

# Analisis Penggunaan Sistem *Parabolic Trough Collector* pada *Bypass High Pressure Heater* PLTU 600 MW

Farhansyah<sup>1,\*</sup>, Alvera Apridialianti Melkias<sup>1</sup>, Ignatius Riyadi Mardiyanto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

E-mail: [farhansyah.tptl20@polban.ac.id](mailto:farhansyah.tptl20@polban.ac.id)\*

## Abstract

*The regenerative process involves heating the feedwater out of the condenser using residual steam or extraction from the steam turbine and then pumping it back into the boiler. To achieve the greenhouse gas emission reduction target set by the Government of the Republic of Indonesia, power plant managers need to consider strategies to reduce these emissions. One strategy that can be taken is to harness solar energy through parabolic trough type solar collectors. In PLTUXYZ, the design of a parabolic trough type solar collector is carried out on bypasses HPH 6 through HPH 8 using system advisory model and gategcycle software. The design results show that the existence of this solar collector has the potential to reduce coal use by 9.33 tons/hour under optimal solar conditions, with coal savings reaching 4,143.3 tons of coal for USD 380,231.30/year.*

**Keywords:** *Parabolic Trough Solar Thermal Collector, Coal Fired Steam Power Plant*

## Abstrak

*Proses regeneratif PLTU melibatkan pemanasan air umpan yang keluar dari kondensor dengan menggunakan uap sisa atau ekstraksi dari turbin uap untuk kemudian dipompakan kembali ke boiler. Untuk mencapai target pengurangan emisi gas rumah kaca yang ditetapkan oleh Pemerintah Republik Indonesia, pengelola pembangkit listrik perlu mempertimbangkan strategi untuk mengurangi emisi tersebut. Salah satu strategi yang dapat diambil adalah memanfaatkan energi matahari melalui kolektor surya tipe parabolic trough. Pada PLTU XYZ, perancangan kolektor surya tipe parabolic trough dilakukan pada bypass HPH 6 sampai dengan HPH 8 dengan menggunakan perangkat lunak system advisor model dan gategcycle. Hasil perancangan menunjukkan bahwa keberadaan kolektor surya ini berpotensi untuk mengurangi penggunaan batu bara sebesar 9,33 ton/jam pada kondisi matahari optimal, dengan penghematan batubara mencapai 4.143,3 ton batubara seharga USD 380.231,30/tahun.*

**Kata Kunci:** *Kolektor Surya Tipe Parabolic Trough, Pembangkit Listrik Tenaga Uap*

## 1. Pendahuluan

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) memainkan peran penting dalam ketersediaan energi di Indonesia. PLTU bekerja menggunakan air sebagai media konversi energi panas menjadi energi mekanik sesuai dengan siklus rankine termodinamika. Untuk menjamin kebutuhan daya, setiap pembangkit harus beroperasi pada nilai efisiensi tertingginya. *Feedwater Heaters (FWH)* merupakan bagian penting dari PLTU dengan sistem regeneratif untuk meningkatkan efisiensi keseluruhan pembangkit.

Proses regeneratif PLTU masih termasuk pada proses siklus uap utama. Proses ini melakukan pemanasan air umpan yang keluar dari kondensor dengan uap sisa atau ekstraksi dari turbin uap yang selanjutnya air umpan dipompakan hingga ke *boiler*. Dalam hal ini, *FWH* digunakan sebagai alat penukar kalor antara uap ekstraksi dan air umpan *boiler*. Setiap unit PLTU memiliki konfigurasi jumlah dan penempatan *FWH* yang berbeda-beda tergantung pada kapasitas dan kebutuhan pembangkit. Pada PLTU XYZ Unit 5-7 dengan kapasitas 600 MW memiliki 4 LP-FWH (*Low Pressure Feedwater Heater*), 3 HP-FWH (*High Pressure Feedwater*

*Heater*) serta 1 *deaerator*. Secara tidak langsung, proses sistem regeneratif pada PLTU XYZ Unit 5-7 menggunakan energi dari uap yang juga digunakan untuk memproduksi energi mekanik, artinya ada energi panas yang tidak digunakan untuk memproduksi energi mekanik.

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) Republik Indonesia (2020) mengeluarkan data bahwa sektor energi menyumbang 638.808 Gg CO<sub>2</sub> gas rumah kaca (GRK) atau 67,84% dari total emisi GRK sebesar 941.700 Gg CO<sub>2</sub>. Pada tahun 2022 Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM) Republik Indonesia menetapkan target untuk mereduksi emisi gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) sebesar 5,36 juta ton yang dihasilkan oleh pembangkit listrik dan tidak menutup kemungkinan target tersebut akan meningkat setiap tahunnya. Target ini tentunya membuat pengoperasian pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar fosil harus memiliki langkah dan strategi dalam mereduksi emisi gas CO<sub>2</sub> untuk tetap sejalan dengan peraturan yang ditetapkan pemerintah.

Teknologi penggabungan kolektor surya dan batu bara telah dipertimbangkan dan dikembangkan

selama beberapa tahun. Proyek pembangkit listrik tenaga surya-batubara pertama di dunia terletak di Cameo Generating Station di Colorado, Amerika Serikat - *Colorado Integrated Solar Project (CISP)*. Program ini dilakukan sebagai bagian dari *Innovative Clean Technology Program*, sebuah inisiatif yang dirancang untuk menguji teknologi baru yang menjanjikan yang berpotensi untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan menghasilkan perbaikan lingkungan lainnya. Sistem di pembangkit Cameo mulai beroperasi pada tahun 2010 [1]. Sistem ini menggunakan kolektor surya dalam membantu memanaskan air umpan boiler hingga kualitas yang telah ditetapkan. Sesuai dengan namanya kolektor surya memanfaatkan energi dari matahari untuk memanaskan fluida hingga temperatur yang tinggi. Fluida tersebut dapat berupa air yang dipanaskan langsung menjadi uap atau kualitas yang diinginkan (*direct*) atau menggunakan fluida pentransfer panas yang nantinya akan dialirkan melalui alat penukar panas untuk mentransfer energi panasnya menuju air dan menghasilkan kualitas yang diinginkan (*indirect*). Salah satu jenis kolektor surya yang sering diintegrasikan dengan proses industri adalah kolektor surya tipe *parabolic trough*. Kolektor surya jenis ini memiliki efisiensi yang tinggi (>70%) serta memiliki rentang temperatur kerja yang tinggi (50 - 400°C). Pemanfaatan energi matahari dalam proses desalinasi tentunya akan berdampak pada lingkungan berupa pengurangan konsumsi batubara yang secara langsung mengurangi emisi gas CO<sub>2</sub> yang dilepaskan ke atmosfer.

Data yang diperoleh dari Global Solar Atlas (2022) Lokasi PLTU XYZ yang berada di Merak, Provinsi Banten memiliki potensi energi matahari sebesar 3,013 kWh/m<sup>2</sup> potensi energi matahari yang besar ini didukung dengan kondisi iklim menurut data dari National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) di mana kondisi iklim wilayah PLTU XYZ adalah cerah rata-rata bulanan selama 12 jam/hari serta temperatur rata-rata bulanan sebesar 24°C - 31°C menandakan potensi energi matahari yang cukup besar ini cocok untuk dimanfaatkan di PLTU XYZ untuk proses pemanasan air umpan regeneratif.



**Gambar 1.** Kolektor surya tipe parabolic trough (sumber: Dynamic LLC)

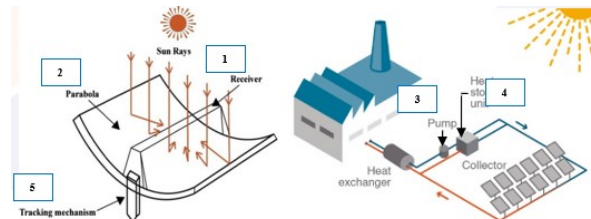
## 2. Metodologi

Penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan spesifikasi teknis *Steam Cycle Heat Balance* PLTU yang di simulasikan pada perangkat lunak *gatecycle* untuk proses perancangan sistem dan data Total Meteorological Year (TMY) periode 2014 hingga

2020 di wilayah penelitian, dengan menggunakan perangkat lunak System Advisor Model (SAM) yang disimulasikan yang menghasilkan gambaran kinerja sistem.

### 2.1 Bagian – Bagian Sistem Kolektor Surya

Sistem kolektor surya terdiri beberapa bagian antara lain:

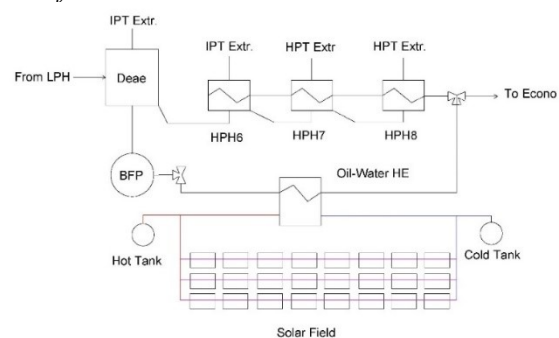


**Gambar 2.** Bagian-bagian sistem kolektor surya

- 1) *Receiver*, merupakan pipa yang terdiri dari *cover* dan *absorber* berfungsi sebagai penerima pantulan sinar matahari.
- 2) Reflektor parabola, merupakan cermin cekung yang berfungsi untuk memfokuskan dan memantulkan sinar matahari ke pipa *receiver*.
- 3) Pompa, merupakan bagian yang berfungsi untuk mengalirkan fluida kerja menuju kolektor surya.
- 4) Unit penyimpan daya termal, berfungsi untuk menampung fluida transfer panas dengan volume tertentu.
- 5) *Tracking Mechanism*, merupakan mekanisme kendali yang berfungsi untuk melacak dan memposisikan kolektor surya agar tetap tegak lurus dengan posisi arah sinar matahari
- 6) *Heat Exchanger*, merupakan alat penukar kalor berfungsi menukar panas fluida transfer panas dan air yang akan dipanaskan.

### 2.2 Skema Pemanfaatan Kolektor Surya Sebagai Pemanas Air Umpan Boiler

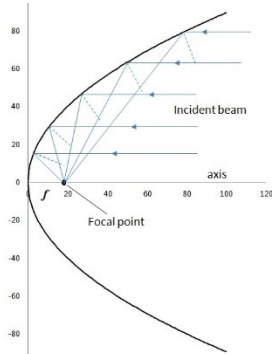
Untuk dapat dimanfaatkan pada proses pemanasan air umpan boiler, sistem kolektor surya disusun menjadi ladang *solar field* yang terdiri dari kumpulan modul kolektor surya, dan sebuah alat penukar kalor. Pada penelitian ini digunakan fluida pentransfer panas *Therminol-VPI*. Beban pemanasan yang ditentukan pada bypass HPH 6 (*High Pressure Heater*) sampai dengan HPH 8 dimana kualitas air umpan boiler dijaga pada temperature inlet dan outlet tetap pada kondisi eksistingnya sehingga dilakukan pengaturan laju massa alir air umpan yang dilakukan *bypass* mengikuti daya termal yang tersedia pada *solar field*.



**Gambar 3.** Skema pemanfaatan energi matahari terkonsentrasi untuk pemanas air umpan.

### 2.3 Konsentrasi Reflektor

Jika kita mengasumsikan bahwa cahaya matahari datang ke permukaan parabola paralel dengan sumbu parabola, dan menerapkan hukum Snellius (sudut pantul sama dengan sudut datang), kita dapat menetapkan titik fokus sebagai lokasi ideal untuk pipa receiver.



Gambar 4. profil geometri reflektor parabola (sumber: Mark Fredkin)

$$h = \frac{a^2}{16f} \quad (1)$$

Desain reflektor parabola mempertimbangkan ukuran lebar *aperture* yang tersedia ( $a$ ), jarak fokus ( $f$ ) - yaitu, di mana pipa receiver akan ditempatkan), dan tinggi reflektor ( $h$ ). Parameter-parameter ini saling berhubungan.

### 2.4 Efisiensi Optik Kolektor Surya

Efisiensi optik dari PTC dihitung menggunakan persamaan yang telah disebutkan oleh [2] seperti berikut:

$$\eta = \rho_c \gamma_i \tau \alpha K_r \quad (2)$$

### 2.5 Serapan Panas Receiver

Panas yang diterima receiver dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$S = G_t n \quad (3)$$

### 2.6 Luas Area Geometri PTC

Luasan geometri dari PTC dihitung dengan persamaan dibawah

$$A_{ap} = (W - D_{ro})L \quad (4)$$

$$A_r = \pi D_{ro}L \quad (5)$$

$$A_{ri} = \pi D_{ri}L \quad (6)$$

$$A_{cv} = \pi D_{cv}L \quad (7)$$

Dengan  $A_{ap}$  adalah luas *aperture*;  $A_r$  adalah luas permukaan receiver;  $A_{ri}$  adalah luas permukaan dalam receiver;  $A_{cv}$  adalah luas permukaan pelindung.

### 2.7 Faktor Penghilangan Panas

Untuk perpindahan panas antara penutup absorber dan udara lingkungan, perlu diketahui nilai-nilai dengan persamaan berikut:

$$Re_a = \frac{V_a D_{ro}}{\nu_a} \quad (8)$$

$$Nu_a = 0,3 Re_a^{0,6} \quad (9)$$

$$i_{cv,a} = \frac{Nu_a k_a}{D_c} \quad (10)$$

$$i_{R,a,cv} = \varepsilon_{cv} \sigma (T_{cv} + T_a) (T_{cv}^2 + T_a^2) \quad (11)$$

$$i_{R,r,cv} = \sigma (T_{cv} + T_{o,avg}) \left[ \frac{T_{cv}^2 + T_{o,avg}^2}{\frac{1}{\varepsilon_r} + \frac{A_r}{A_{cv}} \left( \frac{1}{\varepsilon_{cv}} - 1 \right)} \right] \quad (12)$$

Koefisien kehilangan panas pada kolektor surya,

$$U_L = \left[ \frac{A_r}{(i_{cv,a} + i_{R,a,cv} A_{cv})} + \frac{1}{i_{R,r,cv}} \right]^{-1} \quad (13)$$

Kecepatan fluida kerja dalam pipa receiver,

$$V_o = \dot{v}_o / A_{s,ri} \quad (14)$$

Perpindahan panas antara penutup absorber dan receiver,

$$i_{cv,o} = \frac{Nu_o k_o}{D_{ri}} \quad (15)$$

Koefisien panas keseluruhan dari lingkungan ke fluida kerja (Therminoil VP-1),

$$U_o = \left[ \frac{1}{U_L} + \frac{D_{ro}}{i_{cv,o} D_{ri}} + \frac{D_{ro}}{2k_o} \ln \left( \frac{D_{ro}}{D_{ri}} \right) \right]^{-1} \quad (16)$$

Rasio dari koefisien *heat loss* keseluruhan dari lingkungan ke fluida  $U_o$  dan koefisien *heat loss* kolektor surya  $U_L$  disebut dengan faktor efisiensi ( $F_1$ )

$$F_1 = \frac{U_o}{U_L} \quad (17)$$

Maka, faktor penghilangan panas,

$$F_R = \frac{\dot{m}_o C_{p,avg}}{A_r U_L} \left[ 1 - e^{-\frac{A_r U_L F_1}{\dot{m}_o C_{p,avg}}} \right] \quad (18)$$

### 2.8 Besar Energi Termanfaatkan

Besarnya energi panas yang dapat dimanfaatkan dari kolektor panas matahari untuk sistem berdasarkan nilai *direct normal irradiation* pada lokasi *solar field*,

$$\dot{Q}_u = A_{ap} * F_R \left[ S - \frac{A_r}{A_{ap}} U_L (T_{ri} - T_a) \right] \quad (19)$$

Jumlah energi yang berguna dari semua kolektor,

$$N_C = A_{lahan} / A_{ap} \quad (20)$$

$$\dot{Q}_{u,total} = \dot{Q}_u N_C \quad (21)$$

### 2.9 Efisiensi Sistem Kolektor Surya

$$n_{c,th} = \frac{\dot{Q}_u}{G_t A_{ap}} \quad (22)$$

### 2.10 Neraca Massa dan Energi

$$\begin{aligned} \dot{m}_{o,total} C_{p,avg} (T_{ro} - T_{ri}) \\ = \dot{m}_{fw,solar} h_e (h_{out,htr8} \\ - h_{in,htr6}) \end{aligned} \quad (22)$$

### 2.11 Massa Batu Bara

Pemanfaatan sistem kolektor surya pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dapat mengurangi massa alir batubara yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi. Pengurangan massa alir batubara dapat dihitung dengan perhitungan berikut:

$$\dot{m}_{bb} = \frac{\dot{Q}_{u,total}}{GCV \times \eta_b} \quad (23)$$

**2.12 Kondisi Meteorologi Wilayah Penelitian**

Informasi meteorologi dari wilayah penelitian. diperoleh dari *National Solar Radiation Database* (NSRDB) merupakan data *Total Meteorological Year* (TMY) periode 2014-2020.

**Tabel 1.** Potensi iradiasi matahari kawasan penelitian.

	Nilai	Satuan
Lintang	-5,87	°
Bujur	106,02	°
Zona Waktu	GMT+7	-
Elevasi	1	masl
GHI	5,41	kWh/m <sup>2</sup> /hari
DNI (sinar)	3,36	kWh/m <sup>2</sup> /hari
DHI	3,00	kWh/m <sup>2</sup> /hari
Temperatur rata-rata	28	°C
Kecepatan angin rata-rata	2,4	m/s

**2.13 Konsumsi Batubara Pembangkit**

Nilai konsumsi batubara digunakan pada simulasi kondisi eksisting pada *software gategcycle* dan analisis pengurangan batubara akibat integrasi sistem kolektor surya pada penelitian ini.

**Tabel 2.** data konsumsi batubara

	Nilai	Satuan
Kandungan air	23,6	%
Kandungan sulfur	0,4	%
Kandungan abu	7,8	%
Nilai kalor	5242	Kcal/kg
Grindability index	62	
Ash softening temperature	1395	°C
Konsumsi batubara	285	t/h

**2.14 Kebutuhan Termal Air Umpan**

Kebutuhan termal air umpan dihitung pada masukan komponen *High Pressure Heater 6* dan keluaran *High Pressure Heater 8* berdasarkan data simulasi pembangkit pada *software gategcycle*. Dengan data berikut:

**Tabel 3.** Data operasi HPH eksisting

	Nilai	Satuan
Laju massa alir air umpan	550,1	kJ/kg
Entalpi air umpan akhir	1228,97	kJ/kg
Entalpi air umpan inlet HPH 6	668,86	kJ/kg

**2.15 Spesifikasi Kolektor Surya**

Jenis kolektor yang dipilih dalam tugas akhir ini adalah tipe kolektor LS-3. Kolektor ini dipilih karena merupakan desain kolektor yang paling umum dan terkenal dalam *plant* penghasil daya surya. Alat ini beroperasi pada sumbu horizontal utara-selatan dan melacak matahari dari timur ke barat. Tabung

penerima terbuat dari baja tahan karat dan dilapisi dengan pelapisan selektif untuk meningkatkan absorptivitas terhadap radiasi yang masuk. Penerima juga disertakan dengan tabung kaca yang dievakuasi berdiameter 66 mm untuk mengurangi kehilangan panas konvektif. Spesifikasi kolektor LS-3 Solar adalah terperinci dalam tabel dibawah,

**Tabel 4.** Spesifikasi teknis kolektor surya [3]

	Simbol	Nilai
Panjang x lebar reflektor	$W_w \times L$	5.77m x 12m
Diameter dalam dan luar receiver	$D_{r,i}, D_{r,o}$	0,066 m, 0,07m
Diameter cover dalam dan luar	$D_{c,i}, D_{c,o}$	0,115 m, 0,121 m
Emitansi cover dan receiver	$\epsilon_{cv}, \epsilon_r$	0,86, 0,15
Refelektansi cermin	$\rho_c$	0,93
Intercept Factor	$\gamma_i$	0,93
Transmitansi cover kaca	$\tau$	0,94
Daya serap receiver	$\alpha$	0,94
Incidence Angle Modifier	$K_r$	1
Massa alir dalam receiver	$\dot{m}_o$	0,8 kg/s
Density fluida pentransfer panas (HTF)	$\rho_o$	1060 kg/m <sup>3</sup>
Konduktivitas panas udara	$k_a$	0,024 kg/m-K
Konduktivitas panas HTF	$k_o$	0,096 kg/m-K
Viskositas HTF	$\nu_o$	9,9 x 10 <sup>-7</sup> m <sup>2</sup> /s
Suhu receiver outlet dan inlet	$T_{ro}, T_{ri}$	673,15 K; 543,15 K

**3. Hasil dan Pembahasan**

**3.1 Hasil Rancangan Parabolic Trough Collector**

Perbandingan hasil rancangan secara manual dan melalui perangkat lunak SAM sebesar <86.610 m<sup>2</sup>. Contoh perhitungan diambil dari nilai DNI Design 1000W/m<sup>2</sup>. Berikut hasil perhitungan yang dapat dibandingkan:

**Tabel 5.** Perbandingan perhitungan dan simulasi

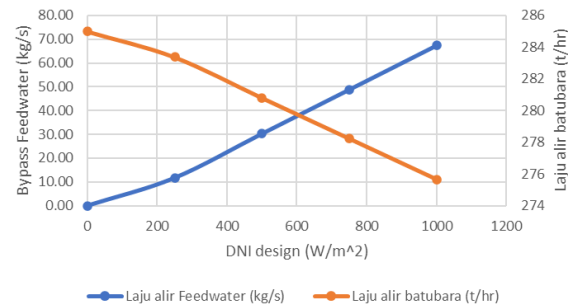
Parameter	Perhitungan	SAM	Deviasi (%)
$DNI_{design}$	1000W/m <sup>2</sup>	1000W/m <sup>2</sup>	
Efisiensi Optik	76,42%	70,8%	7,3%
Efisiensi Termal	56,3%	67,18%	19,3%
Total luas aperture	86.601,24 m <sup>2</sup>	83.930 m <sup>2</sup>	3%
Jumlah kolektor	1151	1151	
$\dot{Q}_{u,total}$	44,35 MW	45 MW	1,4%
$\dot{m}_{o,total}$	141,5 kg/s	142 kg/s	0,3%
		Rata-rata	6,26%

Lewis (1982) menyatakan bahwa rentang nilai Mean Absolute Percentage Error (MAPE) di bawah

10% menunjukkan keakurasian yang tinggi dari hasil perhitungan.

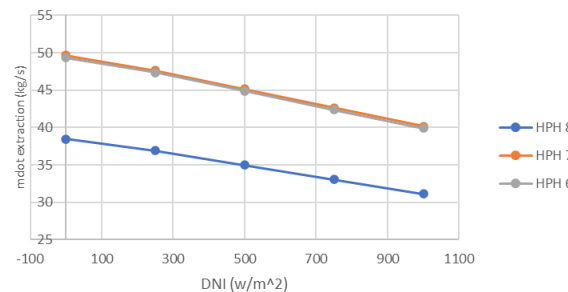
### 3.2 Hasil Integrasi Sistem

Kondisi operasi pembangkit dengan sistem pemanas bantu menggunakan kolektor surya harus dijaga kondisi operasinya agar pembangkit tidak mengalami *overloading* yang berakibat fatal untuk kondisi peralatan khususnya turbin dan generator. Maka dengan itu, laju alir batubara dapat dikurangi dan disini lah peran kolektor surya untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Potensi penghematan dapat dilihat pada grafik pengaruh daya termal *solar field* terhadap konsumsi batubara. Pada kondisi matahari optimum, laju alir batu bara dapat dikurangi hingga 9,33 ton/jam.



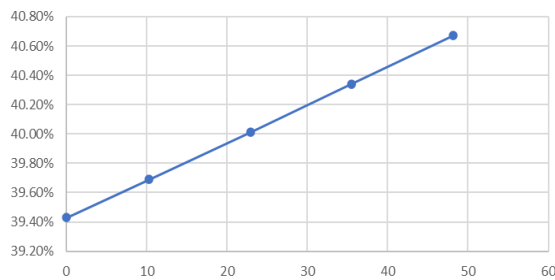
Gambar 5. grafik pengaruh daya termal sistem kolektor surya terhadap konsumsi batubara dan laju alir air umpan by-pass

Laju massa alir uap ekstraksi turbin pada kondisi penghematan batubara juga terpengaruh sebagaimana grafik pengaruh DNI terhadap laju massa alir uap ekstraksi. Dimana, laju massa alir uap ekstraksi berbanding terbalik dengan besar nilai DNI.



Gambar 6. grafik pengaruh DNI terhadap laju massa alir uap ekstraksi

Pada kondisi penghematan batubara, efisiensi ikut terpengaruhi oleh daya temal *solar field* sebagaimana pada grafik pengaruh daya termal *solar field* dengan efisiensi siklus pembangkit. Dimana, daya termal *solar field* berbanding lurus dengan efisiensi pembangkit.



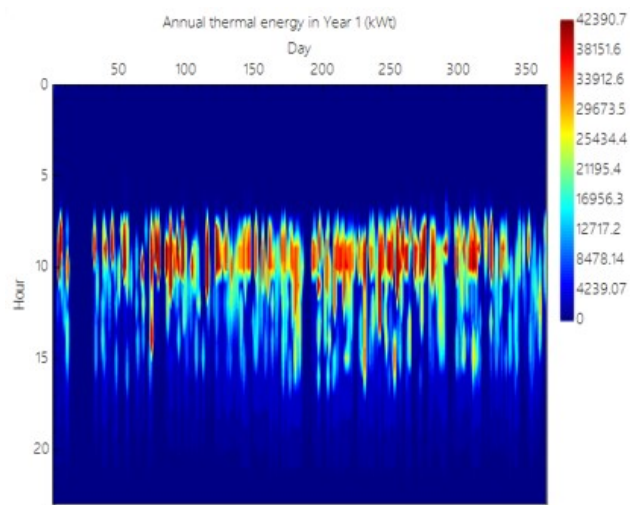
Gambar 7. grafik pengaruh daya termal sistem kolektor surya terhadap efisiensi pembangkit.

### 3.3 Potensi Pengurangan Massa Batu Bara

Dalam 1 tahun, sistem kolektor surya dapat menghasilkan 21.708.598 kWh termal (hasil simulasi), dengan efisiensi boiler PLTU Suralaya sebesar 86% (data simulasi) maka, setara dengan 4.143,3 ton batubara. Jumlah tonase batu bara tersebut bila dihitung dengan harga batubara DMO (*Domestic Market Obligation*) hba 1 pada bulan Mei 2024 seharga USD 91,77/ton, didapat penghematan konsumsi batubara sebesar USD 380.231,30/tahun.

Metric	Value
Annual energy (year 1)	21,708,598 kWh-t
Capacity factor	5.6%
Annual electricity load (year 1)	478,744 kWh-e
Annual Water Usage	705 m <sup>3</sup>

Gambar 8. Energi dihasilkan sistem kolektor surya 1 tahun.



Gambar 9. Hasil simulasi System Advisory Model 1 tahun operasi sistem kolektor surya

### 4. Simpulan

Hasil dari penelitian analisis penggunaan kolektor surya untuk pemanas air umpan boiler menghasilkan beberapa kesimpulan antara lain :

1. Kebutuhan pemanasan air umpan boiler dari HPH 6 sampai dengan HPH 8 tidak dapat tergantikan sepenuhnya oleh daya termal kolektor surya. Maka dengan itu, kolektor surya bertindak sebagai pembantu dengan daya termal sebesar 44,35 MW pada kondisi optimum, serta jumlah modul kolektor sebanyak 1151 unit.
2. Total luas area yang harus disediakan adalah 86.601,24m<sup>2</sup>
3. Pada kondisi tingkat radiasi matahari optimal dan pembangkit pada beban penuh, konsumsi batubara dapat dikurangi hingga 9,33 ton/jam. Dalam setahun penghematan batubara sebesar 4.143,3 ton batubara seharga USD 380.231,30/tahun dengan harga acuan batubara DMO (*Domestic Market Obligation*) hba 1 pada bulan Mei 2024.

**Daftar Pustaka**

- [1] S. Mills, "Combining Solar Power with Coal-Fired Power Plants or Cofiring Natural Gas," *Clean Energy*, 2018.
- [2] J. A. Duffie and W. A. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes*, New Jersey: John Wiley & Sons, 2013.
- [3] A. F. I. O. Alotaibi S, "Solar Assisted Steam Power Plant Retrofitted with Regenerative System using Parabolic Trough Solar Collector," *Energy Reports*, pp. 124-133, 2020.
- [4] F. B. S. A. Camporeale S, "Repowering of A Rankine Cycle Power Plant by Means of Concentrating Solar Collector," *asme digital collection*, 2016.
- [5] F. P. Incropera, D. P. Dewitt, T. L. Bergman and A. S. Lavine, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer 6th Edition*, John Wiley & Sons, Inc, 2007.
- [6] H. E. L. X. Qin J, "Solar Aided Power Generation: A Review," *Energy Conversion and Management*, 2019.
- [7] A. C. Reddy K, "Design, Development and Performance Investigation of Solar Parabolic Trough Collector for Large Scale Power Plants," *Renewable Energy*, 2020.
- [8] O. M. U. F. Shahin M, "Thermodynamic Analysis of Parabolic Trough and Heliostat Field Solar Collectors Integrated with a Rankine Cycle for Cogeneration of Electricity and Heat," *Solar Energy*, 2016.
- [9] L. M. C. D. Y. J. Yan H, "Performance Analysis of A Solar Aided Coal-Fired Power Plant in Off-Design Working Conditions and Dynamic Process," *Energy Conversion and Management*, 2020.
- [10] T. Stoffel, D. Renne, D. Myers, S. Wilcox, M. Sengupta, R. George and C. Turchi, *Concentrating Solar Power; Best Practices Handbook for The Collection and Use of Solar Resource Data*, National Renewable Energy Laboratory, 2010.