

Peningkatan Efisiensi *Photovoltaic* Dengan Penggunaan Sistem CPV(*Concentrating Photovoltaic*)-*Mirror*

Widya Wijayanti, Bahrudin, Lilis Yuliati

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Brawijaya Jl. MT Haryono 167, 242, Malang 65145
Email : widya_dinata@ub.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk memaksimalkan pemanfaatan energi matahari yang paling efektif dengan jalan memaksimalkan pengkonsentrasi sinar matahari. Penelitian ini dilakukan dengan jalan menggabungkan penggunaan teknologi CSP dan *photovoltaic* (sebagai semikonduktor untuk menghasilkan listrik) yang disebut dengan *concentrating photovoltaic* (CPV) dimana sinar matahari dikumpulkan pada bidang *photovoltaic* dengan bantuan optik. Hal ini dilakukan untuk memperoleh output energi listrik yang optimum. Salah satu jenis CPV adalah CPV-*mirror system* yaitu CPV yang menggunakan cermin sebagai optiknya. *Concentrating photovoltaic* (CPV)-*mirror system* merupakan teknologi untuk mengoptimalkan kinerja *photovoltaic*. System ini bisa dikembangkan dengan cara mengatur perbandingan rasio antara lebar cermin dan *photovoltaic* ($L_2/L_1 = \epsilon$). Untuk meningkatkan efektifitasnya, penelitian dilakukan dengan membandingkan lebar bidang optic (L_2) dengan lebar bidang *photovoltaic* (L_1) sehingga jumlah sinar matahari yang diterima *photovoltaic* lebih banyak.

Pada penelitian ini ϵ divariasi sebesar 0-1.25 dengan *inclination angle* antara cermin dengan *photovoltaic* sebesar 65° serta data diambil pada *solar time* 10.00-14.00 sehingga dapat diketahui kinerja *photovoltaic* yang terukur dalam daya listrik dan efisiensi *photovoltaic* dengan memvariasi ϵ . Alat ukur radiasi yang digunakan berupa *pyranometer* untuk mengukur radiasi total (*total radiation*) dan *pyrheliometer* untuk mengukur radiasi langsung (*beam radiation*) sedangkan untuk mengukur daya listrik digunakan avometer digital.

Hasil penelitian menunjukkan terjadinya peningkatan output daya listrik dan efisiensi *photovoltaic* yang diperoleh dengan peningkatan ϵ . Kenaikan daya yang signifikan terjadi antara $\epsilon=0.5$ dengan $\epsilon=0.75$ karena pantulan radiasi matahari dari cermin bisa merata di permukaan *photovoltaic*, sehingga proses konversi energi radiasi matahari ke listrik bisa optimal. Peningkatan daya *photovoltaic* karena pertambahan variasi ϵ akan menaikkan efisiensi rata-rata sebesar 53.69% dari rasio 0 ke 1.25. Pada penelitian ini, ternyata, peningkatan efisiensi CPV-*mirror system* dengan variasi ϵ tidak terlalu dipengaruhi oleh ketersediaan radiasi matahari yang fluktuatif

Keywords : *photovoltaic*, *concentrating photovoltaic-mirror system*, cermin datar, radiasi matahari

Pendahuluan

Krisis energi fosil memaksa energi alternatif yang lain untuk dikembangkan pemanfaatannya. Sebagai negara dengan letak posisi strategis di daerah katulistiwa dengan limpahan kekayaan energi matahari yang diperoleh selama 6 jam/hari atau 2.400 jam/tahun, maka energi matahari sudah selayaknya menjadi energi alternatif pendukung energi nasional tentang diversifikasi energi, yaitu usaha untuk mengurangi ketergantungan energi fosil dalam usaha memenuhi kebutuhan energi. Salah satu usaha diversifikasi energi adalah dengan memanfaatkan energi matahari, dimana penggunaan *photovoltaic* pada sistem ini mampu mengkonversi radiasi matahari menjadi energi listrik tanpa menghasilkan polusi. Pengembangan lain yang dapat diharapkan

dari sistem energi ini adalah memungkinkan untuk dibangun di daerah terpencil sehingga tidak memerlukan transmisi energi maupun transportasi sumber energi.

Salah satu kendala dari penerapan energi surya adalah tidak menentunya sinar matahari yang sampai ke permukaan bumi dikarenakan iklim, cuaca, dan rotasi bumi. Sistem yang telah banyak dikembangkan untuk memaksimalkan pemanfaatan energi matahari yang paling efektif selama ini adalah penggunaan sistem CSP (*Concentrating Solar Power*). Sistem ini bekerja dengan cara mengumpulkan energi matahari yang tersebar luas pada suatu bidang datar pada satu titik tertentu dengan menggunakan bantuan optik. Untuk memaksimalkan pengkonsentrasi sinar matahari, penelitian ini dilakukan dengan jalan menggabungkan penggunaan teknologi CSP dan

photovoltaic (sebagai semikonduktor untuk menghasilkan listrik) yang disebut dengan *concentrating photovoltaic* (CPV) dimana sinar matahari dikumpulkan pada bidang *photovoltaic* dengan bantuan optik. Hal ini dilakukan untuk memperoleh output energi listrik yang optimum.

Salah satu jenis CPV adalah *CPV-mirror system* yaitu CPV yang menggunakan cermin sebagai optiknya. *Concentrating photovoltaic (CPV)-mirror system* merupakan teknologi untuk mengoptimalkan kinerja *photovoltaic*. Sistem ini bisa dikembangkan dengan cara mengatur perbandingan rasio antara lebar cermin dan *photovoltaic* ($L_2/L_1 = \varepsilon$). Untuk meningkatkan efektifitasnya, penelitian dilakukan dengan membandingkan lebar bidang optik (L_2) dengan lebar bidang *photovoltaic* (L_1) sehingga jumlah sinar matahari yang diterima *photovoltaic* lebih banyak.

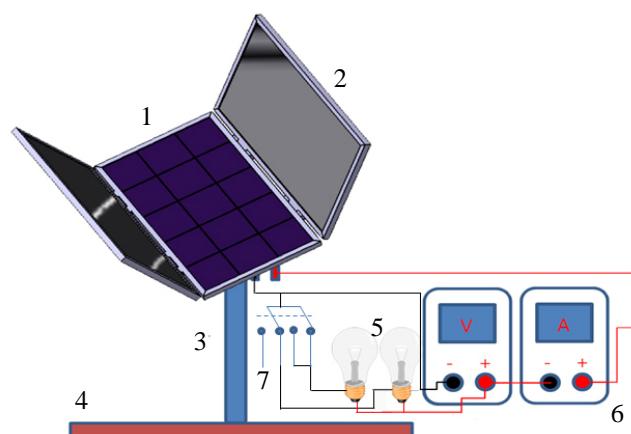
Penelitian dengan menggunakan metode numerik dengan pemodelan geometric pada *CPV-mirror system* telah dilakukan oleh Hermenean, et all (2009).. Beberapa variabel yang digunakan adalah sudut antara cermin dengan *photovoltaic* (*inclination angle*), sudut datang sinar matahari dengan bidang *photovoltaic* (*incidence angle*), perbandingan lebar cermin dengan lebar *photovoltaic* ($L_2/L_1=\varepsilon$) dan *tracking system*. Dari penelitian ini dihasilkan kesimpulan bahwa dari ketiga variasi di atas yang paling berpengaruh pada peningkatan kinerja *photovoltaic* adalah *inclination angle* yaitu antara 50° - 65° (Hermenean, 2009). Selanjutnya, penggunaan variasi lebar cermin sebesar 1 dan $\frac{1}{2}$ dari lebar *photovoltaic* dengan variasi kemiringan bidang cermin terhadap *photovoltaic* sebesar 50° ; 55° ; 60° ; 65° , serta *incidence angle* sebesar 15° ; 7.5° ; 3.75° . Sistem *photovoltaic* di sini juga menggunakan *tracking system* untuk mengikuti arah gerak matahari. Penelitian lanjutan ini menghasilkan kesimpulan bahwa kemiringan bidang cermin terhadap bidang *photovoltaic* yang paling bagus dengan variasi dan kondisi variabel diatas yaitu sebesar 65° (Hermenean, 2010). Oleh karena itu, pada penelitian ini ε divariasikan sebesar 0-1.25 dengan *inclination angle* antara cermin dengan *photovoltaic* sebesar 65° serta data diambil pada *solar time* 10.00-14.00. Tujuan dari penelitian adalah mengetahui kinerja *photovoltaic* yang terukur dalam daya listrik dan efisiensi *photovoltaic* dengan memvariasikan ε , sehingga dapat diketahui output daya listrik dan efisiensi *photovoltaic*-nya.

Metode Penelitian

Penelitian ini mengamati pengaruh variasi ε pada unjuk kerja *CPV-mirror system* untuk meningkatkan efisiensi *photovoltaic*. Adapun unjuk kerja yang

diamati adalah daya (P) dan efisiensi (η) *CPV-mirror system*.

Penelitian diawali dengan mempersiapkan instalasi penelitian utama dan alat ukur radiasi matahari dengan letak bersebelahan yang bertujuan agar radiasi matahari yang terukur dan yang diterima *photovoltaic* tidak berbeda. Selanjutnya, sudut *declination angle* ditentukan dari cermin dengan sudut 65° . Setelah itu *photovoltaic* diarahkan tegak lurus arah sinar matahari berdasarkan *slope angle* dan *azimuth angle* yang telah dihitung sebelumnya berdasarkan hari dan jam penelitian. Selesai memposisikan arah *photovoltaic* maka dilakukan pengambilan data dengan mengubah lebar cermin sesuai variasi ε pada *solar time* 10.30; 11; 11.30; 12; 12.30; 13.30; 14. ε adalah perbandingan rasio antara lebar cermin dan *photovoltaic* ($L_2/L_1 = \varepsilon$). Pada setiap *solar time* posisi *photovoltaic* selalu tegak lurus arah datang radiasi matahari sehingga *slope angle* dan *azimuth angle* akan berubah sesuai *solar time*.



Keterangan:

1. Photovoltaic (lebar *photovoltaic* adalah L_1)
2. Cermin (lebar cermin adalah L_2)
3. Pengatur gerakan *photovoltaic*
4. Base
5. Beban (lampa)
6. Avometer (mengukur tegangan dan arus listrik)
7. Saklar pengatur beban

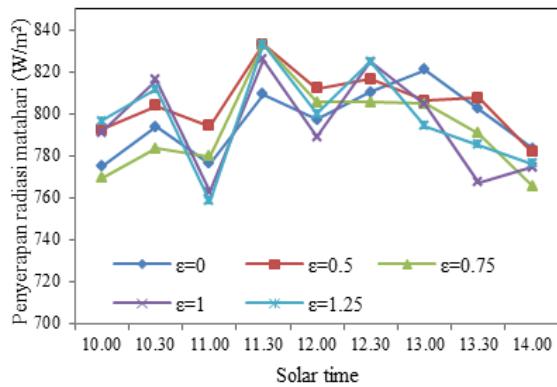
Gambar 1 Instalasi penelitian

Hasil dan Pembahasan

Pada aplikasinya proses penyerapan radiasi matahari dipengaruhi oleh pelapis *photovoltaic* yaitu *glass cover* dan *incidence angle* dari radiasi matahari. Hubungan tersebut dapat dilihat dalam persamaan 1.

$$S = (\tau\alpha)_n M \left[G_B R_B K_{\theta,B} + G_D K_{\theta,D} \left[\frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right] + G_{\rho G} K_{\theta,G} \left[\frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right] \right] \quad (1)$$

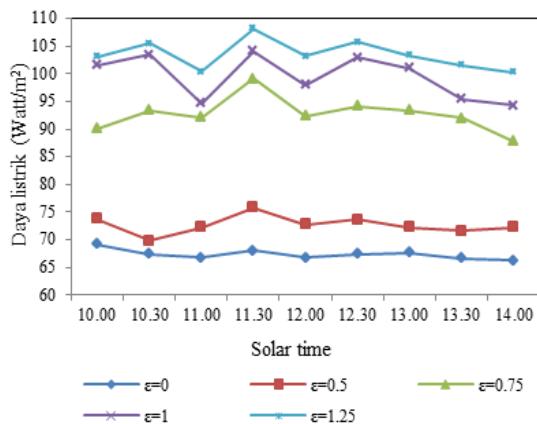
Perhitungan penyerapan radiasi matahari yang diperoleh dari data penelitian, selanjutnya diplot pada gambar 2.



Gambar 2. Grafik hubungan variasi ϵ pada penyerapan radiasi matahari

Perhitungan penyerapan radiasi matahari oleh *photovoltaic* pada gambar 2 tersebut tidak memperhitungkan pantulan radiasi matahari dari cermin. Selain itu, nilai penyerapan radiasi ini sebanding dengan radiasi yang tersedia. Penyerapan radiasi matahari dapat berubah ubah secara bekelanjutan. Hal ini 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. Selain itu, penyerapan radiasi matahari dipengaruhi oleh lapisan pelindung *photovoltaic* dan *incidence angle* dari radiasi matahari.

Grafik diatas menunjukkan peningkatan nilai radiasi setiap jam pengambilan data. Hal ini dikarenakan pada saat waktu pengambilan data, kondisi atmosfer sedang berawan tipis dan tidak merata sehingga menyebabkan nilai radiasi matahari yang sampai pada permukaan bumi berubah ubah

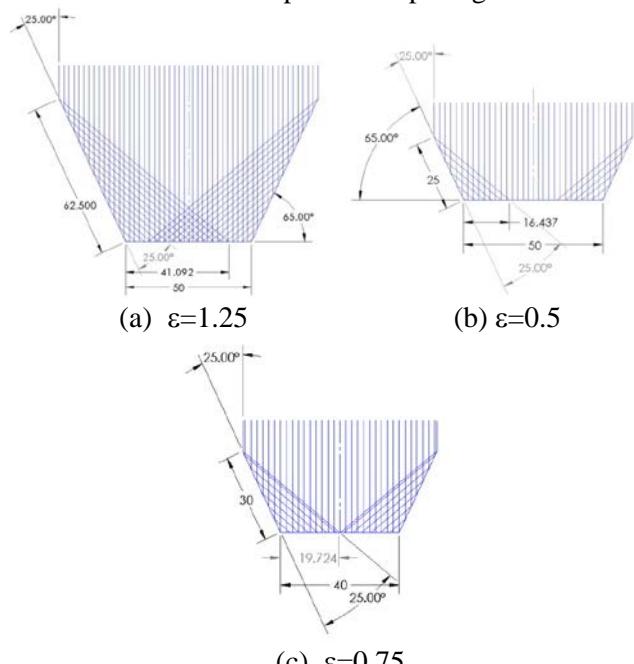


Gambar 3. Grafik hubungan variasi ϵ pada daya listrik *photovoltaic*

Selain itu, *photovoltaic* menghasilkan arus listrik searah. Arus searah (DC) adalah arus listrik yang nilai polaritas tegangannya bernilai tetap terhadap waktu. Daya listrik dalam rangkaian DC sama dengan perkalian antara arus yang mengalir dengan voltase rangkaian. Secara matematis dilihat pada persamaan 2.

$$P=VI \quad (2)$$

Gambar 3 berikut menunjukkan daya listrik yang dihasilkan oleh *photovoltaic*. Dari grafik tersebut, daya listrik yang dihasilkan pada rentang waktu 10.00 hingga 14.00 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.



Gambar 4. Skema pemantulan radiasi matahari oleh cemin.

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 5.



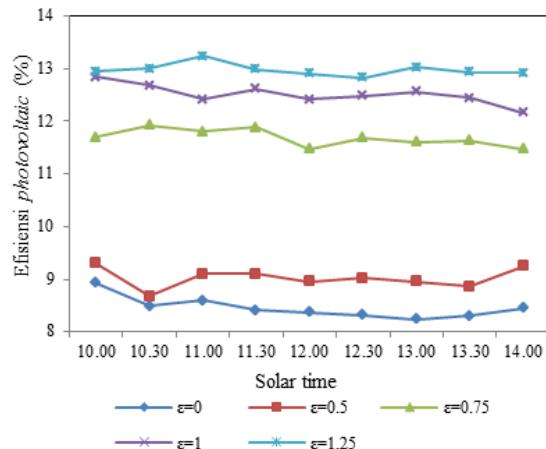
Gambar 5. *Photovoltaic cell*

Dari gambar 5, 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. Luasan yang ditandai merah tersebut pada $\epsilon=0.5$ 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 potential listrik. Beda potensial pada *photovoltaic cell* yang terangkai secara parallel akan menyebabkan hubungan pendek pada *photovoltaic cell* sehingga sebagian energi yang dihasilkan oleh *photovoltaic cell* akan terbuang. Hal tersebut juga terjadi pada variasi $\epsilon=1$ dan $\epsilon=1.25$ dimana luasan *photovoltaic cell* yang terkena pantulan radiasi matahari dari cermin juga tidak merata. Sedangkan pada $\epsilon=0.75$ cahaya pantulan dari cermin merata pada *photovoltaic cell*, sehingga potensial listriknya sama dan tidak menyebabkan hubungan pendek. Hal tersebutlah yang menyebabkan loncatan nilai daya signifikan pada $\epsilon=0.5$ dan $\epsilon=0.75$.

Selanjutnya, *photovoltaic* mempunyai efisiensi yang tergantung pada daya yang dihasilkan. Efisiensi *photovoltaic* dapat dicari dengan persamaan 3.

$$\eta_{\max} = \frac{P_{\max}}{P_{i_n}} = \frac{I_{\max} V_{\max}}{A G_t} \quad (3)$$

Gambar 6 menunjukkan efisiensi *photovoltaic* yang meningkat dengan bertambahnya nilai rasio ϵ . Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa efisiensi



Gambar 6. Grafik hubungan variasi ϵ pada efisiensi *photovoltaic*

photovoltaic mengikuti grafik daya listrik seperti gambar 3. Hal ini berarti efisiensi CPV mirror-system tidak terlalu dipengaruhi oleh nilai fluktuatif radiasi matahari. CPV mirror-system dengan rasio 1.25 dapat meningkatkan efisiensi *photovoltaic* rata-rata sampai 4.52 %.

Kesimpulan

Penelitian mengenai efisiensi *photovoltaic* dengan penggunaan sistem CPV (*concentrating photovoltaic-mirror*) menyimpulkan beberapa hal bahwa :

1. Bertambahnya nilai ϵ akan meningkatkan kinerja *photovoltaic* yang terukur dari peningkatan daya dan efisiensi *photovoltaic*.
2. Luasan pantulan radiasi matahari dari cermin yang tidak merata pada *photovoltaic cell* akan mengurangi daya maksimal *photovoltaic*.
3. Radiasi sinar matahari sangat dipengaruhi oleh kondisi atmosfer menyebabkan perubahan nilai radiasi matahari pada tiap waktu. Hal tersebut menyebabkan jumlah radiasi yang tersedia dapat berubah-ubah

Referensi

Hermenean, I.S. Visa, et al, 2009, *On the Geometric Modelling of A Concentrating PV-Mirror System*, Bulletin of the Transilvania University of Brasov Vol. 2.

Hermenean, I.S. Visa, et al, 2010, *Modelling and Optimization of A Concentrating PV-Mirror System*, Bulletin of the Transilvania University of Brasov.

Kalogirou, S. 2009. *Solar Energy Engineering Processes And Systems*. United States of America: Elsevier's Science & Technology