisis pengaruh sudut kemiringan panel surya terhadap radiasi matahari yang diterima oleh panel surya tipe *array* tetap terdiri dari 12 pilihan program. Pilihan program berupa perhitungan radiasi radiasi yang diterima oleh panel surya per bulan pada saat kemiringan panel sebesar 1° hingga 90° yang sesuai dengan persamaan :

$$\bar{H}_T = \bar{H}_b \bar{R}_b + \bar{H}_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \bar{H} \rho \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (1)$$

dimana :

- \bar{H}_T = radiasi yang diterima modul/bulan (MJ/m²/hari)
- \bar{H}_b = radiasi tersebar di permukaan bumi/bulan (MJ/m²/hari)
- \bar{H}_d = radiasi langsung di permukaan bumi/bulan (MJ/m²/hari)
- \bar{H} = radiasi total di permukaan bumi/bulan (MJ/m²/hari)
- ρ = reflektansi tanah
- \bar{R}_b = rasio sudut sinar datang dan sudut azimut
- β = sudut kemiringan modul *photovoltaik* (°)



Gambar 1 Blok diagram alir tahap pembuatan program

Masukan data yang diperlukan untuk menjalankan program berupa garis lintang lokasi pemasangan panel surya, radiasi rata – rata matahari terukur di kota Semarang sesuai dengan data dari BMKG yang terdapat pada Tabel 1, sudut azimut penempatan panel surya, dan reflektansi tanah (0,2 untuk tanah tidak bersalju dan 0,7 untuk tanah bersalju).

Tabel 1. Data BMKG untuk pengukuran intensitas radiasi matahari/bulan

Bulan	Radiasi Maksimal (MJ/m ² /hari)	Radiasi Minimal (MJ/m ² /hari)	Radiasi Rata - Rata (MJ/m ² /hari)
Januari	16,548	2,352	11,046
Februari	18,564	8,568	12,978
Maret	17,64	4,284	12,768
April	17,808	6,594	13,146
Mei	16,800	5,796	12,726
Juni	17,808	2,856	13,818
Juli	18,480	10,248	15,792
Agustus	17,808	11,466	15,540
September	19,236	10,500	15,414
Bulan	Radiasi Maksimal (MJ/m ² /hari)	Radiasi Minimal (MJ/m ² /hari)	Radiasi Rata - Rata (MJ/m ² /hari)

Oktober	20,916	10,836	16,296
November	19,824	10,920	14,952
Desember	19,320	5,2920	10,878

Hasil dari program pada penelitian ini berupa radiasi yang diterima oleh panel surya pada sudut kemiringan sebesar 1° hingga 90° yang ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik. Radiasi matahari paling tinggi sehingga mengetahui sudut kemiringan yang paling tepat untuk pemasangan panel surya dalam kurun waktu bulanan, musim, tahunan serta energi matahari yang paling tinggi pada 1m² luas panel surya.

2.2 Pengoperasian Program Simulasi

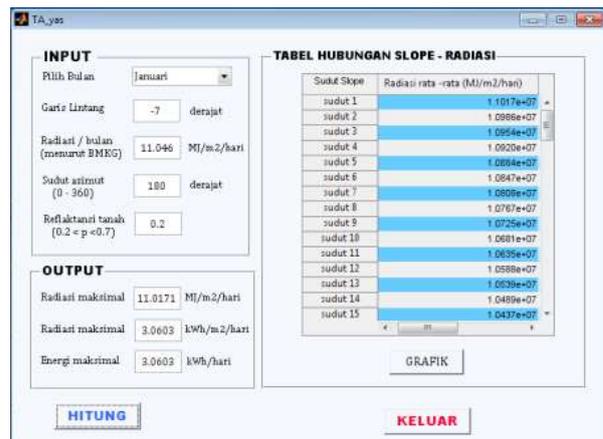
Program analisis pengaruh sudut kemiringan panel surya terhadap radiasi matahari yang diterima oleh panel surya tipe *array* tetap dibuat dengan menggunakan GUI (*Graphic User Interface*) pada *Software* MATLAB 2008a. Penggunaan GUI bertujuan untuk memudahkan dalam hal pengoperasian program serta melihat pengaruh sudut kemiringan modul dari 1° hingga 90° terhadap radiasi matahari yang diterima panel surya per bulan.

Tampilan awal dan tampilan utama dari program “Analisis Pengaruh Sudut Kemiringan Panel Surya terhadap Radiasi yang Diterima oleh Panel Surya tipe Larik Tetap” terlihat pada Gambar 2 dan 3 berikut.



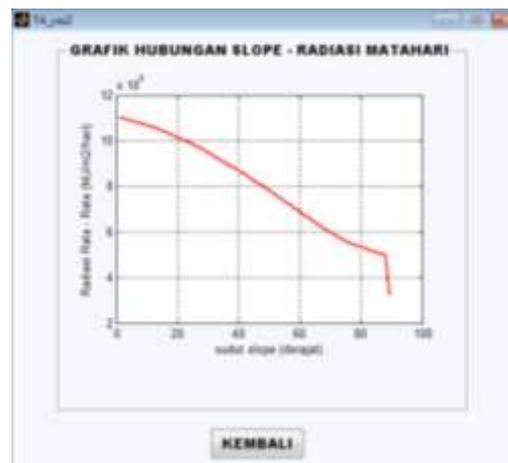
Gambar 2 Tampilan awal program

Setelah mengklik tombol “Mulai” maka akan tampil tampilan utama dari program pengaruh sudut kemiringan panel surya terhadap radiasi matahari yang diterima oleh panel surya tipe larik (*array*) tetap dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3 Tampilan utama program

Grafik hubungan antara sudut kemiringan panel surya terhadap radiasi rata – rata matahari yang dapat diterima oleh panel surya tipe *array* tetap pada program dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4 Tampilan grafik hubungan sudut kemiringan panel terhadap radiasi matahari yang diterima panel surya

3. Hasil Dan Analisa

3.1 Pengaruh Sudut Kemiringan Panel Surya terhadap Radiasi Rata – Rata Matahari

Intensitas radiasi matahari yang diterima oleh panel surya sangat mempengaruhi daya yang dihasilkan oleh sistem *photovoltaic*, semakin besar intensitas radiasi yang diterima maka daya yang dapat dihasilkan oleh sistem juga semakin besar karena energi matahari merupakan sumber utama dari pembangkitan menggunakan teknologi *photovoltaic*.

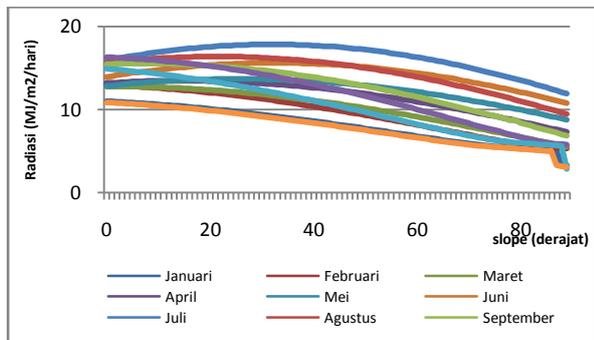
Daya keluaran sistem *photovoltaic* dapat dimaksimalkan dengan menggunakan peralatan kontrol tambahan seperti PWM atau MPPT dan juga dapat dilakukan dengan

memaksimalkan besar intensitas matahari yang dapat diterima oleh panel surya.

Pada penelitian ini daya keluaran *photovoltaic* dilakukan dengan cara memaksimalkan radiasi matahari yang dapat diterima oleh panel surya. Salah satu cara untuk memaksimalkan intensitas radiasi matahari adalah dengan menempatkan panel surya dengan sudut kemiringan yang paling tepat agar dapat menerima radiasi matahari yang paling tinggi.

3.1.1 Pengaruh Sudut Kemiringan Panel Surya terhadap Radiasi Rata – Rata Matahari per bulan

Sudut kemiringan panel surya yang paling tepat agar mendapatkan radiasi matahari yang paling tinggi untuk setiap bulan dalam satu tahun besarnya bervariasi, hal ini dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Grafik hubungan slope terhadap radiasi matahari yang diterima PV per bulan

Berdasarkan Gambar 5 terlihat bahwa pengaruh sudut kemiringan panel surya terhadap radiasi matahari yang diterima oleh panel surya per bulan cenderung tidak linear dan tidak konstan. Hal ini karena besarnya radiasi matahari yang diterima oleh panel surya tidak hanya bergantung pada besar sudut kemiringan panel tetapi juga diakibatkan beberapa faktor lain seperti gerak semu harian dan tahunan matahari serta indeks kecerahan per bulan.

Besar sudut kemiringan modul PV yang dapat menerima radiasi matahari yang paling tinggi untuk setiap bulan di kota Semarang bervariasi antara 1° hingga 34° hal ini dapat terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Sudut kemiringan panel surya yang dapat menerima radiasi rata – rata matahari yang paling tinggi setiap bulan

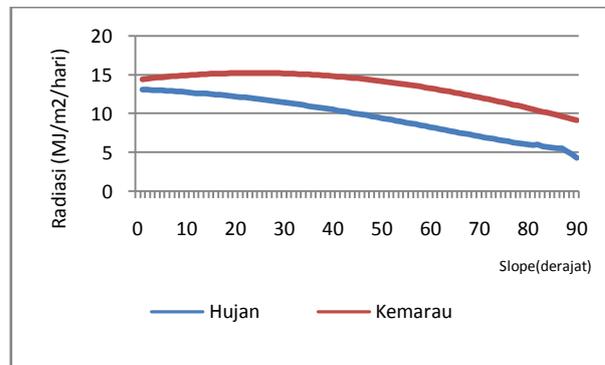
Bulan	Sudut (°)	Radiasi Matahari (MJ/m ² /hari)
Januari	1	11.017
Februari	1	12.933

Bulan	Sudut (°)	Radiasi Matahari (MJ/m ² /hari)
Maret	2	12.773
April	16	13.477
Mei	27	13.676
Juni	34	15.639
Juli	33	17.855
Agustus	23	16.378
September	8	15.511
Oktober	1	16.274
November	1	14.903
Desember	1	10.846

3.1.2 Pengaruh Sudut Kemiringan Panel Surya terhadap Radiasi Rata – Rata Matahari per musim

Radiasi rata – rata matahari pada setiap musim yang dibahas pada penelitian ini didapatkan dengan cara menjumlahkan radiasi rata – rata yang diterima panel surya pada bulan Oktober – Maret untuk musim hujan dan bulan April – September untuk musim kemarau pada sudut kemiringan panel surya sebesar 1° – 90°.

Sudut kemiringan panel surya yang paling tepat untuk musim hujan adalah 1° dengan radiasi rata – rata yang dapat diterima panel sebesar 13,128 MJ/m²/hari sedangkan pada musim kemarau radiasi maksimal yang diterima oleh modul sebesar 15,284 MJ/m²/hari saat panel dipasang pada sudut kemiringan sebesar 24°.



Gambar 6 Perbandingan radiasi rata – rata yang diterima modul PV pada musim hujan dan musim kemarau

Berdasarkan Gambar 6 terlihat bahwa radiasi matahari yang diterima oleh panel surya pada musim kemarau lebih besar daripada saat musim hujan. Hal ini dapat disebabkan pada musim kemarau cuaca cenderung cerah dimana matahari tidak tertutup awan sehingga indeks kecerahannya lebih besar dan menyebabkan radiasi yang diterima di bumi dan di panel surya menjadi lebih besar.

3.1.3 Pengaruh Sudut Kemiringan Panel Surya terhadap Radiasi Rata – Rata Matahari per tahun

Radiasi rata – rata tahunan matahari merupakan penjumlahan radiasi rata – rata bulanan dari bulan Januari hingga Desember. Panel surya tipe array tetap adalah panel surya yang dipasang dengan sudut kemiringan yang tetap untuk setiap tahunnya, sehingga dibutuhkan sudut pemasangan sudut kemiringan yang paling tepat untuk pemasangan dalam kurun waktu tahunan.

Radiasi rata – rata matahari paling tinggi yang dapat diterima oleh panel surya tipe *array* tetap untuk pemasangan dalam kurun waktu adalah 13,86 MJ/m²/hari yaitu saat panel surya dipasang dengan kemiringan sudut sebesar 9°.

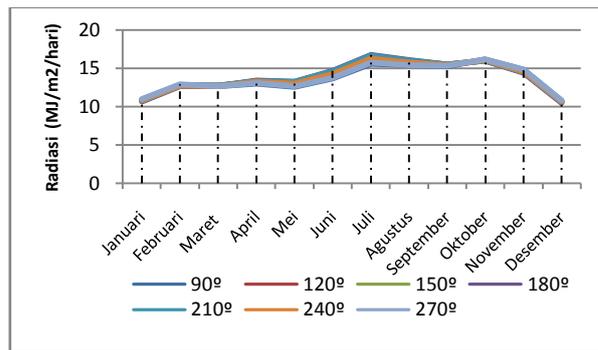
3.2 Pengaruh Sudut Azimut Terhadap Radiasi Matahari yang Diterima Panel Surya

Sudut azimut panel surya merupakan sudut peletakan panel surya searah dengan arah jarum jam dengan acuan arah utara, besar sudut azimut mulai dari 0° – 360°. Pada penelitian ini, pengaruh sudut azimut yang digunakan untuk melihat pengaruh sudut azimut terhadap radiasi matahari yang dapat diterima oleh panel surya adalah mulai dari sudut 90° hingga 270° dengan kenaikan setiap sudutnya sebesar 30°.

Tabel 4 Hasil radiasi rata – rata matahari dengan variasi sudut azimut modul photovoltaic per bulan dengan slope 9°(MJ/m²/hari)

Bln	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°
Jan	11,0	10,8	10,8	10,7	10,8	10,9	11,0
Feb	12,9	12,8	12,7	12,7	12,7	12,8	12,9
Mar	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7
Apr	13,0	13,2	13,3	13,4	13,4	13,2	13,1
Mei	12,6	12,9	13,2	13,3	13,2	13,0	12,7
Jun	13,6	14,1	14,5	14,7	14,6	14,2	13,8
Jul	15,6	16,1	16,6	16,8	16,6	16,3	15,7
Agt	15,4	15,7	16,0	16,1	16,0	15,8	15,5
Sept	15,3	15,4	15,5	15,5	15,5	15,4	15,3
Okt	16,2	16,1	16,0	16,0	16,0	16,1	16,2
Nov	14,8	14,6	14,5	14,4	14,5	14,6	14,8
Des	10,8	10,7	10,6	10,5	10,6	10,7	10,8

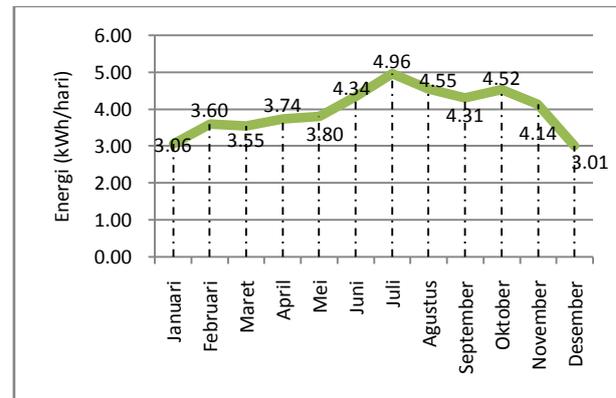
Berdasarkan Tabel 4 terlihat sudut azimut yang paling tepat untuk pemasangan panel surya untuk kota Semarang sebesar 180° dimana panel surya diletakkan menghadap utara menghadap garis khatulistiwa. Hal ini sesuai dengan Duffie dan Beckmen [8] dimana untuk sudut azimut yang paling optimal untuk belahan bumi selatan sebesar 180°.



Gambar 7 Grafik pengaruh sudut azimut terhadap radiasi matahari yang diterima panel surya dengan slope 9°

3.3 Potensi energi Matahari di Kota Semarang.

Potensi energi yang didapatkan pada penelitian ini merupakan potensi energi matahari yang dapat diterima oleh panel surya per 1m² luasannya. Sudut kemiringan yang digunakan untuk melihat potensi energi matahari di kota Semarang adalah sudut kemiringan yang paling tepat untuk pemasangan setiap bulan dengan sudut azimut sebesar 180°. Potensi energi di kota Semarang terlihat pada Gambar 8 berikut.



Gambar 8 Grafik hubungan energi matahari pada sudut kemiringan modul dapat menerima radiasi rata – rata matahari yang paling tinggi per bulan

Berdasarkan Gambar 8 terlihat bahwa energi matahari yang paling besar terjadi di kota Semarang terjadi pada bulan Juli yaitu sebesar 4,96 kWh/m²/hari. Energi rata – rata matahari untuk kota Semarang dengan pemasangan panel surya dengan sudut kemiringan yang paling tepat setiap bulannya dalam setahun adalah sebesar 3,965 kWh/m²/hari, sehingga dapat dikatakan bahwa kota Semarang mempunyai potensi untuk menerapkan teknologi *photovoltaic* sebagai salah satu cara usaha konversi energi listrik dari sumber – sumber energi konvensional yang menggunakan sumber dari minyak bumi dan batu bara.

3.4. Validasi Data Perhitungan Radiasi Rata – Rata Matahari

Validasi hasil pengaruh sudut kemiringan terhadap radiasi matahari yang dapat diterima oleh panel surya tipe *array* tetap pada penelitian ini dilakukan dengan 2 cara yaitu dengan melakukan perbandingan hasil dari program perhitungan radiasi matahari yang dapat diterima oleh panel surya dengan hasil pengukuran radiasi matahari setiap jam dan *software* RETScreen.

3.4.1. Perbandingan Program dengan Pengukuran Radiasi Matahari/jam

Pengukuran radiasi matahari setiap jam yang dilakukan sebagai validasi program dilakukan pada tanggal 2 September 2013 pada pukul 09.00 – 16.00 WIB. Alat yang digunakan untuk melakukan pengukuran berupa *irradiance* meter untuk mengukur radiasi matahari dan busur yang digunakan untuk mengukur besar sudut kemiringan panel surya yang diterapkan. Sudut kemiringan panel surya yang digunakan sebesar 10°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60°, 70°, 80°, 90° serta panel surya dihadapkan ke arah utara karena kota Semarang termasuk dalam belahan bumi selatan. Sudut kemiringan yang dilakukan pada pengukuran berbeda dengan sudut kemiringan pada perhitungan pengaruh sudut kemiringan terhadap radiasi matahari yang diterima modul /bulan. Hal ini dikarenakan adanya keterbatasan alat dalam peletakan *irradiance* meter dengan pada sudut kemiringan dengan kenaikan sudut sebesar 1°.

Tabel 5 Hasil pengukuran radiasi matahari/jam (W/m²)

Sdt (°)	9	10	11	12	13	14	15	16
10	892	1070	1125	1151	959	690	180	115
20	969	1062	1097	1106	930	541	164	110
30	1001	1032	1049	1022	830	459	148,8	103
40	1030	983	999	930	728	327,6	123	94
50	1042	875	934	852	627	195	104,5	87
60	1045	664	860	751	508	129,5	86,4	79
70	1041	968	785	638	365	121,1	71,8	72
80	983	898	664	514	247	118,5	66,7	66
90	586	315	140	358	150	96,4	46,6	45

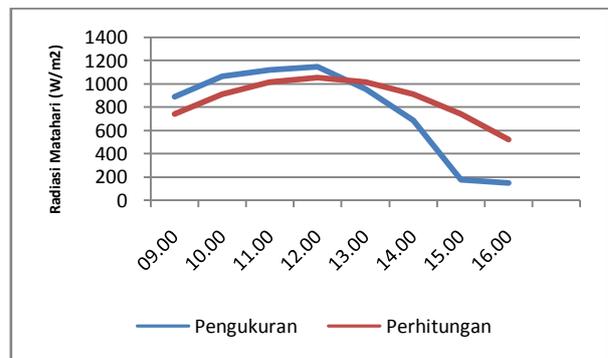
Berdasarkan Tabel 5 terlihat bahwa rata – rata kemiringan panel surya yang paling tepat untuk menerima radiasi matahari adalah 10° walaupun untuk pengukuran radiasi setiap jamnya walaupun pada jam 09.00 sudut kemiringan yang paling tepat adalah 60°. Hal ini dapat dikarenakan kekurangpresisian dalam pengukuran.

Perhitungan program pengaruh sudut kemiringan panel surya terhadap radiasi matahari setiap jam dibuat menggunakan M-File dari MATLAB. Masukan pada program berupa garis lintang kota Semarang sebesar -7°, sudut azimut sebesar 180°, hari ke 245 karena pengukuran dilakukan pada tanggal 2 September, sudut kemiringan mulai 10° – 90° dengan kenaikan setiap sudutnya sebesar 10°.

Tabel 6 Hasil perhitungan radiasi matahari /jam (W/m²)

Sdt (°)	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00
10	745	914	1019	1055	1019	914	745	526
20	740	907	1013	1048	1013	907	740	522
30	734	900	1005	1040	1005	900	734	517
40	727	892	996	1031	996	892	727	511
50	719	883	987	1022	987	883	719	505
60	712	874	977	1012	977	874	712	499
70	704	866	967	1001	967	866	704	494
80	697	857	957	991	957	857	697	489
90	690	849	948	982	948	849	690	484

Dari Tabel 5 dan 6 dapat dilihat bahwa sudut kemiringan panel surya yang paling tepat menerima radiasi paling tinggi pada pengukuran dan program perhitungan radiasi rata – rata matahari/jam adalah 10°. Grafik perbandingan hasil perhitungan dan pengukuran radiasi matahari setiap jam pengukuran pada sudut 10° dapat dilihat pada Gambar 9.



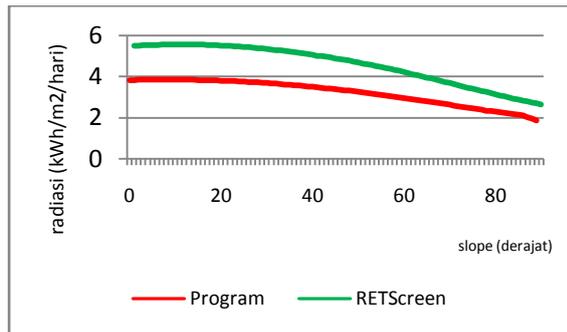
Gambar 9 Grafik perbandingan pengukuran dan perhitungan radiasi matahari pada slope 10°

Pada Gambar 9 terlihat bahwa radiasi matahari pada saat pengukuran dan perhitungan memiliki nilai yang berbeda. Hal ini dapat disebabkan radiasi rata – rata matahari pada perhitungan merupakan radiasi matahari yang sesuai dengan teori dimana nilai indeks kecerahan untuk tiap jamnya diasumsikan sama, berbeda dengan radiasi matahari yang diterima pada saat pengukuran yang berbeda – beda setiap jamnya sesuai dengan kecerahan setiap jamnya.

3.4.2 Perbandingan Program dengan Software RETScreen

RETScreen merupakan *software* buatan Badan Pengkajian Energi milik Kanada yang bertujuan untuk menganalisis dan mengevaluasi energi yang dapat dihasilkan oleh sumber – sumber energi terbarukan. *Software* ini berupa Microsoft Excel yang juga dilengkapi dengan database milik NASA yang berisi tentang klimatologi suatu wilayah untuk mengetahui potensi dari sumber energi terbarukan yang ingin dikembangkan pada suatu wilayah tertentu. Bagian dari *software* RETScreen yang digunakan sebagai validasi

program adalah bagian radiasi matahari yang dapat diterima oleh panel surya tipe *array* tetap. Validasi yang dilakukan dengan *software* RETScreen adalah pengaruh sudut kemiringan panel surya tipe *array* tetap terhadap radiasi matahari yang dapat diterima oleh panel surya dalam kurun waktu pemasangan setiap tahun. Sudut kemiringan yang digunakan pada *software* RETScreen adalah $1^{\circ} - 90^{\circ}$ dengan kenaikan sebesar 1° dan sudut azimut panel surya sebesar 180° , hal ini disesuaikan dengan masukan pada program.



Gambar 10 Perbandingan hasil program dan RETScreen untuk radiasi matahari/ tahun

Berdasarkan Gambar 10 terlihat bahwa sudut kemiringan panel surya untuk menerima radiasi matahari yang paling tinggi cenderung sama yaitu berada diantara sudut 0° hingga 20° tetapi besar radiasi rata – rata matahari yang diterima oleh panel surya mempunyai nilai yang berbeda. Terlihat bahwa radiasi matahari yang dihasilkan dengan menggunakan *software* RETScreen jauh lebih besar daripada radiasi yang dihasilkan oleh program perhitungan radiasi yang dilakukan pada penelitian ini. Hal ini disebabkan radiasi rata – rata yang terukur pada *software* RETScreen yang berdasarkan NASA mempunyai nilai yang lebih besar daripada radiasi yang terukur oleh BMKG pada tahun 2012. Perbandingan radiasi matahari terukur menurut BMKG dan database NASA dapat dilihat pada Tabel 7 berikut.

Tabel 7 Perbandingan radiasi terukur menurut BMKG dan NASA

Bulan	Radiasi Matahari BMKG (kWh/m²/hari)	Radiasi Matahari NASA (kWh/m²/hari)
Januari	3,07	4,22
Februari	3,61	4,53
Maret	3,55	5,43
April	3,65	5,52
Mei	3,54	5,5
Juni	3,84	5,27
Juli	4,39	5,73
Agustus	4,32	6,41
September	4,28	6,8
Oktober	4,53	6,4
November	4,15	5,33
Desember	3,02	4,61

4. Kesimpulan

Sudut pemasangan panel surya yang berpengaruh terhadap radiasi matahari yang dapat diterima panel adalah sudut kemiringan (*slope*) dan sudut azimut modul fotovoltaik.

Sudut azimut yang paling tepat untuk pemasangan panel tipe *fixed array* di kota Semarang adalah 180° dimana panel dihadapkan ke arah utara. Sudut kemiringan panel surya untuk setiap bulan besarnya bervariasi antara 1° sampai 34° , sudut kemiringan yang tepat untuk musim hujan sebesar 1° dan untuk musim kemarau sebesar 24° sedangkan sudut kemiringan panel surya untuk pemasangan dalam kurun waktu tahunan untuk kota Semarang adalah 9° .

Potensi energi rata – rata matahari untuk kota Semarang pada $1m^2$ luasan panel dengan pemasangan sudut kemiringan yang paling tepat untuk menerima radiasi matahari setiap bulannya sebesar $3,965 kWh/m^2/hari$. Perbedaan hasil antara perhitungan, pengukuran dan *software* RETScreen diakibatkan adanya gerak semu harian dan tahunan matahari serta indeks kecerahan yang berbeda serta besar radiasi matahari terukur yang digunakan sebagai acuan dalam menghitung radiasi matahari yang dapat diterima oleh panel surya.

Referensi

- [1]. Anderson, Eric, Chris Dohan, and Aaron Sikora, "Solar Panel Peak Power Tracking System," A Major Qualifying Project, Worcester Polytechnic Institute, 2003.
- [2]. Azmi, Mohd bin Hj Mohd Yakup and A.Q. Malik, "Optimum Tilt Angle and Orientation for Solar Collector in Brunei Darussalam", *Elsevier Science Ltd*, 223- 224, 2001.
- [3]. Bachtiar, Muhammad, "Prosedur Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya untuk Perumahan (Solar Home System)", *SMARTek*, Vol.4 No.3, Agustus 2006 : 176-182.
- [4]. CANMET Energy Technology Centre – Varennes (CETC), *Photovoltaic Project Analysis Chapter*, RETScreen International, 2001 – 2004.
- [5]. CANMET Energy Technology Centre – Varennes (CETC), *RETScreen Software Online User Manual*, RETScreen International.
- [6]. Contained Energy Indonesia tim, *Buku Panduan Energi yang Terbarukan*, PNPM Mandiri Kemendagri Indonesia.
- [7]. ---, *Sudut, Arah dan Azimut*, Pendidikan dan Pelatihan (Diklat) Teknis Pengukuran dan Pemetaan Kota, Surabaya, 2004.
- [8]. Duffie, John A. and William A. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes*, 3th, Jon Wiley & Sons, Inc, New Jersey, 2006.
- [9]. Kumar, Ashok, N.S. Thakur, Rahul Makade, and Manesh Kumar Shivhare, "Optimization of Tilt Angle for Photovoltaic Array", *International Journal of*

Engineering Science and technology (IJEST), 0975-5642, Vol. 3 No.4 April 2011.

- [10]. Macomber, H.L. and John B.Ruzek, Frederick A.Costello, and Staff of Bird Engineering, *Photovoltaic Stand – Alone System*, U.S. Department of Energy.
- [11]. Mintorogo, Danny Santoso, “Strategi Aplikasi Sel Surya (Photovoltaic Cells) pada Perumahan dan Bangunan Komersial”, Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- [12]. Moertini, Veronica S., “Energi Baru dan Terbarukan (EBT): Kajian Potensi dan Teknologi Konversinya,” SIGMA, Vol.5 No.1 , Januari 2002 : 21-36.
- [13]. Rahardjo, Amien, Herlina, dan Husni Safruddin, “Optimalisasi Pemanfaatan Sel Surya pada Bangunan Komersial Secara Terintegrasi sebagai Bangunan Hemat Energi,” Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi II, Universitas Lampung, 2008.
- [14]. Rahyudi ,Septian,Imam Abadi, S.T., M.T.,*Perancangan Sistem Penjejak Matahari Dua Sumbu Dengan Reflektor pada Tiga Posisi*,Jurnal Teknik POMITS Vol.1, No.1,(2012) 1-6.
- [15]. Rakovec, Joze, Klemen Zaksek, Kristijan Brec, Damijana Kastelec, and Marco Topic, “Orientation and Tilt Dependence of Fixed PV Array Energy Yield Based on Measurements of Solar Energy and Ground Albedo – a Case Study of Slovenia,” Germany.
- [16]. Suhono, *Inventarisasi Permasalahan pada Instalasi Solar House System di Wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta*,” Laporan Kerja Praktek Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2009.