

BAB III

METODE PERANCANGAN DAN EKSPERIMEN

3.1. Gambaran Umum

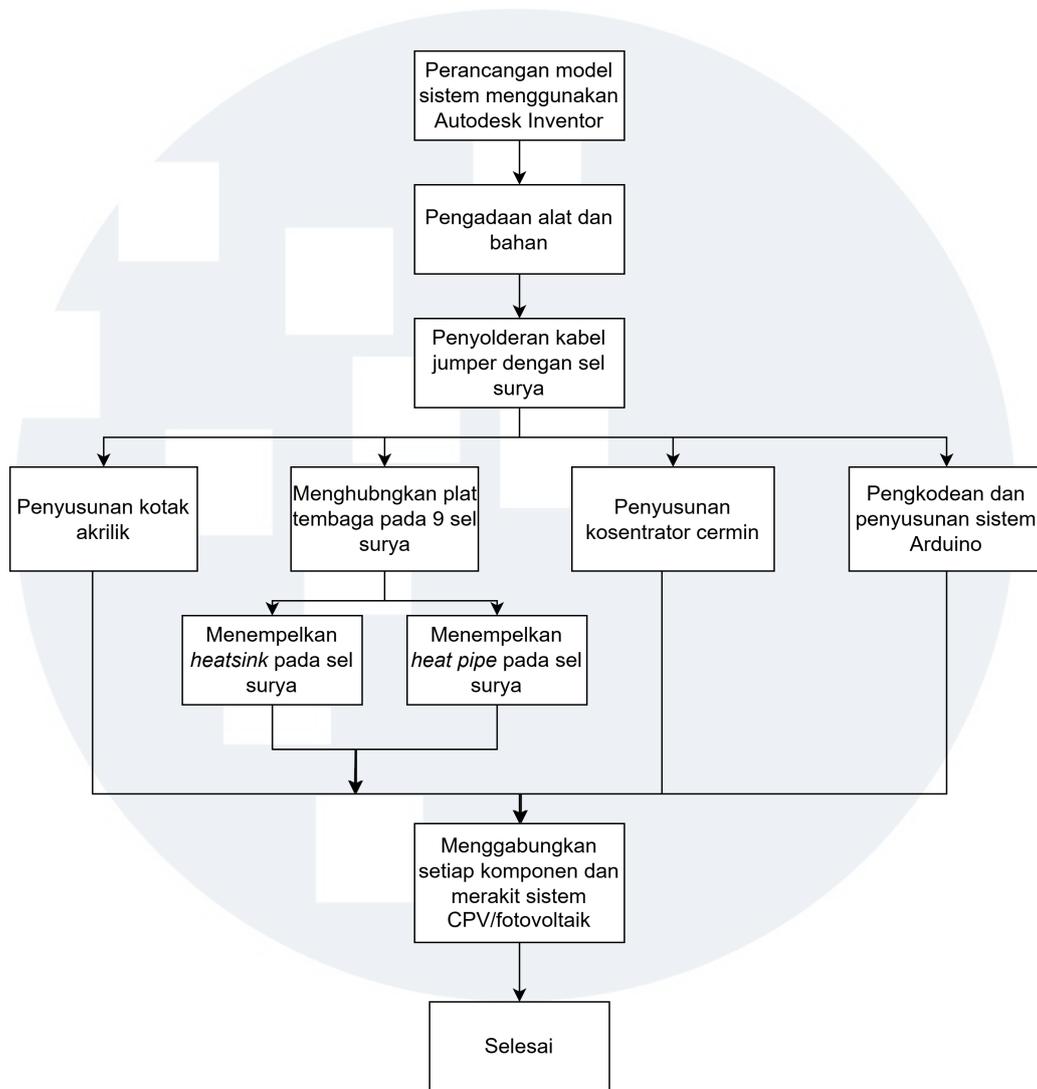
Pengerjaan studi ini dilakukan untuk kebutuhan dua proyek tugas akhir berbeda yaitu, proyek tugas akhir yang fokus pada dampak penerapan konsentrator pada sistem fotovoltaik konvensional dan proyek tugas akhir yang fokus pada dampak sistem pendinginan pada sistem CPV. Karya tulis ini menekankan fokus pada dampak penerapan sistem pendingin pada CPV; sementara, proyek tugas akhir mengenai dampak penerapan konsentrator pada sistem fotovoltaik dilakukan oleh Nicholas Robert dengan judul "Rancang Bangun Sistem Fotovoltaik Terkonsentrasi (CPV) dengan Konsentrator Reflektor *V-Trough*".

Untuk memenuhi kebutuhan kedua studi tersebut, dirancang beberapa variasi prototipe sistem fotovoltaik dengan perlakuan berbeda agar dapat saling dibandingkan. Pada karya tulis ini, seluruh sistem fotovoltaik yang diuji memiliki konsentrator dengan variasi penerapan sistem pendinginan *heatsink* dan *heat pipe*. Proses pengambilan data melibatkan pengukuran suhu dan tegangan listrik menggunakan yang dihasilkan oleh sistem fotovoltaik. Pelaksanaan tugas akhir dilakukan di kawasan Universitas Multimedia Nusantara selama Agustus 2024 hingga November 2024.

3.2. Metode Perancangan

Bagian ini menjelaskan proses deskripsi, alat dan bahan, serta proses perancangan sistem fotovoltaik. Gambar 3.1 menampilkan alur proses rancang bangun sistem fotovoltaik.

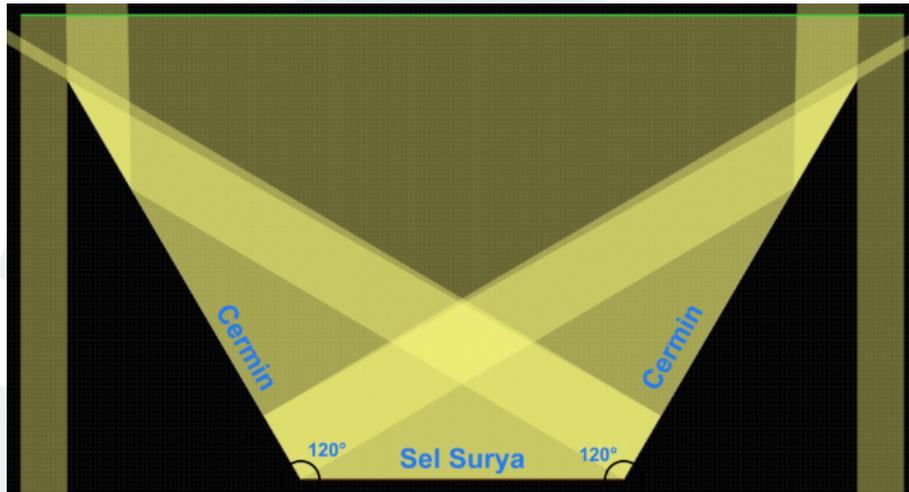
U N I V E R S I T A S
M U L T I M E D I A
N U S A N T A R A



Gambar 3.1 - Alur proses perancangan sistem fotovoltaik

3.2.1 Deskripsi Rancangan

Rancangan dasar sistem fotovoltaik berupa penggabungan 3 sel surya secara paralel dan diletakan pada box akrilik. Sesuai dengan variasi sistem fotovoltaik, diletakan sistem pendinginan *heatsink* dan/atau *heat pipes* pada sistem fotovoltaik. Untuk variasi yang menggunakan konsentrator (CPV), ditambahkan konsentrator berupa cermin pada sisi sistem fotovoltaik yang mampu memantulkan cahaya surya pada panel; konsentrator jenis ini disebut konsentrator *V-trough*. Jumlah variasi sistem yang diuji adalah 5 variasi, dengan 4 variasi sistem menggunakan konsentrator. Gambar 3.2 menunjukkan ilustrasi pencahayaan dan orientasi konsentrator cermin.



Gambar 3.2 - Ilustrasi pemantulan cahaya pada CPV

Pada Gambar 3.2, ditampilkan simulasi pencahayaan untuk mengilustrasikan pemantulan cahaya pada konsentrator. Bagian bawah rangkaian merupakan representasi dari sel surya yang menerima sinar. Di samping kiri dan kanan sel surya, terdapat cermin yang diletakan pada sudut 120° terhadap sel surya. Pemilihan sudut 120° didasarkan oleh nilai *concentration ratio* (CR) yang diinginkan pada sistem CPV; orientasi sudut kedua cermin 120° menghasilkan CR dengan nilai 2. Lebar sel surya yang digunakan pada simulasi adalah 69 mm, dan tinggi cermin pada simulasi adalah 100 mm. Konsekuensi dari orientasi dan dimensi cermin yang digunakan adalah terdapatnya cahaya surya yang mengenai ujung cermin dan tidak terpantulkan ke sel surya, melainkan ke cermin lainnya; meskipun terdapat cahaya yang terbuang, CR yang dihasilkan tetap bernilai 2.

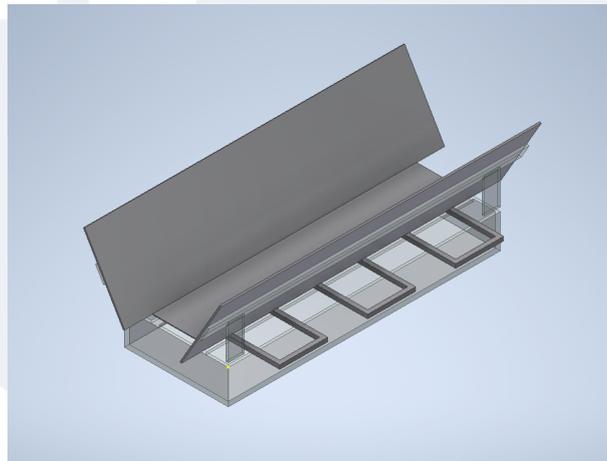
Breadboard digunakan untuk membantu menghubungkan koneksi antara panel, sensor INA219, dan Arduino UNO sehingga parameter tegangan dan arus rangkaian dapat dibaca oleh sensor dan diproses pada mikrokendali. Rangkaian tersebut ditempatkan pada kotak akrilik untuk menopang rangkaian sistem fotovoltaik serta meletakkan koneksi *breadboard* di dalamnya.

U N I V E R S I T A S
M U L T I M E D I A
N U S A N T A R A

3.2.2 Alat dan Bahan

1. Autodesk Inventor

Autodesk Inventor merupakan perangkat lunak pemodelan 3D (3 Dimensi) untuk keperluan desain mekanik, visualisasi, dan simulasi. Untuk memvisualisasikan rancangan sistem fotovoltaik, dibuat model 3D sistem fotovoltaik dengan sistem pendingin pasif dan konsentrator. Model tersebut menjadi panduan dalam proses perencanaan dan rancang bangun sistem. Gambar 3.3 menampilkan model sistem CPV pada Autodesk Inventor.



Gambar 3.3 - Model Autodesk Inventor sistem CPV

2. Arduino IDE

Arduino IDE adalah perangkat lunak yang digunakan untuk melakukan pemrograman kode pada mikrokontroler Arduino. Menggunakan Arduino IDE, ditulis sebuah program yang dapat memanfaatkan mikrokontroler Arduino UNO serta sensor INA219 untuk mengolah karakteristik aliran listrik suatu rangkaian sehingga mendapatkan parameter arus dan tegangannya. Program tersebut diunggah pada mikrokontroler Arduino UNO agar dapat melaksanakan fungsi tersebut; Arduino UNO juga akan memiliki perintah untuk mengirim kembali data tersebut agar dapat ditampilkan dalam bentuk tabel pada *Microsoft Excel*.

3. Arduino UNO

Arduino UNO merupakan perangkat keras mikrokontroler yang dapat diprogram untuk memenuhi berbagai fungsi/kebutuhan. Untuk melakukan pembacaan dan *logging* data tegangan serta arus dari rangkaian fotovoltaik, Arduino UNO diprogram dengan fungsi

yang berkaitan dengan sensor INA219. Karakteristik aliran listrik pada suatu rangkaian yang didapatkan dari sensor INA219 dapat diolah berdasarkan pemrograman pada Arduino UNO dan menampilkan parameternya berupa arus, tegangan, daya, dan energi. Gambar 3.4 adalah foto mikrokendali Arduino UNO.



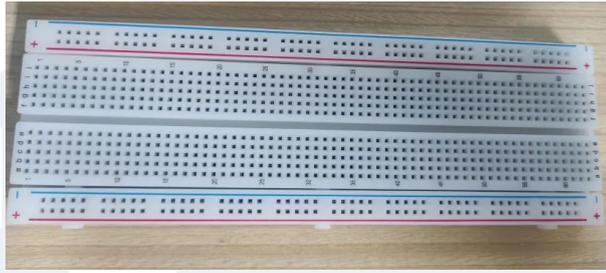
Gambar 3.4 - Arduino UNO

4. Microsoft Excel

Microsoft Excel adalah perangkat lunak yang mampu melakukan pembuatan atau perubahan *spreadsheet*. Menggunakan fungsi *Data Streamer*, Microsoft Excel dapat dihubungkan dengan mikrokendali Arduino UNO dan menerima data darinya. Sehingga data tegangan dan arus dapat dibaca oleh sensor INA219, diproses oleh Arduino UNO, dan ditransmisikan ke Microsoft Excel melalui fungsi *data streamer* dan ditampilkan dalam bentuk tabel. Tabel tersebut dapat kemudian diolah untuk menghasilkan grafik parameter listrik rangkaian fotovoltaik terhadap waktu.

5. Breadboard

Breadboard digunakan sebagai papan perancangan sirkuit sistem fotovoltaik. *Breadboard* tidak memerlukan penyolderan komponen listrik sehingga memudahkan proses penyesuaian dan perbaikan sirkuit sistem fotovoltaik dan memungkinkan pengujian konfigurasi sirkuit yang beragam. Gambar 3.5 adalah foto *breadboard* yang digunakan pada rangkaian sistem fotovoltaik.



Gambar 3.5 - *Breadboard*

6. Sel Surya

Dalam rancangan sistem fotovoltaik, digunakan sel surya dengan spesifikasi 5 V, 1.1 W. Untuk merancang satu modul sistem fotovoltaik, diperlukan 3 sel surya yang dihubungkan secara paralel. Dengan 5 variasi rancangan sistem fotovoltaik, maka diperlukan sebanyak 15 sel surya secara total. Gambar 3.6 merupakan foto salah satu sel surya yang digunakan pada sistem fotovoltaik.

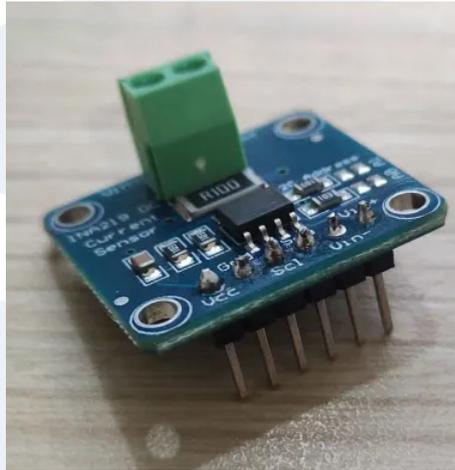


Gambar 3.6 - Sel surya

7. Sensor INA219

Sensor INA219 merupakan modul listrik yang mampu melakukan pemantauan parameter tegangan dan arus pada suatu rangkaian listrik. Menggunakan sensor INA219, parameter arus dan tegangan dari rangkaian fotovoltaik dapat terbaca dan informasi tersebut dapat dikirimkan ke Arduino IDE untuk ditampilkan.

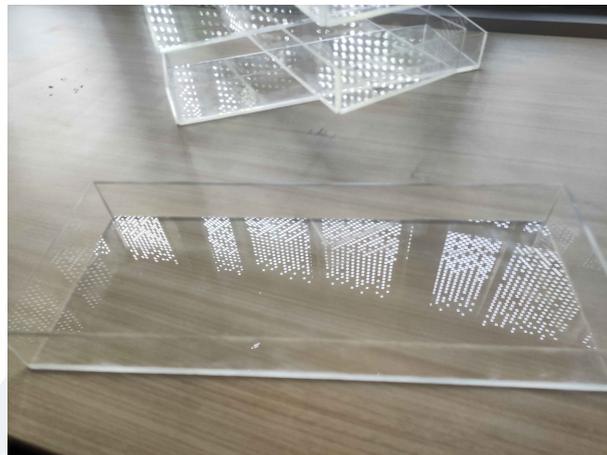
U N I V E R S I T A S
M U L T I M E D I A
N U S A N T A R A



Gambar 3.7 - Sensor INA219

8. Akrilik

Akrilik digunakan sebagai kontainer sistem fotovoltaik. Digunakan 5 lembar akrilik dengan ukuran 40 cm x 40 cm untuk menyusun kotak. Lembaran akrilik dipotong agar dapat dibentuk menjadi 5 kotak dengan dimensi 34 cm x 13 cm x 4 cm. Terdapat juga potongan akrilik dengan ukuran kecil yang berfungsi sebagai penopang cermin dan juga potongan akrilik yang menopang sel surya. Gambar 3.8 merupakan foto potongan akrilik yang sudah dibentuk menjadi penopang sistem fotovoltaik.



Gambar 3.8 - Potongan akrilik dalam proses perakitan menjadi penopang

9. Kabel Jumper

Kabel jumper digunakan untuk menghubungkan koneksi elektronika rangkaian *fotovoltaik*. Untuk membuat koneksi listrik, digunakan *breadboard* untuk membuat sirkuit listrik yang dapat diatur. Untuk koneksi listrik yang memerlukan hubungan kuat,

diperlukan penyolderan komponen elektronik tersebut dengan kabel. Gambar 3.9 adalah foto kabel jumper yang digunakan pada rancang bangun sistem fotovoltaik.



Gambar 3.9 - Kabel jumper

10. *Thermal Tape*

Untuk merekatkan komponen sistem fotovoltaik, digunakan *thermal tape*. *Thermal tape* dipilih sebagai perekat untuk memastikan konduksi panas antar material tidak terhambat. Pilihan penggunaan *thermal tape* adalah untuk memastikan perekatan komponen fotovoltaik tidak menghambat proses konduksi panas. Gambar 3.10 adalah foto *thermal tape* yang digunakan pada rancang bangun sistem fotovoltaik.



Gambar 3.10 - *Thermal tape*

11. Cermin

Cermin berperan sebagai konsentrator sinar matahari pada rancangan CPV. Satu cermin memiliki dimensi 10 cm x 10 cm. Untuk menjadi konsentrator pada satu sisi, diperlukan 4 cermin yang dihubungkan secara berurutan sehingga membuat cermin dengan ukuran 10

cm x 40 cm. Cermin dipasang dengan sisi panjang pada bidang horizontal dengan sudut 120° terhadap panel fotovoltaik pada salah satu sisi. Rangkaian cermin serupa diposisikan pada sisi paralel rangkaian CPV untuk membuat 2 konsentrator. Jumlah cermin pada satu rangkaian CPV adalah 8, sehingga jumlah cermin yang diperlukan untuk menyusun 4 variasi dengan konsentrator adalah 32. Gambar 3.11 adalah foto 4 cermin yang sudah dipasang untuk digunakan sebagai konsentrator.



Gambar 3.11 - Cermin yang dipasang berurutan

12. *Heatsink*

Komponen pendinginan *heatsink* yang digunakan memiliki ukuran 4 cm x 4 cm x 1.1 cm dan terbuat dari aluminium. *Heatsink* yang digunakan merupakan *heatsink* motor elektrik yang tersedia dalam pasar. Pemilihan material aluminium berbeda dengan komponen lain yang menggunakan material tembaga. Material aluminium memiliki kemampuan konduksi yang sedikit lebih rendah dibandingkan dengan material tembaga, namun keberadaan *heatsink* tembaga dengan spesifikasi yang sesuai untuk keperluan proyek sulit ditemukan karena ketersediaan yang rendah atau harga yang jauh lebih besar dibandingkan dengan *heatsink* aluminium. Berdasarkan penelitian oleh Arifin dkk., pemilihan material sistem *heatsink* antara tembaga dan aluminium tidak memiliki pengaruh signifikan [8]; sehingga dipilih *heatsink* aluminium karena ketersediaannya yang lebih terjangkau. Gambar 3.12 adalah foto *heatsink* yang digunakan sebagai salah satu sistem pendingin.

U N I V E R S I T A S
M U L T I M E D I A
N U S A N T A R A



Gambar 3.12 - *Heatsink* 4x4cm

13. Pipa Tembaga

Pipa tembaga digunakan untuk merancang komponen pendingin pasif *heat pipe*. Pipa tembaga dibentuk menjadi *loop* dengan ukuran 20 cm x 6 cm yang diisi dengan air *deionized* sebanyak 2 mL. Air *deionized* berperan sebagai konduktor panas yang memungkinkan terjadinya pertukaran panas. Air *deionized* digunakan karena sifatnya yang tidak mengandung ion sehingga mencegah terjadinya oksidasi pada tembaga. Gambar 3.13 adalah foto pipa tembaga sebelum diolah menjadi *heat pipe*.



Gambar 3.13 - *Roll* pipa tembaga

14. Plat Tembaga

Sebagai perantara antara panel dengan sistem pendingin pasif yang di-instalasi, digunakan plat tembaga yang dipasang pada bagian belakang sel surya. Plat tembaga dipasang menggunakan *thermal tape* dan kemudian komponen pendinginan pasif akan

dihubungkan dengan plat tembaga. Selain dari itu, plat tembaga juga membantu memperluas area permukaan konduksi panas dari panel menuju sistem pendingin. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, plat tembaga dipotong untuk mengakomodasi ukuran sel surya serta posisi kutubnya. Gambar 3.14 adalah foto plat tembaga sebelum dipasang pada bagian belakang sel surya.



Gambar 3.14 - Plat tembaga

15. *Super Glue*

Untuk menghubungkan akrilik menjadi kotak dan memasang penopang cermin, digunakan *super glue* sebagai perekat. Dalam keperluan perancangan sistem fotovoltaik, penggunaan *super glue* mampu memastikan kotak akrilik menahan beban cermin, panel, serta sistem pendingin.

16. Solder dan Timah

Solder dan timah digunakan untuk menghubungkan koneksi elektronik dengan kuat. Komponen elektronika yang ingin dihubungkan akan ditempelkan; kemudian, ujung solder dan timah ditempelkan pada koneksi tersebut agar timah meleleh dan menutupi koneksi komponen. Saat timah sudah kembali menjadi padat, terbentuk hubungan listrik yang berfungsi dan tidak mudah terlepas. Gambar 3.15 adalah foto solder dan timah yang digunakan pada penyolderan komponen elektronika.

U N I V E R S I T A S
M U L T I M E D I A
N U S A N T A R A



Gambar 3.15 - Timah (kiri) dan solder (kanan)

17. Termometer Tembak Inframerah (IR)

Untuk melakukan pengukuran suhu permukaan panel fotovoltaik, digunakan termometer tembak *Krisbow* IR QREM45. Spesifikasi dari termometer adalah rentang pengukuran suhu -50°C - 380°C dan akurasi $\pm 2\%$. Dalam proses pengambilan data, termometer tembak IR digunakan untuk mengukur suhu permukaan panel. Gambar 3.16 adalah foto termometer inframerah yang digunakan dalam pengukuran suhu.



Gambar 3.16 - Termometer tembak inframerah (IR)

18. Multimeter

Multimeter merupakan perangkat yang digunakan 3 jenis parameter listrik berupa arus, tegangan, dan hambatan listrik. Multimeter digunakan untuk menguji produksi arus listrik konsisten pada setiap sel surya. Proses tersebut dilakukan untuk mengidentifikasi sel surya yang rusak karena produksi arus akan rendah dibandingkan dengan sel surya

yang berfungsi dengan benar. Gambar 3.17 menunjukkan multimeter yang digunakan untuk validasi sel surya.



Gambar 3.17 - Multimeter

19. USB Hub

USB Hub merupakan alat yang mampu meningkatkan jumlah port USB yang dapat terhubung pada suatu komputer. USB Hub digunakan untuk mempermudah koneksi kabel Arduino dengan laptop pada proses *logging* data parameter listrik. Gambar 3.18 adalah foto USB Hub yang digunakan dalam percobaan.



Gambar 3.18 - USB Hub

3.2.3 Rancang Bangun Sistem

Proses rancang bangun sistem fotovoltaik dimulai dengan perancangan model sistem menggunakan Autodesk Inventor. Setelah model dibuat Autodesk Inventor, pengadaan alat dan bahan dilakukan. Saat alat dan bahan sudah didapatkan, proses rancang bangun dimulai dengan menyolder kabel jumper pada setiap sel surya. Selanjutnya, proses penyusunan kotak akrilik, penghubungan plat tembaga pada sel surya, penyusunan

konsentrator cermin, dan penyusunan rangkaian sensor suhu Arduino dilakukan; langkah-langkah tersebut dilaksanakan secara paralel. Untuk sel surya yang ditempelkan plat, 3 sel dipasang *heatsink*, 3 sel dipasang *heat pipe*, dan 3 sel dipasang kedua sistem pendingin pasif. Setelah setiap komponen sistem fotovoltaik sudah tersusun dan siap, maka setiap komponen dapat dirakit dan digabungkan menghasilkan sistem fotovoltaik konvensional, sistem CPV, sistem CPV dengan pendingin *heatsink*, sistem CPV dengan pendingin *heat pipe*, dan sistem CPV dengan kedua sistem pendingin. Gambar 3.19 dan Gambar 3.20 menampilkan tampak depan dan samping sistem CPV yang lengkap dengan pendingin *hybrid*.



Gambar 3.19 - Tampak depan sistem CPV lengkap



Gambar 3.20 - Tampak samping sistem CPV lengkap

3.3. Cara Kerja Sistem

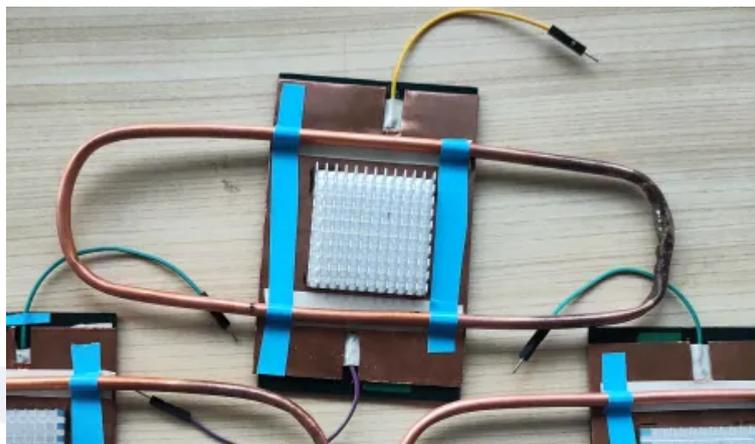
Sistem fotovoltaik memiliki berbagai subsistem yang bekerja, maka pembahasan terbagi untuk setiap subsistem. Bagian dari sistem Untuk mempermudah pembacaan, penjelasan cara kerja sistem terbagi menjadi 3 bagian yang merangkum cara kerja konsentrator, sistem pendinginan, dan sensor INA219.

3.3.1 Konsentrator

Sistem fotovoltaik konvensional bekerja dengan mengkonversi sinar matahari menjadi listrik melalui efek fotovoltaik. Penambahan konsentrator cahaya mampu meningkatkan pasokan cahaya yang dapat diterima oleh sel surya, sehingga mempromosikan generasi aliran listrik. Untuk sistem CPV yang dirancang, konsentrator yang digunakan berupa 2 gabungan cermin yang diletakan pada sisi samping sel surya. Cermin dimiringkan dengan sudut 120° terhadap bidang horizontal sel surya dan ditopang oleh batang akrilik. Dengan orientasi tersebut, maka dihasilkan nilai CR 2 yang diterima oleh sel surya.

3.3.2 Sistem Pendinginan

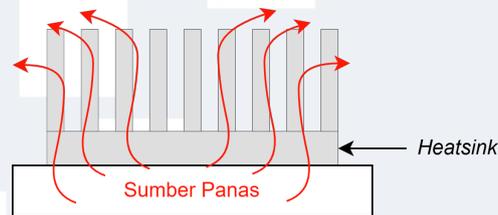
Pada sistem CPV yang dirancang, terdapat 2 jenis alat pendinginan pasif yang digunakan berupa sistem pendinginan *heatsink* dan *heat pipe*. Untuk mendukung proses perpindahan panas dari sel surya menuju alat pendingin, digunakan plat tembaga yang ditempelkan pada bagian belakang sel surya sebagai perantara antara sel surya dengan alat pendingin. Plat tembaga dipilih karena sifat konduktivitas panasnya yang tinggi sehingga mendukung perpindahan panas dari sel surya. Gambar 3.21 menunjukkan sistem pendingin *heatsink* dan *heat pipes* yang dipasang pada belakang sel surya.



Gambar 3.21 - Sistem pendingin *hybrid* pada sel surya

Heatsink merupakan komponen pendinginan pasif yang membantu pelepasan panas dengan meningkatkan luas permukaan. *Heatsink* memiliki sirip sehingga luas permukaan yang dapat melepaskan panas meningkat. Panas dari suatu sumber akan berpindah menuju

sirip *heatsink* dan dilepaskan ke lingkungan, sehingga terjadi pendinginan pada sumber [6]. Dalam sistem CPV, *Heatsink* dipasang pada bagian belakang sel surya. Gambar 3.22 merupakan ilustrasi cara kerja sistem pendingin *heatsink*.

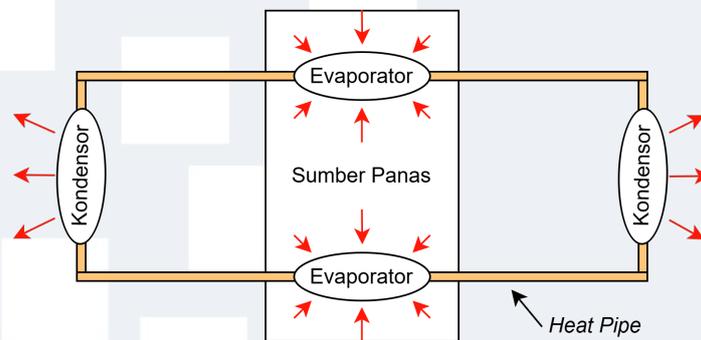


Gambar 3.22 - Proses kerja sistem pendingin *heatsink*

Heat pipe adalah komponen pendinginan pasif yang mampu memindahkan panas menggunakan perubahan fasa fluida. *Heat pipe* menerima panas pada suatu sumber dan mengakibatkan perubahan fasa fluida menjadi gas pada bagian evaporator, gas tersebut kemudian mengalir pada bagian *heat pipe* yang dingin sehingga mampu melepaskan panas dan berubah fasa menjadi fluida pada bagian kondensor. Fluida kemudian dapat mengalir kembali pada bagian evaporator untuk mengulang proses [23]. Untuk memastikan proses kerja siklus *heat pipe*, dilakukan pengukuran perbedaan suhu antara *kondensor* dengan evaporator.

Dalam rancang bangun proyek tugas akhir ini, *heat pipe* yang digunakan berupa pipa tembaga yang diisi dengan fluida air *deionized*, dengan pengisian air yang diperlukan adalah setengah dari volume pipa tembaga; dalam kasus ini diperlukan 2 ml air untuk setiap *heat pipe*. Pemilihan volume air didasarkan oleh literatur yang melaporkan bahwa rasio pengisian fluida 45% menghasilkan pendinginan yang ideal pada *heat pipe* [16]. Untuk menyederhanakan pengisian, digunakan rasio pengisian 50% volume internal *heat pipe* pada proyek tugas akhir ini. *Heat pipe* memiliki bentuk *loop* persegi dan dipasang pada bagian belakang sel surya dengan ujung panjang *heat pipe* terpapar ke lingkungan. Bagian *heat pipe* yang terhubung dengan sel surya merupakan bagian evaporator yang menerima panas dari sel surya dan mengakibatkan evaporasi pada fluida menjadi gas; sedangkan, bagian yang terpapar ke lingkungan adalah kondensor yang mampu melepaskan panas ke lingkungan dan mengakibatkan kondensasi gas menjadi fluida. Proses siklus *heat pipe* yang diterapkan pada CPV dipastikan bekerja dengan mengukur perbedaan suhu antara bagian

kondensor dengan evaporator. Gambar 3.22 merupakan ilustrasi cara kerja sistem pendingin *heat pipe*.

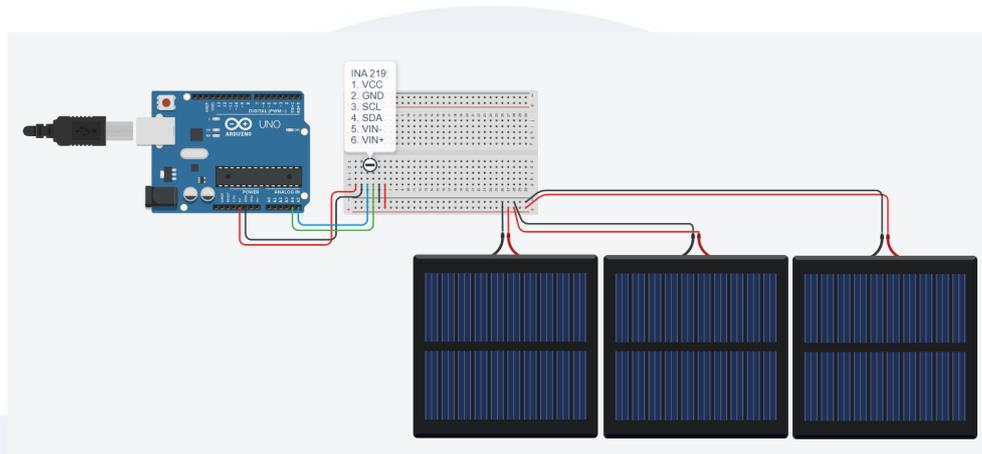


Gambar 3.23 - Proses kerja sistem pendingin *heat pipe*

3.3.3 Sensor INA219

Sensor INA219 digunakan untuk membaca karakteristik aliran listrik dari suatu sumber. Sensor INA219 memiliki *shunt resistor* sehingga arus dari aliran listrik dapat terbaca. Pembacaan tegangan dapat dilakukan berdasarkan *bus voltage*. Dengan adanya parameter arus dan tegangan, daya listrik dapat diperhitungkan melalui persamaan $P = I \cdot V$.

Menggunakan Arduino UNO, dijalankan program yang mampu membaca parameter aliran listrik sistem fotovoltaik dengan sensor INA219. Arduino UNO terhubung dengan laptop dan mampu mengirimkan data parameter listrik pada perangkat lunak Microsoft Excel melalui fitur *Data Streamer*. Selama durasi pengukuran sistem fotovoltaik, data parameter listrik yang berkelanjutan dapat ditabulasi berdasarkan tegangan, arus, dan daya listrik. Gambar 3.24 merupakan ilustrasi rangkaian Arduino sensor INA219 pada Tinkercard.



Gambar 3.24 - Ilustrasi rangkaian INA219 pada Tinkercad

3.4. Variabel Proyek Tugas Akhir

Variabel bebas yang berperan dalam proyek tugas akhir ini adalah:

1. Suhu lingkungan
2. Iradiasi cahaya matahari
3. Kondisi cuaca lingkungan
4. Penerapan sistem pendingin

Variabel terikat pada proyek tugas akhir ini adalah:

1. Suhu permukaan panel surya
2. Arus panel surya
3. Tegangan panel surya

Selanjutnya, terdapat sejumlah pengujian variasi rangkaian sistem sebagai berikut:

1. Sistem fotovoltaik dengan konsentrator (CPV).
2. Sistem CPV dengan pendinginan *heatsink* (CPV-HS).
3. Sistem CPV dengan pendinginan *heat pipe* (CPV-HP).
4. Sistem CPV dengan kedua sistem pendinginan (CPV-Hybrid).

Dalam studi ini, proyek tugas akhir menekankan perbandingan penerapan pendinginan pada sistem CPV (CPV-HS, CPV-HP, dan CPV-Hybrid) terhadap sistem CPV tanpa pendinginan.

3.5. Metodologi Pengumpulan Data

Gambar 3.25 menampilkan foto seluruh variasi sistem fotovoltaik yang diuji; dari kiri ke kanan, urutan variasi sistem adalah sistem CPV tanpa pendingin (CPV), CPV dengan pendingin *heatsink* (CPV-HP), CPV dengan pendingin *heatpipe* (CPV-HS), dan CPV dengan gabungan kedua pendingin (CPV-Hybrid).



Gambar 3.25 - Tampak seluruh variasi sistem fotovoltaik yang diuji

Proses pengumpulan data melibatkan pengukuran iradiasi matahari menggunakan *pyranometer* milik UMN yang terhubung dengan rangkaian panel surya milik UMN, variabel tegangan dan arus yang dihasilkan oleh rangkaian sistem fotovoltaik menggunakan sensor INA219, serta suhu permukaan panel fotovoltaik menggunakan termometer tembak. Lokasi pengukuran dilakukan pada kawasan atap lantai 5 Gedung B UMN. Pelaksanaan pengumpulan data dilakukan selama 2 jam pada dimulai dari 10:40 - 12:40. Pemilihan waktu tersebut untuk melakukan proses pengambilan data adalah untuk mendapatkan waktu *solar noon* saat intensitas cahaya matahari paling tinggi. Tabel 5.2. menunjukkan data *solar noon* pada lokasi atap Gedung B UMN.

Pengukuran iradiasi matahari dilakukan menggunakan *pyranometer* milik UMN yang terhubung dengan rangkaian panel surya UMN. Data iradiasi diakses dengan bantuan Dosen Pembimbing yang memiliki akses data tersebut pada setiap harinya. Pencatatan data iradiasi dilakukan setiap 5 menit, dengan data yang diakses untuk keperluan Tugas Akhir adalah data iradiasi pada hari yang berhasil melakukan pengukuran data sistem fotovoltaik.

Pengukuran karakteristik aliran listrik diukur menggunakan sensor INA219 dan diproses oleh Arduino UNO. Karakteristik arus dan tegangan listrik oleh rangkaian fotovoltaik dibaca oleh sensor INA219 dan diproses oleh Arduino UNO untuk mendapatkan nilai daya dan energi listrik sistem fotovoltaik. Untuk menampilkan data

parameter listrik, Arduino UNO dihubungkan dengan laptop yang menjalankan perangkat lunak Microsoft Excel. Data parameter listrik dikirim pada Microsoft Excel melalui fitur *data streamer*

Pengukuran suhu permukaan panel dilakukan dengan perangkat termometer tembak. Termometer tembak diarahkan kepada permukaan sel fotovoltaik dan diaktifkan untuk menghasilkan pembacaan suhu permukaan. Pengukuran suhu dilakukan untuk setiap variasi sistem dan data tersebut ditabulasi pada *Microsoft Excel*. Dalam pelaksanaan percobaan, pengukuran suhu dilakukan setiap 5 menit dengan pengecualian saat pembacaan suhu terdapat pada waktu *solar noon*.

