



## Simulasi dan Validasi Panel Surya dengan Kolektor Pemanas Udara: Studi Pengaruh Jarak Lapisan Tedlar dan Insulation Panel

### *Simulation and Validation of Photovoltaic with Air Collector: Gap Study of Tedlar Layer and Insulation Panel*

Mega Lazuardi Umar<sup>1,a)</sup>, Rochmad Eko Prasetyaning Utomo<sup>2</sup>, I Gusti Ngurah Agung Satria Prasetya Dharma Yudha<sup>2</sup>, Ahmad Arbi Trihatmojo<sup>3</sup>, Rizqi Ilmal Yaqin<sup>4</sup>, Agung Fauzi Hanafi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur, Politeknik Negeri Banyuwangi

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Manufaktur Kapal, Politeknik Negeri Banyuwangi

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Mesin Otomotif, Akademi Komunitas Negeri Pacitan

<sup>4</sup>Program Studi Pemesinan Kapal, Politeknik Kelautan dan Perikanan Dumai

<sup>a)</sup>Corresponding Author: [megalazuardiumar@poliwangi.ac.id](mailto:megalazuardiumar@poliwangi.ac.id)

#### Abstrak

Ide dari penelitian ini adalah memanfaatkan energi panas yang terbuang dari panel surya dengan cara menambahkan kolektor panas yang diletakkan di bawah panel surya, sehingga tercapai dua jenis energi yang keluar dari panel surya yaitu listrik dan panas. Untuk mencapai efisiensi dan luaran yang optimal, tentu saja dibutuhkan sistem konfigurasi panel surya dengan kolektor panas yang optimal, salah satu caranya adalah dengan memodifikasi jarak antara lapisan tedlar dan insulation panel. Penelitian ini fokus melakukan simulasi dengan bantuan *software* matlab/Simulink dan validasi eksperimen terkait pengaruh gap terhadap efisiensi dan energi luaran dari panel surya. Hasil validasi menunjukkan nilai galat yang baik dan berdasarkan perhitungan *primary energy* efisiensi tertinggi, jarak lapisan tedlar dan insulation panel terbaik adalah 1 cm.

**Kata kunci:** panel surya; gap; energi terbarukan; energi

#### Abstract

The idea of this research is to utilize the wasted heat energy from the solar panel by adding a heat collector which is placed under the solar panel, so that two types of energy come out of the solar panel, namely electricity and heat. To achieve optimal efficiency and output, of course, a solar panel configuration system with an optimal heat collector is needed, one way is to modify the distance between the tedlar layer and the insulation panel. This study focuses on conducting simulations with the help of Matlab/Simulink software and experimental validation related to the effect of gaps on the efficiency and output energy of solar panels. The validation results show an acceptable error value and based on the calculation of the highest primary energy efficiency, the best distance between the tedlar layer and the insulation panel is 1 cm.

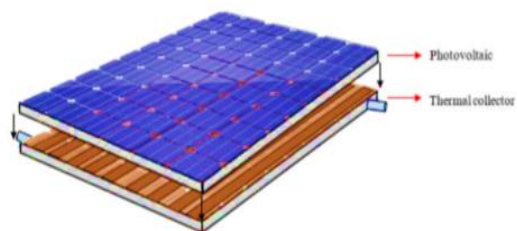
**Keywords:** photovoltaic; gap; renewable energy; energy

#### PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi sumber daya matahari yang berlimpah karena terletak pada iklim tropis, secara astronomis terletak pada 6° LU (Lintang Utara) - 11° LS (Lintang Selatan) dan 95° BT (Bujur Timur) - 141° BT (Bujur Timur) [1]. Iklim tropis itulah yang membuat Indonesia memiliki sumber daya matahari yang berlimpah dan sangat potensial untuk instalasi sumber energi terbarukan panel surya.

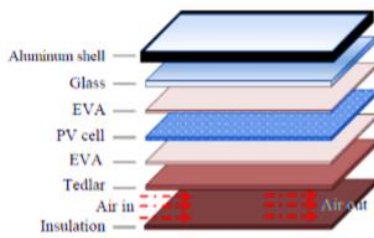
Panel surya kolektor panas atau biasa disebut dengan *Photovoltaic Thermal (PV/T)* memiliki dua luaran energi

yaitu energi listrik yang berasal dari panel surya dan energi panas yang berasal dari air/udara [2]. Ilustrasi sistem panel surya dengan kolektor panas ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi panel surya dengan kolektor panas

Sistem panel surya mengeluarkan listrik hasil konversi dari matahari, sedangkan panas sisa konversi digunakan untuk memanaskan udara mengalir yang diletakkan di dalam ruang antara lapisan tedlar dan insulation. Irisan melintang desain dari panel surya dengan kolektor panas ini ditampilkan pada Gambar 2. yang terdiri dari *glass*, berfungsi sebagai pelindung dari bagian luar, EVA berfungsi untuk melapisi panel surya, PV cell untuk konversi energi, *Tedlar* untuk pelindung, dan *Insulation* untuk mencegah interaksi perpindahan panas dengan lingkungan. Pada daerah antara Tedlar dan Insulation terdapat gap dengan jarak tertentu untuk menghembuskan udara dingin menjadi udara panas.



Gambar 2. Irisan melintang panel Surya dengan kolektor Panas

Panel surya dengan kolektor panas ini memiliki beberapa kelebihan diantaranya adalah:

- 1) Menghasilkan dua buah energi (listrik dan panas)
- 2) Mempunyai *output* energi listrik yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa kolektor.
- 3) Hemat tempat (dapat diaplikasikan bersamaan dengan panel surya tanpa harus membuat kolektor udara sendiri) [3]

Oleh karena itu, pada penelitian kali ini, pengaruh jarak lapisan tedlar dan insulation dievaluasi terhadap luaran berupa efisiensi dianalisis menggunakan eksperimen dan simulasi. Simulasi dipilih karena mampu memodelkan sebuah sistem dengan cepat, akurat, dan biaya lebih terjangkau. Adapun dalam simulasi ini menggunakan konsep kesetimbangan energi perpindahan panas yang diselesaikan dengan bantuan aplikasi Matlab/Simulink, *inputnya* adalah radiasi matahari, kecepatan angin, temperature udara lingkungan yang kemudian digunakan untuk menghitung temperatur tiap lapisan. Selanjutnya dari temperatur tiap lapisan tersebut digunakan untuk menghitung *output* energi listrik dan panas. Hasil dari simulasi ini kemudian dibandingkan dengan hasil eksperimen. Diharapkan penelitian ini akan mampu menjadi referensi bagi dunia industri energi terbarukan panel surya di masa yang akan datang.

## METODE

### Spesifikasi Panel Surya

Panel surya yang digunakan dalam simulasi ini adalah GH Solar monocrystalline 120 WP 100x68 cm dengan maksimum energi adalah 120 W seperti spesifikasi yang ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi panel surya

Characteristic	Value
Luas ( $L$ )	0.693 $m^2$
Voltase saat maximum ( $V_m$ )	18.3 V
Arus saat maksimum ( $I_m$ )	6.56 A
Open-circuit voltage ( $V_{oc}$ )	22.5 V
Short-circuit Current ( $I_{sc}$ )	6.95 A

Sedangkan paramater lapisan material panel surya dengan kolektor panas ditampilkan pada Tabel 2. Yang mana penamaan dengan simbol  $g$ ,  $eva$ ,  $pv$ ,  $coll$ , dan  $t$  adalah kaca, EVA, panel surya, dan tedlar secara berurutan. Jarak gap antara tedlar dan insulation ( $\delta_a$ ) yang digunakan untuk validasi eksperimen dan simulasi adalah 3 cm.

Tabel 2. Parameter lapisan material panel surya

Parameter	Nilai
$k_g$ konduktifitas panas (W/m-K)	1
$k_{eva}$ konduktifitas panas (W/m-K)	0.2
$k_{pv}$ konduktifitas panas (W/m-K)	149
$k_t$ konduktifitas panas (W/m-K)	0.15
$k_i$ konduktifitas panas (W/m-K)	0.03
$\delta_a$ duck depth	0.04
$v$ van velocity (m/s)	3
$c_{air}$ specific heat capacity of air (kJ/kg-K)	1.006

### Model Matematika

Model matematika dipilih menggunakan konsep kesetimbangan energi dan perpindahan panas baik secara konveksi, konduksi dan radiasi yang secara umum dituliskan dalam persamaan 1.

$$C \frac{dT}{dt} = \Sigma Q_{in} - \Sigma Q_{out} \quad (1)$$

dimana temperature pada masing-masing lapisan  $T$  dapat diperoleh dengan menghitung energi yang tersimpan di  $C \frac{dT}{dt}$ , di mana  $\Sigma Q_{in}$  energi yang diterima dan  $\Sigma Q_{out}$  energi yang keluar/hilang.

Pada penelitian kali ini, ditampilkan pada persamaan 2, cara untuk menghitung energi kesetimbangan pada lapisan pertama (kaca), adapun untuk meringkas isi artikel, perhitungan lapisan selanjutnya dapat dilihat secara detail pada penelitian Slimani [4], Bevilacqua [5], dan Nicoletti [6]

$$C_g \frac{dT_g}{dt} = A_g \alpha_g G + A_g h_{conv,amb-g} (T_{amb} - T_g) + A_g h_{rad,sky-g} (T_{sky} - T_g) - A_g h_{cond,g-EVA} (T_g - T_{EVAtop}) \quad (2)$$

Yang mana  $C$  adalah kapasitas panas. Temperature lapisan pertama (kaca) dapat dihitung dengan mempertimbangkan beberapa factor yaitu:  $A$  luas lapisan ( $m^2$ ),  $\alpha$  koefisien penyerapan material,  $G$  sinar radiasi ( $W/m^2$ ),  $h$  koefisien perpindahan panas. Setelah temperature tiap lapisan diketahui. Nilai efisiensi listrik  $\eta_{ele}$  dan efisiensi panas  $\eta_{th}$  dapat dihitung pada persamaan 3 dan 4:

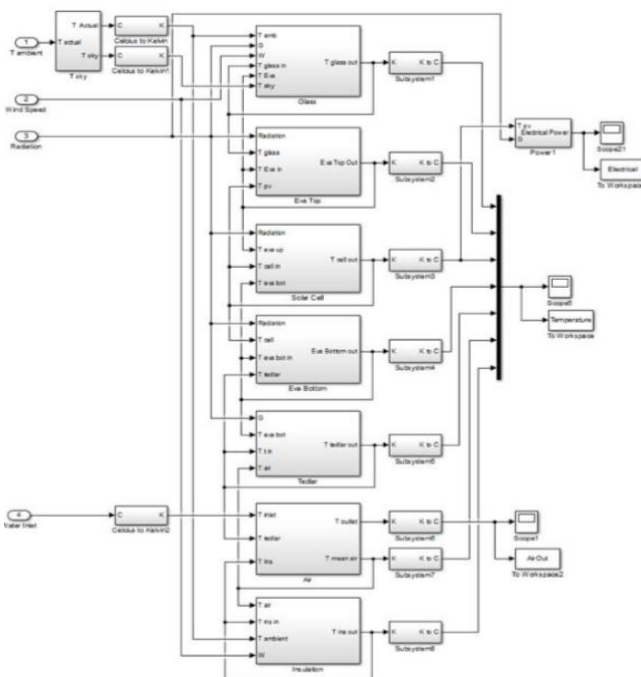
$$\eta_{ele} = \eta_{ref} \left[ 1 - \beta_p (T_{pv} - T_{pv,ref}) + \delta \ln \left( \frac{G}{G_{ref}} \right) \right] \quad (3)$$

$$\eta_{th} = \dot{m} c_p (T_o - T_i) / GA \quad (4)$$

Untuk menghitung *primary energy efficiency* total  $\eta_f$ , energi listrik perlu dibagi dengan factor konversi, sehingga efisiensi total [7, 8, 9]:

$$\eta_f = \frac{\eta_{ele}}{0.38} + \eta_{th} \quad (5)$$

Persamaan matematika tersebut kemudian dimodelkan menggunakan Matlab/Simulink 2019 sebagaimana yang ditampilkan pada Gambar 3. *Interface* Simulasi Panel Surya dengan *Matlab/Simulink*

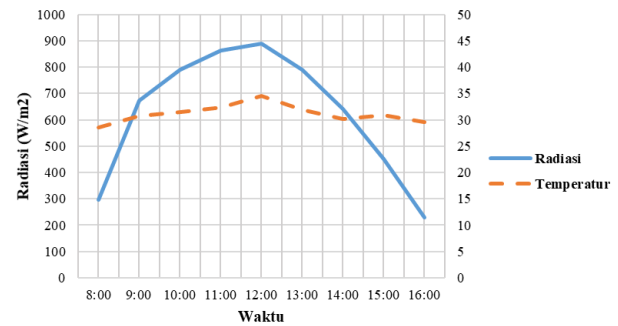


Gambar 3. *Interface* Simulasi Panel Surya dengan Matlab/Simulink

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Validasi

Perbandingan hasil penelitian ini dibandingkan dengan eksperimen yang telah dipublikasikan sebelumnya oleh penulis [7] dengan jarak gap antara tedlar dan insulation panel adalah 3 cm dan eksperimen dilakukan pada pukul 08:00 – 16:00. Data cuaca yang digunakan sebagai input simulasi ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Kondisi Cuaca [7]

Nilai intensitas radiasi bervariasi berdasarkan waktu antara 220-890.4  $W/m^2$ , sedangkan nilai temperature udara lingkungan yaitu antara 29-34.5  $^{\circ}C$ .

Hasil validasi menggunakan studi numerik ini menunjukkan hasil yang baik seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3. Didapatkan nilai galat temperature *outlet* dan daya Panel sebesar dan 4.96% dan 2.16%.

Tabel 3. Validasi simulasi dengan eksperimen

Waktu	Temperature Outlet ( $^{\circ}C$ )		Daya Panel (W)	
	Eks	Sim	Eks	Sim
8:00	29.1	31.0	38.5	37.5
9:00	34.1	36.8	87.2	85.6
10:00	38.6	38.6	101.8	100.0
11:00	37.3	40.1	107.9	108.7
12:00	44.4	42.3	110.5	111.1
13:00	37.9	39.0	101.6	99.8
14:00	33.4	35.8	82.4	81.6
15:00	33.2	34.4	58.8	57.2
16:00	30.0	31.3	30.8	28.8

### Pengaruh Jarak Lapisan Tedlar dan Insulation Panel

Hasil simulasi jarak gap lapisan tedlar dan insulation panel ditampilkan pada Tabel 4. Adapun variasi gap dipilih antara 1-5 cm. Simulasi dilakukan pada kondisi *Nominal Operation Cell Temperature* (NOCT) [10, 11] yaitu radiasi 800  $W/m^2$ , kecepatan angina sekitar 1 m/s, temperature lingkungan 25  $^{\circ}C$ , sedangkan faktor internal aliran udara dijaga konstan dengan velocity 3 m/s.

Tabel 4. Rata-rata harian temperatur outlet dan efisiensi

No	Temperatur Outlet ( $^{\circ}C$ )	Daya (W)	Efisiensi Panas	Efisiensi Listrik	Primary Energy Efisiensi
1	38.1	101.8	49.3	18.7	98.5
2	36.7	102.0	44.0	18.7	93.3
3	34.6	102.2	36.1	18.7	85.5
4	33.0	102.4	30.1	18.8	79.6
5	31.8	102.5	25.6	18.8	75.1

Hasil penelitian ini juga sesuai dengan penelitian lainnya, [12, 13, 14, 15] yang menyatakan bahwa peningkatan efisiensi akan terjadi saat panel surya ditambahkan dengan kolektor udara. Didapatkan hasil temperatur *outlet* tertinggi adalah 38.1 C° pada jarak tedlar dan insulation sebesar 1 cm. Sedangkan temperatur *outlet* terendah adalah 31.8 C° pada jarak tedlar dan insulation sebesar 5 cm. dengan menggunakan persamaan 5, didapatkan *nilai primary energy efisiensi* tertinggi yaitu sebesar 98.56% dengan jarak tedlar dan insulation layer sebesar 1 cm.

## **PENUTUP**

### **Kesimpulan**

Studi pengaruh jarak lapisan tedlar dan insulation panel telah dilakukan menggunakan simulasi dan eksperimen. Hasil validasi menunjukkan nilai galat temperature outlet dan daya panel sebesar 4.96% dan 2.16%. dengan menggunakan pendekatan *primary energy efisiensi*, nilai tertinggi yaitu sebesar 98.56% dengan jarak tedlar dan insulation layer sebesar 1 cm.

### **Ucapan Terima Kasih**

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PNBPN Politeknik Negeri Banyuwangi tahun 2022 (No. SK 2415/PL36/PT/2022) melalui skema Penelitian Dosen Pemula (PDP) yang telah mendanai penelitian ini.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- [1] BPS, Badan Pusat Statistik Indonesia, <https://www.bps.go.id/>, (diakses: 7 Oktober 2022).
- [2] Kuo, C.F.J., Lee, Y.W., Umar, M.L., Yang, P.C. 2017. Dynamic modeling, practical verification and energy benefit analysis of a photovoltaic and thermal composite module system. *Energy Conversion and Management* Vol. 154, pp. 470-481.
- [3] Kuo, C.F.J., Liu, J.M., Umar, M.L., Lan, W.L., Huang, C.Y., Syu, S.S. 2019. The photovoltaic-thermal system parameter optimization design and practical verification. *Energy Conversion and Management*. Vol. 180, pp. 358-371.
- [4] Slimani, M.E.A., Amirat, M., Bahria, S., Kurucz, I., Aouli, M., Sellami, R. 2016. Study and modeling of energy performance of a hybrid photovoltaic/thermal solar collector: Configuration suitable for an indirect solar dryer. *Energy Conversion and Management*, Vol. 125, pp. 209-221.
- [5] Bevilacqua, P., Bruno, R., Rollo, A., Ferraro, V. 2022. "A novel thermal model for PV panels with back surface spray cooling." *Energy*, Vol 255.
- [6] Nicoletti, F., Cucumo, M.A., Ferraro, V., Kaliakatsos, D., Gigliotti, A. 2022. A Thermal Model to Estimate PV Electrical Power and Temperature Profile along Panel Thickness. *Energies*, Vol. 15, 7577.
- [7] Umar, M. L., Wardana, P. B. W., Finali, A., Hanafi, A. F., Yaqin, R. I. 2021. "Studi Eksperimen Panel Surya Dengan Kolektor Pemanas Udara." *JTT (Jurnal Teknologi Terapan)*. Vol. 7. No. 2, pp. 86-91.
- [8] J. C. Mojumder, H.C. Ong, W. T. Chong, S. Shamshirband, A. Al-Mamoon. Application of support vector machine for prediction of electrical and thermal performance in PV/T system. *Energy Build*, 111(2016), pp. 267-277.
- [9] H. Saygin, R. Nowzari, N. Mirzaei, L.B.Y. Aldabbagh. Performance evaluation of a modified PV/T solar collector: A case study in design and analysis of experiment. *Sol Energy*, 141(2017), pp. 210-221
- [10] Sun, V., Asanakham, A., Deethayat, T., & Kiatsiriroat, T. 2021. "Evaluation of nominal operating cell temperature (NOCT) of glazed photovoltaic thermal module." *Case Studies in Thermal Engineering*, Vol. 28, pp.1-15.
- [11] <https://solar.auo.com>, last access: August 22, 2022
- [12] Aly, S.P., Ahzi, S. Barth, N., Abdallah, A. 2018. Using energy balance method to study the thermal behavior of PV panels under time-varying field conditions. *Energy Conversion and Management* Vol. 175, pp. 246-262.
- [13] K. Moradi, M.A. Ebadian, C.X. Lin. A review of PV/T technologies: Effects of control parameters. *Int J Heat Mass Trans*, 64(2013), pp. 483-500
- [14] Chaibi, Y., El Rhafiki, T., Simón-Allué, R., Guedea, I., Luaces, S. C., Gajate, O. C., Zeraouli, Y. 2021. Air-based hybrid photovoltaic/thermal systems: A review. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 295.
- [15] Cartmell, B.P., Shankland, N.J., Fiala, D., Hanby, V., 2004. A multi-operational ventilated photovoltaic and solar air collector: application, simulation and initial monitoring feedback. *Sol. Energy* 76, pp. 45-53.