

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Parameter Penelitian

Langkah pertama untuk melakukan penelitian ini adalah menentukan parameter penelitian yang harus diketahui untuk menentukan arah hadap *photovoltaic* terhadap pergerakan matahari. Sebelumnya telah diketahui beberapa parameter mengenai lokasi penelitian diantaranya :

- Latitude (L) = -7.95°
- Longitude (SL) = 112.61°
- Local longitude (LL) = 105°
- Day Number (N) = 186

Contoh perhitungan parameter penelitian dihitung berdasarkan tanggal 5 juli 2012 (day number (N) = 186), jam 12.00 solar time dan menggunakan prinsip *full tracking* pada $\epsilon = 0$:

- Perhitungan *declination angle* berdasarkan persamaan 2-3.

$$\delta = 23.5 \sin\left(360 \frac{284 + 186}{365}\right)$$

$$\delta = 22.82^{\circ}$$

- Perhitungan *hours angle* berdasarkan persamaan 2-5.

$$h = (12 - 12)15$$

$$h = 0^{\circ}$$

- Perhitungan *solar altitude angle* berdasarkan persamaan 2-2.

$$\sin(\alpha) = \sin(-7.95) \sin(22.82) + \cos(-7.95) \cos(22.82) \cos(0)$$

$$\sin(\alpha) = 0.86$$

$$\alpha = 59.27^{\circ}$$

- Perhitungan *azimuth angle* berdasarkan persamaan 2-6.

$$\sin(z) = \frac{\cos(22.82) \sin(0)}{\cos(59.27)}$$

$$\sin(z) = 0$$

$$z = 0$$

- Perhitungan *solar zenith angle* berdasarkan persamaan 2-4.

$$\phi + \alpha = 90^\circ$$

$$\phi = 90^\circ - 59.27$$

$$\phi = 59.28^\circ$$

- Perhitungan *slope angle*, dengan menggunakan prinsip mekanisme *full tracking* maka $\beta = \Phi = 59.28^\circ$.
- Perhitungan waktu lokal (*local standard time*, LST) berdasarkan persamaan 2-7.

- Pertama-tama menghitung nilai B dengan persamaan 2-9.

$$B = (186 - 81) \frac{360}{364}$$

$$B = 103.85$$

- Selanjutnya nilai ET dengan persamaan 2-8.

$$ET = 9.87 \sin(2 \cdot 103.85) - 7.53 \cos(103.85) - 1.5 \sin(103.85)$$

$$ET = -4.232$$

- Sehingga dapat diketahui LST sebagai berikut:

$$AST = LST + ET + 4(SL - LL) - DS$$

Nilai DS tidak diperhitungkan karena di lokasi penelitian tidak termasuk lokasi yang mengalami musim panas.

$$LST = ET + 4(SL - LL) - AST$$

$$LST = -4.232 + 4(112.61 - 105) \text{menit} - AST$$

$$LST = 26.22 \text{menit} - AST$$

Dengan diketahui nilai $LST = 26.22 \text{menit} - AST$ maka tiap kali pengambilan data yang dilakukan pada tanggal 5 juli harus 26.22 menit lebih awal dari waktu solar time yang ditentukan. Untuk *solar time* 12.00 maka waktu pengambilan data jam 11.33.78 waktu lokal.

Dari perhitungan diatas akan digunakan hasil dari perhitungan *slope angle*, *azimuth angle* dan *local standard time* untuk digunakan sebagai dasar waktu dan posisi *CPV-mirror system* terhadap arah datang sinar matahari pada saat pengambilan data.

4.2 Data dan Perhitungan Hasil Penelitian

Hasil pengambilan data pada $\varepsilon=0$ dengan waktu penelitian 5 juli 2012. Untuk variasi ε yang lain dapat dilihat di lampiran 4 sampai 7.

Tabel 4.1 Data hasil pengujian

No.	Solar time	<i>Pyheliometer</i>	<i>Pyranometer</i>	Avometer untuk 1 lampu		Avometer untuk 2 lampu	
		mV	mV	Ampere	Voltase	Ampere	Voltase
				(A)	(V)	(A)	(V)
1	10.00	6.30	7.40	1.68	8.20	2.21	4.35
		6.20	7.30	1.68	8.23	2.22	4.35
		6.20	7.30	1.69	8.22	2.21	4.30
	Rata-rata	6.23	7.33	1.68	8.22	2.21	4.33
2	10.30	6.30	7.50	1.67	8.04	2.24	4.42
		6.40	7.50	1.67	8.06	2.26	4.48
		6.50	7.70	1.68	8.08	2.29	4.58
	Rata-rata	6.40	7.57	1.67	8.06	2.26	4.49
3	11.00	6.10	7.50	1.66	8.03	2.27	4.49
		6.10	7.50	1.67	8.02	2.26	4.49
		6.00	7.40	1.67	7.98	2.23	4.35
	Rata-rata	6.07	7.47	1.67	8.01	2.25	4.44
4	11.30	6.60	7.70	1.68	8.07	2.34	4.76
		6.60	7.80	1.68	8.12	2.33	4.76
		6.70	7.80	1.68	8.11	2.35	4.80
	Rata-rata	6.63	7.77	1.68	8.10	2.34	4.77
5	12.00	6.40	7.90	1.67	8.04	2.26	4.37
		6.10	7.60	1.67	7.97	2.20	4.22
		6.10	7.60	1.67	7.97	2.20	4.20
	Rata-rata	6.20	7.70	1.67	7.99	2.22	4.26
6	12.30	6.20	7.80	1.68	8.00	2.31	4.55
		6.20	7.80	1.68	8.01	2.32	4.65
		6.20	7.90	1.68	8.07	2.33	4.71
	Rata-rata	6.20	7.83	1.68	8.03	2.32	4.64
7	13.00	6.00	7.90	1.68	8.07	2.30	4.62
		6.00	8.00	1.67	8.06	2.25	4.43
		6.00	7.98	1.68	8.09	2.25	4.44
	Rata-rata	6.00	7.96	1.68	8.07	2.27	4.50
8	13.30	5.80	7.70	1.67	7.96	2.30	4.56
		5.80	7.80	1.67	7.97	2.31	4.59
		5.80	7.80	1.67	8.01	2.31	4.60
	Rata-rata	5.80	7.77	1.67	7.98	2.31	4.58
9	14.00	5.90	7.50	1.67	7.92	2.24	4.34
		5.90	7.50	1.67	7.94	2.25	4.38
		5.90	7.50	1.67	7.94	2.24	4.31
	Rata-rata	5.90	7.50	1.67	7.93	2.24	4.34

4.2.1 Perhitungan Data Hasil Penelitian

Perhitungan penyerapan radiasi matahari oleh *photovoltaic* (S), beberapa parameter telah dihitung pada bab 4.1. Selain itu contoh perhitungan S dihitung berdasarkan data yang diambil tanggal 5 juli 2012 pada *solar time* 12.00. Dalam perhitungan S ini tidak memasukkan nilai radiasi pantul dari cermin. Propertis *photovoltaic* sendiri diketahui sebagai berikut :

- *Multicrystalline silicon cells*
- Ketebalan cover 0.3 mm
- *Extinction coefficient* (K) 4 m^{-1}
- *Ground reflectance* 0.2
- Dimensi $40 \times 50 \text{ cm}^2$
- Konstanta *pyrheliometer* $8.20 \times 10^{-6} \text{ V}/(\text{W}/\text{m}^2)$
- Konstanta *pyranometer* $9.02 \times 10^{-6} \text{ V}/(\text{W}/\text{m}^2)$

Untuk *beam radiation* tegak lurus *photovoltaic* maka dapat diketahui bahwa besar *sudut incidence angle* sebesar 0° .

- Perhitungan *beam radiationi* (G_B) menggunakan konstanta dari *pyrheliometer*.

$$G_B = \frac{8.20 \cdot 10^{-6} \cdot 6.2}{1000}$$

$$G_B = 756.10 \text{ Watt} / \text{m}^2$$

- Perhitungan *Total radiation* (G_{pG}) menggunakan konstanta dari *pyranometer*.

$$G_{pG} = \frac{9.02 \cdot 10^{-6} \cdot 7.7}{1000}$$

$$G_{pG} = 853.66 \text{ Watt} / \text{m}^2$$

- Perhitungan *diffuse radiation* (G_D) yaitu selisih antara *total radiation* dengan *beam radiation*.

$$G_D = 853.66 - 756.10$$

$$G_D = 97.56 \text{ Watt} / \text{m}^2$$

- Perhitungan *incidence angle* untuk *beam radiation* (θ). Karena menggunakan prinsip *full tracking* maka nila dari $\theta = 0^\circ$ atau sesuai persamaan 2-1.

- Perhitungan *air mass* (m) dengan menggunakan persamaan 2-16.

$$m = \frac{1}{\cos(30.72)}$$

$$m = 1.16$$

- Perhitungan *air mass modifiers* (M) menggunakan persamaan 2-15.

$$M = \left[\begin{array}{l} 0.918093 + 0.086257 \cdot 1.16 + (-0.024459) \cdot 1.16^2 \\ + 0.002816 \cdot 1.16^3 + (-0.000126) \cdot 1.16^4 \end{array} \right]$$

$$M = 0.9895$$

- Perhitungan *beam radiation tilt factor* (R_B) didapatkan dari persamaan 2-17. Namun dalam perhitungan ini, nilai *beam radiation tilt factor* tidak dipergunakan karena nilai *beam radiation* yang diketahui dari tabel 4-1 arahnya tegak lurus bidang *photovoltaic*.
- Perhitungan *Incidence angle modifier* untuk *beam radiation* ($K_{\theta,B}$) didapatkan dari persamaan 2-18. Namun dikarenakan *incidence angle* dari beam radiation $\theta=0$ maka persamaan untuk nilai *transmittance* untuk *beam incidence angle* $(\tau\alpha)_B$ pada persamaan 2-19 tidak berlaku dan diganti dengan persamaan yang sama dengan *transmittance* untuk *normal incidence angle* $(\tau\alpha)_n$ yaitu persamaan 2-13. Sehingga nilai $K_{\theta,B}$ dapat dimodifikasi sebagai berikut.

$$K_{\theta,B} = \frac{(\tau\alpha)_n}{(\tau\alpha)_n} = 1$$

- Perhitungan *incidence angle* untuk *diffuse radiation* ($\theta_{e,D}$) dengan persamaan 2-24.

$$\theta_{e,D} = 59.6 - 0.1388 \cdot 30.72 + 0.001497 \cdot 30.72^2$$

$$\theta_{e,D} = 56.83^\circ$$

- Perhitungan *incidence angle* untuk *ground-reflected radiation* ($\theta_{e,G}$) dengan menggunakan persamaan 2-28.

$$\theta_{e,G} = 90 - 0.5788 \cdot 30.72 + 0.002693 \cdot 30.72^2$$

$$\theta_{e,G} = 74.76^\circ$$

- Perhitungan *transmittance* untuk *normal incidence angle* ($K_{\theta,n}$) dengan persamaan 2-14.

$$(\tau\alpha)_n = e^{-4 \times 0.003 \left[1 - \left(\frac{1.526 - 1}{1.526 + 1} \right)^2 \right]}$$

$$(\tau\alpha)_n = 0.9452$$

- *Incidence angle modifier* untuk *diffuse radiation* ($K_{\theta,D}$) didapatkan dari persamaan 2-21.

- Menentukan *refraction angle* ($\theta_{re,D}$) persamaan 2-23.

$$\sin(\theta_{re,D}) = \sin(56.83) / 1.526$$

$$\theta_{re,D} = 33.26^\circ$$

Menentukan *transmittance* ($\tau\alpha$)_D persamaan 2-22.

- $$(\tau\alpha)_D = e^{-[4 \times 0.003 / \cos(33.12)] \left(1 - \frac{1}{2} \left[\frac{\sin^2(33.26 - 56.83)}{\sin^2(33.26 + 56.83)} + \frac{\tan^2(33.26 - 56.83)}{\tan^2(33.26 + 56.83)} \right] \right)}$$
- $$(\tau\alpha)_D = 0.9071$$

- Jadi,

$$K_{\theta,D} = \frac{0.9071}{0.9452}$$

$$K_{\theta,D} = 0.9696$$

- *Incidence angle modifier* untuk *ground-reflected radiation* ($K_{\theta,G}$) didapatkan dari persamaan 2-25.

- Menentukan *refraction angle* ($\theta_{re,G}$) menggunakan persamaan 2-27.

$$\sin(\theta_{re,G}) = \sin(74.76) / 1.526$$

$$\theta_{re,G} = 39.23^\circ$$

- Menentukan *transmittance* ($\tau\alpha$)_G menggunakan persamaan 2-26.

$$(\tau\alpha)_G = e^{-[4 \times 0.003 / \cos(39.23)] \left(1 - \frac{1}{2} \left[\frac{\sin^2(39.23 - 74.76)}{\sin^2(39.23 + 74.76)} + \frac{\tan^2(39.23 - 74.76)}{\tan^2(39.23 + 74.76)} \right] \right)}$$

$$(\tau\alpha)_G = 0.7364$$

- Jadi,

$$K_{\theta,G} = \frac{0.7364}{0.9452}$$

$$K_{\theta,G} = 0.7791$$

- Penyerapan radiasi matahari oleh *photovoltaic* [Watt/m^2] seperti pada persamaan 2-13.

$$S = 0.9452 \cdot 0.9966 \left\{ \begin{aligned} &756.09 + 97.56 \cdot 0.9596 \left[\frac{1 + \cos(42.48)}{2} \right] \\ &+ 853.65 \cdot 0.2 \cdot 0.7790 \left[\frac{1 + \cos(42.48)}{2} \right] \end{aligned} \right\}$$

$$S = 797.37 \text{W/m}^2$$

- Perhitungan daya listrik *photovoltaic* (P) seperti pada persamaan 2-30.

$$P = 7.97 \times 1.67$$

$$P = 13.35 \text{Watt}$$

Untuk mempermudah pembahasan maka hasil daya listrik yang dihasilkan disamakan satuannya dengan radiasi matahari menjadi (Watt/m^2), sehingga daya listrik *photovoltaic*.

$$P = \frac{13.35 \text{Watt}}{0.2 \text{m}^2}$$

$$P = 66.74 \text{Watt / m}^2$$

- Perhitungan efisiensi (η_{\max}) menggunakan persamaan 2-11.

$$\eta_{\max} = \frac{66.74}{853.66} \cdot 100\%$$

$$\eta_{\max} = 8.37\%$$

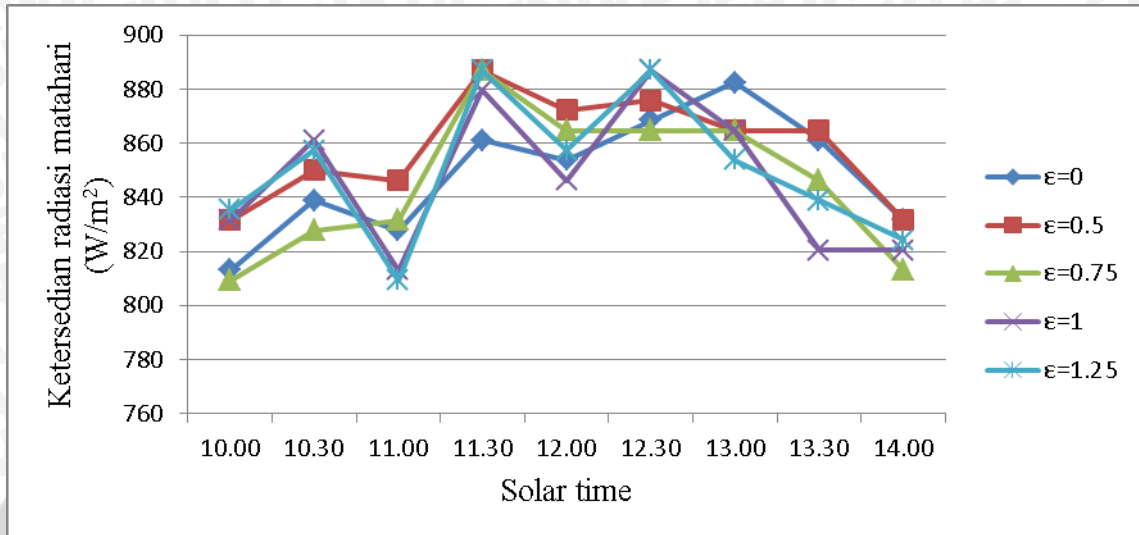
Berikut tabel hasil perhitungan pada pengambilan data $\epsilon = 0$. Untuk tabel hasil perhitungan variasi ϵ yang lain dapat dilihat di lampiran 8 dan 9.

Tabel 4.2 Data hasil perhitungan

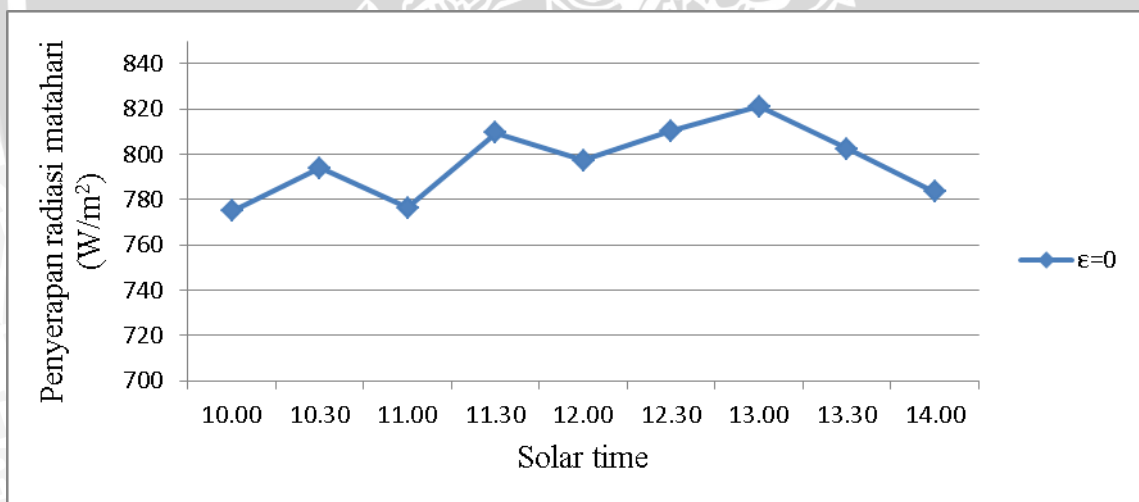
No.	Solar time	Beam Radiation	Diffuse Radiation	Total Radiation	Penyerapan Radiasi Matahari	Daya Listrik untuk 1 lamp	Daya Listrik untuk 2 lamp	Efisiensi (η)
		Watt/m ²	Watt/m ²	Watt/m ²	Watt/m ²	Watt/m ²	Watt/m ²	
1	10.00	760.16	52.85	813.01	774.91	69.16	47.96	8.92
2	10.30	780.49	58.39	838.88	793.79	67.44	50.85	8.50
3	11.00	739.84	87.95	827.79	776.26	66.75	50.06	8.60
4	11.30	808.94	52.11	861.05	809.34	68.04	55.85	8.41
5	12.00	756.10	97.56	853.66	797.37	66.74	47.32	8.37
6	12.30	756.10	112.34	868.44	810.41	67.42	53.79	8.32
7	13.00	731.71	150.78	882.48	821.03	67.68	50.96	8.24
8	13.30	707.32	153.73	861.05	802.44	66.63	52.86	8.30
9	14.00	719.51	111.97	831.49	783.51	66.24	48.72	8.45

4.3 Pembahasan

Dari tabel hasil penelitian akan dibuat grafik hasil penelitian untuk mempermudah dalam melakukan pembahasan mengenai objek yang diteliti seperti pada grafik berikut.



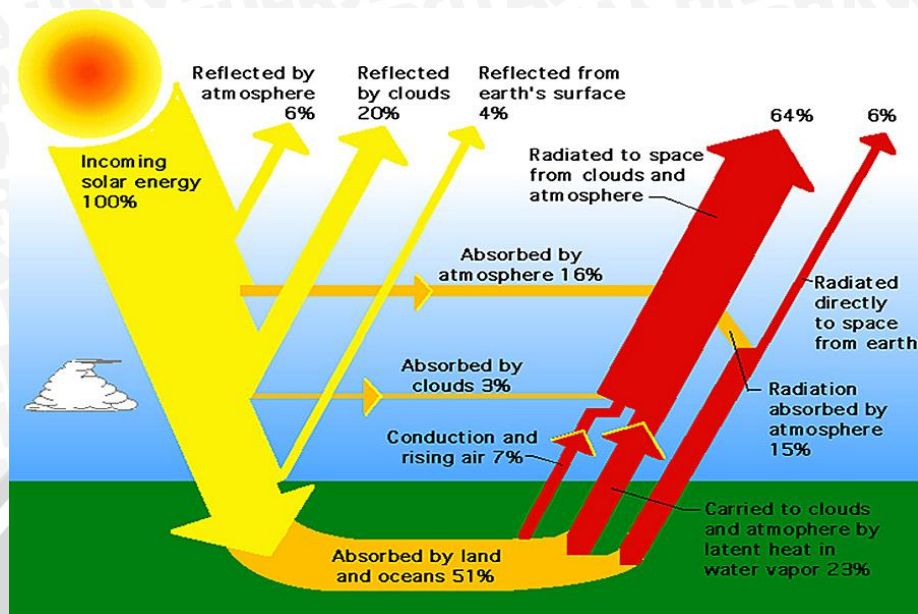
Gambar 4.1 Grafik hubungan ketersediaan radiasi matahari terhadap solar time dengan variasi ϵ yang berbeda



Gambar 4.2 Grafik hubungan penyerapan radiasi matahari terhadap solar time pada variasi $\epsilon = 0$

Gambar 4.1 merupakan grafik yang menunjukkan ketersediaan radiasi matahari pada waktu penelitian. Nilai penyerapan radiasi ini sebanding dengan radiasi yang tersedia. Penyerapan radiasi matahari dapat berubah ubah secara berkelanjutan karena dipengaruhi oleh ketersediaan radiasi matahari pada jam tersebut. Ketersediaan radiasi matahari dipengaruhi oleh kondisi atmosfer yang mengandung beberapa zat berupa debu, awan, gas yang mampu membelokkan, merefleksikan dan menyerap radiasi

matahari. Proses gangguan radiasi matahari oleh kondisi atmosfer dapat dilihat seperti gambar 4.2.



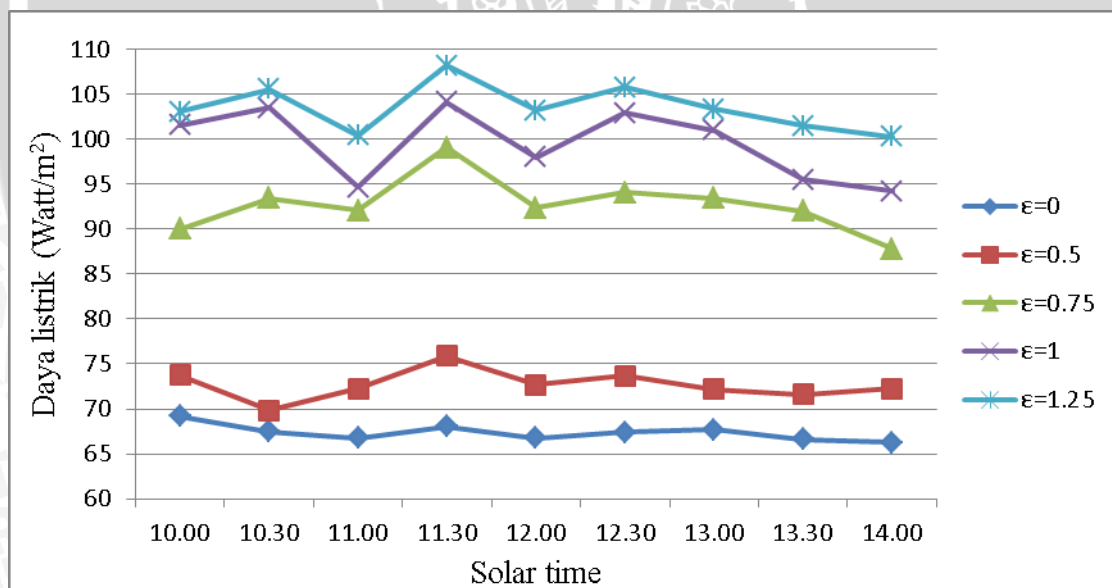
Gambar 4.3 Proses penyinaran radiasi matahari
Sumber : Scottsdale (2012)

Dari gambar 4.3 terlihat bahwa radiasi matahari yang sampai pada permukaan bumi hanya sampai 51% dibandingkan yang tersedia diluar angkasa. Hal ini karena dipengaruhi zat-zat yang berada di atmosfer berupa awan, gas, dan debu yang dapat memantulkan, merefraksikan dan menyerap radiasi matahari sehingga nilai radiasi yang sampai pada permukaan bumi berkurang. Selain itu radiasi matahari yang sampai pada permukaan bumi sebagian akan dikembalikan lagi ke angkasa oleh atmosfer baik siang maupun malam hari, dengan begitu temperatur bumi akan terjaga stabil. Dalam penelitian ini memanfaatkan radiasi matahari yang sampai pada permukaan tanah pada ketinggian 497 meter di atas permukaan laut. Kondisi atmosfer yang mempunyai efek paling besar selama melakukan penelitian adalah awan yang bergerak sehingga radiasi matahari yang tersedia sangat fluktuatif setiap waktu.

Gambar 4.2 merupakan grafik hasil perhitungan penyerapan radiasi matahari oleh *photovoltaic* pada $\varepsilon = 0$ menggunakan persamaan (2-12), dimana dalam persamaan ini tidak memperhitungkan pantulan radiasi matahari dari cermin. Selain itu, dari persamaan (2-12) dapat diketahui bahwa proses penyerapan radiasi matahari oleh *photovoltaic* dipengaruhi oleh *glass cover photovoltaic* dan *incidence angle* dari radiasi matahari. Gangguan penyerapan oleh *glass cover photovoltaic* ini dikarenakan lapisan pelindung tidak dapat secara ideal meneruskan radiasi matahari dari atmosfer ke

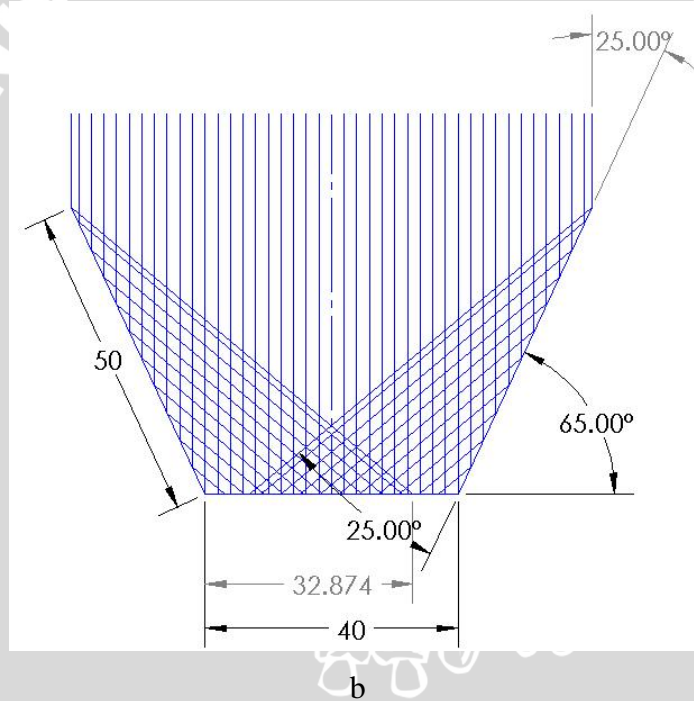
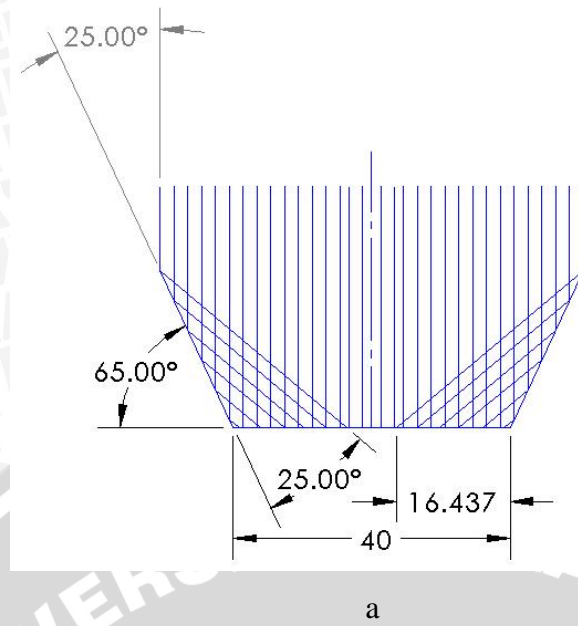
photovoltaic. Lapisan pelindung *photovoltaic* yang berupa *glass* dapat merefleksikan, merefraksikan dan menyerap radiasi matahari yang sampai pada permukaan *photovoltaic cell*. Sedangkan *incidence angle* radiasi matahari akan berakibat pada tingkat reflektifitas, refraksi dan penyerapan radiasi matahari yang terjadi pada *glass cover photovoltaic*. Disamping itu penyerapan radiasi matahari juga dipengaruhi oleh nilai *air mass modifier* (M) yang ditunjukkan pada persamaan (2-12) dengan simbol (M). *Air mass modifier* akan mempengaruhi nilai spektrum dari radiasi matahari sehingga akan berefek pada konversi daya *photovoltaic*. Nilai spektrum radiasi matahari juga dipengaruhi oleh zat-zat pada atmosfer sehingga nilai spektrum yang sampai pada *photovoltaic* akan berubah dan berakibat pada *spectral respon photovoltaic* seperti yang ditunjukkan pada gambar 2-7.

Penyerapan radiasi dan kondisi atmosfer yang berubah-ubah berefek pada kinerja *photovoltaic* sehingga output listrik yang dikeluarkan juga selalu berubah dikarenakan penyerapan radiasi dan kondisi cuaca. Hasil output listrik *photovoltaic* dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.4 Grafik hubungan daya listrik *photovoltaic* terhadap solar time dengan variasi ϵ yang berbeda

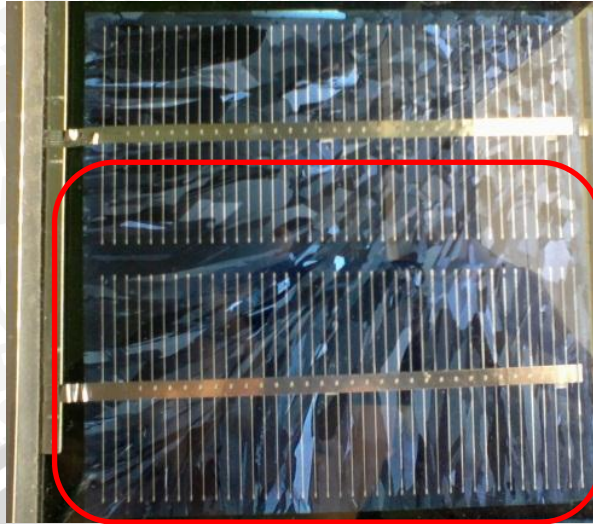
Gambar 4.4 menunjukkan daya listrik yang meningkat dengan bertambahnya ϵ . Hal ini karena dengan meningkatnya ϵ akan menambah luas cermin yang dapat menangkap radiasi matahari yang selanjutnya dipantulkan ke *photovoltaic* sehingga akan menambah nilai radiasi yang diserap *photovoltaic*. Pemantulan radiasi matahari oleh cermin dapat dilihat pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Variasi (a) $\epsilon = 0.5$ (b) $\epsilon = 1.25$

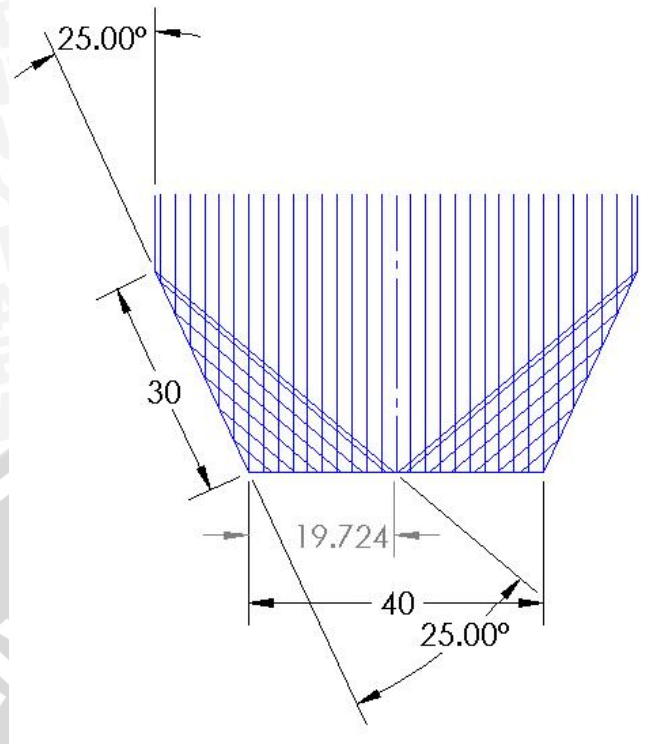
Dengan bertambahnya nilai radiasi yang terserap oleh *photovoltaic*, akan meningkatkan daya listrik yang dihasilkan *photovoltaic*. Daya *photovoltaic* dari rasio 0 atau tanpa cermin berkisar 66-69 Watt/m² setelah rasio ditingkatkan sampai 1.25 daya meningkat berkisar 100-108 Watt/m².

Pada $\epsilon=0.5$ dengan $\epsilon=0.75$ terdapat peningkatan daya yang jauh dari pada yang lain. Hal ini dikarenakan pada $\epsilon=0.5$ radiasi matahari tidak merata pada *photovoltaic* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.6.



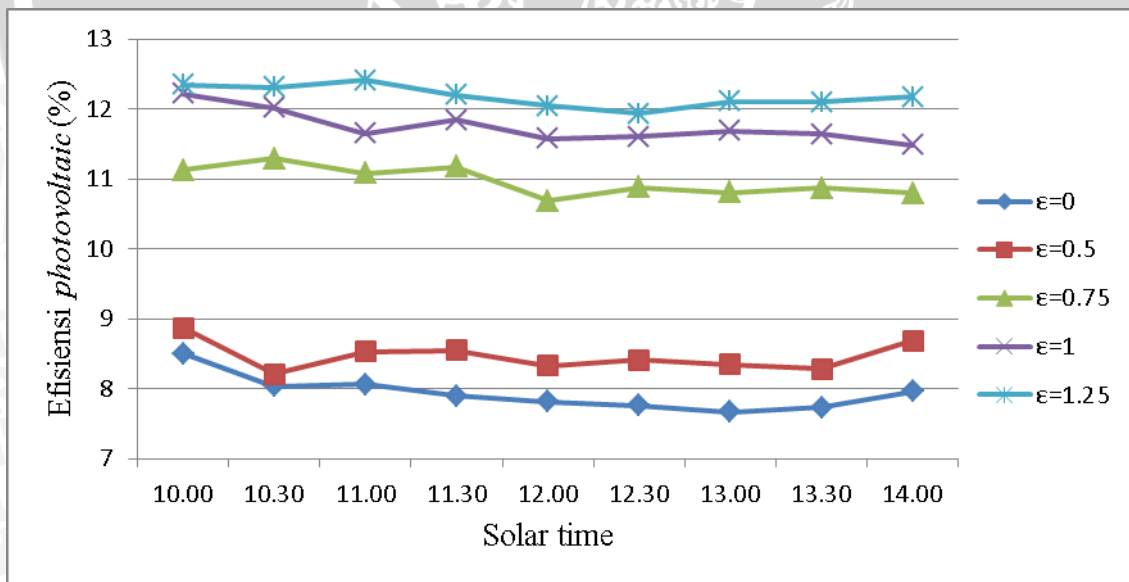
Gambar 4.6 *Photovoltaic cell*

Dari gambar 4.6, terdapat 2 konduktor listrik yang berfungsi mengalirkan arus listrik dari *photovoltaic cell* yang dirangkai secara paralel. Sedangkan pada modul *photovoltaic*, tiap *photovoltaic cell* dirangkai secara seri, (gambar lengkap modul *photovoltaic* dan instalasi penelitian dapat di lihat pada lampiran 1 dan 2). Luasan yang ditandai merah tersebut pada gambar 4.6 adalah luasan *photovoltaic cell* yang terpapar radiasi matahari dari pantulan cermin dan sebagian luasan lainnya tidak terkena pantulan. Oleh karena perbedaan luasan *photovoltaic* yang menerima pantulan radiasi matahari dari cermin, maka akan menyebabkan perbedaan potensial listrik. Beda potensial pada *potovoltaic cell* yang terangkai secara paralel sedangkan nilai resistensi yang mendekati 0 akan menyebabkan mengalirnya arus yang tinggi mendekati tak hingga atau biasa disebut hubungan pendek (*short circuit*) sehingga sebagian energi yang dihasilkan oleh *photovoltaic cell* akan terbuang, penjelasan matematis mengenai *short circuit* dapat dilihat pada persamaan (2-12) dimana resistensi perbanding terbalik dengan arus. *Short circuit* juga terjadi pada variasi $\epsilon=1$ dan $\epsilon=1.25$ dimana luasan *photovoltaic cell* yang terkena pantulan radiasi matahari dari cermin juga tidak merata, gambar proses pemantulan pada $\epsilon=1$ dan $\epsilon=1.25$ dapat dilihat pada gambar 4.6. Sedangkan pada $\epsilon=0.75$ cahaya pantulan dari cermin merata pada *photovoltaic cell*, sehingga potensial listriknya sama dan tidak menyebabkan hubungan pendek. Hal tersebut yang menyebabkan loncatan nilai daya signifikan pada $\epsilon=0.75$, gambar pemantulan $\epsilon=0.75$ dapat dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Variasi $\epsilon=0.75$

Dengan meningkatnya daya listrik yang dihasilkan *photovoltaic* maka efisiensi *photovoltaic* akan meningkat seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.5.



Gambar 4.8 Grafik hubungan efisiensi *photovoltaic* terhadap solar time dengan variasi ϵ yang berbeda

Grafik efisiensi pada gambar 4.8 diatas menggambarkan peningkatan efisiensi dari tiap variasi ϵ yang dihitung berdasarkan persamaan 2-12. Namun pada grafik terlihat bahwa efisien *photovoltaic* dengan $\epsilon = 0$ atau tanpa bantuan radiasi tambahan

dari cermin rata-rata 7.94%, padahal efisiensi pabrikan *photovoltaic* dengan tipe *poly crystalline* berkisar antara 10-12%. Nilai efisiensi dari grafik diatas cukup rendah untuk sebuah alat pengkonversi energi, hal ini karena *cell polycrystalline* mempunyai bentuk geometri yang kurang teratur sehingga energi photon yang diserap oleh elektron tidak mudah berpindah dari dioda tipe P ke dioda tipe N pada *photovoltaic*. Energi photon yang tidak terkonversi ke energi listrik tersebut akan diubah ke kalor sehingga tempertur *photovoltaic* akan naik. Selain itu penurunan daya *photovolatic* di bawah spesifikasi pabrik karena terdapat beberapa *cell photovoltaic* yang mengalami *dead layer* atau mati sehingga efisiensi *photovoltaic* turun. Dengan rendahnya efisiensi pada *photovoltaic* mengindikasikan bahwa ada beberapa energi hilang yang tidak menjadi energi berguna tetapi menjadi energi panas. Secara matematik keseimbangan energi pada *photovoltaic* dapat dilihat pada persamaan 2-12.

Pada gambar 4.8 menunjukkan efisiensi *photovoltaic* yang meningkat dengan bertambahnya nilai rasio ε . Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa efisiensi *photovoltaic* mengikuti grafik daya listrik seperti gambar 4.4. Hal ini berarti efisiensi *CPV mirror-system* tidak terlalu dipengaruhi ketersediaan radiasi matahari yang fluktuatif dengan perbedaan rata-rata 12.73 Watt/m². *CPV mirror-system* dengan rasio 1.25 dapat meningkatkan efisiensi *photovoltaic* rata-rata sampai 53.69 %.

