

## Regression Quadratic Method untuk Menganalisis Hubungan Sudut Kemiringan terhadap Radiasi dan Energi Panel Surya

Friska Ayu Fitrianti Sugiono<sup>1\*</sup>, Dita Anies Munawwaroh<sup>1</sup>, Ferriawan Yudhanto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Politeknik Negeri Semarang, Jl. Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang

<sup>2</sup>Progam Studi Teknologi Rekayasa Otomotif, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta,  
Jl. Brawijaya, Kasihan, Bantul, 55183 Indonesia

\*Penulis korespondensi: friskaayufs@polines.ac.id

Histori artikel: diserahkan 30 November 2022, direviu 4 April 2023, direvisi 30 April 2023

### ABSTRACT

*The potential of rooftop solar power plants at Semarang State Polytechnic Mechanical Engineering Workshop has been researched. This study discusses one of the factors that affect the radiation received and energy sent to the grid, namely the angle of inclination in the solar panels. The average radiation data received by solar panels with variations in tilt angle between 0 to 30° and azimuth angles at 0° facing north and 180° facing south are simulated using Helioscope software. Based on the results of mathematical calculations, it is estimated that the relationship between the tilt angle of the solar panel and the radiation received and the energy sent to the grid will form a quadratic curve. From the results of data processing with the Regression Quadratic Method, it was obtained that the data match was 99.6%. The results of calculations using the quadratic equation show that the angle of inclination of the solar panels for installation of a rooftop PLTS in Machine Workshop Polines is 11° with a radiation of 1775.6 kWh/m<sup>2</sup> and a energy production of 13575.9kWh.*

**Keywords:** energy, solar cell, regression quadratic method

**DOI :** <https://10.18196/jqt.v4i2.16992>

**WEB :** <https://journal.umy.ac.id/index.php/qt/article/view/16992>

### PENDAHULUAN

Energi listrik menjadi salah satu kebutuhan primer ditengah semakin majunya teknologi saat ini. Namun, sebagian besar energi listrik masih bersumber dari bahan bakar fosil. Disisi lain, perlu diperhatikan beberapa aspek pada penggunaan bahan bakar fosil, mengingat ketersediaan sumber energi fosil yang semakin menipis disebabkan butuh waktu yang lama dalam proses pembentukan bahan bakar fosil sehingga termasuk dalam kategori *non-renewable energy*. Disamping itu, efek negatif yang timbul dari penggunaan bahan bakar fosil dalam waktu yang lama juga cukup serius. Tanpa mengurangi penggunaan bahan bakar fosil secara signifikan, generasi mendatang akan berjuang hidup dengan temperatur 6° lebih tinggi dari saat ini (Liun and Sunardi 2014).

Langkah konkret dari permasalahan diatas adalah sumber energi baru, yaitu energi yang mampu untuk diperbaharui (*renewable*) sebagai alternatif penanggulangan, tetapi juga memiliki nilai ekonomis (*economic feasibility*) sehingga mampu menjadi solusi permasalahan krisis energi, terutama

pasokan energi listrik (Triatmojo, 2013). Sumber energi terbarukan memiliki definisi sumber energi yang secara alami dapat diperbaharui kembali dengan cepat, dan melalui proses yang berkelanjutan (*sustainable energy*) jika dikelola dengan bijak. Terutama di era saat ini yang dibarengi dengan kemajuan IPTEK, semakin mendorong munculnya beberapa alternatif energi diantaranya energi angin, matahari, dan panas bumi (Powell *et al.* 2017).

Beberapa alternatif energi yang ditawarkan, Indonesia berpotensi untuk memanfaatkan Matahari sebagai sumber energi. Didukung oleh posisi Indonesia secara geografis yang dilalui oleh Garis Khatulistiwa berimbang pada mayoritas wilayah Indonesia memiliki intensitas radiasi Matahari yang dapat dikonversi menjadi sumber energi (Putra & Rangkuti, 2016). Matahari menjadi sumber energi alternatif yang bukan hanya bersih, namun juga ramah lingkungan dan berpotensi untuk dikonversi menjadi listrik dengan menggunakan sel surya. Hal ini tentu menjadi angin segar dalam menangani permasalahan krisis energi listrik saat sumber bahan

bakar fosil semakin berkurang (Assiddiq, 2018). Sistem *photovoltaic* banyak dikembangkan menjadi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di wilayah dengan intensitas radiasi matahari yang tinggi. Disamping itu, PLTS juga dapat digunakan untuk elektrifikasi daerah yang sulit atau belum dapat dijangkau oleh listrik Perusahaan Listrik Negara (PLN), (Putra & Rangkuti, 2016).

Dalam aplikasinya, kinerja sel surya dipengaruhi oleh beberapa faktor. Beberapa diantaranya adalah perubahan temperatur sel surya akibat lingkungan yang terlalu panas dan luas permukaan sel surya yang mampu menerima intensitas radiasi matahari. Penentuan sudut kemiringan panel yang tepat sangat diperlukan guna mengoptimalkan intensitas radiasi matahari yang diperoleh sel surya. Terdapat dua macam sudut yang berpengaruh terhadap kinerja sel surya, yaitu *slope* (sudut antara panel surya dan bidang horizontal) dan sudut *azimut* yang memiliki acuan arah selatan panel surya (Karuniawan, 2021). Pada penelitian ini, akan dianalisis besarnya intensitas radiasi matahari yang diterima sel surya dengan adanya variasi perubahan sudut. Sehingga dapat dianalisis pula energi yang dihasilkan panel surya. Kedua analisis tersebut dilakukan dengan menggunakan metode matematis yaitu regresi kuadratik.

## METODE

Adapun langkah-langkah yang dilakukan untuk dapat menganalisis bagaimana sudut kemiringan berpengaruh terhadap radiasi yang diterima dan energi yang dihasilkan panel surya menggunakan *regretion quadratic method* yang terdiri dari:

1. Studi literatur yang dilakukan dengan menggali informasi secara lengkap yang terkait dengan penelitian ini.
2. Pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan *software Helioscope*.
3. Mengklasifikasikan data pengukuran yang telah didapat dari simulasi dengan menggunakan *software Helioscope*.
4. Menganalisis bagaimana radiasi yang diterima dan energi yang dihasilkan panel surya dipengaruhi oleh sudut kemiringan menggunakan *regretion quadratic method*.

### Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan observasi dengan tujuan untuk memperoleh informasi terkait lokasi sehingga dapat ditentukan spesifikasi sistem

PLTS yang sesuai dan dapat diterapkan di Gedung Bengkel T. Mesin Polines sesuai dengan Gambar 1.



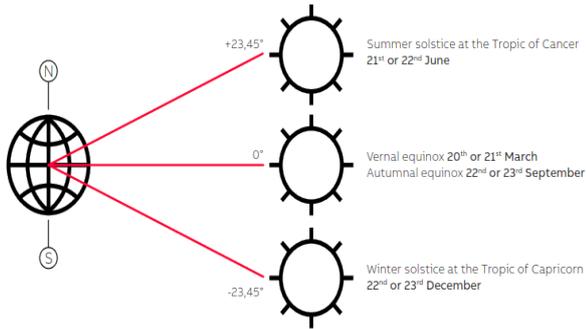
Gambar 1. Tampak *rooftop* dari Gedung Bengkel T. Mesin Polines

Selanjutnya, dilakukan pengumpulan data berupa dokumentasi lokasi Gedung Bengkel T. Mesin Polines sehingga menjadi *input* pada *software Helioscope*. Berikutnya, data yang telah di *input* tersebut diolah dengan variasi sudut kemiringan untuk kemudian dianalisis dengan *software Minitab* 18. Langkah berikutnya adalah dilakukan analisis sehingga diperoleh kesimpulan mengenai sudut kemiringan sel surya dan produksi energi pada PLTS *rooftop* yang paling optimal di Gedung Bengkel T. Mesin Polines. Sel surya yang digunakan pada simulasi dengan *software Helioscope* adalah Jinko JKM 330P-72 V yang memiliki kapasitas 330,0 Wp. Digunakan pula 36 buah sel surya dan menghasilkan 11,9 kW yang dihubungkan dengan *Inverter on grid* 1 fasa Growatt 5500 MTL-S berkapasitas 2500 W (Sugiono, 2022).

Posisi terhadap matahari karena adanya revolusi Bumi menjadi salah satu faktor yang berpengaruh pada intensitas radiasi yang diterima sel surya. Diketahui bahwa efisiensi maksimum sel surya dapat dicapai ketika sudut datang sinar matahari adalah selalu 90° (Hayibo & Pearce 2022). Berdasarkan Gambar 2, posisi terhadap deklinasi dan garis lintang matahari di sepanjang tahun menyebabkan radiasi matahari juga bervariasi. Sehingga, kemiringan sel surya perlu diatur sedemikian hingga mendekati posisi 90°. Besarnya iradiasi matahari juga mempengaruhi energi listrik yang dihasilkan sel surya seperti yang ada pada persamaan 1.

$$E = A \cdot r \cdot H \cdot PR \quad (1)$$

dengan catatan: E adalah energi (kWh), A adalah luas area sel surya (m<sup>2</sup>), r adalah *solar panel yield* (%), H adalah rerata iradiasi selama setahun (kWh/m<sup>2</sup>), dan PR adalah *performance ratio* sel surya (berkisar antara 0,5 dan 0,9), (Shen et al. 2018).



Gambar 2. Sudut datang Matahari terhadap permukaan bumi (*zenith*) di ekuator (Hayibo & Pearce 2022).

Guna mensimulasikan daya *output* sel surya di lokasi tertentu, maka penelitian ini menggunakan *software Helioscope* yang mengaplikasikan pemodelan *Tigo Maximizer* dan algoritma *buck optimizer* sehingga diperoleh data yang nantinya digunakan untuk membuat perhitungan daya *output* yang diproduksi oleh PLTS.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Politeknik Negeri Semarang berada di Kota Semarang tepatnya di 7,05 BT dengan radiasi matahari yang cukup untuk dimanfaatkan menjadi PLTS. Guna mengoptimalkan kinerja dari PLTS tersebut, maka sudut azimuth sel surya diatur sebesar 0° LS dan 110.44° sehingga menghadap garis khatulistiwa. Jika iradiasi matahari meningkat, maka akan meningkat pula daya yang dihasilkan oleh sel surya begitu sebaliknya.

Samsurizal *et al.*, 2019 telah menganalisis pengaruh sudut kemiringan terhadap arus keluaran pada *Photovoltaic*. Analisa tersebut menggunakan metode Regresi Kuadratik *polynomial* dan dibantu dengan *software excel* dan diperoleh hasil nilai RMSE (*root mean square error*) 0,27. Semakin rendah nilai RMSE mengindikasikan bahwa nilai yang dihasilkan oleh suatu pemodelan matematis memiliki prakiraan mendekati nilai observasinya. Sehingga, pada penelitian ini, akan dianalisis besar iradiasi dan energi yang dikirim ke Grid oleh sel surya dengan adanya pengaruh sudut kemiringan, dengan menggunakan metode Regresi Kuadratik *polynomial* kemudian dibandingkan dengan hasil simulasi dari *software Helioscope*.

## Pengaruh Sudut Kemiringan Terhadap Radiasi Yang Diterima Dan Energi Yang Dihasilkan Panel Surya

Simulasi yang dilakukan dengan menggunakan *software Helioscope* pada penelitian ini menghasilkan data seperti pada Tabel 1. Data tersebut menunjukkan bahwa besar sudut panel surya mempengaruhi daya *output* sel surya. Variasi dengan kenaikan sudut sebesar 1°.

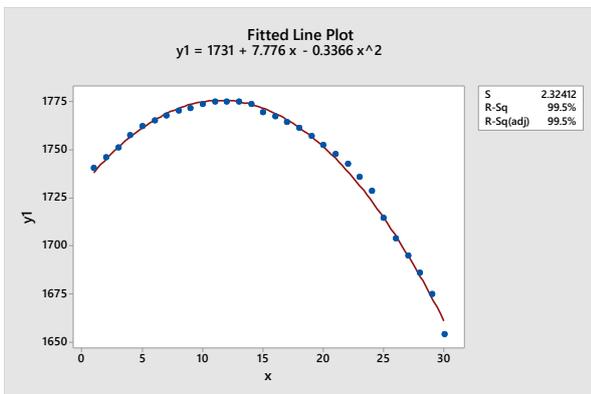
Tabel 1. Pengaruh sudut kemiringan terhadap radiasi yang diterima dan energi yang dikirim ke grid oleh sel surya

Sudut Kemiringan (°)	Total Collector Irradiance (kWh/m <sup>2</sup> )	Energi yang dihasilkan (kWh)
1	1740,6	13338,9
2	1746,1	13380,1
3	1751,1	13415,5
4	1757,4	13461,4
5	1762,1	13495,5
6	1765	13517,2
7	1767,6	13535,4
8	1770,5	13556,4
9	1771,6	13563,5
10	1773,7	13577,8
11	1774,9	13585,9
12	1775,1	13586,5
13	1775,2	13587,7
14	1773,8	13577,2
15	1769,6	13545,4
16	1767,5	13529
17	1764,3	13505,5
18	1761,2	13481,3
19	1757,1	13450,7
20	1752,3	13415,8
21	1747,7	13380,8
22	1742,8	13343,4
23	1735,9	13291,5
24	1728,7	13236,8
25	1714,7	13131,4
26	1704	13051,3
27	1694,9	12983,8
28	1685,9	12916,5
29	1674,8	12835,3
30	1654,1	12798,7

Tabel 1 yang merupakan data hasil dari software *Helioscope*, data tersebut diduga memiliki bentuk kuadratik. Sehingga, akan dianalisa dengan pendekatan regresi kuadratik untuk memperkirakan pengaruh sudut kemiringan sel surya dengan radiasi yang diterima dan energi yang dikirim ke grid. Analisis ini akan dibantu dengan software Minitab 18, untuk mendapatkan persamaan regresi kuadratik dan analisa persamaan. Bagian pertama, akan digunakan regresi kuadratik untuk menanalisa pengaruh sudut kemiringan (x) terhadap radiasi yang diterima ( $y_1$ ), diperoleh persamaan;

$$y_1 = 1730,89 + 7,776x - 0,33659x^2 \quad (2)$$

Dari hasil pengolahan Tabel 1 dengan menggunakan Minitab 18, diperoleh Gambar 3, serta dapat dihasilkan koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,995 atau dengan kata lain, persamaan (5) mempunyai kecocokan yang baik dengan data, sudut kemiringan mempengaruhi radiasi yang diterima sebesar 99,53% dan sisanya dipengaruhi faktor lainnya. Sedangkan, korelasi (r) yang diperoleh adalah 0,998, atau dengan kata lain terdapat hubungan yang sangat kuat dan searah.



Gambar 3. Hubungan antara sudut kemiringan sudut kemiringan (x) dan radiasi yang diterima ( $y_1$ )

Dengan menggunakan turunan pertama untuk persamaan (2) dapat dilihat sudut kemiringan yang menyebabkan radiasi yang diterima optimal adalah

$$\begin{aligned} \frac{dy_1}{dx} &= 0 \\ \Leftrightarrow 7,76 - 0,67318x &= 0 \\ \Leftrightarrow x &= 11,5273775 \end{aligned}$$

Dari hasil optimasi tersebut diperoleh bahwa sudut kemiringan sebesar  $11,5273775^\circ$  akan memperoleh radiasi maksimal yaitu 1775,61622

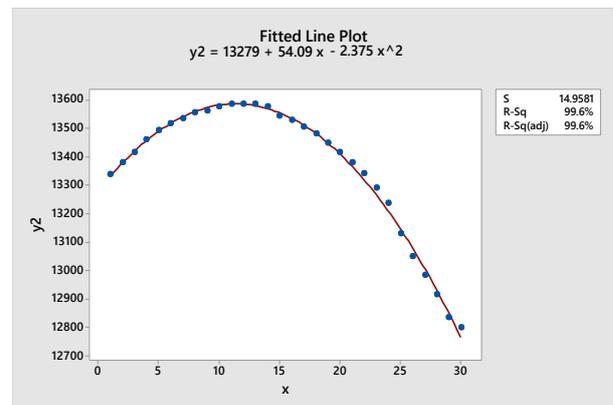
kWh/m<sup>2</sup>. Pada bagian kedua, untuk mengetahui energi yang dihasilkan sel surya ( $y_2$ ) dengan adanya variasi sudut kemiringan (x), persamaan regresi kuadratik yang diperoleh adalah

$$y_2 = 13279,3 + 54,09x - 2,3751x^2 \quad (3)$$

Dari hasil pengolahan Tabel 1. dengan menggunakan Minitab 18, diperoleh Gambar 4, serta dihasilkan koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,996 atau dengan kata lain, persamaan (3) mempunyai kecocokan yang baik dengan data, sudut kemiringan mempengaruhi energi yang diterima ke grid dari panel surya sebesar 99,6 % dan sisanya dipengaruhi faktor lain. Sedangkan, korelasi (r) yang diperoleh adalah 0,997, atau dengan kata lain terdapat hubungan yang sangat kuat dan searah.

$$y_2 = 13279,3 + 54,09x - 2,3751x^2 \quad (4)$$

Tabel 1 yaitu menggunakan Minitab 18 diperoleh bentuk kurva seperti pada Gambar 4, dan dihasilkan koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,996 atau dengan kata lain, persamaan (4) mempunyai kecocokan yang baik dengan data, sudut kemiringan mempengaruhi energi yang diterima ke grid dari panel surya sebesar 99,6 % dan sisanya dipengaruhi faktor lainnya. Sedangkan, korelasi (r) yang diperoleh adalah 0,997, atau dengan kata lain terdapat hubungan yang sangat kuat dan searah.



Gambar 4. Hubungan antara sudut kemiringan (x) dan energi yang dikirim ke grid dari panel surya ( $y_2$ ).

Dengan mengaplikasikan turunan pertama untuk persamaan 4, dapat dilihat sudut kemiringan yang menyebabkan energi yang dikirim ke grid dari panel surya adalah:

$$\frac{dy_2}{dx} = 0$$

$$\Leftrightarrow 54,09 - 4,7502x = 0$$

$$\Leftrightarrow x = 11,1763715$$

Dari hasil optimasi tersebut diperoleh bahwa sudut kemiringan sebesar 11,1763715° akan memperoleh energi yang dikirim ke grid dari panel surya yaitu 13575,9768 kWh.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan matematis diperoleh perkiraan hubungan dari sudut kemiringan panel surya terhadap radiasi yang diterima dan energi yang dikirim ke grid akan membentuk kurva quadratic. Hal ini dibuktikan dengan hasil olah data menggunakan *Regression Quadratic Method* diperoleh kecocokan data sebesar 99,6%. Dari persamaan quadratic yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa sudut kemiringan panel surya yang optimal untuk pemasangan PLTS *rooftop* di Gedung Bengkel Mesin Politeknik Negeri Semarang adalah sebesar 11° dengan radiasi yang diterima sebesar 1774,9 kWh/m<sup>2</sup> dan total produksi energi yang dihasilkan sebesar 13585,9 kWh.

## DAFTAR PUSTAKA

- Assiddiq, H. (2018). Studi pemanfaatan energi matahari sebagai sumber energi alternatif terbarukan berbasis sel fotovoltaik untuk mengatasi kebutuhan listrik rumah sederhana di daerah terpencil. *Al Jazari*, 3(2), 270993. <https://doi.org/10.31602/al-jazari.v3i2.1624>
- Hayibo, K. S., & Pearce, J. M. (2022). Optimal inverter and wire selection for solar photovoltaic fencing applications. *Renewable Energy Focus*, 42, 115-128. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2022.06.006>
- Karuniawan, E. A. (2021). Analisis Perangkat Lunak PVSYST, PVSOL dan HelioScope dalam Simulasi Fixed Tilt Photovoltaic. *Jurnal Teknologi Elektro*, 12(3), 100-105. <https://dx.doi.org/10.22441/jte.2021.v12i3.001>
- Liun, E., & Sunardi, S. (2014). Perbandingan Harga Energi dari Sumber Energi Baru Terbarukan dan Fosil. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, 16(2), 119-130. <http://dx.doi.org/10.17146/jpen.2014.16.2.2521>
- Powell, K. M., Rashid, K., Ellingwood, K., Tuttle, J., & Iverson, B. D. (2017). Hybrid concentrated solar thermal power systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 215-237. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.067>
- Putra, S., & Rangkuti, C. (2016, August). Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Secara Mandiri Untuk Rumah Tinggal. In *Prosiding Seminar Nasional Cendekiawan* (pp. 23-1).
- Samsurizal, S., Makkulau, A., & Christiono, C. (2018). Analisis Pengaruh Sudut Kemiringan Terhadap Arus Keluaran Pada Photovoltaic Dengan Menggunakan Regretion Quadratic Method. *Energi & Kelistrikan*, 10(2), 137-144. <https://doi.org/10.33322/energi.v10i2.286>
- Shen, Y., Zhang, J., Guo, P., & Wang, X. (2018). Impact of solar radiation variation on the optimal tilted angle for fixed grid-connected PV array—case study in Beijing. *Global Energy Interconnection*, 1(4), 460-466. <https://doi.org/10.14171/j.2096-5117.gei.2018.04.006>
- Sugiono, F. A. F., Larasati, P. D., & c, E. A. (2022). Pengaruh Sudut Kemiringan Panel Surya Terhadap Potensi Pemanfaatan Plts Rooftop Di Bengkel Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang. *Jurnal Rekayasa Energi*, 1(1), 1-8. <https://doi.org/10.31884/jre.v1i1.5>
- Triatmojo, F. (2013). Dinamika Kebijakan Diversifikasi Energi di Indonesia: Analisis Kebijakan Pengembangan Energi Terbarukan Di Indonesia. *Jurnal Ilmiah Administrasi Publik dan Pembangunan*, 4(2), 2087-0825.