

## UJI EKSPERIMENTAL DAN ANALISIS PERPINDAHAN PANAS PADA SERPENTINE CHANNEL UNTUK PENDINGIN PANEL SURYA MENGGUNAKAN FLUIDA NANO

### EXPERIMENTAL TEST AND ANALYSIS OF HEAT TRANSFER IN SERPENTINE CHANNEL FOR SOLAR PANEL COOLING USING NANOFUID

Ina Afriani<sup>1</sup>, Amri Abdulah<sup>2</sup>, Dede Ardi Rajab<sup>3</sup>, Muhamad Dani<sup>4</sup>, Deden nur alam<sup>5</sup>, Jaenudin<sup>6</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Wastukencana, Purwakarta

<sup>6</sup> Program Studi Teknik Industri, Sekolah Tinggi Teknologi Wastukencana, Purwakarta

Corresponding author: <sup>1</sup>inaafriani11@wastukencana.ac.id, <sup>2</sup>amri@wastukencana.ac.id,

<sup>3</sup>dedeardirajab@wastukencana.ac.id, <sup>4</sup>M,dani18@wastukencana.ac.id, <sup>5</sup>dedennur03@wastukencana.ac.id, <sup>6</sup>jaenudin@wastukencana.ac.id,

Abstrak. Potensi energi matahari di Indonesia cukup besar sebagai sumber energi terbarukan yang biasanya disebut panel surya atau teknologi fotovoltaik (PV) sebagai alat yang mampu mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik. Ketika panel surya beroperasi, hanya sekitar 15% dari radiasi matahari yang dikonversi menjadi energi listrik, sedangkan sisanya dikonversi menjadi panas. Intensitas radiasi matahari dan suhu udara di sekitarnya berpengaruh pada tegangan dan arus yang dihasilkan oleh sel surya. Kondisi ini memerlukan suatu alat yang dapat mengatur keadaan suhu pada panel surya. Penelitian ini dilakukan untuk mengatasi permasalahan panas pada panel surya melalui optimasi sifat termal fluida pendingin dengan menambahkan partikel  $\text{SiO}_2$  yang telah di uji SEM berukuran nano ke cairan dasar W/EG, yang umum disebut fluida nano (*nanofluids*), kemudian pembuatan *serpentine channel* sebagai alat penukar kalor juga turut dilakukan. Proses uji eksperimental dilakukan dengan variasi laju alir 1 hingga 3 LPM dan suhu masuk dijaga pada  $35^\circ\text{C}$ . Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju alir fluida pendingin tertinggi merupakan kondisi yang paling optimum. Bilangan Reynolds menunjukkan bahwa koefisien perpindahan panas terjadi peningkatan masing-masing sebesar  $1011,72 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $1321,72 \text{ W/m}^2\text{K}$ , dan  $2070,39 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Bilangan Nusselt cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya bilangan Reynolds nanofluida. Peningkatan Bilangan Nusselt mengindikasikan adanya peningkatan koefisien perpindahan panas, sedangkan Reynolds number menunjukkan laju aliran laminar dari cairan pendingin. Begitu pula dengan penurunan tekanan, penurunan tekanan meningkat seiring dengan meningkatnya laju aliran.

**Kata kunci:** Fluida nano  $\text{SiO}_2$ , panel surya, serpentine channel, SEM.

*Abstract. The potential for solar energy in Indonesia is quite large as a renewable energy source, which is usually called solar panels or photovoltaic (PV). PV technology is a tool that is able to convert solar radiation into electrical energy. When solar panels are operating, only about 15% of solar radiation is converted into electrical energy, while the rest is converted into heat. The intensity of solar radiation and the surrounding air temperature affect the voltage and current produced by solar cells. This condition requires a device that can regulate the temperature conditions on the solar panels. This research was carried out to overcome the heat problem in solar panels by optimising the thermal properties of the cooling fluid by adding nano-sized  $\text{SiO}_2$  particles that have been tested by SEM into the W/EG base fluid, which is usually called nanofluid, and then making serpentine channels as a means of heat exchange. The experimental test process was carried out with a flow rate variation of 1 to 3 LPM, and the inlet temperature was maintained at  $35^\circ\text{C}$ . The research results show that the highest cooling fluid flow rate is the most optimal condition. The Reynolds number shows that the heat transfer coefficient increases by  $1011.72 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $1321.72 \text{ W/m}^2\text{K}$ , and  $2070.39 \text{ W/m}^2\text{K}$ , respectively. The Nusselt number tends to increase as the Reynolds number of the nanofluid increases. An increase in the Nusselt number indicates an increase in the heat transfer coefficient, while the Reynolds number indicates the laminar flow rate of the coolant. Likewise with the pressure drop, the pressure drop increases as the flow rate increases.*

**Keywords:**  $\text{SiO}_2$  nanofluid, solar panel, serpentine channel, SEM.

## 1 Pendahuluan

Potensi energi matahari di Indonesia cukup besar sebagai sumber energi terbarukan yang biasanya disebut panel surya atau teknologi fotovoltaik (PV) sebagai alat yang mampu mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik. Ketika panel surya beroperasi, hanya sekitar 15% dari radiasi matahari yang dikonversi menjadi energi listrik, sedangkan sisanya dikonversi menjadi panas (Teo et al., 2012). Intensitas radiasi matahari dan suhu udara di sekitarnya berpengaruh pada tegangan dan arus yang dihasilkan oleh sel surya. Semakin rendah intensitas penyinaran matahari, semakin rendah pula arus dan tegangan yang dihasilkan. Tegangan yang dihasilkan oleh panel surya menurun seiring dengan kenaikan suhu. Setiap kenaikan suhu panel surya sebesar 1°C (mulai dari 25°C) akan menghasilkan sekitar 0,5% daya lebih rendah. Menanggapi permasalahan tersebut perlu melakukan atau memasang sistem pendingin yang dapat menjaga kestabilan suhu di panel surya. Alat penukar kalor dapat digunakan sebagai pendingin pada panel surya seperti saluran berliku (*serpentine channel*) yang menempel pada panel, dimana didalam saluran berliku rongganya dialiri oleh air dingin, sebagai sumber air dingin yang biasa digunakan untuk keperluan tersebut seperti chiller dan pendingin panel surya.

Penelitian ini mengusulkan model baru *serpentine channel* untuk mengoptimalkan parameter dalam sistem pendingin, seperti laju aliran fluida, jenis pendingin, dan model saluran *serpentine* yang digunakan. Cairan yang digunakan merupakan campuran dari air/etilin glikol sebagai fluida dasar pada cairan pendingin. Etilin glikol digunakan karena mempunyai titik didih yang tinggi. Tahap selanjutnya adalah pencampuran fluida dasar dengan nanopartikel SiO<sub>2</sub>.

Terbatasnya penelitian-penelitian yang menggunakan saluran berliku (*serpentine channel*) dan nanopartikel SiO<sub>2</sub> sebagai campuran dalam pembuatan fluida nano untuk aplikasi sebagai pendingin (*Nano-coolant*) menjadi latar belakang dilakukan penelitian ini. Sehingga fokus dari penelitian ini adalah optimasi perpindahan panas yang akan diterapkan sebagai fluida dingin pada sistem panel surya.

## 2 Tinjauan Pustaka

Panel surya atau fotovoltaik (PV) adalah yang paling sering direkomendasikan untuk diimplementasikan dalam rangka mengelola kebutuhan energi harian di seluruh populasi. Hal ini dikarenakan sel surya PV memiliki kemampuan untuk bekerja dengan radiasi yang menyebar dan memiliki efisiensi tertinggi dari sel surya generasi sebelumnya. Tergantung dari kondisi iklim dimana panel surya tersebut digunakan, panel surya memiliki efisiensi sekitar 6-20% (Chandrasekar et al., 2013), dalam mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik. Sisa radiasi matahari yang tidak terkonversi akan kembali menjadi energi murni, sehingga meningkatkan suhu sel PV. Penurunan performa dari sel surya PV dapat terhambat oleh peningkatan kecepatan angin matahari. Diketahui bahwa setiap kenaikan suhu sebesar 1°C dapat menurunkan efisiensi radiasi matahari sekitar 0,4-5% dan mencegah terjadinya korsleting radiasi matahari (Ramdani & Ould-Lahoucine, 2020). Oleh karena itu, penting untuk menurunkan suhu panel surya yang beroperasi agar modul PV dapat berfungsi dengan baik dan melindungi panel surya dari kerusakan akibat panas.

Beberapa pendekatan untuk pemecahan masalah panas pada panel surya telah pula diamati yaitu dengan optimasi dari komponen campuran untuk fluida nano sebagai fluida dingin pada saluran berliku (*serpentine channel*) untuk pendingin panel surya (Hossain et al., 2019; Siddiqui et al., 2022). Menurut Abdulah dkk, cairan campuran dari air/etilin glikol sebagai fluida dasar pada cairan pendingin mempunyai titik didih yang tinggi (Abdulah & Rajab, 2019). Beberapa dekade terakhir fluida nano yang merupakan campuran dari partikel logam berukuran nano yang terdispersi ke dalam cairan dasar menjadi perhatian peneliti karena keunggulannya dalam peningkatan kinerja perpindahan panas (Adun et al., 2021; Azmi et al., 2013; Fikri et al., 2021). Al-Waeli, Sopian, dkk menggunakan cairan nano air SiC sebagai cairan dasar dalam penelitian mereka tentang pendinginan fotovoltaik. Penambahan 3% berat SiC ke dalam air menghasilkan peningkatan densitas dan viskositas cairan sebesar 0,0082% dan 1,8%. Peningkatan ini menyebabkan kenaikan konduktivitas termal hingga 8,2%, sehingga meningkatkan sifat perpindahan panas. Solusi ini terbukti stabil dan cocok untuk penggunaan jangka panjang, karena konduktivitas termalnya tetap stabil dan hanya mengalami penurunan sebesar 0,003 W/m.K setelah enam bulan. Sebagai hasil dari penelitian ini, suhu fotovoltaik menurun sebesar 16°C, dan efisiensi listrik meningkat sebesar 24,12% (Al-Waeli et al., 2017).

Pada studi eksperimental yang dilakukan oleh Duangthongsuk dan Wongwises, konduktivitas termal dan viskositas dinamis dari cairan nano diselidiki. Nanopartikel TiO<sub>2</sub> didispersikan dalam air

dengan konsentrasi volume berkisar antara 0,2% hingga 2%, dan suhu berkisar antara 15 hingga 35°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa viskositas yang diukur dan konduktivitas termal cairan nano meningkat dengan konsentrasi partikel. Viskositas cairan nano menurun dengan peningkatan suhu. Selain itu, konduktivitas termal cairan nano meningkat dengan meningkatnya suhu (Duangthongsuk & Wongwises, 2009). Menurut Huang dkk, ketika suhu melampaui ambang batas yang telah ditentukan dan faktor lingkungan lainnya seperti arah dan kecepatan angin ikut berperan, tegangan rangkaian terbuka (Voc) dan arus hubungan singkat (Isc) sel surya menimbulkan risiko yang signifikan terhadap keluaran daya modul fotovoltaik (Huang et al., 2011).

Meningkatkan efisiensi listrik, memperpanjang umur panel surya, dan mencegah kerusakan sel adalah beberapa manfaat dari penerapan pendinginan yang tepat dalam sistem panel surya. Selain itu, kelebihan panas yang dihasilkan oleh proses dapat digunakan kembali sebagai energi panas bebas untuk berbagai aplikasi, termasuk perumahan, komersial, dan industri (Siecker et al., 2017). Murtadha dkk, melakukan penelitian yang bertujuan untuk mencapai efek pendinginan untuk panel fotovoltaik dengan menggunakan fluida nano titanium dioksida sebagai fluida pendingin dalam sistem sirkulasi dua laluan. Penelitian ini bertujuan untuk menurunkan suhu permukaan panel, meningkatkan kinerja sistem fotovoltaik/termal, dan meningkatkan efisiensi. Lima panel fotovoltaik digunakan dengan tiga konsentrasi cairan nano titanium oksida yang berbeda (1 wt%, 2 wt%, 3 wt%) dibandingkan. Dan semua percobaan dilakukan pada sudut kemiringan 30° dengan fluida berputar dalam dua lintasan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendinginan dengan konsentrasi cairan nano 3wt% memiliki efisiensi tertinggi (19,23%). Diperoleh bahwa variasi suhu antara output dan input pendingin bergantung pada konsentrasinya. Dilaporkan bahwa suhu untuk cairan nano titanium oksida (3 wt%, 2 wt%, dan 1 wt%) dan air masing-masing adalah 7,3; 7,8; 8,3 dan 8,6°C. Pada penelitian tersebut juga diperoleh hasil sistem pendingin mengurangi suhu permukaan sebesar 19,0%. Keseluruhan hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi nanofluida yang tinggi memberikan hasil terbaik dan menghasilkan manfaat ekstraksi panas yang lebih besar (Murtadha et al., 2022).

### 3 Metode Penelitian

#### 3.1 Fluida Pendingin

Fluida yang digunakan pada penelitian ini yaitu fluida nano, yang merupakan campuran dari cairan dasar air/ethylene glycol (W/EG) dengan rasio 10:90, kemudian ditambahkan nano partikel silikon dioksida ( $\text{SiO}_2$ ) sebanyak 1%. Selanjutnya, dilakukan observasi stabilisasi/sedimentasi.

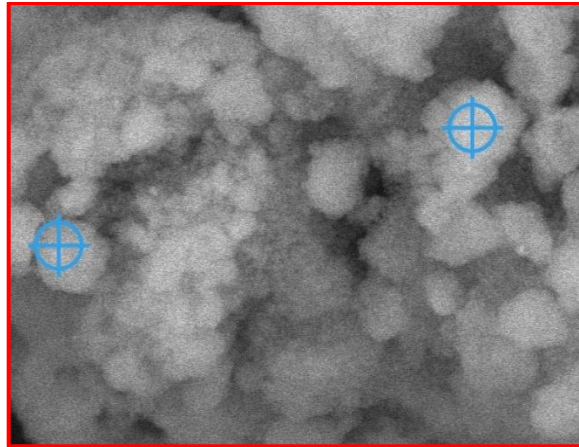
Persiapan fluida nano  $\text{SiO}_2$ +W/EG menggunakan metode dua tahap yaitu pertama pembuatan cairan dasar W/EG dengan menggunakan air distilasi. Tahap kedua yaitu pembuatan fluida nano dengan menambahkan partikel berukuran nano ke dalam cairan dasar. Proses persiapan cairan dasar dilakukan menggunakan magnetic stirrer dengan lama waktu proses +/- 1 jam.

Tata cara pencampurannya sebagai berikut :

- Memasukan cairan dasar Air (water) + Etilin Glikol (EG) dengan perbandingan 10:90. Proses pencampuran dilakukan dan pengadukan menggunakan magnetic stirrer. Selanjutnya ditambahkan partikel nano  $\text{SiO}_2$  dengan konsentrasi 1%vol. Proses pengadukan dengan magnetic stirrer tetap dilakukan.
- Kemudian dilakukan ultrasonikasi menggunakan ultrasonicator tujuannya yaitu untuk memecah aglomerasi atau penggumpalan fluida.
- Lalu, Fluida nano dimasukkan ke tabung reaksi dan hasilnya diamati.

#### 3.2 Pengujian SEM

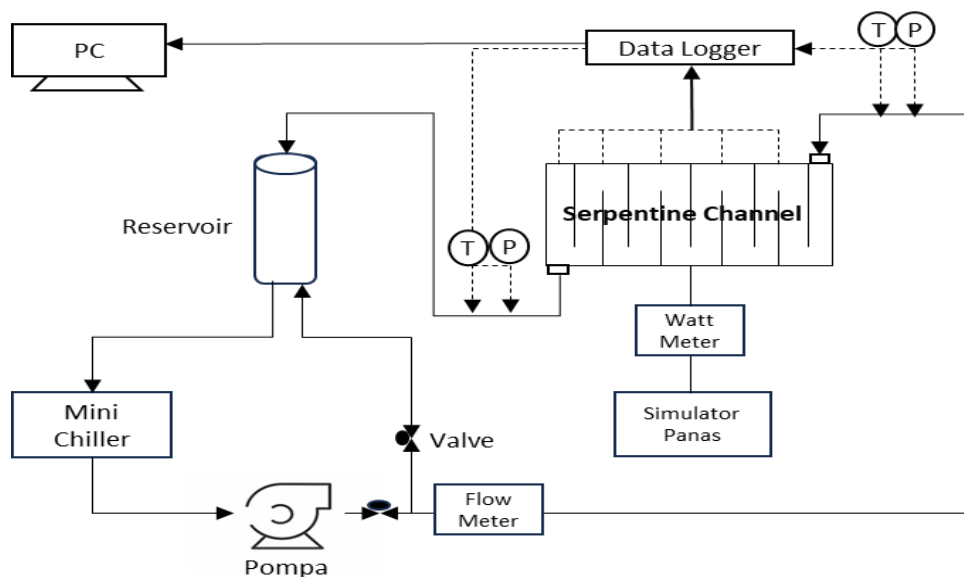
Pengujian SEM dilakukan untuk mengidentifikasi komposisi kimia dari nano partikel, Hasil pengujian SEM yang telah dilakukan menunjukkan morfografi permukaan serbuk fluida nano  $\text{SiO}_2$ . Diketahui bahwa pengujian tersebut dilakukan pada dua section yaitu section 1 dan section 2 serta hasil yang didapat menunjukkan bahwa serbuk fluida yang di uji merupakan serbuk fluida nano  $\text{SiO}_2$ , Dari analisa SEM-EDS pada area terpilih 1 terlihat kandungan Si = 45,17 wt.% dan kandungan O = 45,83 wt.% kemudian pada area terpilih 2 kandungan Si = 53,75 wt.% dan kandungan O = 46,25 berat.%. dan tidak terdapat campuran dari fluida lainnya. Gambar hasil uji SEM dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Hasil uji Scanning Electron Microscopy (SEM)

### 3.3 Peralatan Eksperimen

Perancangan saluran berkelu (*serpentine channel*) yang menempel pada panel surya sebagai sarana perpindahan kalor. Saluran berkelu dipersiapkan sebagai saluran untuk dilaluinya fluida, dan dibuat berkelu untuk memaksimalkan area sentuh dengan sumber panas yaitu dari simulator panas panel surya. Saluran dibuat dari hollow stainless steel dengan dimensi 10 x 20 mm dengan ketebalan 1,34 mm. Setiap sambungan di las menggunakan las argon (TIG Welding). Pada ujung saluran terdapat nipel yang berfungsi sebagai penghubung saluran dengan perpipaan atau selang. Dimensi keseluruhan saluran berkelu mengikuti dimensi untuk panel surya dengan kapasitas 20 Wp, dimana dimensi panel surya tersebut yaitu 35 cm x 45 cm x 1,5 cm. Kemudian dilakukan persiapan simulator panas yang terbuat dari pelat aluminium 5052 dengan ketebalan 10 mm dan dimensi panjang serta lebar sesuai dengan dimensi panel surya. Simulator panas ini berfungsi sebagai pengganti panas panel surya dalam kondisi sebenarnya (Ardi Rajab et al., 2023)



Gambar 3. 2 Skema alat uji eksperimental

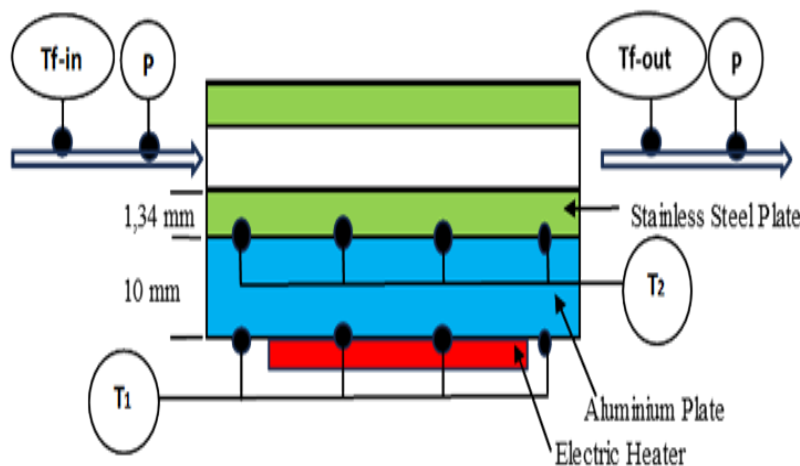
Peralatan uji eksperimen ini merupakan peralatan rakitan pendingin panel surya untuk menguji cairan pendingin pada serpentine channel untuk perpindahan kalor secara konveksi paksa menggunakan fluida nano  $\text{SiO}_2 + \text{W/EG}$  dengan konsentrasi partikel nano  $\text{SiO}_2$  yaitu 1%vol, variasi laju aliran massa fluida antara 1 hingga 3 LPM, pengambilan data di jaga pada suhu masuk ( $T_{in}$ ) sebesar  $35^\circ\text{C}$ , peralatan tersebut terdiri dari beberapa komponen utama yaitu:

1. Pompa dengan daya input 220V
2. Reservoir dengan kapasitas 1,5 liter
3. Mini Chiller

4. Simulator panas
5. Komponen perpipaan seperti :
  - a. Valve atau katup
  - b. Sock reducer
  - c. Tee
  - d. Elbow
  - e. Selang
6. Komponen elektrikal dan instrumentasi:
  - a. Sensor suhu (thermocouple type K; 0- 400°C)
  - b. Thermo Controller (PID REX C100)
  - c. Kontrol kecepatan (400 W; 220V; UX-52/003)
  - d. Kontrol daya (Analog voltage regulator TDGC2-2-2000Va)
  - e. Sensor laju aliran (flow meter) tipe turbin G1//2 model YF-B1 1-25L/min
  - f. Sensor tekanan (0-10 Bar)
  - g. Perekam data (multi-channel data logger)
  - h. Laptop

#### 4 Hasil dan Pembahasan

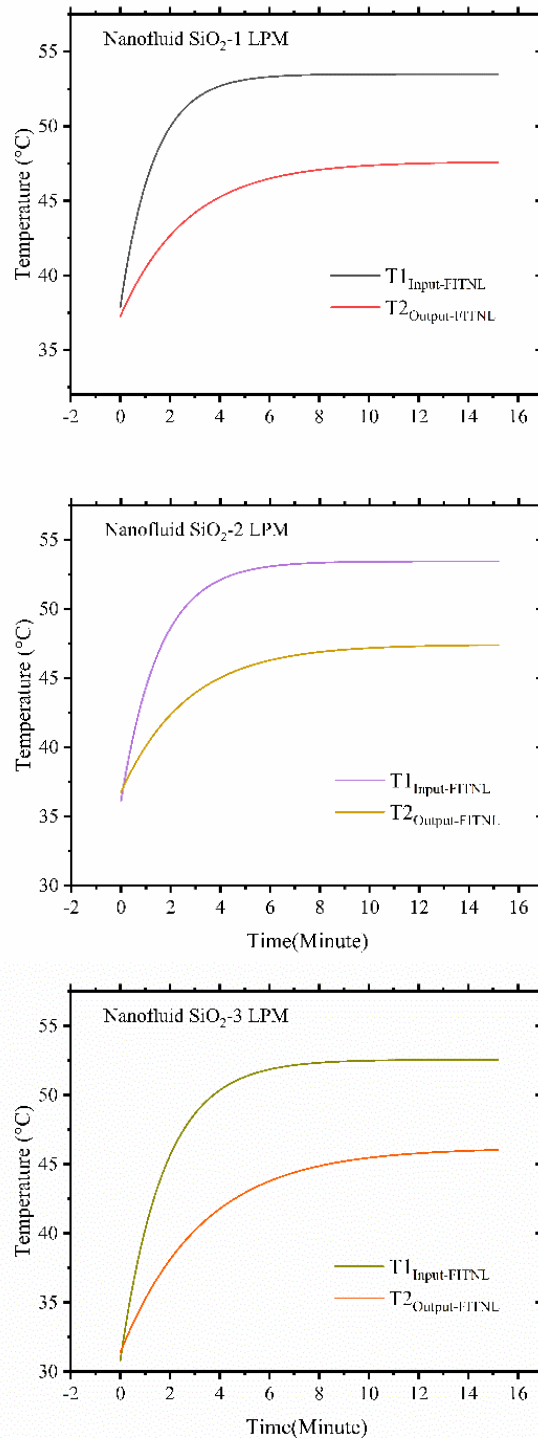
Percobaan awalnya dilakukan dengan menguji laju perpindahan panas dari pemanas listrik melalui pelat pemanas aluminium. Tegangan yang diberikan adalah 220 V dengan daya output pemanas 1000 W. Tegangan dapat disesuaikan dengan menggunakan pengatur tegangan yang dipasang pada rig eksperimen.



**Gambar 4.1** Skema perpindahan panas

Gambar 4.1 menunjukkan hasil pengujian ini, dimana titik dibawah gambar berwarna biru adalah suhu awal pemanas ( $T_1$ ) yang diukur menggunakan 4 buah termokopel tipe-K yang diposisikan pada bagian bawah plat, yaitu di dekat pemanas, Suhu permukaan pelat pemanas sama dengan Suhu keluar pemanas ( $T_2$ ) yaitu suhu keluar pelat heater, kemudian gambar berwarna hijau adalah pelat serpentine yang bersentuhan dengan suhu keluar ( $T_2$ ) yang diukur menggunakan empat termokopel tipe-K dengan tujuan untuk mendapatkan hasil yang seakurat mungkin. Fluida masuk ( $T_{f.in}$ ) mengalir pada pelat serpentine dan fluida keluar ( $T_{f.out}$ ). Pressure transmitter untuk mengukur tekanan dipasang untuk mengetahui tekanan pada setiap variasi laju alir.

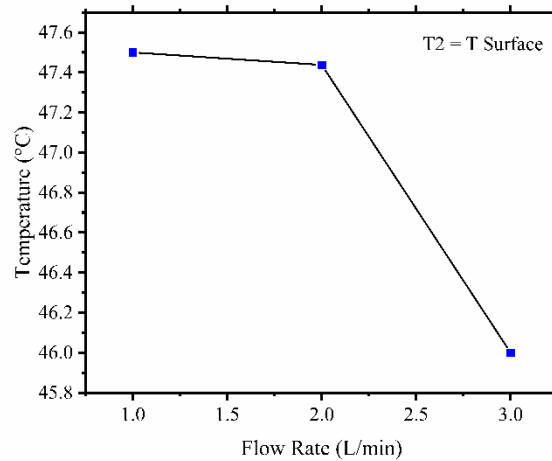
#### 4.1 Grafik Perbandingan T1-T2 Heater



**Gambar 4. 2** Grafik Perbandingan T1-T2 Heater 1,2,3 LPM

Dapat dilihat dari gambar 4.2 grafik perbandingan suhu masuk dan keluar pada penggunaan heater dengan laju alir 1,2,3 LPM. Terlihat bahwa suhu masuk lebih besar nilainya dibandingkan suhu keluar. Perbedaan suhu tertinggi pada plat heater terjadi pada saat proses pemanasan berjalan 10 menit, setelahnya kemudian menurun. Penurunan ini terjadi karena pemanasan dibatasi pada 60°C untuk setting pada controller di heater.

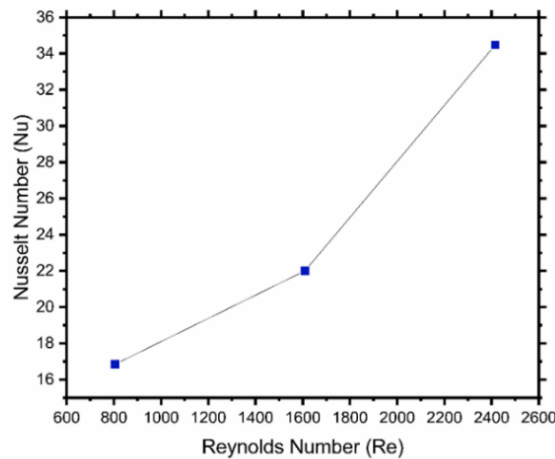
#### 4.2 Grafik Perbedaan suhu T2



**Gambar 4. 3** Grafik perbedaan suhu T2 antara 1,2,3 LPM

Gambar 4.3 menunjukkan perbedaan nilai suhu T2 yang terjadi pada proses pengujian eksperimental. Suhu T2 terendah terjadi pada saat proses menggunakan fluida nano SiO<sub>2</sub> pada laju alir 3 LPM, dan mencapai nilai tertinggi pada laju alir 1 LPM. Hasil ini menggambarkan bahwa pendinginan menggunakan fluida nano SiO<sub>2</sub> pada laju alir tertinggi yaitu 3 LPM adalah yang terbaik karena dapat menurunkan suhu pada permukaan yang berhimpitan dengan saluran serpentin. Dari grafik pada Gambar 4.3 terlihat bahwa penurunan suhu permukaan (T<sub>2</sub>) berbanding lurus dengan kenaikan laju alir. Semakin tinggi laju alir maka semakin menurun suhu pada permukaan.

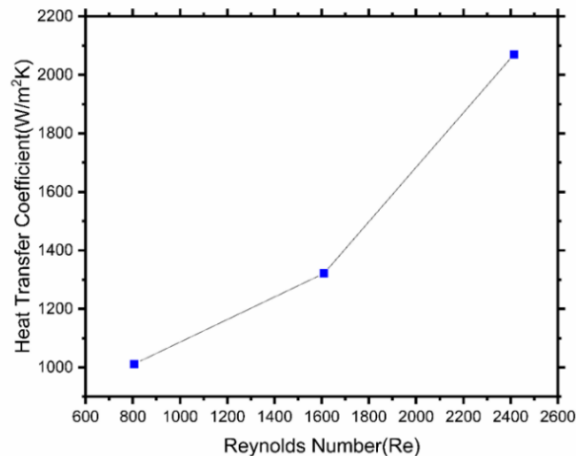
#### 4.3 Grafik Hubungan Bilangan Reynolds Dan Bilangan Nusselt



**Gambar 4. 4** Grafik hubungan bilangan reynolds dan bilangan nusselt

Variasi bilangan Nusselt dengan Bilangan Reynolds nanofluida digambarkan pada Gambar 4. 4 Hal ini dapat diamati bahwa bilangan Nusselt cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya bilangan Reynolds nanofluida. Peningkatan Nusselt Number mengindikasikan adanya peningkatan koefisien perpindahan panas, hal ini menjadikan parameter bahwa performa perpindahan panas dari sisi fluida lebih baik atau Nusselt number menunjukkan peningkatan performa konvektif pendingin, sedangkan Reynolds number menunjukkan karakteristik aliran, baik laminar maupun turbulen. Dalam percobaan ini, angka Reynolds menggambarkan aliran laminar dari cairan pendingin. Selain itu, angka ini berbanding lurus dengan laju perpindahan panas, yang berarti angka Reynolds yang lebih tinggi berarti laju perpindahan panas yang lebih besar. Laju perpindahan panas meningkat seiring dengan meningkatnya angka Reynolds.

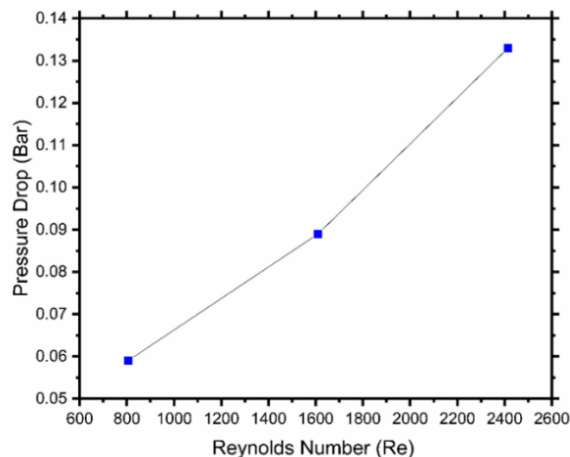
#### 4.4 Grafik Hubungan Bilangan Reynolds Dan Koefisien Perpindahan Panas



**Gambar 4. 5** Grafik hubungan bilangan reynolds dan koefisien perpindahan panas

Gambar 4.5 menunjukkan hubungan antara bilangan Reynolds dan laju perpindahan panas: semakin tinggi bilangan Reynolds, semakin tinggi pula nilai koefisien perpindahan panas. koefisien perpindahan panas meningkat dari 1011,72 W/m<sup>2</sup>K, 1321,72 W/m<sup>2</sup>K, dan 2070,39 W/m<sup>2</sup>K. Bilangan Reynolds berbanding lurus dengan kecepatan aliran masuk cairan pendingin, yang menunjukkan bahwa bilangan Reynolds yang lebih tinggi sesuai dengan kecepatan aliran masuk yang lebih besar. Ketika kecepatan meningkat, cairan nano mengalami peningkatan gerakan nanopartikel atau tumbukan antar partikel, sehingga meningkatkan koefisien perpindahan panas. Namun, perlu juga dicatat bahwa ketika laju aliran massa atau bilangan reynolds meningkat, begitu pula dengan peningkatan pada pressure drop.

#### 4.5 Grafik Hubungan Bilangan Reynolds Dan Pressure Drop



**Gambar 4. 6** Grafik hubungan bilangan reynolds dan pressure drop

Ketika cairan pendingin mengalir melalui saluran serpentin, terjadi penurunan tekanan. Untuk mengimbangi penurunan tekanan ini, sistem membutuhkan lebih banyak daya pemompaan. Gambar 4.6 mengilustrasikan bagaimana penurunan tekanan, kepadatan fluida nano yang sedikit lebih tinggi adalah alasan utama untuk sedikit peningkatan daya pemompaan. Selain itu, perbedaan tekanan dapat terlihat meningkat secara linier. Semakin tinggi laju alir maka, semakin tinggi pula pressure drop yang terjadi.



## 5 Kesimpulan

Penelitian uji eksperimental mengenai fluida nano SiO<sub>2</sub>+EGW dengan konsentrasi nanopartikel 1% dan rasio EGW 10% untuk meningkatkan performa perpindahan panas menghasilkan hasil sebagai berikut:

1. Seiring dengan naiknya angka Reynolds, koefisien perpindahan panas meningkat. Pada angka Reynolds terjadi peningkatan koefisien perpindahan panas masing-masing sebesar 1011,72 W/m<sup>2</sup>K, 1321,72 W/m<sup>2</sup>K, dan 2070,39 W/m<sup>2</sup>K.
2. Bilangan Nusselt cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya bilangan Reynolds nanofluida. Peningkatan Nusselt Number mengindikasikan adanya peningkatan koefisien perpindahan panas, hal ini menjadikan parameter bahwa performa perpindahan panas dari sisi fluida lebih baik atau Nusselt number menunjukkan peningkatan performa konvektif pendingin, sedangkan Reynolds number menunjukkan aliran laminar dari pendingin. Selain itu, angka ini berbanding lurus dengan koefisien perpindahan panas, yang berarti angka Reynolds yang lebih tinggi berarti koefisien perpindahan panas yang lebih besar.
3. Penurunan tekanan terlihat meningkat secara linier. Semakin tinggi laju alir maka, semakin tinggi pula pressure drop yang terjadi.
4. Hasil uji SEM menunjukkan bahwa serbuk fluida yang di uji merupakan serbuk fluida nano SiO<sub>2</sub> dan tidak terdapat campuran dari fluida lainnya.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia yang telah mendanai penelitian ini melalui program Penelitian Dosen Pemula tahun pelaksanaan 2023 dengan nomor kontrak 778/PP/STT-WKN/PWK/VII/2023.

## Referensi

- Abdulah, A., & Rajab, D. A. (2019). Optimasi Sistem Pendingin Untuk Penggunaan Kembali Ethylene Glycol. *SEMNAS TERA (Seminar Nasional Teknologi Dan Riset Terapan)*, September, 73–80.
- Adun, H., Mustapha Mukhtar, Micheal Adedeji, Terfa Agwa, Kefas Hyelda Ibrahim, Olusola Bamisile, & Mustafa Dagbasi. (2021). Synthesis and application of ternary nanofluid for photovoltaic-thermal system: Comparative analysis of energy and exergy performance with single and hybrid nanofluids. *Energies*, 14(15). <https://doi.org/10.3390/en14154434>
- Al-Waeli, A. H. A., Sopian, K., Chaichan, M. T., Kazem, H. A., Hasan, H. A., & Al-Shamani, A. N. (2017). An experimental investigation of SiC nanofluid as a base-fluid for a photovoltaic thermal PV/T system. *Energy Conversion and Management*, 142, 547–558. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.03.076>
- Ardi Rajab, D., Abdulah, A., Afriani, I., Taufik Ulhakim, M., & Waluyo, R. (2023). Optimasi Cairan Pendingin Fluida Nano (SiO<sub>2</sub>+EG/W) Menggunakan RSM-CCD pada Pendingin Panel Surya. *Jurnal Aplikasi Mekanika Dan Energi(AME)*, 9(2), 115–123.
- Azmi, W. H., Sharma, K. V., Sarma, P. K., Mamat, R., Anuar, S., & Dharma Rao, V. (2013). Experimental determination of turbulent forced convection heat transfer and friction factor with SiO<sub>2</sub> nanofluid. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 51, 103–111. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2013.07.006>
- Chandrasekar, M., Suresh, S., Senthilkumar, T., & Ganesh Karthikeyan, M. (2013). Passive cooling of standalone flat PV module with cotton wick structures. *Energy Conversion and Management*, 71, 43–50. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.03.012>

- Duangthongsuk, W., & Wongwises, S. (2009). Measurement of temperature-dependent thermal conductivity and viscosity of TiO<sub>2</sub>-water nanofluids. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 33(4), 706–714. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2009.01.005>
- Fikri, M. A., Faizal, W. M., Adli, H. K., & Mamat, R. (2021). *Characteristic of TiO<sub>2</sub> -SiO<sub>2</sub> Nanofluid With Water / Ethylene Glycol Mixture for Solar Application*. 2(2), 1–13.
- Hossain, M. S., Pandey, A. K., Selvaraj, J., Rahim, N. A., Islam, M. M., & Tyagi, V. V. (2019). Two side serpentine flow based photovoltaic-thermal-phase change materials (PVT-PCM) system: Energy, exergy and economic analysis. *Renewable Energy*, 136, 1320–1336. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2018.10.097>
- Huang, B. J., Yang, P. E., Lin, Y. P., Lin, B. Y., Chen, H. J., Lai, R. C., & Cheng, J. S. (2011). Solar cell junction temperature measurement of PV module. *Solar Energy*, 85(2), 388–392. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2010.11.006>
- Murtadha, T. K., Dil Hussein, A. A., Alalwany, A. A. H., Alwashdeh, S. S., & Al-Falahat, A. M. (2022). Improving the cooling performance of photovoltaic panels by using two passes circulation of titanium dioxide nanofluid. *Case Studies in Thermal Engineering*, 36. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.102191>
- Ramdani, H., & Ould-Lahoucine, C. (2020). Study on the overall energy and exergy performances of a novel water-based hybrid photovoltaic-thermal solar collector. *Energy Conversion and Management*, 222. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113238>
- Siddiqui, M. U., Shahab, M. F., Siddiqui, O. K., Ali, H., & Zubair, S. M. (2022). A comprehensive multi-physics model of photovoltaic modules with non-uniform solar concentration and serpentine cooling. *Energy Conversion and Management*, 271, 116266. <https://doi.org/10.1016/J.ENCONMAN.2022.116266>
- Teo, H. G., Lee, P. S., & Hawlader, M. N. A. (2012). An active cooling system for photovoltaic modules. *Applied Energy*, 90(1), 309–315. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.01.017>