



PENGARUH DIAMETER PIPA ABSORBER DAN JARAK FOKUS REFLEKTOR TERHADAP FRAKSI RADIASI PADA *PARABOLIC TROUGH SOLAR POWER PLANTS*

Nailul 'Atifah¹, Dena Wulandari²,

¹ Teknik Mesin Universitas Pamulang, ² Teknik Informatika Universitas Pamulang
Jln. Surya Kencana No.1 Pamulang Barat Tangerang INDONESIA

¹dosen00410@unpam.ac.id

²dosen00272@unpam.ac.id

Abstrak - *Parabolic trough reflektor berbentuk terusan palung dengan penampang berbentuk parabola dan sebuah pipa absorber yang diletakkan di sepanjang garis fokusnya. Perlu dilakukan kajian untuk mendapatkan fungsi yang menyatakan hubungan fraksi radiasi dari reflektor parabola ke pipa absorber terhadap diameter pipa absorber dan jarak fokus reflektor parabola. Penelitian dilakukan dengan menggunakan kajian matematika analitik dan pendekatan numerik sebagai pembandingan terhadap hasil analitik. Melalui kajian matematis diperoleh fungsi analitik yang menyatakan hubungan fraksi radiasi dari reflektor parabola ke pipa absorber (F_{21}) terhadap diameter pipa absorber (D_o) dan jarak fokus reflektor parabola (p) yaitu $F_{21} = 0.3241339 \cdot \frac{D_o}{p}$. Pendekatan numerik metode Simpson layak digunakan dalam pengembangan software simulasi perhitungan sistem parabolic trough solar collector dengan tingkat penyimpangan 1,01%, jika dibandingkan dari hasil perhitungan analitik.*

Kata kunci : *parabolic trough, fraksi radiasi, diameter pipa absorber, jarak fokus reflektor, fungsi, analitik, Simpson.*

Abstract - *Parabolic trough reflector has a trough shape with longitudinal section in parabolic curve and an absorber pipe that is placed in the focus line. The analysis that aims to get the function that shows the relation between radiation fraction that emitted from parabolic reflector to absorber pipe and both of absorber pipe diameter and focus of parabolic reflector is necessary. This research was done by using analytical mathematics and numerical approximation as a comparison with analytical result. By analytical mathematics, the function that shows the relation between radiation fraction that emitted from parabolic reflector to absorber pipe (F_{21}) and both of absorber pipe diameter (D_o) and focus of parabolic reflector (p) can expressed as $F_{21} = 0.3241339 \cdot \frac{D_o}{p}$. The numerical approximation by Simpson methods is suitable to be used in calculation simulation software development for the system of parabolic trough solar collector with 1,01% error value, if it is compared with analytical calculation.*

Keywords : *parabolic trough, radiation fraction, absorber pipe diameter, reflector focus, function, analytical, Simpson*

I. PENDAHULUAN

Penggunaan energi di dunia didominasi dari bahan bakar fosil sebesar 84,7% dan hanya sekitar 9,9% dari energi terbarukan [1]. Penggunaan energi terbarukan seperti matahari merupakan hal yang menarik untuk dikembangkan. Selain karena faktor lingkungan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca, negara Indonesia juga memiliki potensi yang layak karena berada di daerah khatulistiwa. Salah satu metode penggunaan energi matahari adalah sistem *Concentrated Solar Power (CSP)* yaitu dengan mengumpulkan cahaya matahari di titik fokus untuk selanjutnya dikonversi menjadi panas.

Sistem CSP adalah *parabolic trough solar collector*. *Parabolic Trough* memiliki reflektor cahaya matahari berbentuk terusan palung dengan penampang berbentuk parabola dan sebuah pipa absorber yang diletakkan di sepanjang garis fokus. Sistem ini telah banyak dikembangkan di berbagai negara karena hingga saat ini, teknologi tersebut dianggap telah terbukti penggunaannya [2].

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan fungsi yang menyatakan hubungan fraksi radiasi dari reflektor parabola ke pipa absorber terhadap diameter pipa absorber dan jarak fokus reflektor parabola. Dengan demikian dapat diketahui pengaruh jarak fokus kurva reflektor parabola dan berbagai variasi diameter pipa absorber yang sesuai dengan standar fabrikasi yang ada, misalnya *stainless steel* ANSI/ ASME 36.19M [3]. Perhitungan dibatasi untuk kasus kelengkungan parabola pada garis *lactus rectum*. Penelitian ini berguna sebagai perhitungan awal untuk membangun sebuah software simulasi perhitungan sistem *parabolic trough solar collector* yang lebih kompleks.

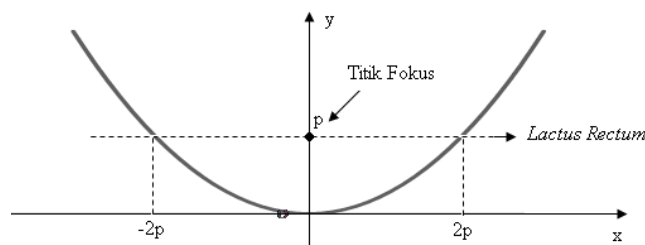
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kurva Parabola

Parabola dengan titik fokus di $x = p$ dan titik minimal pada koordinat $(0,0)$ dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$y = \frac{1}{4p} x^2 \quad (1)$$

Gambar 1. menunjukkan fungsi parabola yang bersesuaian dengan persamaan (1)



Gambar.1 Kurva Parabola

Jika batas kurva parabola yang dihitung panjangnya pada garis *lactus rectum*-nya yaitu pada garis $y = p$, maka batas nilai x sebelah kiri dan sebelah kanan sumbu y adalah $-2p$ dan $2p$. Dengan demikian perhitungan panjang kurva (A_2) dapat dirumuskan dengan persamaan berikut:

$$A_2 = \int_{-2p}^{2p} \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx \quad (2)$$

Turunan fungsi persamaan (1) adalah:

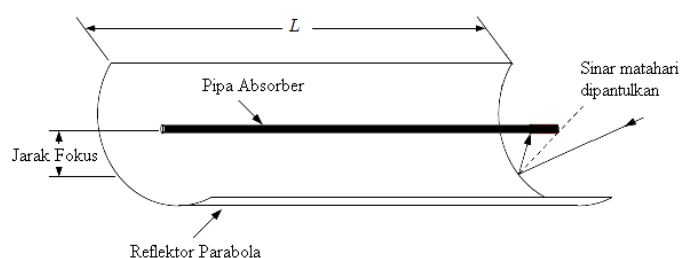
$$\frac{dy}{dx} = \frac{1}{2p} x \quad (3)$$

Dengan demikian persamaan (2) menjadi:

$$A_2 = \int_{-2p}^{2p} \sqrt{1 + \left(\frac{x}{2p}\right)^2} dx \quad (4)$$

2.2. Fraksi Radiasi Parabolic Trough Solar Collector

Prinsip pemantulan sinar matahari pada *Parabolic Trough* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Sketsa *Parabolic Trough Solar Collector*

Sinar matahari yang sampai pada reflektor parabola dipantulkan ke pipa absorber yang berada pada garis fokus. Akan tetapi tidak semua radiasi tersebut dipantulkan seluruhnya. Jika pipa absorber dianggap sebagai permukaan 1 dan reflektor parabola dianggap sebagai permukaan 2, maka relasi *reciprocity* dapat dinyatakan dengan persamaan berikut [4]:

$$A_1 \cdot F_{12} = A_2 \cdot F_{21} \quad (5)$$

dengan:

A_1 : Luas permukaan pipa persatuan panjang (m)

F_{12} : Fraksi radiasi dari pipa ke reflektor parabola

A_2 : Luas permukaan reflektor persatuan panjang (m)

F_{21} : Fraksi radiasi dari reflektor ke pipa

Fraksi radiasi dari pipa absorber ke reflektor parabola F_{12} adalah 0,5 [5] . Hal ini dikarenakan pipa absorber berada pada titik fokus dan garis *lactus rectum*. Dengan demikian setengah permukaan pipa memancarkan radiasi pada reflektor. Nilai A_1 merupakan keliling pipa absorber yaitu:

$$A_1 = \pi \cdot D_o \quad (6)$$

Dengan D_o adalah diameter luar pipa absorber.

Jika persamaan (4) dan (6) disubstitusikan ke persamaan (5) diperoleh perhitungan F_{21} sebagai berikut:

$$F_{21} = \frac{A_1}{A_2} \cdot F_{12}$$

$$F_{21} = \frac{\pi \cdot D_o}{\int_{-2p}^{2p} \sqrt{1 + \left(\frac{x}{2p}\right)^2} dx} \cdot 0.5$$

$$F_{21} = \frac{\pi \cdot D_o}{2 \int_{-2p}^{2p} \sqrt{1 + \left(\frac{x}{2p}\right)^2} dx} \quad (7)$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

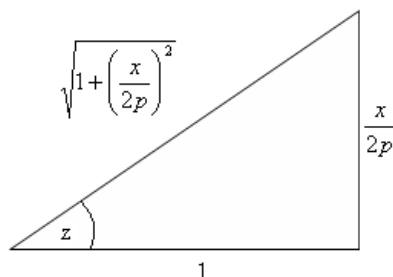
Penelitian dilakukan dengan melakukan kajian matematis untuk mendapatkan fungsi eksplisit yang menyatakan hubungan fraksi radiasi F_{21} terhadap diameter pipa absorber D_o dan jarak fokus reflektor parabola p . Selain itu penggunaan pendekatan numerik juga dilakukan sebagai pembandingan hasil analitik. Hal ini berguna untuk pengembangan dalam software perhitungan simulasi *parabolic trough solar collector*.

Tahap penelitian dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Menggunakan kaidah substitusi geometri pada persamaan (4)
2. Melakukan integral parsial untuk menentukan rumus reduksi dengan kelengkungan reflektor yang dibatasi oleh garis *lactus rectum*.
3. Menggunakan hasil rumus reduksi untuk menyelesaikan persamaan (4) sehingga didapatkan fungsi eksplisit yang menyatakan hubungan fraksi radiasi F_{21} terhadap diameter pipa absorber D_o dan jarak fokus reflektor parabola p .
4. Melakukan perhitungan dengan variasi diameter pipa absorber pada 3 kondisi reflektor yakni reflektor dengan fokus 0.75 m
5. Menyelesaikan perhitungan persamaan (4) melalui pendekatan numerik metode *Simpson* untuk selanjutnya dibandingkan dengan hasil analitik sebelumnya.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan menggunakan kaidah substitusi trigonometri, integral pada persamaan (4) dapat diuraikan sebagai berikut:

$$A_2 = \int_{-2p}^{2p} \sqrt{1 + \left(\frac{x}{2p}\right)^2} dx$$


Gambar 3. Analogi Trigonometri untuk Persamaan (4)

Dari Gambar 3. diperoleh

$$x = 2p \cdot \tan z \quad (8)$$

maka:

$$dx = 2p \cdot \sec^2 z \cdot dz \quad (9)$$

Sedangkan:

$$\sqrt{1 + \left(\frac{x}{2p}\right)^2} = \sec z \quad (10)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (9) dan (10) pada persamaan (4), maka diperoleh sebagai berikut:

$$A_2 = \int_{-2p}^{2p} 2p \cdot \sec^3 z \cdot dz \quad (11)$$

Dari rumus reduksi dengan integral parsial maka diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$A_2 = \left[2p \cdot \left\{ \frac{1}{2} \sec z \cdot \tan z + \frac{1}{2} \ln(\sec z + \tan z) \right\} \right]_{-2p}^{2p}$$

$$A_2 = [p \cdot \{\sec z \cdot \tan z + \ln(\sec z + \tan z)\}]_{-2p}^{2p} \quad (12)$$



Dengan mensubstitusikan persamaan (8) dan (10) pada persamaan (12), maka diperoleh:

$$A_2 = \left[p \left\{ \left(\frac{x}{2p} \right) \sqrt{1 + \left(\frac{x}{2p} \right)^2} + \ln \left(\sqrt{1 + \left(\frac{x}{2p} \right)^2} + \frac{x}{2p} \right) \right\} \right]_{-2p}^{2p} \quad (13)$$

Sehingga didapatkan:

$$A_2 = p \left(2\sqrt{2} + \ln \frac{\sqrt{2} + 1}{\sqrt{2} - 1} \right) \quad (14)$$

$$A_2 = 4,591174299.p$$

Jika persamaan hasil integrasi analitik pada persamaan (14) dimasukkan dalam persamaan (7) maka diperoleh:

$$F_{21} = \frac{\pi.Do}{9.182348598.p}$$

$$F_{21} = \frac{0.3241339.Do}{p} \quad (15)$$

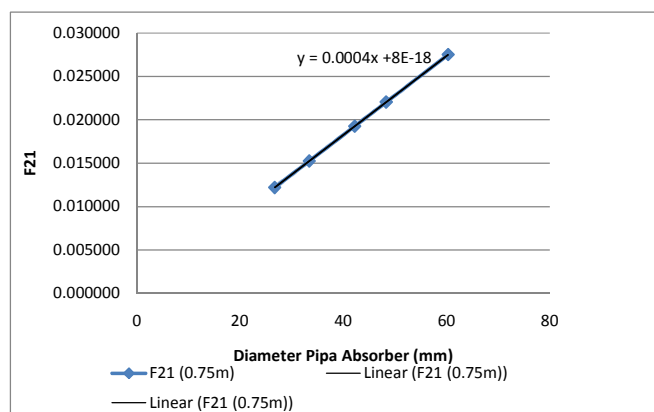
Persamaan (15) merupakan fungsi eksplisit yang didapat dari kajian matematis yang telah dilakukan pada penelitian ini. Persamaan ini menyatakan hubungan fraksi radiasi F_{21} terhadap diameter pipa absorber Do dan jarak fokus reflektor parabola p .

Tabel 2 menunjukkan nilai fraksi radiasi F_{21} terhadap variasi diameter pipa absorber pada reflektor parabola dengan fokus $p=750$ mm.

Tabel 2. Fraksi Radiasi terhadap Diameter Pipa Absorber pada Reflektor Parabola dengan fokus $p=750$ mm dengan Metode Analitik

| Diameter pipa absorber (mm) | F21 |
|-----------------------------|----------|
| 26.7 | 0.012180 |
| 33.4 | 0.015236 |
| 42.2 | 0.019251 |
| 48.3 | 0.022033 |
| 60.3 | 0.027508 |

Nilai F_{21} terhadap variasi diameter pipa absorber pada reflektor parabola dengan jarak fokus $p=750$ mm dengan metode analitik dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Fraksi Radiasi terhadap Diameter Pipa Absorber pada reflektor parabola dengan jarak fokus 750 mm dengan Metode Analitik

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa nilai fraksi radiasi bertambah besarnya diameter pipa absorber. Grafik tersebut membentuk persamaan linier dalam bentuk baku $y = mx + c$ yaitu $y = 0,0004x + 8.10^{-18}$.

Dalam hal ini nilai c sangat kecil sehingga dapat diabaikan. Nilai m yang dimiliki grafik pada Gambar 4 tersebut yakni 0.0004 yang bersesuaian dengan persamaan 15, yaitu $\frac{0.3241339}{750} = 0.000432 \approx 0.0004$

Penyelesaian persamaan (4) dengan metode *Simpson* dilakukan dengan persamaan sebagai berikut [6]:

$$A_2 = \frac{1}{3} \Delta x \{f(x_0) + 4f(x_1) + 2f(x_2) + \dots + 2f(x_{n-2}) + 4f(x_{n-1}) + f(x_n)\} \quad (16)$$

dengan:

$$x_0 = -2p$$

$$x_n = 2p$$

$$f(x) = \sqrt{1 + \left(\frac{x}{2p}\right)^2} \quad (17)$$

$$n = \frac{4p}{\Delta x} \quad (18)$$

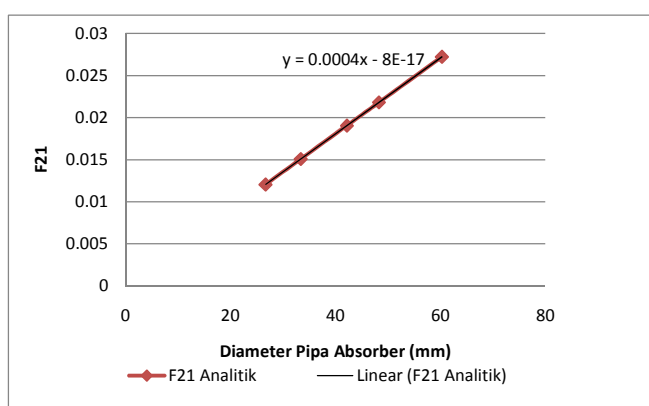
Dari pendekatan numerik metode *Simpson* berdasarkan persamaan (16), (17) dan (18) diperoleh grafik hubungan fraksi radiasi F_{21} terhadap variasi diameter pipa absorber D_o pada reflektor parabola dengan jarak fokus $p = 750$ mm seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3



Tabel 3. Fraksi Radiasi terhadap Diameter Pipa Absorber pada Reflektor Parabola dengan fokus $p = 750$ mm dengan Metode Simpson

| Diameter pipa absorber (mm) | F21 |
|-----------------------------|----------|
| 26.7 | 0.012056 |
| 33.4 | 0.015082 |
| 42.2 | 0.019055 |
| 48.3 | 0.021809 |
| 60.3 | 0.027228 |

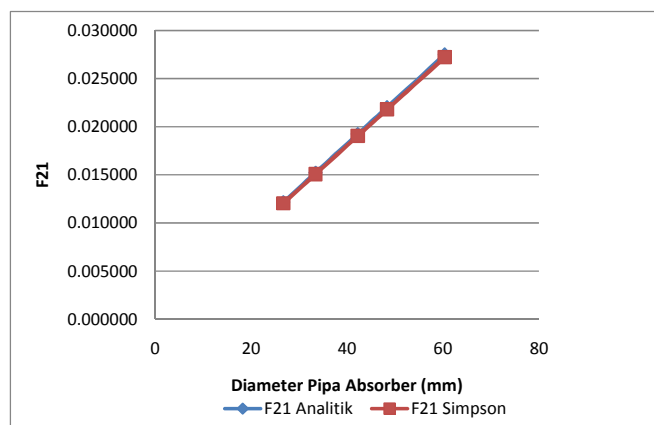
Gambar 5 menunjukkan nilai F_{21} terhadap variasi diameter pipa absorber pada reflektor parabola dengan jarak fokus $p=750$ mm dengan metode *Simpson*.



Gambar 5. Fraksi Radiasi terhadap Diameter Pipa Absorber dan Jarak Fokus Reflektor Parabola dengan Metode *Simpson*

Tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara perhitungan dengan menggunakan persamaan (15) dan pendekatan numerik metode *Simpson*. Persamaan linier yang didapatkan adalah $y = 0,0004x - 8.10^{-17}$.

Gambar 6 berikut menunjukkan perbandingan perhitungan dengan menggunakan persamaan (15) dan pendekatan numerik metode *Simpson*. Nilai error yang diperoleh adalah 0,101 atau 1,01%.



Gambar 6. Fraksi Radiasi dengan Perhitungan Analitik dan Metode *Simpson*

Dengan demikian penggunaan simulasi numerik dengan menggunakan integrasi *Simpson* untuk menghitung fraksi radiasi dari reflektor parabola ke pipa absorber cukup akurat. Metode ini layak dikembangkan untuk membangun sebuah software simulasi perhitungan sistem *parabolic trough solar collector* yang lebih kompleks.

V. KESIMPULAN

1. Diperoleh fungsi analitik yang menyatakan hubungan fraksi radiasi dari reflektor parabola (F_{21}) ke pipa absorber terhadap diameter pipa absorber (D_o) dan jarak fokus reflektor parabola (p) yaitu $F_{21} = 0.3241 \cdot \frac{D_o}{p}$
2. Pendekatan numerik metode *Simpson* dapat digunakan dalam pengembangan software simulasi perhitungan sistem *Parabolic Trough Solar Collector* yang lebih kompleks karena nilai penyimpangannya sangat kecil yaitu 1,01% terhadap hasil perhitungan analitik.
3. Perlu dilakukan pengembangan penelitian selanjutnya terkait dengan kajian *Topocentric Location* [7], data dinamik terhadap waktu, analisis perpindahan panas pada pipa absorber beserta performa sistem secara keseluruhan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Ricardo Vasquez Padilla, *Simplified Methodology for Designing Parabolic Trough Solar Power Plants*, Graduate Theses and Dissertations, University of South Florida, 2011.
- [2]. Ghalya Pikra, dkk, *Uji Coba Awal Parabolic Trough Solar Collector*, Journal of Mechatronics, Electrical Power and Vehicular Technology Vol. 02, No.2 pp 57-64, Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik-LIPI, Bandung Indonesia, 2011.
- [3]. www.EngineeringToolBox.com
- [4]. Frank.P Incropera, *Fundamentals of Heat Transfer and Mass Transfer, Second Edition*, John Wiley & Sons, New York, 1995
- [5]. J.P. Holman, *Heat Transfer*, Mc Graw-Hill, New York, U.S.A, 1986.
- [6]. Nailul Atifah, *Hand Out Metode Numerik*, Fakultas Teknik, Universitas Pamulang, 2012.
- [7]. I.S Sintali, *Energy Equation for Computation of Parabolic Trough Collector Efficiency Using Solar Position Coordinates*, American Journal of Engineering Research (AJER), Vol-3, Issue-10, 2014