



ANALISIS TRANSIEN PADA *PARABOLIC TROUGH REFLECTOR* *SOLAR WATER HEATER*

Nailul Atifah¹, Sunny Ineza Putri², Sa'adah Meilufi³, Adlinsyah Hakim Syawaluddin⁴,
Leonardo Sintong Partogi Hutasoit⁵

^{1,2,3,4,5}Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pamulang, Jl. Surya Kencana No 1,
Tangerang Selatan, Indonesia

E-mail : dosen00410@unpam.ac.id¹

Masuk : 23 Agustus 2023

Direvisi: 28 September 2023

Disetujui: 26 Oktober 2023

Abstract: *One of the abundant renewable energy sources is solar energy. This is because Indonesia is located on the equator. The average intensity of solar radiation for the Greater Jakarta area is around 4.98334 to 5.02111 kWh/m²/day. Utilization of solar energy with a thermal system works by converting solar radiation into heat energy. Solar heat can be utilized with solar collector technology. One type of solar collector is a reflector in the form of a parabolic trough. This type reflects solar radiation towards a focal point which is arranged to form an imaginary line along the collector. The performance of a concentrated parabolic reflector type water heating system depends on the dimensional parameters of the reflector, the water reservoir absorber, and the working fluid as well as the thermal and optical properties of these components which include parabolic reflectance, absorber emissivity, and thermal insulation on the water reservoir absorber. These parameters greatly affect the performance of this system which includes increasing heating speed, water temperature, thermal output power and thermal efficiency. This study aims to investigate the experimental results of the reflector in the form of a parabolic trough and the simulation results with Ansys Fluent Software. The simulation results show that the maximum water temperature is 106.65°C, the average water temperature is 62.54°C, the output energy is 107.05 kJ, and the thermal efficiency is 61.5%. Based on these results, the parabolic through collector water heating system can be relied upon.*

Keywords: *Energy; Sun; Parabolic Trough; Simulation.*

Abstrak: Salah satu sumber energi terbarukan yang melimpah adalah energi matahari. Hal ini dikarenakan Indonesia terletak pada garis khatulistiwa. Intensitas rata-rata radiasi matahari untuk wilayah Jabodetabek adalah sekitar 4,98334 sampai dengan 5,02111 kWh/m²/hari. Pemanfaatan energi matahari dengan sistem termal bekerja dengan mengonversi radiasi matahari menjadi energi panas. Panas matahari dapat dimanfaatkan dengan teknologi solar kolektor. Salah satu tipe solar *collector* adalah *reflector* yang berbentuk *parabolic trough*. Tipe ini memantulkan radiasi matahari menuju ke titik fokus yang tersusun membentuk garis imajiner sepanjang *collector*. Kinerja dari sistem pemanas air tipe *concentrated parabolic reflector* tergantung pada parameter dimensi reflektor, *absorber* penampung air, dan fluida kerja serta sifat termal dan optik dari komponen-komponen tersebut yang meliputi reflektansi parabola, emisivitas *absorber*, serta isolasi termal pada *absorber* penampung airnya. Parameter-parameter tersebut sangat berpengaruh terhadap kinerja sistem ini yang meliputi peningkatan kecepatan pemanasan, temperatur air, daya output termal dan efisiensi termalnya. Penelitian ini bertujuan untuk investigasi hasil eksperimen *reflector* yang berbentuk *parabolic trough* dan hasil simulasinya dengan Software Ansys Fluent. Hasil simulasi menunjukkan bahwa temperatur air maksimal adalah 106,65°C, temperatur air rata-rata 62,54°C, energi output 107,05 kJ, dan efisiensi termal 61,5%. Berdasarkan hasil tersebut, sistem pemanas air *parabolic through collector* dapat diandalkan.

Kata Kunci: Energi; Matahari; *Parabolic Trough*; Simulasi.

PENDAHULUAN

Energi merupakan sektor penting dalam aktivitas kehidupan manusia. Kebutuhan energi terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi penduduk dan ekonomi yang senantiasa meningkat. Di Indonesia, mayoritas energi bersumber dari energi konvensional yakni dari bahan bakar fosil, baik untuk pembangkit listrik, transportasi dan aktivitas memasak. Penggunaan sumber energi fosil ini memiliki dampak negatif yakni menimbulkan pencemaran lingkungan berupa polusi udara [1].

Matahari terdiri atas materi-materi gas yang sangat panas dengan suhu permukaan yang mencapai 5.672 K. Pada bagian inti selalu terjadi reaksi fusi yang menghasilkan energi pada temperatur yang sangat tinggi. Energi ini harus dilepaskan ke permukaan dan kemudian diradiasikan ke materi di sekitarnya, termasuk bumi. Besarnya energi radiasi surya persatuan waktu yang diterima permukaan persatuan luas tegak lurus terhadap arah rambatan radiasi surya pada jarak rata-rata bumi-surya di luar atmosfer dinamakan konstanta surya (G_{sc}). Nilai konstanta surya adalah 1.353 W/m². Nilai ini merupakan batas atas teoritis dari ketersediaan energi surya di bumi [2].

Radiasi surya yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi dalam sistem konversi energi surya adalah jumlah radiasi surya yang mencapai permukaan bumi, yaitu konstanta surya dikurangi intensitas radiasi akibat penyerapan dan pemantulan atmosfer sebelum mencapai bumi. Total radiasi surya yang diterima oleh suatu area di permukaan bumi atau disebut juga sebagai radiasi global terbagi atas dua komponen, yaitu: Radiasi langsung, yaitu radiasi yang diterima langsung dari sorotan matahari, dan Radiasi sebaran/baur atau disebut juga radiasi langit, yaitu radiasi yang dipancarkan ke permukaan penerima oleh molekul-molekul di dalam atmosfer (gas, debu, uap air/awan). Ukuran energi radiasi surya yang mencapai bumi dapat dinyatakan dengan kepadatan daya di suatu permukaan daerah penerima pada waktu tertentu dan dinyatakan dengan satuan kWh/m².

Besarnya intensitas radiasi surya yang diterima suatu wilayah/area di permukaan bumi berbeda-beda secara ruang dan waktu. Hal ini sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti : letak astronomis (posisi garis lintang/bujur), kondisi geografis (kemiringan, topografi); siklus perputaran bumi (pagi/siang/sore/malam); kondisi atmosfer seperti kualitas dan kuantitas awan (cerah/mendung/berawan), kandungan aerosol, uap air, ozon, dan sebagainya.

Variasi radiasi surya secara kualitatif dipengaruhi faktor siklus perputaran bumi dan kondisi awan. Intensitas radiasi surya pada kondisi cerah akan bertambah dari pagi, sejak terbit sampai siang dengan tercapainya kondisi puncak dan kemudian turun sampai kondisi terbenam pada sore hari. Perubahan intensitas tersebut masih dipengaruhi juga oleh jumlah keberadaan dan kualitas awan (mendung/berawan) yang menghambat sinar surya menembus atmosfer sampai ke permukaan penerima.

Indonesia terletak di garis khatulistiwa, sehingga Indonesia mempunyai sumber energi surya yang berlimpah dengan intensitas radiasi matahari rata-rata sekitar 4,8 kWh/m² per hari di seluruh wilayah Indonesia. Hal ini menunjukkan bahwa Indonesia memiliki potensi sumber energi matahari yang melimpah. Intensitas rata-rata radiasi matahari untuk wilayah Jabodetabek adalah sekitar 4,98334 - 5,02111 kWh/m²/hari [3], [4].

Matahari memancarkan energi yang sangat besar dan kontinu. Upaya pemanfaatan energi dari matahari, atau lebih dikenal dengan "energi surya", dapat dilakukan melalui dua jenis teknologi yaitu teknologi fotovoltaik (PV) dan teknologi fototermal (surya termal). Perbedaannya adalah teknologi PV mengonversi langsung radiasi surya menjadi listrik melalui perangkat semikonduktor yang disebut sel surya, sedangkan teknologi surya termal memanfaatkan panas dari radiasi surya dengan menggunakan alat pengumpul panas atau yang biasa disebut kolektor surya.

Pemanfaatan energi matahari dengan sistem termal bekerja dengan mengonversi radiasi matahari menjadi energi panas. Panas matahari dapat dimanfaatkan dengan teknologi solar *collector*. Solar *collector* dapat dikelompokkan ke dalam tiga kelompok utama berdasarkan temperatur operasi [5]. Tiga kelompok tersebut yaitu: kelompok temperatur rendah ($T < 100^{\circ}\text{C}$) misalnya kolektor plat datar, kelompok temperatur sedang ($T < 400^{\circ}\text{C}$) misalnya kolektor parabola [6], [7], dan kelompok temperatur tinggi ($T > 400^{\circ}\text{C}$) misalnya kolektor disk dan reflektor Freshnel [8].

Salah satu tipe sistem pemanfaatan energi matahari dengan sistem termal untuk pemanas adalah reflektor yang berbentuk *parabolic trough*. Tipe ini memantulkan radiasi matahari menuju ke satu titik fokus yang membentuk garis imajiner sepanjang reflektor. Di sepanjang titik fokus inilah kemudian diletakkan objek fluida kerja yang akan dipanaskan.

Kinerja dari sistem pemanas air tipe *parabolic trough reflector* sangat tergantung dari beberapa parameter yakni dimensi reflektor dan *absorber* penampung air itu sendiri, serta sifat termal dan sifat optik dari komponen-komponen. Adapun sifat optik dari komponen-komponen tersebut meliputi reflektansi parabola,

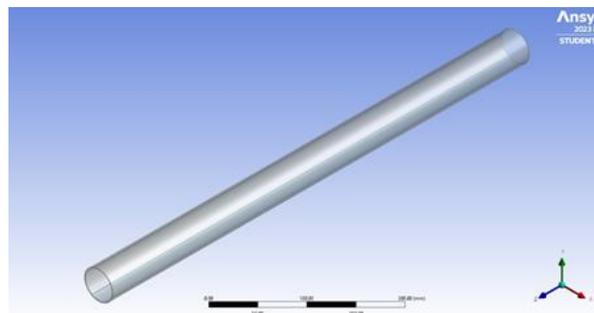
emisivitas *absorber*, serta isolasi termal pada *absorber* penampung airnya [9], [10]. Parameter-parameter tersebut sangat berpengaruh terhadap kinerja sistem ini yang meliputi peningkatan kecepatan pemanasan, temperatur air, daya output termal dan efisiensi termalnya [11], [12].

Pada eksperimen, nilai parameter-parameter tersebut bernilai tetap sesuai dengan sifat komponen dan sangat sulit untuk divariasikan. Pada simulasi, nilai parameter-parameter tersebut dapat divariasikan dengan sangat mudah. Dengan membandingkan hasil eksperimen dan simulasi dan variasi nilai-nilai parameter maka akan diketahui pengaruh parameter terhadap kinerja sistem. Simulasi perhitungan akan dilakukan dengan menggunakan program *Computational Fluid Dynamic* (CFD) yaitu Ansys Fluent. Ansys Fluent adalah jenis program CFD yang menggunakan prinsip volume hingga. Fluent menyediakan fleksibilitas *mesh* yang lengkap dan dapat menyelesaikan kasus aliran fluida dengan *mesh* (*grid*) yang tidak terukur sekalipun dengan cara yang relatif mudah. Kelebihan-kelebihan tersebut akan memberikan fleksibilitas dalam simulasi.

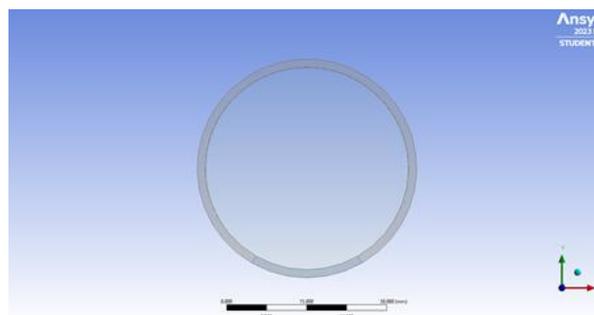
METODOLOGI

Pada penelitian ini menggunakan tiga metode, yaitu metode eksperimen, perhitungan, dan simulasi. Pengujian eksperimen dengan menggunakan sistem pemanas *parabolic trough* saat cuaca. Posisi *reflector* diatur sehingga membentuk sudut 90 derajat terhadap arah datangnya sinar matahari. Dengan metode eksperimen didapatkan data temperatur air pada inlet dan outlet dan kondisi lingkungan pada $t = 0$ dan setiap 15 menit dari pukul 10.00 hingga 15.00. Posisi *reflector* akan terus berubah sesuai dengan sudut arah datang sinar matahari. Dari hasil eksperimen tersebut, akan dihitung daya radiasi yang dipantulkan *reflector* pada pipa *absorber*, daya input, daya output, dan efisiensi termal sistem. Hasil eksperimen dan perhitungan kemudian dianalisis. Data hasil eksperimen dan perhitungan menggunakan data penelitian sebelumnya sebagai bahan validasi hasil simulasi.

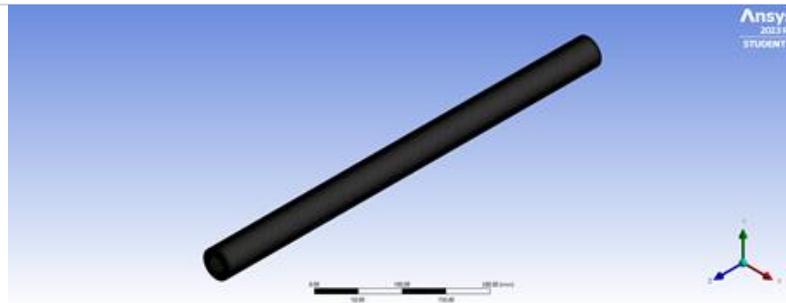
Metode yang ketiga yaitu metode simulasi dengan menggunakan *software* Ansys Fluent. Desain pipa yang sama dengan yang digunakan pada metode eksperimen digunakan pada simulasi seperti yang terlihat pada Gambar 1. Dari desain tersebut kemudian dilakukan *mesh*, dan melakukan *setting* untuk menyelesaikan permasalahan pada penelitian ini. *Setting* yang digunakan pada Ansys Fluent adalah *mesh default*, *transient*, dan *k-omega standard*. Pada simulasi, *boundary condition* yang digunakan adalah properti material air dan pipa *steel*, dengan dinding pipa bagian bawah (bagian pipa yang menjadi pusat penerima kalor dari *reflector*) diasumsikan memiliki temperatur 110°C agar air di dalam pipa dapat mendidih, temperatur air awal adalah 36 °C. Kemudian dilakukan inisiasi, dan kemudian dilakukan 20 kali iterasi per detik untuk 120 detik. Hasil simulasi dapat dilihat setelah selesai iterasi, kemudian dianalisis. Data hasil simulasi kemudian divalidasi menggunakan data eksperimen.



Gambar 1. Desain pipa absorber pada simulasi tampak samping



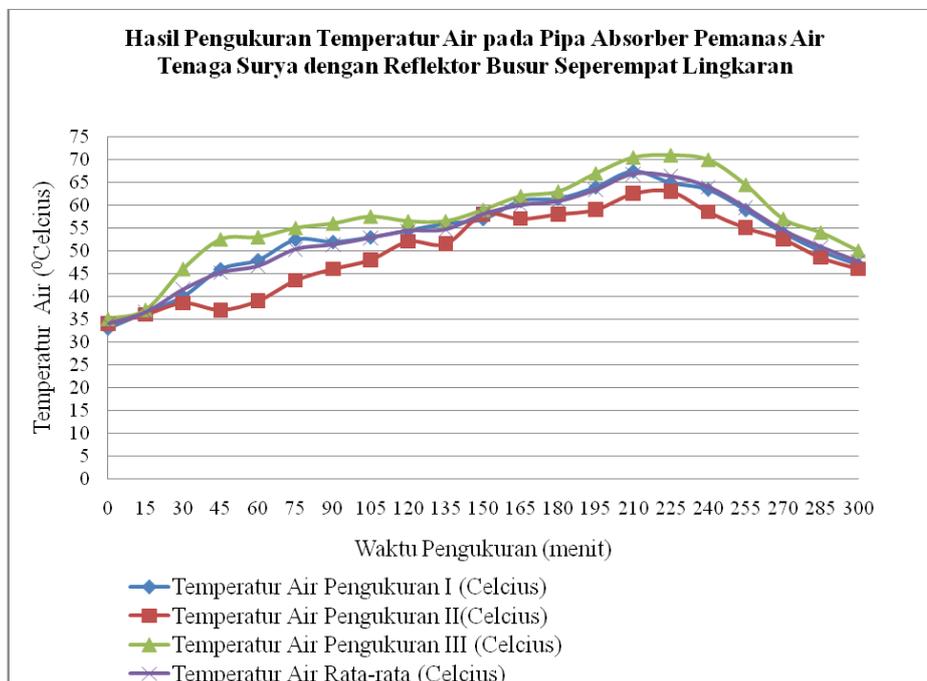
Gambar 2. Desain pipa absorber pada simulasi tampak permukaan inlet /outlet



Gambar 3. Desain pipa absorber pada simulasi: hasil meshing

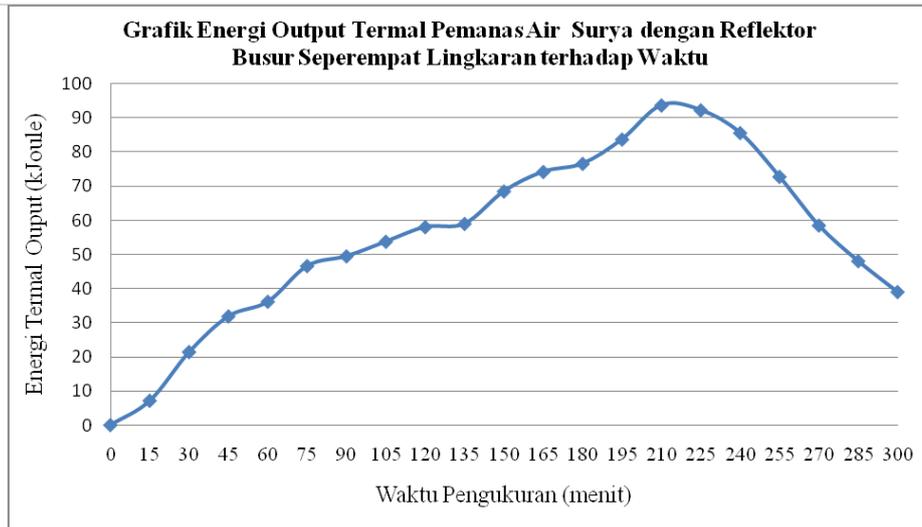
HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pengukuran, temperatur air tertinggi adalah 71°C pada pukul 13.45 WIB, puncak intensitas radiasi matahari sekitar pukul 12.00 WIB [13]. Setelah pukul 13.45 yaitu temperatur air tertinggi, temperatur air menurun karena adanya *heat loss* dari pipa *absorber* ke lingkungan. Desain pemanas air tenaga matahari pada penelitian ini sanggup memanaskan air sebanyak 684 ml hingga mencapai temperatur 71°C. Sistem pemanas air pada penelitian ini belum sanggup untuk mendidihkan air dan menghasilkan uap air. Adapun grafik hasil pengukuran temperatur air pada pipa absorber dapat dilihat pada Gambar 4, dan grafik energi termal output dapat dilihat pada Gambar 5.



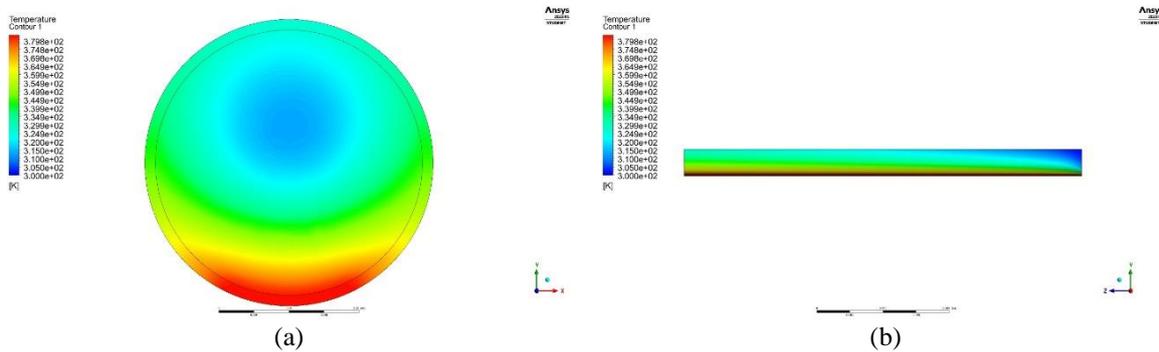
Gambar 4. Grafik hasil pengukuran temperatur air di dalam pipa absorber pada pemanas air tenaga matahari dengan reflektor busur seperempat [13]

Berdasarkan perhitungan daya input diperoleh sebesar 9,67 W dan waktu operasi selama 5 jam, sehingga energi input adalah 174,06 kJ. Selanjutnya, dari hasil perhitungan energi termal output diperoleh nilai energi output tertinggi sebesar 98,73 kJ [13]. Sedangkan energi termal output rata-rata dalam rentang waktu pengujian selama 5 jam dari pukul 10.00 sampai dengan pukul 15.00 adalah sebesar 55,08 kJ [13]. Dengan demikian dapat ditentukan besarnya efisiensi termal rata-rata dari sistem pemanas air tenaga matahari dengan reflektor busur seperempat lingkaran ini adalah 31,64% untuk temperatur air rata-rata dan 56,72% untuk temperatur air maksimal [13].



Gambar 5. Grafik energi termal output pemanas air tenaga matahari dengan reflektor busur seperempat lingkaran terhadap waktu [13]

Berdasarkan hasil simulasi dengan menggunakan Ansys Fluent untuk analisis transient selama 120 detik dengan temperatur dasar pipa *absorber* konstan pada 110°C, kontur temperatur ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil simulasi (a) tampak bagian permukaan outlet; (b) tampak samping

Dari Gambar 6, didapatkan bahwa temperatur air maksimum adalah sekitar 379,8 K atau 106,65°C pada bagian dasar pipa, dimana bagian fokus penerima panas dari *reflector*. Nilai temperatur rata-rata yang didapatkan adalah 62,54°C. Dengan dimensi pipa yang digunakan pada simulasi dan eksperimen adalah sama, maka massa air adalah 0,682 kg dan didapatkan nilai energi termal output rata-rata adalah 107,05 kJ. Dengan nilai energi internal sama dengan data eksperimen yaitu 174,06 kJ, maka efisiensi termal rata-rata sistem pemanas dengan menggunakan simulasi ini adalah 61,5%. Nilai efisiensi ini diatas 50%, artinya sistem pemanas air *parabolic through collector* dapat diandalkan, meskipun temperatur air di dalam pipa *absorber* tidak sepenuhnya mendidih.

Berdasarkan hasil eksperimen dan simulasi, didapatkan perbandingan antara data eksperimen dan simulasi yang ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Perbandingan data hasil eksperimen dan hasil simulasi

Parameter	Hasil Eksperimen	Hasil Simulasi	Selisih
Temperatur air maksimal	71°C	106,65°C	+ 35,65°C
Temperatur air rata-rata	-	62,54°C	-
Energi output	98,73 kJ	107,05 kJ	+ 8,32 kJ
Efisiensi termal	56,72%	61,5%	+ 4,78%

Dari Tabel 1. dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan atau selisih antara hasil eksperimen dan simulasi. Perbedaan tersebut disebabkan oleh adanya kondisi eksperimen yang tidak bisa dimodelkan secara sempurna dalam simulasi, sifat material yang digunakan dalam eksperimen tidak bisa sama dengan sifat material dalam simulasi. Selain itu, perhitungan efisiensi termal pada eksperimen menggunakan temperatur air maksimal sementara pada hasil simulasi menggunakan temperatur air rata-rata, hal ini dikarenakan tidak diketahuinya nilai

temperatur air rata-rata. Hanya dari perbedaan temperatur titik bawah, didapatkan energi output dan efisiensi yang signifikan.

Dari hasil simulasi dapat dilihat gradasi temperatur air di dalam pipa *absorber*, yang mana air mendidih (temperatur diatas 100°C) hanya di bagian bawah pipa atau hanya pada bagian yang terkena panas dari *reflector*. Hal ini tidak dapat diketahui saat pengambilan data eksperimen, sehingga ada kemungkinan error pada saat pengambilan data temperatur air. Selain itu, analisis bahwa pada data hasil eksperimen menunjukkan bahwa air tidak mendidih, namun bisa jadi pada bagian bawah air mendidih sebagaimana yang dihasilkan pada simulasi.

KESIMPULAN

Pada simulasi dapat dilihat perubahan atau gradasi temperatur air di dalam pipa *absorber*, yang mana air pada bagian bawah dapat mendidih sementara bagian atasnya tidak mendidih. Temperatur air pada bagian bawah didapat 106,65°C dan temperatur air rata-rata di dalam pipa adalah 62,54°C. Daya output termal pada sistem pemanas air tenaga surya tipe *parabolic trough collector* dengan simulasi adalah 107,05 kJ. Efisiensi termal pada sistem pemanas air tenaga surya tipe *parabolic trough collector* dengan simulasi adalah 61,5%, didapatkan dari perbandingan energi input dengan energi output. Tingkat kesesuaian antara hasil simulasi sistem pemanas air tenaga surya dengan hasil eksperimen dapat dilihat dari energi output dan efisiensi termalnya, dimana perbedaannya hanya 8,32 kJ dan 4,78%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. M. Astra, "Energi dan dampaknya terhadap lingkungan," *J. Meteorol. dan Geofis.*, vol. 11, no. 2, pp. 131–139, 2010.
- [2] J. A. Duffie and W. A. Beckman, *Solar engineering of thermal processes*. Hoboken: John Wiley & Sons, 2013.
- [3] V. Nurliyanti, M. Pandin, and B. Pranoto, "PEMBUATAN PETA POTENSI ENERGI SURYA Vetri," *M&E*, vol. 10, no. 4, pp. 47–54, 2012.
- [4] M. Rumbayan, A. Abudureyimu, and K. Nagasaka, "Mapping of solar energy potential in Indonesia using artificial neural network and geographical information system," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 3, pp. 1437–1449, 2012, doi: 10.1016/j.rser.2011.11.024.
- [5] K. S. Reddy, N. R. Kamnapure, and S. Srivastava, "Nanofluid and nanocomposite applications in solar energy conversion systems for performance enhancement: A review," *Int. J. Low-Carbon Technol.*, vol. 12, no. 1, pp. 1–23, 2017, doi: 10.1093/ijlct/ctw007.
- [6] A. Kasaeian, S. Daviran, R. D. Azarian, and A. Rashidi, "Performance evaluation and nanofluid using capability study of a solar parabolic trough collector," *Energy Convers. Manag.*, vol. 89, pp. 368–375, 2015, doi: 10.1016/j.enconman.2014.09.056.
- [7] T. Sokhanesfat, A. B. Kasaeian, and F. Kowsary, "Heat transfer enhancement in parabolic trough collector tube using Al₂O₃/synthetic oil nanofluid," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 33, pp. 636–644, 2014, doi: 10.1016/j.rser.2014.02.028.
- [8] M. Hatami, J. Geng, and D. Jing, "Enhanced efficiency in Concentrated Parabolic Solar Collector (CPSC) with a porous absorber tube filled with metal nanoparticle suspension," *Green Energy Environ.*, vol. 3, no. 2, pp. 129–137, 2018, doi: 10.1016/j.gee.2017.12.002.
- [9] S. Kalogirou, "Chapter 3 - Solar Energy Collectors," in *Solar Energy Engineering*, 2nd ed., Academic Press, 2013.
- [10] V. Khullar, H. Tyagi, P. E. Phelan, T. P. Otanicar, H. Singh, and R. A. Taylor, "Solar energy harvesting using nanofluids-based concentrating solar collector," *J. Nanotechnol. Eng. Med.*, vol. 3, no. 3, pp. 1–9, 2012, doi: 10.1115/1.4007387.
- [11] J. Akhter, S. I. Gilani, H. H. Al-Kayiem, and M. Ali, "Performance Evaluation of a Modified Compound Parabolic Concentrating Collector with Varying Concentration Ratio," *Heat Transf. Eng.*, vol. 42, no. 13–14, pp. 1117–1131, 2021, doi: 10.1080/01457632.2020.1777004.
- [12] H. Yang, Q. Wang, J. Cao, G. Pei, and J. Li, "Potential of performance improvement of concentrated solar power plants by optimizing the parabolic trough receiver," *Front. Energy*, vol. 14, no. 4, pp. 867–881, 2020, doi: 10.1007/s11708-020-0707-y.
- [13] N. 'Atifah, "Rancang Bangun Dan Studi Eksperimen Pemanas Air Tenaga Matahari Dengan Reflektor Busur Seperempat Lingkaran," *J. Tek. Mesin Cakram*, vol. 1, no. 2, p. 1, 2019, doi: 10.32493/jtc.v1i2.2241.