

BAB III

PERANCANGAN SISTEM

3.1. Metodologi Proyek tugas akhir

Pelaksanaan proyek tugas akhir dimulai dari langkah pemilihan konsentrator, diikuti dengan langkah desain dan iterasi dengan menggunakan perangkat lunak pemodelan tiga dimensi (3D) dan simulasi desain menggunakan metode *ray tracing*.

3.1.1. Pemilihan Konsentrator

Dalam pelaksanaan langkah ini, ditentukan beberapa rancangan sistem LCPV yang cocok untuk kondisi matahari. Beberapa rancangan yang masuk dalam diskusi adalah rancangan lensa Fresnel linear (LFL), reflektor Fresnel linear (LFR), dan juga konsentrator *V-trough* atau palung V (VSC).

Dari proses tersebut, dihasilkan kesimpulan bahwa konsentrator sistem yang paling cocok digunakan untuk proyek tugas akhir ini adalah konsentrator berbentuk *V-trough*. Konsentrator jenis ini memiliki kelebihan utama yaitu sederhana implementasinya serta ukurannya yang relatif kecil dan rapat dibandingkan implementasi konsentrator-konsentrator lain. Keduanya adalah karakteristik penting bagi sistem yang harus dipasang dan disimpan ulang berkali-kali; karena hasil perancangan sistem yang dilakukan dalam proyek tugas akhir ini belum dirancang untuk dipasang secara permanen. Terakhir, sistem konsentrator *V-trough* hanya memerlukan komponen optik sederhana [20] dan tidak memerlukan pembuatan lensa dan/atau reflektor dengan geometri khusus. Selain itu, menurut kajian yang membandingkan kinerja konsentrator, konsentrator ini juga masih merupakan kedua paling efektif dalam memaksimalkan produksi energi dibandingkan geometri yang lebih sulit dibuat seperti reflektor parabolik majemuk (CPC) dan reflektor parabolik majemuk asimetris (aCPC) [24].

3.1.2. Desain dan Iterasi

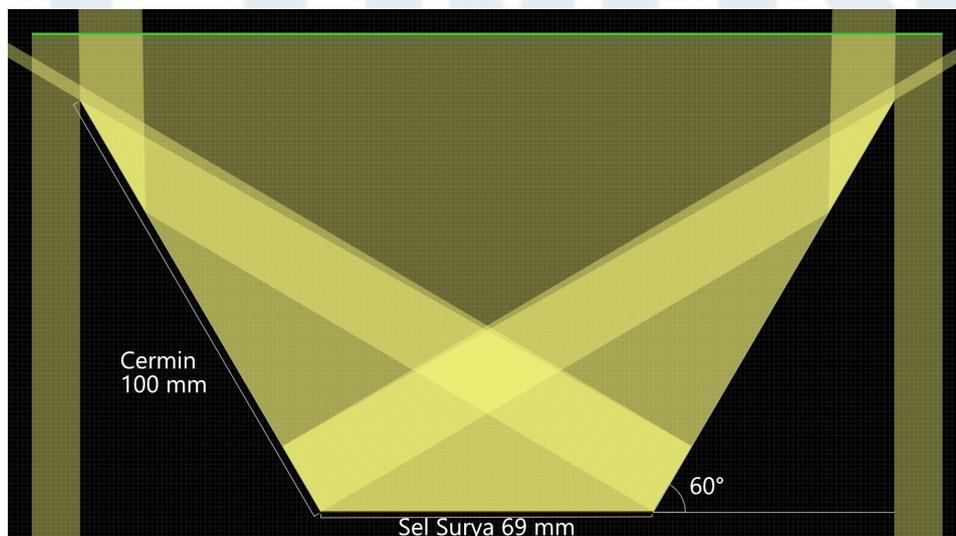
Desain rangka sistem dilakukan menggunakan Autodesk Inventor dan diiterasikan berdasarkan umpan balik dari pembimbing, dari literatur, serta dari *ray simulator*.

3.1.2.1. Pemodelan 3D

Autodesk Inventor digunakan untuk membuat purwarupa digital yang dapat divisualisasikan dengan relatif mudah. Selain itu, pembuatan purwarupa dengan metode ini juga lebih efektif karena tidak memerlukan biaya tambahan maupun waktu tambahan banyak untuk iterasi.

3.1.2.2. Simulasi Ray Tracing

Digunakan sebuah *open-source simulator* untuk pemantulan sinar matahari (*ray simulator*) demi keperluan pembuatan rancangan sistem yang bernama Phydemo Ray Optics Simulation. Alat simulasi ini bekerja langsung di perangkat lunak peramban (*browser*) dan dapat diakses pada <https://phydemo.app/ray-optics/simulator/>. Gambar 3.1 berikut menunjukkan hasil simulasi *ray-tracing* dari salah satu iterasi sistem dengan target rasio konsentrasi sama dengan 2.



Gambar 3.1 - Simulasi menggunakan Phydemo Ray Optics Simulation

Dalam Gambar 3.1, dibuat sebuah simulasi yang terdiri dari sebuah *receiver* berupa sel surya di bagian bawah rangkaian, yang disimulasikan sebagai sebuah *blocker* berwarna coklat di bagian bawah *simulator* dan menyerap cahaya. Di samping kiri dan kanannya, terdapat cermin yang diletakkan bersudut 60° dari bidang horizontal (θ_{cermin}), atau 120° jika diukur dari sudut pandang *receiver* atau sel surya. Sudut yang digunakan ini berdasarkan nilai CR yang diinginkan, yaitu 2. Ukuran yang digunakan yaitu 69 mm untuk lebar bagian *receiver* (L_{sel}), dan 100 mm untuk panjang cermin (L_{cermin}). Pembahasan lebih lanjut untuk hasil dari simulasi akan dibahas pada subbab 4.1..

Untuk mencapai rasio konsentrasi yang diinginkan yaitu 2, dibutuhkan sebuah cermin berukuran sekitar 7,97 cm dengan sudut pantul 60° . Namun, karena cermin dengan ukuran presisi tersebut tidak mudah didapat, digunakan cermin yang sedikit lebih besar dibandingkan yang dibutuhkan, yaitu dengan ukuran 10 cm. Oleh karena itu, terdapat sebagian kecil berkas cahaya yang tidak dipantulkan oleh cermin ke arah sel surya, tetapi ke arah cermin di seberang rancangan.

3.2. Metodologi Perancangan

3.2.1. Deskripsi Rancangan

Proyek tugas akhir ini menerapkan sebuah konsentrator LCPV sederhana dengan menggunakan rancangan dasar konsentrator *V-trough* atau palung V. Dirancang beberapa variasi dari sistem dengan variabel utama yaitu keberadaan konsentrator dan keberadaan sistem pendinginan pasif sederhana. Proses pengambilan data dari sistem meliputi pengambilan data produksi daya dan juga pengambilan data pengukuran suhu untuk mengawasi kondisi termal sistem. Pelaksanaan tugas akhir dilakukan di kawasan kampus Universitas Multimedia Nusantara periode Agustus 2024 hingga November 2024.

Sebanyak tiga sel surya mini diletakkan secara paralel di atas *casing* berupa boks akrilik. Pada sistem fotovoltaik kendali yang tidak memiliki cermin, rangkaian hanya berupa tiga panel tersebut, sedangkan pada sistem

fotovoltaik uji (LCPV) yang memiliki cermin, terdapat sepasang cermin datar panjang yang berdiri di samping panel surya. Kedua variasi tersebut memiliki *breadboard* di dalam boks akrilik untuk keperluan menghubungkan sel surya kepada sensor arus dan tegangan secara langsung. Pengukuran dan pencatatan hasil pengumpulan energi cahaya matahari menggunakan sebuah sensor khusus untuk mengukur arus dan tegangan, yaitu sensor INA219 dengan bantuan mikrokendali Arduino UNO.

3.2.2. Alat dan Bahan

Berikut adalah alat dan bahan yang digunakan untuk membuat sistem sel surya:

1. Sel Surya Mini

Gambar 3.2 berikut menunjukkan salah satu sel surya yang digunakan. Sel surya berfungsi sebagai komponen utama yang berperan mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Sel surya ini bertipe silikon polikristalin, dengan tegangan keluaran 5V dan daya 1,1 W. Sel surya mini ini efektif dalam aplikasi skala kecil dan proyek-proyek eksperimental. Selain itu, ukurannya yang kecil memungkinkan integrasi yang relatif sederhana dalam sistem CPV yang diteliti.

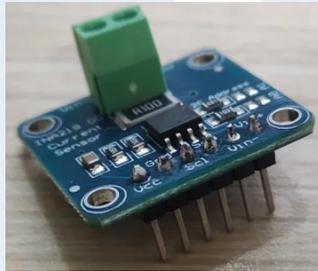


Gambar 3.2 - Sel surya mini

2. Sensor INA219

Gambar 3.3 berikut menunjukkan salah satu sensor INA219 yang digunakan. Sensor INA219 adalah sebuah sensor tegangan dan arus yang dapat mengukur parameter tegangan dan arus rangkaian listrik. Sensor ini dapat dikalibrasi sesuai dengan kebutuhan sistem, dengan kalibrasi bawaan (*default*) bernilai 32V untuk tegangan dan 2A untuk arus. Dengan sensor ini,

arus dan tegangan dari rangkaian dapat diukur ke Arduino untuk pengambilan data arus dan tegangan, serta memungkinkan kalkulasi daya langsung.



Gambar 3.3 - Sensor INA219

3. Arduino UNO

Gambar 3.4 berikut menampilkan salah satu unit Arduino UNO yang digunakan. Arduino UNO adalah sebuah perangkat keras mikrokontroler yang dapat diprogram. Dengan tujuan melakukan pembacaan dan pencatatan data tegangan dan arus yang diukur oleh sensor INA219, Arduino UNO menggunakan *library* Adafruit INA219 untuk melakukan interpretasi data dari sensor INA219. Parameter aliran listrik yang terukur dari rangkaian CPV kemudian diolah menjadi bentuk yang bisa dibaca dan dimasukkan ke perangkat lunak pemrosesan data.



Gambar 3.4 - Arduino UNO

4. Plat Akrilik (Kotak Akrilik)

Gambar 3.5 berikut menunjukkan beberapa potongan plat akrilik dalam proses perakitan sistem. Akrilik digunakan sebagai material kotak yang

berfungsi untuk menahan komponen-komponen proyek secara teratur. Material ini dipilih karena sifatnya yang ringan, mudah dipotong dan dibentuk, serta memiliki tingkat transparansi yang baik, sehingga membantu dalam memantau kondisi komponen tanpa perlu membuka *casing*.



Gambar 3.5 - Potongan-potongan plat akrilik

5. Cermin Datar

Gambar 3.6 berikut menunjukkan salah satu rangkaian cermin yang digunakan sebagai konsentrator. Cermin datar kecil ini digunakan sebagai konsentrator cahaya dalam sistem fotovoltaik yang dirancang, dan membentuk bagian samping CPV. Fungsi utamanya adalah untuk memfokuskan cahaya matahari ke area yang lebih kecil, yaitu permukaan sel surya, sehingga meningkatkan intensitas cahaya yang diterima dan meningkatkan kinerja dan jumlah energi yang dihasilkan oleh sel surya. Cermin yang digunakan berbentuk persegi dan berukuran $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$. Untuk membuat salah satu sisi dari rangkaian konsentrator, dibutuhkan empat cermin yang dipasang berjajar sehingga membuat rangkaian cermin berukuran $10\text{ cm} \times 40\text{ cm}$.



Gambar 3.6 - Rangkaian empat cermin yang dipasang berjajar

6. *Thermal Tape*

Thermal tape atau perekat termal digunakan untuk menghubungkan

komponen yang membutuhkan perpindahan panas secara efisien tanpa menyebabkan aliran listrik. Sifatnya yang tidak konduktif secara elektrik tetapi sangat konduktif secara termal menjadikannya ideal untuk aplikasi di mana suhu komponen perlu dikendalikan, misalnya pada sistem pendingin sel surya. Gambar 3.7 berikut menunjukkan salah satu rol perekat yang digunakan.



Gambar 3.7 - Rol perekat termal (*thermal tape*)

7. Paket Kabel *Jumper*

Paket kabel *jumper* berfungsi sebagai penghubung antar komponen listrik dalam sistem. Sebagian kabel telah disolder ke sel surya untuk memastikan sambungan yang kokoh, sementara yang lainnya digunakan untuk menghubungkan komponen lain ke *breadboard*, untuk memungkinkan aliran listrik yang stabil dan tidak terputus dalam sistem rangkaian, tetapi tetap mudah diubah.

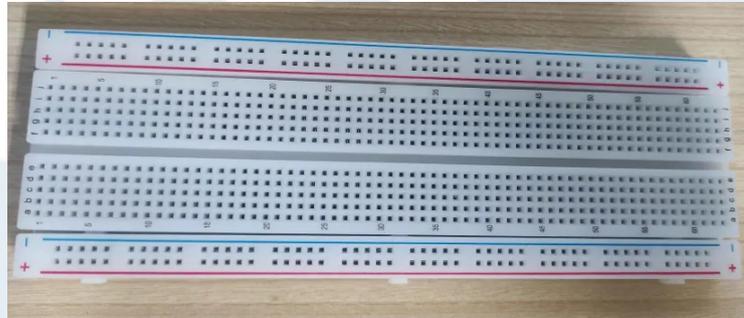


Gambar 3.8 - Kabel *jumper*

8. *Breadboard*

Breadboard seperti pada Gambar 3.9 berikut digunakan sebagai papan untuk menyusun rangkaian listrik secara sementara tanpa memerlukan penyolderan.

Ini memudahkan untuk melakukan perubahan atau modifikasi pada rangkaian fotovoltaik yang sedang dirancang, serta memungkinkan koneksi yang lebih rapi dan konsisten antara berbagai komponen listrik, termasuk sel surya.



Gambar 3.9 - Breadboard

9. Timah dan Alat Solder

Gambar 3.10 menunjukkan rol timah solder dan alat solder digunakan dalam proses penyolderan untuk menghubungkan komponen elektronik secara permanen. Dalam proyek ini, timah *solder* digunakan untuk menyambungkan sel surya dengan kabel *jumper* dan juga komponen lainnya, seperti sensor, dan memastikan koneksi yang kuat, tahan lama, serta meminimalkan hambatan listrik.



Gambar 3.10 - Timah solder (kiri) dan alat solder (kanan)

10. Plat Tembaga

Plat tembaga seperti yang tertera pada Gambar 3.11 berfungsi sebagai bagian dari sistem pendingin yang dipasang di belakang beberapa sel surya, bergantung pada variasinya. Bahan tembaga dipilih karena konduktivitas

termal yang tinggi, sehingga mampu menyerap dan mengalirkan panas secara efisien dari sel surya, yang penting untuk menjaga suhu sel tetap rendah dan meningkatkan kinerjanya.



Gambar 3.11 - Plat-plat tembaga

11. *Heatsink* Aluminium

Heatsink aluminium dipasang dengan *thermal tape* pada plat tembaga untuk membantu melepaskan panas yang dihasilkan oleh sel surya. Material aluminium dipilih karena sifatnya yang ringan dan memiliki konduktivitas termal yang tinggi, sehingga mampu memindahkan panas dari sistem ke lingkungan luar, dan menjaga suhu sel surya menjadi lebih dingin dibandingkan sel surya tanpa *heatsink*.



Gambar 3.12 - *Heatsink* aluminium

12. Termometer *Infrared*

Termometer *infrared* atau termometer inframerah digunakan untuk mengukur suhu tanpa kontak langsung dengan permukaan. Dalam proyek ini,

termometer ini digunakan untuk memantau suhu sel surya. Gambar 3.13 berikut merupakan foto termometer yang digunakan.



Gambar 3.13 - Termometer *infrared*

13. Plastic Cutter

Plastic cutter atau alat pemotong plastik digunakan untuk memotong plat akrilik dengan presisi tinggi. Alat ini penting dalam pembuatan dan modifikasi *casing* atau kotak yang digunakan untuk menahan komponen proyek, dan memastikan ukuran dan bentuk plat akrilik sesuai dengan kebutuhan desain.

14. Multimeter

Multimeter adalah suatu alat yang dapat mengukur tiga besaran listrik listrik dengan menggunakan *probe*, yaitu tegangan, arus, dan hambatan. Multimeter digunakan untuk melakukan validasi dan memastikan bahwa sel-sel surya yang digunakan masih memiliki kapasitas produksi yang konsisten. Pada Gambar 3.14 berikut, dapat dilihat bahwa multimeter memiliki setelan untuk pengukuran arus, tegangan (AC atau DC), hambatan, dan kapasitansi.



Gambar 3.14 - Multimeter

15. Lem Sianoakrilat

Untuk keperluan menyusun akrilik menjadi kotak dan memasang penopang cermin can kerangka tempat sel, digunakan lem sianoakrilat (dikenal juga sebagai *super glue*) sebagai perekat. Dalam keperluan perancangan sistem fotovoltaik, penggunaan lem ini memastikan kotak akrilik mampu menahan beban cermin, panel, dan sistem pendingin dengan konsisten. Gambar 3.15 berikut adalah salah satu botol lem jenis ini.



Gambar 3.15 - Lem sianoakrilat

16. Autodesk Inventor

Gambar 3.16 merupakan logo perangkat lunak Autodesk Inventor. Autodesk Inventor adalah perangkat lunak CAD (*computer-aided design*) yang dibuat oleh Autodesk. Perangkat lunak ini digunakan untuk keperluan pemodelan 3D (tiga dimensi) dan mempermudah proses iterasi, umpan balik, serta visualisasi sistem yang lebih menyeluruh dan lengkap. Autodesk Inventor digunakan untuk pembuatan purwarupa sistem CPV yang memungkinkan iterasi cepat dan mudah.



Gambar 3.16 - Logo Autodesk Inventor

17. Arduino IDE

Arduino IDE, dengan logonya pada Gambar 3.17 berikut, adalah perangkat lunak *integrated development environment* yang dikembangkan untuk memprogram perangkat mikrokontroler Arduino. Perangkat lunak ini menyediakan antarmuka pemrograman yang memungkinkan penulisan, kompilasi, dan pengunggahan kode ke papan Arduino. Arduino IDE digunakan untuk memprogram Arduino UNO dalam pengukuran tegangan dan arus sistem melalui bahasa pemrograman berbasis C++ serta mengirimkan program hasil kompilasi tersebut ke Arduino UNO.



Gambar 3.17 - Logo Arduino IDE

18. Microsoft Excel 2019

Gambar 3.18 merupakan logo perangkat lunak Microsoft Excel. Perangkat lunak *spreadsheet* ini dikembangkan oleh Microsoft, dan memungkinkan pengolahan data numerik, analisis statistik, dan visualisasi data dengan grafik, melalui berbagai fungsi dan fitur yang tersedia. Microsoft Excel digunakan untuk pengumpulan data pengukuran dari *serial input* Arduino melalui *add-in* Data Streamer yang memungkinkan pencatatan data secara langsung dan waktu nyata.

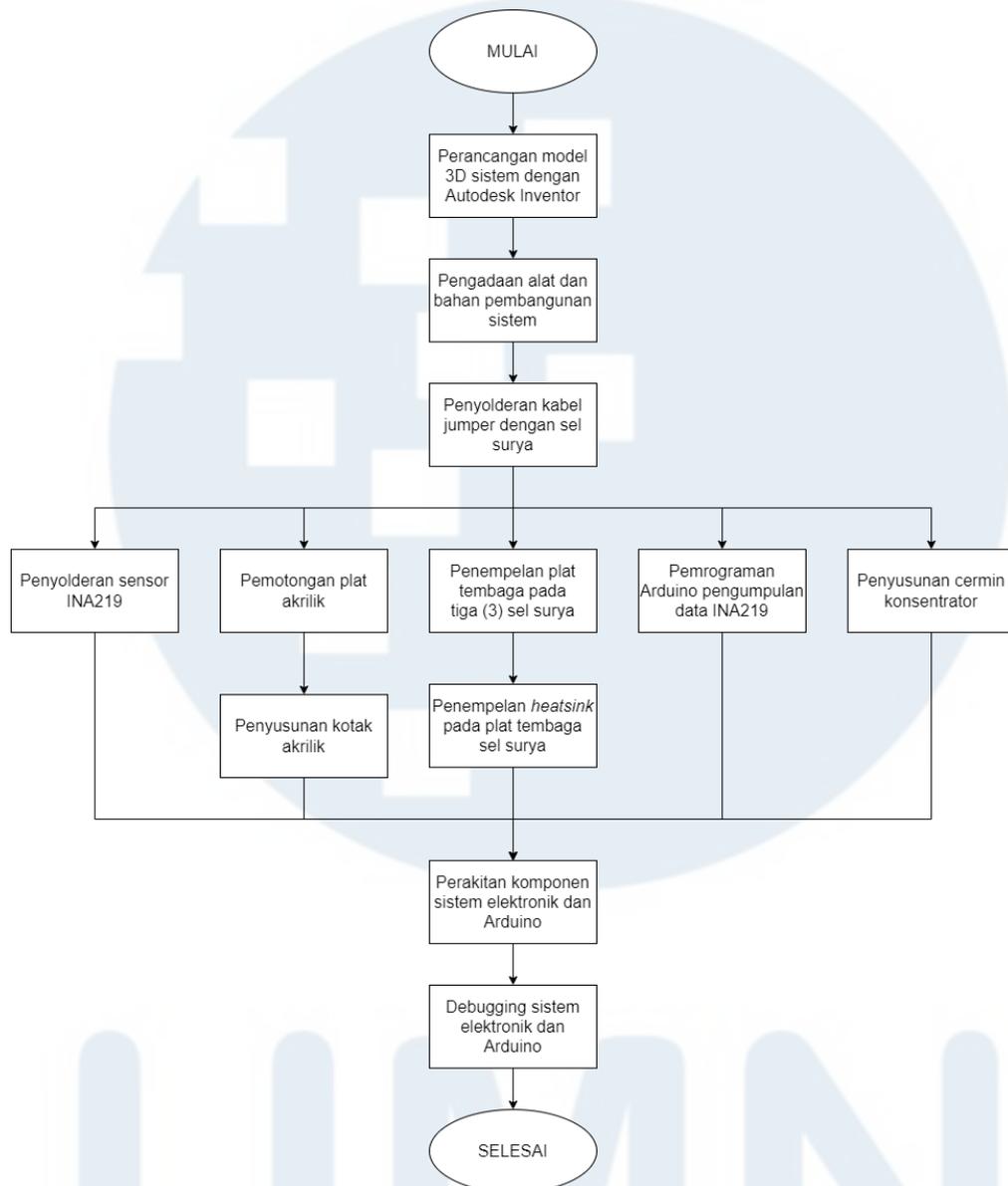


Gambar 3.18 - Logo Microsoft Excel

3.3. Rancang Bangun Sistem

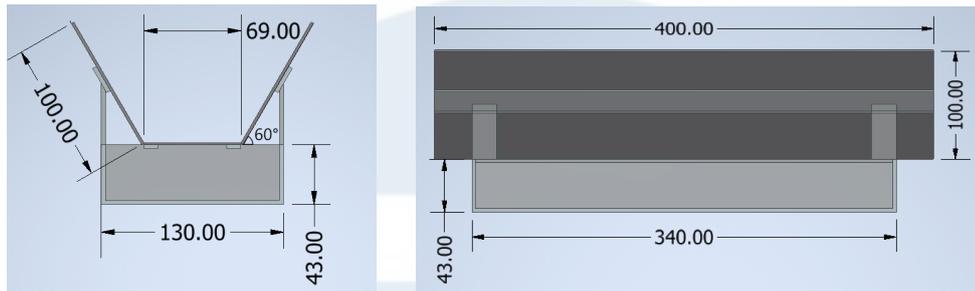
Proses perancangan, pengembangan, dan pembuatan sistem CPV dilakukan pada Gedung C UMN, tepatnya pada ruang kelas C703 dan Laboratorium C704. Gambar 3.19 berikut merupakan gambaran alur rancang bangun sistem CPV.





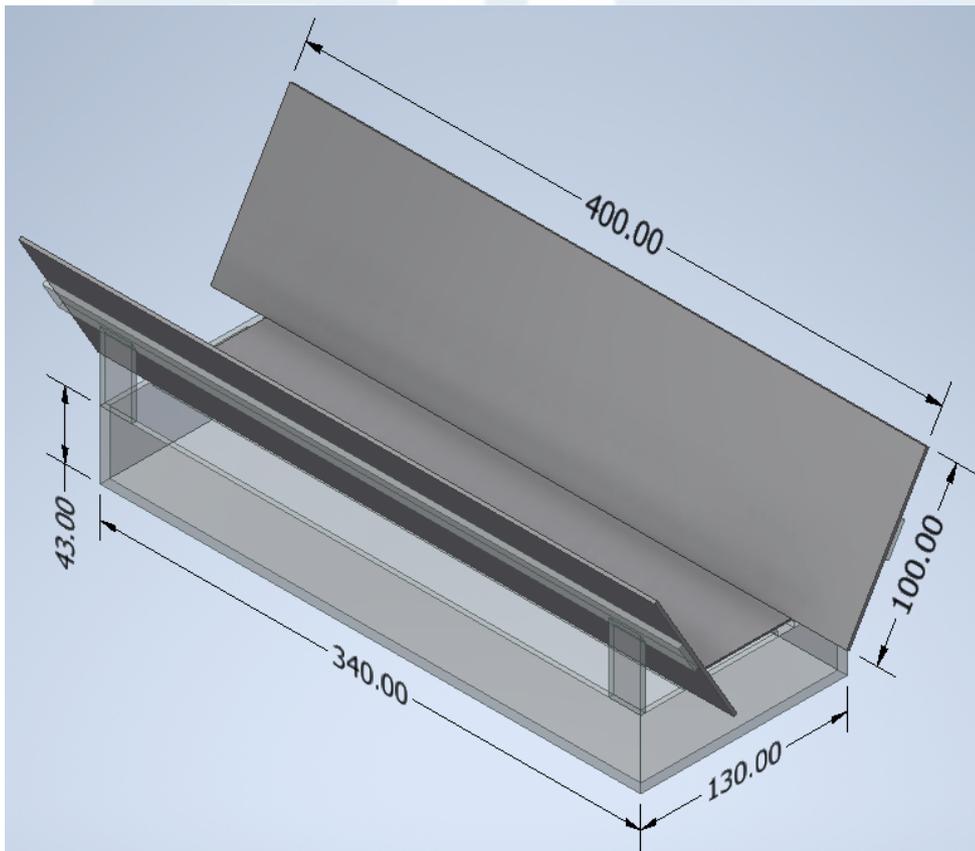
Gambar 3.19 - Diagram alur rancang bangun

Rancang bangun sistem CPV ini dimulai dari pembuatan model 3D menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor. Model 3D sistem ini menjadi patokan awal dalam proses rancang bangun, agar dapat menyesuaikan posisi dan ukuran setiap bahan yang diperlukan. Gambar 3.20 berikut menunjukkan model 3D dari sistem CPV yang dirancang menggunakan Autodesk Inventor secara lengkap, yang memiliki konsentrator.



(a) Samping

(b) Depan



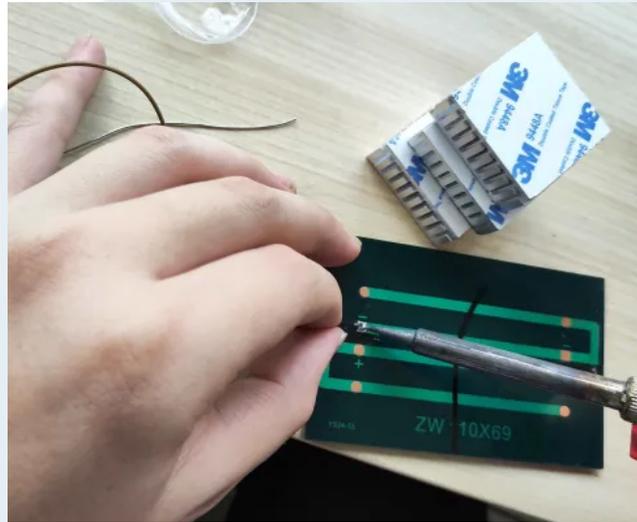
(c) Perspektif

Gambar 3.20 - Model 3D dari sistem CPV (satuan mm)

Setelah selesai pembuatan model 3D dari sistem CPV di Autodesk Inventor dan sudah diubah dan disesuaikan dengan desain, dimulai proses pengadaan alat dan bahan yang diperlukan.

Kemudian, langkah selanjutnya adalah penyolderan kabel *jumper* ke sel surya. Sel surya yang diterima belum memiliki kabel yang dapat digunakan untuk koneksi ke *breadboard* dan oleh karena itu belum dapat digunakan. Gambar 3.21 dan 3.22 berikut menunjukkan proses dan hasil dari penyolderan

kabel *jumper*.



Gambar 3.21 - Proses solder sel surya



Gambar 3.22 - Sel surya setelah selesai proses solder

Selanjutnya, seluruh sensor INA219 disolder ke konektor pembantu yang tersedia bersama dengan *breakout board*. Hasil dari penyolderan ini dapat dilihat pada Gambar 3.3.

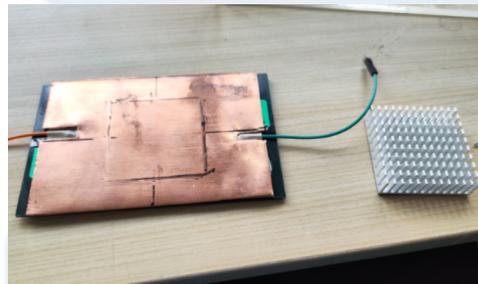
Kemudian, dilakukan pemotongan plat akrilik dan penyusunan kotak (*casing*) akrilik. Proses pemotongan banyak dilakukan oleh toko akrilik agar memastikan presisi dimensi yang tinggi, dengan hanya sedikit modifikasi dengan menggunakan *plastic cutter*. Setelah dipotong menjadi ukuran-ukuran

yang tepat, kotak akrilik mulai disusun menjadi *casing* yang dapat memuat sistem CPV. Gambar 3.23 berikut menunjukkan kondisi akhir salah satu kotak akrilik yang selesai pemasangannya dan siap untuk mulai diisi dengan komponen-komponen sistem.



Gambar 3.23 - Kotak akrilik jadi

Pemotongan plat tembaga dan penempelan plat tembaga serta *heatsink* dilakukan menggunakan bantuan *thermal tape*. Gambar 3.24 berikut adalah



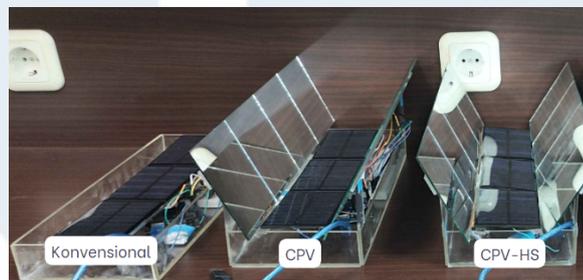
Gambar 3.24 - Proses pemasangan *heatsink* pada sel surya

Pemrograman Arduino UNO untuk menggunakan sensor INA219 dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Arduino IDE. Diambil sebuah *library* milik Adafruit untuk membaca hasil-hasil dari sensor INA219 secara langsung, dan diuji dengan salah satu sel surya di dalam ruangan menggunakan sumber cahaya seperti jendela, lampu, dan fitur *flashlight* dari *smartphone* untuk menguji respon sistem dan memastikan bahwa daya yang terukur tidak hanya berupa derau elektronik (*electrical noise*), menggunakan fungsi *serial monitor* milik Arduino IDE.

Proses yang juga dilakukan ketika penyusunan dan perangkaian sistem adalah penyusunan rangkaian cermin konsentrator. Digunakan *thermal tape*

sebagai perekat yang menghubungkan akrilik penopang cermin konzentrador terhadap rangkaian, kemudian posisi cermin diukur dan dipastikan memiliki sudut yang persis sesuai dengan rencana menggunakan bantuan busur. Hasil dari pemasangan ini dapat dilihat pada Gambar 3.6.

Setelah pembuatan sistem selesai, sistem disimpan sementara seperti pada Gambar 3.25 untuk pengukuran di lapangan yang dilaksanakan di tempat atap lantai ke-5 Gedung B. Rancangan sistem fotovoltaik terkonsentrasi memiliki bentuk sebagai berikut:



Gambar 3.25 - Variasi sistem yang dibuat

3.4. Metodologi Pengumpulan Data

Pengumpulan data eksperimen dari kelima variasi rancangan menggunakan beberapa alat dan metode yang berbeda, bergantung pada jenis data yang dikumpulkan.

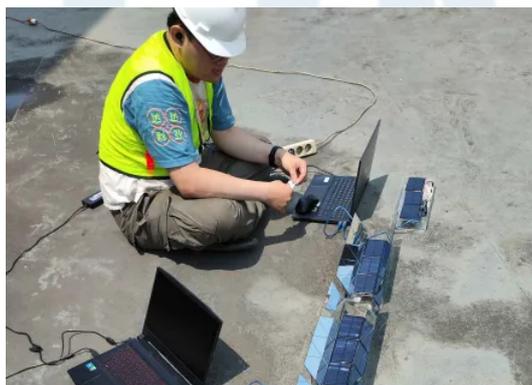
Terdapat tiga varian dari sistem yang dibuat untuk evaluasi, yaitu:

- Kendali (hanya sel surya), selanjutnya disebut "Konvensional";
- CPV (hanya sistem CPV), selanjutnya disebut "CPV"; dan
- CPV ditambah dengan sistem pendinginan *heatsink* (sistem CPV dilengkapi dengan plat tembaga dan *heatsink*), selanjutnya disebut "CPV-HS".

Secara sederhana, Gambar 3.26 berikut adalah alur yang diikuti untuk setiap hari pengukuran. Selain itu, Gambar 3.27 merupakan contoh kondisi pengukuran pada salah satu hari pengukuran. Rincian lebih lanjut untuk setiap aspek pengukuran dibahas lebih lanjut pada sub-sub bab berikutnya.



Gambar 3.26 - Diagram alur proses perolehan data sistem



(a) Pemantauan



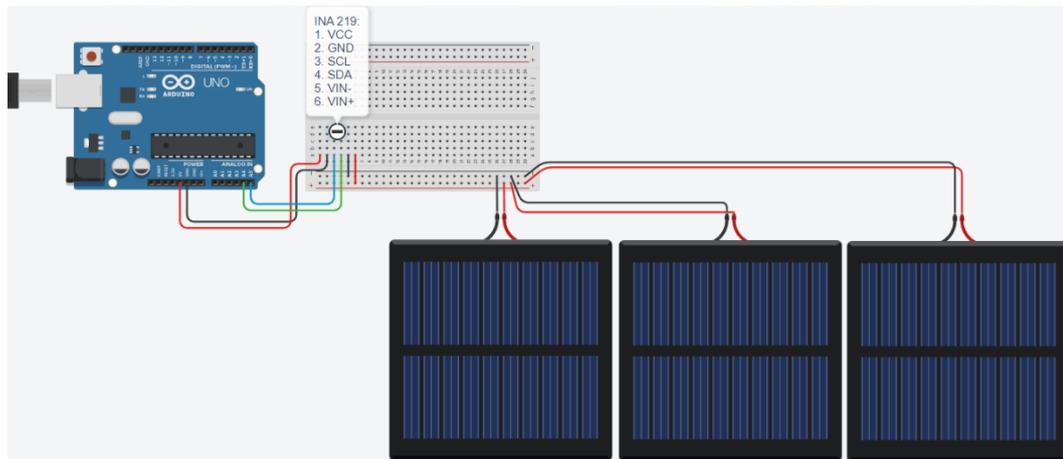
(b) Sistem

Gambar 3.27 - Proses pengukuran

3.4.1. Pengukuran Tegangan dan Arus Sistem

Pengumpulan data tegangan dan arus menggunakan rangkaian sederhana dengan sensor INA219 dan Arduino UNO. Di dalam setiap unit Arduino UNO, digunakan kode yang terdapat pada sub bab Kode Pembaca INA219 untuk Arduino UNO di bagian Lampiran.

Sensor INA219 merupakan komponen elektronik yang berfungsi untuk karakterisasi dan pengukuran langsung parameter-parameter listrik dari suatu sumber. Pengukuran arus listrik dimungkinkan melalui penggunaan *shunt resistor* yang terintegrasi dalam sensor tersebut. Sensor ini juga dilengkapi dengan kemampuan pembacaan tegangan yang didasarkan pada pengukuran *bus voltage*. Dengan tersedianya data arus (I) dan tegangan (V), data yang disediakan oleh sensor juga dapat digunakan untuk menghitung daya listrik (P) secara waktu nyata menggunakan hubungan dasar kelistrikan $P = I \cdot V$. Gambar 3.28 berikut adalah rangkaian yang digunakan untuk pengukuran kelistrikan menggunakan INA219 dan Arduino UNO. Karena Tinkercad tidak memiliki modul untuk sensor INA219, dibuat daftar *pin-out* sensor INA219 menggunakan fitur komentar.



Gambar 3.28 - Ilustrasi Rangkaian INA219 dan Arduino UNO pada Tinkercad*

Dengan bantuan mikrokendali Arduino UNO dan kode pada Lampiran, data dari INA219 dibaca dan dikonversi menjadi data yang dapat dibaca secara

*Daftar *pin-out* yang digunakan untuk mewakilkan sensor INA219 dimulai dari kiri ke kanan.

numerik. Data yang dihasilkan oleh pemrosesan Arduino merupakan data *serial* yang dikirim setiap dua detik untuk setiap variasi sistem. Data yang dikirim balik ke komputer untuk pemrosesan dan penyimpanan dibuat dengan format berikut:

```
"loop_no, voltage_V, current_mA, power_mW, energy_mJ"
```

Data dalam tersebut merupakan *comma-separated value* (sering disingkat CSV) yang dapat mudah dibaca langsung oleh "Data Streamer", sebuah *add-in* dari perangkat lunak Microsoft Excel yang berguna untuk melakukan proses *logging* seluruh data ke dalam sebuah *sheet* secara waktu nyata.

Karena periode pengukuran yaitu dari pukul 10:40:00 sampai dengan 12:40:00 tepat 2 jam, dan tiap pengukuran memiliki perbedaan waktu (*delay*) tepat setiap 2 detik, disiapkan setidaknya 3.600 baris untuk menyimpan data.

3.4.2. Pengukuran Suhu Sel Surya

Pengumpulan data suhu sel, khususnya untuk pengukuran dengan menggunakan termometer inframerah (IR) seri Krisbow IR QREM45. Termometer tembak ini memiliki rentang pengukuran di antara -50°C sampai dengan 380°C , dan memiliki akurasi $\pm(2\% + 2)^{\circ}\text{C}$. Dengan resolusi sudut sekitar 0.1°C dan waktu respon <500 ms, termometer ini mampu menghasilkan data pengukuran yang relatif akurat.

Pengukuran suhu dilakukan setiap lima (5) menit dan dilakukan pada setiap kelipatan lima menit dari awal periode pengukuran yang dilakukan. Untuk pengukuran dengan periode 120 menit (2 jam) per hari pengukuran, dihasilkan 25 pengukuran untuk tiap rangkaian. Pengukuran ini dicatat langsung menggunakan perangkat lunak Google Sheet, dengan tujuan utama yaitu mempermudah akses data dari mana saja.

3.4.3. Perolehan Data Iradiasi

Pengumpulan data iradiasi sangatlah penting untuk dilakukan dalam menganalisis sistem CPV. Untuk itu, digunakan data radiasi yang didapatkan secara *near real-time* dari rangkaian panel surya konvensional yang terpasang di

UMN secara langsung. Data iradiasi diperoleh dengan bantuan alat pengukuran yang terpasang pada rangkaian panel surya konvensional milik UMN. Data ini diakses dengan bantuan dari dosen pembimbing dan memiliki satu titik data setiap 5 menit, atau 25 titik data untuk setiap periode pengukuran 120 menit.

Walaupun data ini tercatat untuk hari-hari dan juga waktu yang sama dengan waktu pengukuran menggunakan sistem, perbedaan lokasi persis sensor iradiasi dan penempatan sistem dapat memunculkan perbedaan antara iradiasi terukur dan iradiasi sesungguhnya yang diterima oleh seluruh variasi sistem. Walau demikian, karena perbedaan lokasi efektif pengukuran sistem maupun iradiasi cukup dekat (<50 m), iradiasi yang terukur cukup sesuai dengan iradiasi sesungguhnya, dan dapat digunakan untuk keperluan analisis.

