

Perancangan Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Surya Menggunakan Sistem Turbin Uap Dengan Fluida Kerja Refrigerant-410A

Greick Timothy Lumbantobing¹, I Gusti Bagus Wijaya Kusuma², I Wayan Bandem Adnyana³

^{1,2,3}Universitas Udayana

Email: greicktibing@gmail.com¹, igbwijayakusuma@unud.ac.id², bandem.aiwa@yahoo.com³

Abstract: Sunlight emits energy through its rays. One of the energies that can be utilized from it is heat energy. This research tests the application of solar radiation heat energy which will be used as prototype input to become the final output in the form of electrical energy. This prototype contains several main components, according to their working order, namely a solar collector, feed exchanger, and steam turbine. The solar collector will capture solar radiation energy to heat the air fluid inside which is then taken to the heat exchanger. The heat exchanger in the form of an anal concentric tube will produce heat that is carried by the air fluid to the working fluid of the refrigerant-410A. The refrigerant-410A working fluid which turns into the vapour will flow towards the steam turbine and move the turbine which is coupled to one shaft with the generator dynamo, so that when the turbine runs the work, electrical energy is produced. The prototype solar power plant with a steam turbine system in ideal theoretical conditions gets an input energy of 2299,492 W and produces an output energy of 676,500 W. Meanwhile, in non-ideal conditions, the final simulation results get an input energy of 2267,109 W and produces energy output is 266,873 W. System efficiency in ideal conditions is 29% and in non-ideal conditions is 12%.

Keywords: Prototype, Solar Collector, Heat Exchanger, Refrigerant 410A, Electrical Energy.

Abstrak: Sinar matahari memancarkan energi lewat sinar matahari. Salah satu energi yang dapat dimanfaatkan darinya adalah energi panas. Penelitian ini menguji aplikasi energi panas radiasi sinar matahari yang akan dijadikan *input* prototipe menjadi *output* akhir berupa energi listrik. Prototipe ini berisikan beberapa komponen utama, sesuai urutan kerjanya, yaitu adalah kolektor surya, heat exchanger, dan turbin uap. Kolektor surya akan menangkap energi radiasi sinar matahari untuk memanaskan fluida udara yang berada di dalamnya yang kemudian dibawa ke *heat exchanger*. *Heat exchanger* berupa *concentric tube anal* akan membuat panas yang dibawa fluida udara ke fluida kerja refrigerant-410A. Fluida kerja refrigerant-410A yang berubah menjadi uap akan mengalir ke arah turbin uap dan menggerakkan turbin yang dikopelkan satu poros dengan dinamo generator, sehingga ketika turbin melaksakan kerja, energi listrik yang dihasilkan. Adapun prototipe pembangkit listrik tenaga surya sistem turbin uap pada kondisi ideal teoritis mendapatkan energi *input* sebesar 2299,492 W dan menghasilkan energi *output* sebesar 676,500 W. Sementara itu pada kondisi non-ideal hasil akhir simulasi mendapatkan energi *input* sebesar 2267,109 W dan menghasilkan energi *output* sebesar 266,873 W. Efisiensi sistem pada kondisi ideal adalah 29% dan pada kondisi non-ideal adalah 12%.

Kata Kunci: Rancang Bangun, Kolektor Surya, *Heat Exchanger*, Refrigerant-410A, Energi Listrik.

PENDAHULUAN

Listrik adalah salah satu bagian penting dalam kehidupan manusia masa kini. Hampir semua peralatan yang digunakan dalam kehidupan kita sehari-hari sudah memerlukan listrik agar dapat digunakan. Karena listrik menjadi sangat penting sehingga dibutuhkan infrastruktur yang memadai untuk pembangkit listrik di setiap negara agar tidak mengalami kekurangan listrik. Di Indonesia, infrastruktur pembangkit listrik sudah memanfaatkan banyak energi dari yang terbarukan dan juga yang tidak terbarukan. Akan tetapi masih lebih banyak pembangkit listrik yang menggunakan energi tidak terbarukan seperti contohnya adalah batu bara yang merupakan bahan paling banyak di Indonesia. Hal ini merupakan hal buruk dikarenakan batu bara merupakan sumber daya alam yang tidak terbarukan dimana diperkirakan akan habis di 70 tahun mendatang (Lukman and Vegatama 2023).

Indonesia sudah lama memanfaatkan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan sudah menjadi salah satu pembangkit listrik yang paling banyak digunakan untuk menangani permasalahan energi yang semakin menipis setiap tahunnya. PLTS adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan sinar matahari dan dikonversikan menjadi energi listrik. Di Indonesia PLTS memiliki potensi yang cukup besar karena Indonesia merupakan negara kepulauan tropis yang berada di tengah garis khatulistiwa yang menyebabkan paparan sinar matahari yang stabil dan konsisten di hampir setiap bulan (Asy'ari, Jatmiko, and Angga 2012).

Adapun rancangan prototipe ini sudah pernah digagas oleh dengan fluida kerja ammonia (Kusuma, 2022). Selain itu, gagasan rancangan prototipe ini sempat diajukan pada Program Kreativitas Mahasiswa oleh menggunakan fluida kerja metana (Alejos 2017).

Dari hasil tersebut, penulis tertarik melaksanakan penelitian mengenai perancangan prototipe PLTS menggunakan sistem turbin uap dengan fluida kerja refrigerant-410A. Pada studi ini, penulis akan mendapatkan data hasil energi listrik dari prototipe PLTS yang telah dibuat kemudian akan dianalisis secara efisiensi keseluruhan sistem.

LANDASAN TEORI

Penelitian Terdahulu

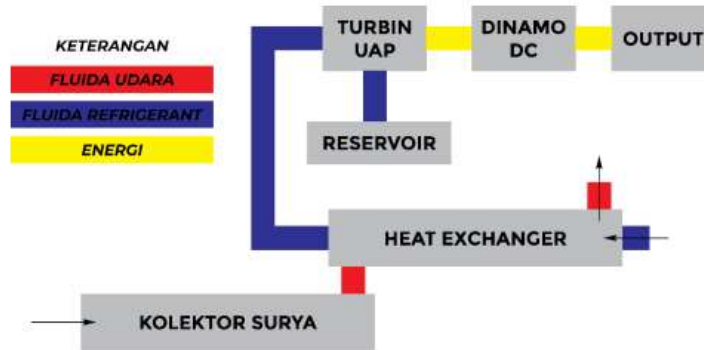
Sebuah sistem PLTS umumnya menggunakan panel surya sebagai komponen utamanya, baik untuk menerima dan mengkonversi sinar matahari menjadi energi listrik. Energi surya yang diterima berupa foton yang kemudian akan bereaksi dengan elektron dalam sel surya sehingga mampu berubah menjadi energi listrik. Intensitas cahaya sangat mempengaruhi proses ini, semakin tinggi intensitas cahaya yang diterima, maka semakin tinggi energi yang dibawa oleh foton sehingga energi listrik yang dihasilkan menjadi lebih besar.

Melakukan penelitian dengan membuat prototipe rancang bangun PLTS yang tidak memanfaatkan energi foton, tetapi energi panas dari panas matahari. Energi panas tersebut dipergunakan untuk memberikan entalpi yang cukup tinggi pada fluida kerja penelitian mereka berupa metana (CH_4) agar dapat menggerakkan turbin uap. Dengan critical temperature minus $82,5^\circ\text{C}$, penelitian tersebut mengharapkan dapat menghasilkan energi listrik setara 1000 W per 1 m^2 kolektor surya pelat datar dengan efisiensi di atas 40% (Alejos 2017).

Hingga saat ini, belum ada penelitian pada prototipe PLTS sejenis yang menggunakan refrigerant-410A sebagai fluida kerja.

Desain Kerja Prototipe PLTS

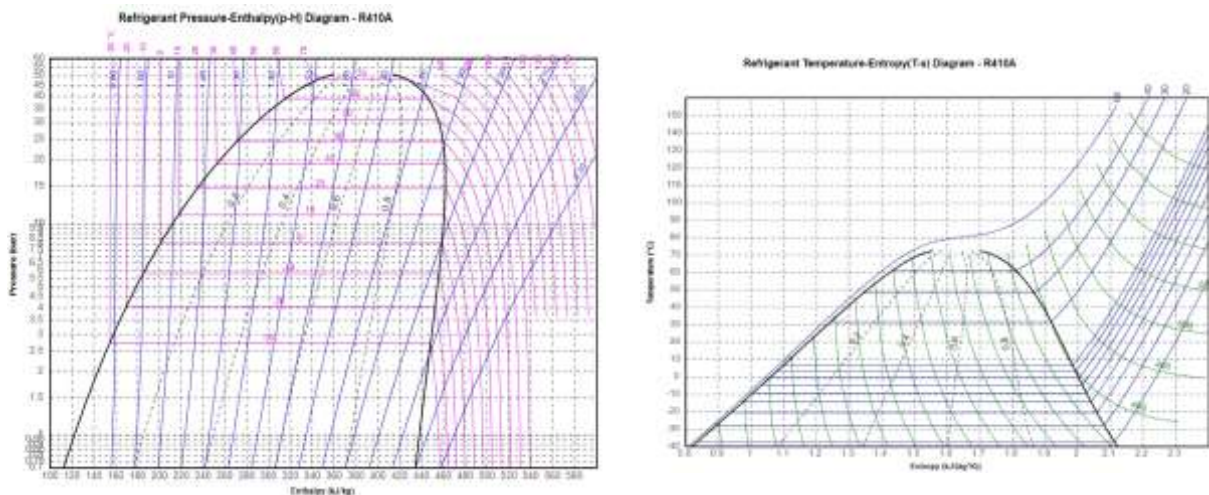
Prototipe yang dibuat oleh penulis tidak menggunakan panel surya sebagai komponen utama dalam mengkonversi energi surya menjadi energi listrik. Energi surya akan diterima oleh kolektor surya berbentuk pelat datar berbahan dasar besi. Energi panas matahari yang diterima pelat akan membuat temperatur permukaan pelat naik hingga sekitar 40°C . Temperatur ini akan digunakan untuk memanaskan fluida kerja agar memiliki entalpi yang cukup tinggi sehingga dapat menggerakkan turbin uap dimana akan dikonversikan menjadi energi listrik dengan bantuan generator. Sisa keluaran turbin uap kemudian akan dialirkan menuju ke pendingin agar disamakan kembali temperaturnya sesuai dengan keadaan atmosfer sekitar.



Gambar 2.1 Rancangan Prototipe PLTS Sitem Turbin Uap

Refrigrant-410A Sebagai Fluida Kerja

Penelitian ini menggunakan refrigerant-410A (R-410A) sebagai fluida kerja utama dikarenakan memiliki titik didih yang lebih rendah dibandingkan dengan air. R-410A tidak mudah bereaksi dengan zat asing sehingga sukar merusak komponen prortotipe PLTS. Fluida ini juga termasuk sering digunakan di Indonesia sehingga untuk mendapatkannya masih termasuk mudah. Berikut propeti dari R-410A. Berikut p-H dan T-s diagram R-410A.



Gambar 2.2 Diagram p-H dan T-s Refrigerant-410

Dengan mencatat kecepatan fluida kerja refrigerant-410A bergerak setelah melewati heat exchanger dan jari-jari pipa tempat fluida kerja uap refrigerant-410A sedang mengalir, maka laju aliran masa didapatkan dengan rumus berikut.

$$\dot{m} = \rho \pi R^2 v \dots \dots \dots (2.4)$$

METODE PENELITIAN

Variabel Penelitian

Variabel pada penelitian ini adalah:

Variabel bebas

Variabel bebas pada penelitian ini adalah jam pengambilan data, yaitu 11.00-12.00, 12.00-13.00, 13.00-14.00, dan 14.00-15.00.

Variabel Terikat

Variabel terikat pada penelitian ini adalah energi listrik (tegangan, arus dan daya listrik yang dihasilkan oleh prototipe PLTS).

Variabel Kontrol

Variabel kontrol penelitian ini adalah:

1. Menggunakan prototipe PLTS rancangan penulis.
2. Menggunakan fluida kerja R-410A.
3. Kolektor surya pelat datar memiliki ukuran 2 x 1 m.
4. Pengujian dilakukan selama 3 hari.

Metode Pengambilan Data

Penelitian dan pengujian ini menggunakan teknik eksperimental dan deskriptif dari informasi yang diperoleh dari pengujian. Informasi yang digunakan dalam tes ini meliputi:

1. Informasi penting, adalah informasi yang diperoleh secara langsung dari perkiraan dan pembacaan pada satuan instrumentasi dan alat penduga pada setiap pengujian.
2. Informasi pembantu, merupakan informasi mengenai atribut fluida kerja yang digunakan dalam pengujian
3. Informasi yang diperoleh dari hasil eksperimen ditangani dengan menggunakan rumusan yang ada, kemudian hasil estimasi tersebut disajikan dalam bentuk tabel dan diagram.

Batasan yang akan dinilai dalam tes ini adalah:

1. Energi listrik yang dihasilkan prototipe PLTS.
2. Efisiensi sistem prototipe PLTS secara keseluruhan.

Strategi pengujian dibagi menjadi beberapa fase, yaitu:

1. Perancangan dan pembuatan prototipe PLTS sistem turbin uap.
2. Pengujian prototipe PLTS dengan fluida kerja R-410A.

Alat dan Bahan

1) Bahan

Bahan yang akan di gunakan dalam penelitian dan pengujian ini adalah:

1. Refrigerant-410A



Gambar 3.1 Refrigerant-410A

Refrigerant-410A digunakan sebagai fluida kerja pada prototipe PLTS menggunakan sistem turbin uap pada penelitian ini.

2. Cat Hitam



Gambar 3.2 Cat Hitam

Cat Hitam digunakan untuk mengecat pelat datar

2) Alat

Penelitian dan pengujian ini menggunakan alat sebagai berikut:

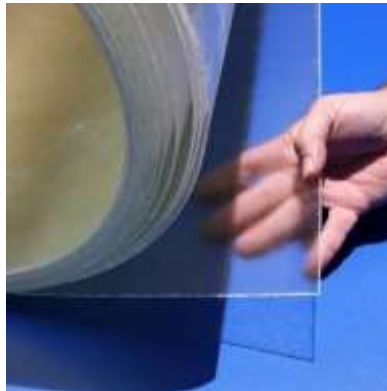
1. Pelat Datar



Gambar 3.3 Pelat Datar

Pelat datar yang digunakan berbahan dasar besi dengan tebal 6 mm dan ukuran 2 x 1 m, digunakan sebagai surya kolektor dari prototipe PLTS.

2. Polikarbonat



Gambar 3.4 Polikarbonat

Polikarbonat yang digunakan adalah bertipe *solid* dengan ukuran 2 x 1 m, digunakan sebagai isolator pada prototipe PLTS.

3. Pipa PVC dan Elbow PVC



Gambar 3.5 Pipa PVC



Gambar 3.6 Elbow PVC

Pipa PVC digunakan sebagai jalur fluida kerja memutar siklus dalam sistem prototipe PLTS. Elbow PVC digunakan untuk membuat jalur sistem sedemikian rupa sehingga memiliki siklus balik dan tertutup.

4. Blade Turbin Uap



Gambar 3.7 Blade Turbin Uap

Blade turbin uap digunakan untuk menangkap uap dalam sistem untuk kemudian diubah menjadi energi mekanik.

5. DC Generator



Gambar 3.8 DC Gernerator

Generator digunakan untuk menghasilkan listrik dari energi mekanik yang dihasilkan oleh turbin uap.

6. Termometer



Gambar 3.10 Termometer

Termometer digunakan untuk mengukur suhu pada titik-titik tertentu dalam sistem prototipe PLTS.

7. Voltmeter



Gambar 3.11 Termometer

Prosedur Pengujian

Dalam penelitian ini, prosedur yang dilakukan adalah mempersiapkan alat dan bahan lalu dilanjutkan dengan proses pengujian dengan rincian per tahapan sebagai berikut.

a. Persiapan Alat dan Bahan

Berikut adalah tahapan-tahapan persiapan alat dan bahan:

1. Pembuatan kolektor surya dengan menggunakan pelat datar berbahan dasar besi dengan tebal 6 mm dan ukuran 2 x 1 m yang dicat dengan warna hitam agar dapat menyerap energi panas matahari sebesar mungkin. Bagian bawah surya kolektor dilapisi dengan isolator dari bahan polikarbonat untuk meminimalisir energi panas yang bocor ke lingkungan. Energi panas yang terkumpul digunakan untuk memanaskan fluida kerja.
2. Pembuatan prototipe PLTS menggunakan sistem turbin uap dengan fluida kerja R-410A. Siklus uap Rankine dibuat dengan sederhana dimana *boiler* disubstitusi dengan surya kolektor yang akan menukarkan panas dengan fluida kerja R-410A dalam sistem. Pipa PVC disusun dan disambung sedemikian rupa sehingga membentuk sistem tertutup yang dapat dialiri oleh fluida kerja melewati komponen-komponen prototipe PLTS. Setelah mendapatkan entalpi dari surya kolektor, fluida dialirkan menggunakan kompresor yang ditempatkan setelahnya. Fluida kerja yang mendapatkan entalpi tinggi dan berubah bentuk menjadi uap akan dialirkan dalam pipa PVC menggunakan kompresor ukuran kecil menuju ke rancangan turbin uap sederhana. *Blade* turbin uap akan dikopel oleh generator DC pada urutan berikutnya sehingga dapat digerakkan oleh uap. *Blade* turbin uap yang memutar akan menghasilkan energi mekanik yang dapat dikonversikan menjadi energi listrik oleh

generator DC. Fluida kerja sisa akan dialirkan menuju ke ember plastik yang digunakan sebagai sistem pendingin dan penampung uap apabila sudah terpakai dan berubah fase kembali menjadi cair.

b. Proses Pengujian

Penelitian ini menggunakan rancangan yang dibuat oleh penulis untuk melakukan pengujian. Fluida yang digunakan adalah R-410A dengan prototipe PLTS sistem turbin uap. Saat semua alat dan bahan sudah dibuat dan siap digunakan maka pengujian dapat dilaksanakan sesuai dengan jam dan durasi pengujian, yaitu 11.00-12.00, 12.00-13.00, 13.00-14.00, dan 14.00-15.00.

Pertama fluida kerja dimasukkan ke dalam sistem pipa PVC pada prototipe PLTS. Kompresor dapat dihidupkan sehingga fluida kerja dapat mengalir. Pada setiap jam pengujian, dilakukan pengujian energi maksimum yang mampu diserap oleh surya kolektor dengan menggunakan kesetimbangan energi. Selanjutnya, di setiap titik proses uap Rankine diambil data temperaturnya untuk memperoleh gambaran entalpi yang dihasilkan. Berdasarkan data-data di atas, maka dapat dihitung kerja netto dan energi input dalam sistem yang kemudian dapat digunakan untuk menghitung efisiensi prototipe secara keseluruhan.

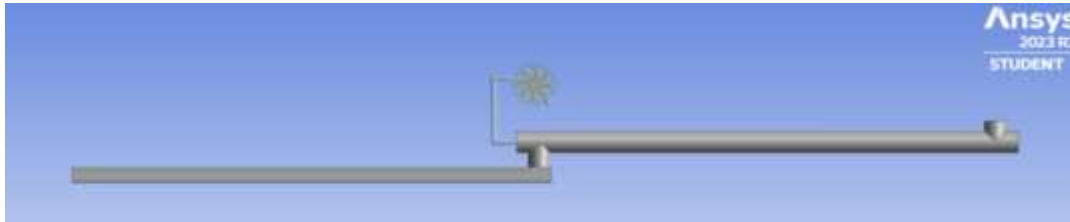
Pengujian dan pengambilan data dilakukan di setiap jam dan durasi yang sudah disebutkan. Pengujian dilakukan selama 3 hari untuk mendapatkan data rata-rata dari setiap hari. Pada akhir pengujian akan diperoleh informasi berupa energi yang dihasilkan oleh sistem dan efisiensi sistem prototipe PLTS secara keseluruhan dengan menggunakan fluida kerja R-410A.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisa Hasil Simulasi

1) Analisa Hasil *Geometry*

Pembuatan *geometry prototype* menggunakan ANSYS *design Modeller*. *Geometry* meliputi hasil susunan secara langsung dari tiga komponen utama dalam *prototype*, ini yaitu kolektor surya, *heat exchanger* dan turbin uap.

**Gambar 3.1** *Geometry Prototype*

2) Analisa Hasil Simulasi pada Domain Kecepatan

Dengan menggunakan *geometry* yang telah dibuat, dilakukan simulasi dengan *software* ANSYS CFX pada domain tekanan. Didapatkan nilai kecepatan tertinggi pada 5,024 m/s dan kecepatan terendah 0,502 m/s.

**Gambar 3.2** Hasil Simulasi *Prototype* pada Domain Kecepatan

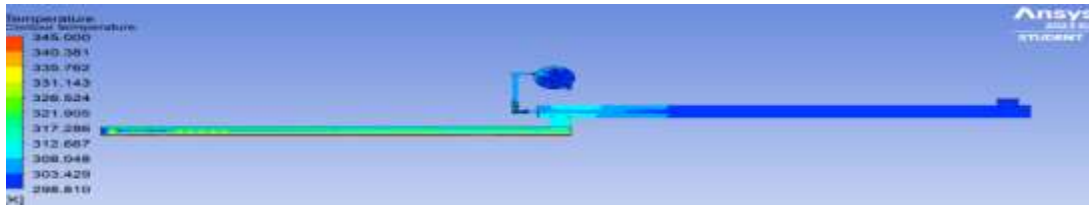
3) Analisa Hasil Simulasi pada Domain Tekanan

Dengan menggunakan *goemetry* yang telah dibuat, dilakukan simulasi dengan menggunakan *software* ANSYS CFX pada domain tekanan. Didapatkan tekanan tertinggi pada 101352,516 Pa dan nilai tekanan terendah 101321,781 Pa

**Gambar 3.3** Hasil Simulasi *Prototype* pada Domain Tekanan

4) Analisa Hasil Simulasi pada Domain Temperatur

Dengan menggunakan *goemetry* yang telah dibuat, dilakukan simulasi dengan menggunakan *software* ASYS CFX pada domain temperatur. Didapatkan nilai temperatur tinggi dengan nilai temperatur 345,000 K dan nilai terendah pada 298,810 K.



Gambar 3.4 Hasil Simulasi *Geometry* pada Domain Temperatur

B. Perbandingan Data Hasil Simulasi dengan Hasil Teoritis

Data hasil teoritis adalah merupakan murni hasil perhitungan dengan pengaplikasian persamaan yang sudah tercantum pada bab II. Hasil teoritis melambangkan hasil ideal yang dapat dicapai oleh prtotype. Sementara itu, data hasil simulasi merupakan data yang didapat setelah menganalisa hasil akhir dari simulasi pada ANSYS CFX yang didapat dari kondisi tidak ideal.

1) Kecepatan

Perbedaan kecepatan paling signifikan terjadi setelah uap refrigerant-410A keluar dari *noozle*.

Tabel 3.1 Perbandingan Data Kecepatan

Data	Lambang	Nilai Simulasi (m/s)	Nilai Teoritis (m/s)
Kecepatan fluida kerja refrigerant-410A setelah melewati <i>noozle</i>	V	3,015	2,500

2) Tekanan

Perbedaan tekanan yang dicantumkan adalah data tekanan maksimum dan tekanan minimum yang dapata dicapai fluida refrigerant-410A dalam prototype.

Tabel 4.2 Perbandingan Data Tekanan

Data	Lambang	Nilai Simulasi (Pa)	Nilai Teoritis (Pa)
Tekanan minimum fluida kerja refrigerant-410A	p1	101352,516	100000,000
Tekanan maksimum fluida kerja refrigerant-410A	p2	101321,781	150000,000

3) Temperatur

Data temperatur yang diambil adalah dari beberapa titik yang ada di dalam prototype yang dibutuhkan dalam perhitungan analisis data lebih lanjut.

Tabel 3.3 Perbandingan Data Temperatur

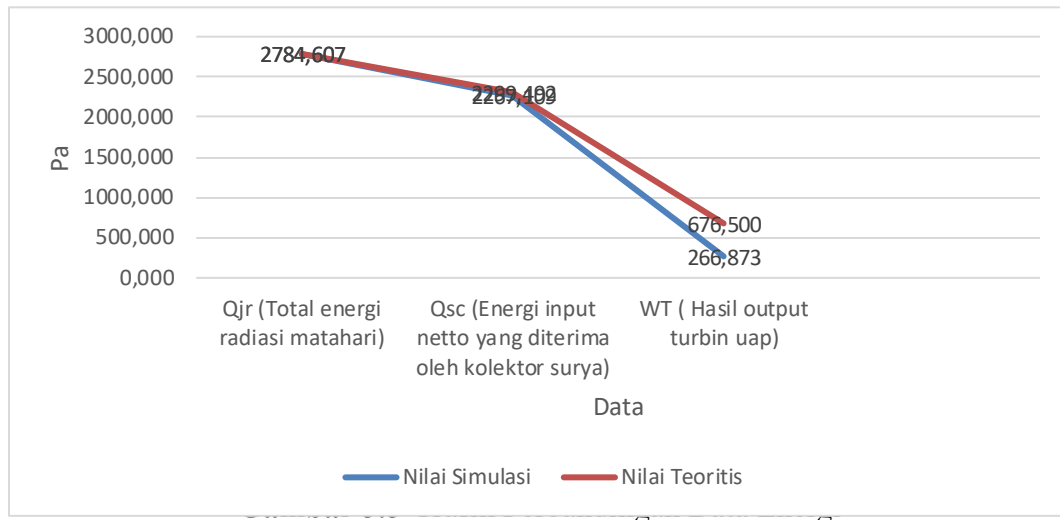
Data	Lambang	Nilai Simulasi (K)	Nilai Teoritis (K)
Temperature permukaan pelat datar	T_j/TS	345,000	345.000
Temperatur permukaan polikarbonat	T_i	317,286	315.000
Temperatur atmosfer	T_∞	300,000	300.000
Temperatur fluida kerja refrigerant-410A sebelum memasuki <i>heat exchanger</i>	$T_{i, in}$	298,810	300.000
Temperatur fluida kerja refrigerant-410A sesudah melewati <i>heat exchanger</i>	$T_{i, out}$	308,408	315.000
Temperatur permukaan pipa inlet <i>heat exchanger</i>	$T_{s, i}$	303,249	315.000

4) Energi

Data energi yang tercantum merupakan energi total dari radiasi matahari, energi input netto yang diterima oleh prototype, dan kerja urbin (energi output prototype)

Tabel 3.4 Perbandingan Data Energi

Data	Lambang	Nilai Simulasi (W)	Nilai Teoritis (W)
Total energi radiasi matahari	Q_{ir}	2784,607	2784,607
Energi input netto yang diterima oleh kolektor surya	Q_{sc}	2267,109	2299,492
Hasil output turbin uap	W_r	266,873	676,500

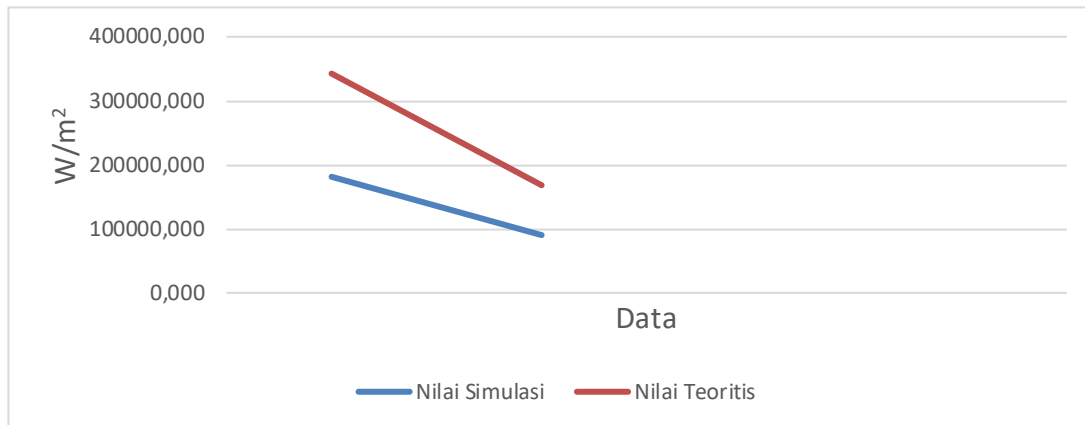


5) Laju Perbindahan Panas

Laju perpindahan panas terjadi pada fluida di dalam komponen kolektor surya dan juga heat exchanger yang disebabkan oleh, sesuai dengan masing-masing free convection dan juga counter-flow heat exchanger in a concentric tube annulus.

Tabel 4.5 Perbandingan Data Laju Perpindahan Panas

Data	Lambang	Nilai Simulasi	Nilai Teoritis	Satuan
Laju Perubahan panas kolektor surya ke fluida udara	q_{fc}	181280,240	342524,047	W/m^2
Laju Perubahan panas <i>heat exchanger</i> fluida kerja refrigerant-410A	q_i''	90188,774	168095,379	



Gambar 3.6 Grafik Perbandingan laju Perpindahan Panas

6) Efisiensi Prototype

Dengan membagi energi output dengan energi input yang diterima oleh prototype, maka nilai efisiensi prototype didapatkan

Tabel 4.6 Perbandingan Data Efisiensi Prototype

Data	Lambang	Nilai Simulasi (%)	Nilai Teoritis (%)
Efisiensi keseluruhan prototype	η_{system}	12%	29%

Dari tabel di atas, di dapat bahwa efisiensi maksimum yang dapat dicapai oleh prototype pada kondisi ideal adalah 29 %, sementara itu untuk efisiensi maksimum pada kondisi tidak ideal hasil simulasi adalah 12%.

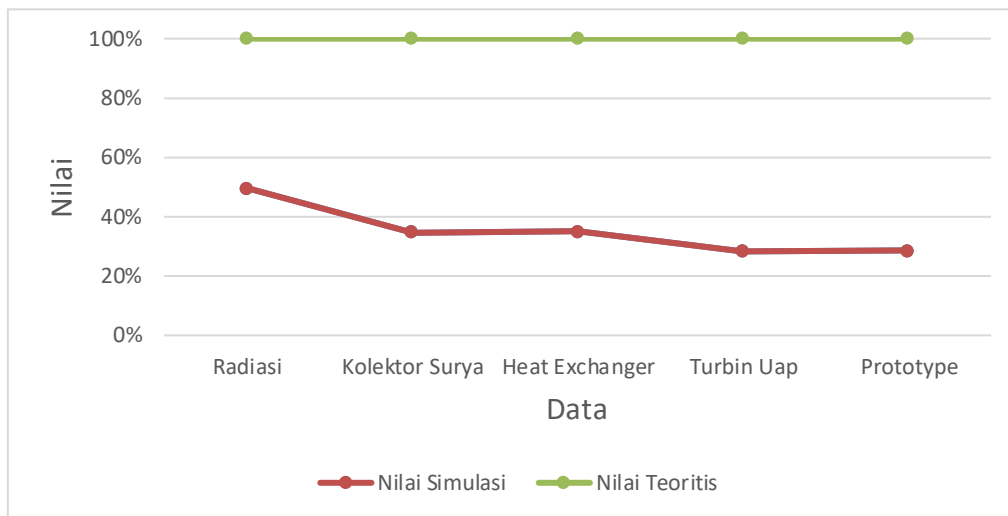
C. Perbandingan Ketepatan Hasil Simulasi dengan Hasil Teoritis

Apabila data ideal hasil teoritis dipakai sebagai acuan maksimum hasil data maksimum prototype, maka data hasil simulasi dapat dibagi dengan data teoritis tersebut untuk menciptakan perbandingan apabila prototype ada di dalam kondisi ideal maupun kurang ideal.

Tabel 4.7 Perbandingan Ketepatan Data Hasil Simulasi dengan Hasil Teoritis

Data	Nilai Simulasi (%)	Nilai Teoritis (%)
Radiasi	99%	100%

Kolektor Surya	53%	100%
<i>Heat Exchanger</i>	54%	100%
Turbin Uap	39%	100%
Keseluruhan <i>Prototype</i>	40%	100%



Gambar 3.7 Grafik Ketepatan Data Hasil Simulasi dengan hasil teoritis

Untuk radiasi netto, kondis ideal menghasilkan energi sebesar 2784,607 W, sementara kondisi tidak ideal hanya mampu menghasilkan 99% besarnya saja, yaitu pada 2784,607W.

Untuk kolektor surya, kondisi ideal menghasilkan laju perpindahan panas ke fluida kerja sebesar 342524,047 W/m², sedangkan saat tidak ideal hanya mampu menghasilkan 53% besarnya saja yaitu pada 181280,240 W/m².

Untuk heat exchanger, kondis ideal menghasilkan laju perpindahan panas ke refrigerant -410A sebesar 168095,379W/m², sementara kondisi tidak ideal hanya mampu menghasilkan 54% besarnya saja, yaitu pada 90188,774 W/m².

Untuk turbin uap, kondis ideal menghasilkan energi sebesar 676,500 W, sementara kondisi tidak ideal hanya mampu menghasilkan 39% besarnya saja, yaitu pada 266,873 W.

Untuk keseluruhan prototype, kondis ideal menghasilkan efisiensi energi output sebesar 29%, sementara kondisi tidak ideal hanya mampu menghasilkan 40% besarnya saja, yaitu pada 12% efisiensi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian berupa data teoritis dan hasil simulasi, maka dapat disimpulkan:

1. Prototype pembangkit listrik tenaga surya sistem turbin uap pada kondisi ideal teoritis mendapatkan energi input sebesar 2299,492 W dan menghasilkan energi output sebesar 676,500 W. Dengan demikian prototype pada kondisi ini memiliki efisiensi sebesar 29%.
2. Prototype pembangkit listrik tenaga surya sistem turbin uap pada kondisi non-ideal hasil akhir simulasi mendapatkan energi input sebesar 2267,109 W dan menghasilkan energi output sebesar 266,873 W. Dengan demikian prototype pada kondisi ini memiliki efisiensi sebesar 12%.
3. Dengan membuat hasil ideal teoritis sebagai hasil maksimum prototype yang kemudian dipakai sebagai pembandingan hasil simulasi, maka pada kondisi non-ideal prototype hanya dapat bekerja sebesar 40% efisiensinya saja.

Saran

Adapun saran yang diberikan setelah penelitian ini adalah:

1. Variasi jarak antara pelat datar besi dan polikarbonat dengan yang lebih kecil untuk mendapatkan hasil energi input yang lebih tinggi.
2. Variasi bentuk dan ukuran heat exchanger dengan memperbesar perbandingan antara outer pipe dan inner pipe agar mendapatkan taju perpindahan panas yang lebih tinggi.
3. Variasi bentuk dan ukuran turbin yang disesuaikan dengan keluaran kecepatan uap dari nozzle agar mendapatkan kerja yang maksimsus
4. Untuk dibuat secara langsung dan nyata di penelitian selanjutnya dikarenakan perbedaan kondisi ideal dengan non-ideal prototype yang tidak terlalu jauh yaitu 40% efisiensi maksimum pada kondisi non-ideal.

DAFTAR PUSTAKA

Alejos, Henry. 2017Pemerasan elektronik...kejahatan yang memicu booming “komunikasi sosial”..” *Universitas Nusantara PGRI Kediri* 01: 1–7. <http://www.albayan.ae>.

- Apriandi, Riyki, and Aqli Mursadin. 2016. "Analisis Kinerja Turbin Uap Berdasarkan Performance Test Pltu Pt. Indocement P-12 Tarjun." *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika* 1(1): 37–46.
- Asy'ari, Hasyim, Jatmiko, and Angga. 2012. "Intensitas Cahaya Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Sel Surya." *Simposium Nasional RAPI XI FT UMS*: 52–57.
- Boedoyo, Mohamad Sidik. 2013. "Potensi Dan Peranan Plts Sebagai Energi Alternatif Masa Depan Di Indonesia." *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia* 14(2).
- Lukman, and Meita Rezki Vegatama. 2023. "Konsentrasi Perekat Organik Pada Biobriket Berbahan Baku Limbah Serbuk Kayu." 7: 15844–53.
- Mustangin, Muhammad. 2018. "Mustangin_buku Turbin Uap." *TURBIN UAP Prinsip, start-up, perawatan, penunjangnya* xvi: 1–200.
- Povince, Green. 2022. "METODA TERBARU DALAM PEMBANGUNAN PLTS 1 MWp DI BALI Program Studi Magister Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana."
- Stefanus Neno. 2022. "Analisis Efisiensi Kolektor Surya Plat Absorber Tipe V-Corugated Dengan Variasi Diameter Dimple." *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro Dan Informatika* 1(3): 89–95.