

## **BAB III**

### **PERANCANGAN TUGAS AKHIR**

#### **3.1 Metode Penyusunan**

Metode penyusunan tugas akhir ini dilakukan secara sistematis mengikuti proses strategis mulai dari penentuan komponen, alat dan bahan alat, pembuatan gambaran awal alat, perhitungan kebutuhan dan target kemampuan alat serta desain final dari alat yang diwujudkan dalam penelitian ini. Tahapan dari tersebut antara lain :

##### *1. Research and Development*

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* atau teknik pengembangan. Pendekatan ini bertujuan untuk menghasilkan suatu produk atau alat yang mampu mencapai target kinerja alat yang sudah ditetapkan. Penyempurnaan alat dilakukan dengan proses perancangan, pembuatan dan pengujian iteratif hingga mencapai target fungsionalitas yang diharapkan. Pada penelitian alat ini, pengembangan awali dengan menentukan jenis heater yang digunakan untuk memanaskan pasir silika dalam proses charging pada baterai, dua heater tubular DC 500W 42V dengan panjang 40cm dipilih dengan pertimbangan daya keluaran panel dan persebaran panas di dalam baterai pasir. Riset selanjutnya adalah menemukan suatu metode untuk menjaga panas di dalam baterai pasir. Dalam hukum termodinamik panas akan selalu menuju titik yang lebih dingin, hal ini menyebabkan panas dari baterai akan terbuang ke udara bebas yang lebih dingin. Peran dari rockwool cukup vital dalam hal ini karena sifat rockwool yang sukar untuk menghantarkan panas menjadikan rockwool isolator yang baik, semua permukaan baterai dilapisi dengan rockwool untuk menjaga panas dari baterai supaya tidak terurai di udara bebas (suhu ruangan), lembaran aluminium digunakan untuk melapisi bagian luar dari rockwool untuk mencegah partikel rockwool berterbangan dan juga mencegah kontak langsung antara permukaan baterai dan aliran udara di sekitar baterai, kombinasi ini mampu menjaga suhu di dalam baterai tetap stabil disaat tidak terjadi pengisian panas. Proses riset selanjutnya adalah tahapan

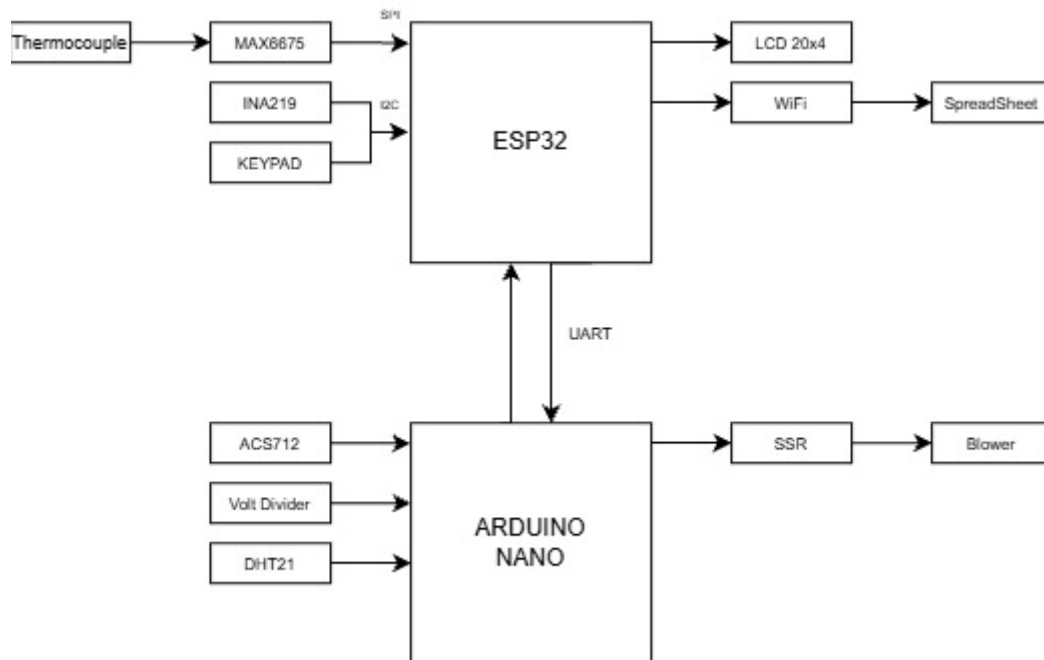
discharging baterai yaitu pemindahan panas dari baterai menuju ke pengering untuk digunakan dalam produksi, rintangan pertama yang dihadapi adalah rendahnya kemampuan udara dalam menghantarkan panas. Udara dipilih untuk menghantarkan panas secara konveksi karena biayanya yang murah dan resiko kecelakaan yang kecil bila terjadi kebocoran. Udara dialirkan dalam saluran pipa tembaga close loop yang terhubung pada blower untuk mendorong udara supaya bersirkulasi di dalam saluran pipa tembaga tersebut. Beberapa desain dari heat collector coil pada baterai sudah dicoba hingga mendapatkan satu desain optimal. Untuk radiator panas pada pengering sendiri terdapat 2 versi, fully close loop dan partially close loop. Pada saluran pipa fully close loop udara di dalam saluran tidak pernah meninggalkan saluran pipa tembaga karena ujung pipa tembaga pada bagian inlet blower dan pangkal pipa tembaga pada bagian outlet blower tetap terhubung membuat satu jalur yang tidak terputus dan suhu pada pengering akan meningkat akibat radiasi dari pipa tembaga yang memanaskan, udara yang sama digunakan berulang kali untuk meminimalisir terbuangnya suhu pada baterai pada proses pemindahan panas. Pada saluran pipa partially close loop, saluran terbuka pada bagian inlet dari dryer sehingga udara panas dari baterai akan mengisi dryer menyebabkan peningkatan suhu yang lebih cepat, outlet dari dryer terhubung ke inlet blower yang mana sebagian besar udara panas dari baterai diserap kembali untuk mengulangi siklus pemanasan.

## 2. Metode Observasi

Metode observasi dilakukan dengan cara mengamati dan menganalisis data yang di dapatkan dalam tahapan *Research and Development*. Data yang sudah dicatat akan di analisis untuk menentukan titik failure pada sistem yang berpotensi atau sudah menyebabkan penurunan performa yang menghambat tercapainya target fungsional dari alat. Daya dari panel, suhu pada heater, perbandingan suhu baterai dengan suhu ruangan pada waktu yang sama, kemampuan penyimpanan panas dan kemampuan penyaluran panas adalah variabel yang diamati dalam penelitian ini. Hasil dari observasi berdasarkan

data yang didapat dijadikan sebagai salah satu aspek dalam pengambilan keputusan untuk pengembangan pada alat dalam penelitian.

### 3.2 Perancangan hardware



Gambar 3. 1 Diagram blok

Dapat dilihat pada Gambar 3. 1, sensor dan aktuator pada alat terhubung pada ESP32 dan Arduino Nano melalui protokol komunikasi dari masing-masing sensor. MAX6675 sebagai pembaca tegangan dari thermocouple yang diubah menjadi besaran suhu mengirimkan data ke ESP32 menggunakan protokol SPI. INA219 adalah sensor yang membaca Arus, Tegangan dan Daya pada sisi terminal sensor itu sendiri (In+ dan In-), INA219 berkomunikasi dengan ESP32 menggunakan protokol I2C. Keypad dan LCD 20x4 merupakan perangkat interface yang digunakan untuk membaca kondisi sistem dan memberikan perintah kepada sistem, kedua komponen ini berkomunikasi menggunakan protokol I2C dengan jalur yang sama dengan perangkat I2C lainnya. ACS712 dan Volt Divider sebagai sensor tegangan terhubung dengan pembacaan analog langsung oleh Arduino Nano, kedua sensor ini mengirimkan sinyal analog dengan tegangan minimal 0V dan tegangan maksimal 5V sesuai dengan kemampuan pembacaan sinyal analog Arduino Nano. DHT21 terhubung dengan Arduino Nano melalui protokol *single*

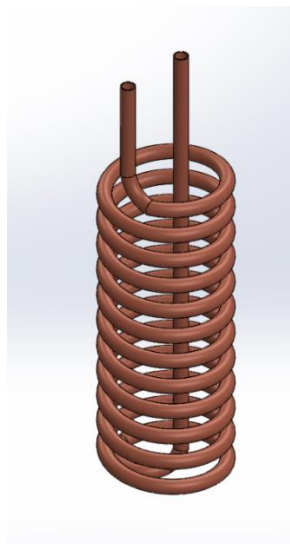
*wire signal* yang sering disebut dengan *I-wire*, protokol komunikasi serial ini memungkinkan sensor dan mikrokontroller untuk berkomunikasi dan saling mengirim ataupun menerima data hanya melalui satu kabel. Blower dikendalikan oleh Arduino Nano melalui SSR sebagai jembatan penghubung antara tegangan rendah Arduino Nano (5Vdc) dan tegangan AC pada blower (220Vac). Spreadsheet digunakan sebagai media untuk mencatat data logging dari sistem, pengiriman ke spreadsheet dilakukan oleh ESP32 ketika sistem terhubung dengan WiFi.

### 3.2.1 Perancangan Heat Collector Coil

#### 3.2.1.1 Perancangan Awal heat collector coil

Rancangan awal menggunakan pipa tembaga berukuran nominal 1/2 inci yang membentuk susunan heliks vertikal. *Coil* memiliki diameter keseluruhan sebesar 12 cm dan tinggi total sebesar 48 cm. Susunan heliks bertujuan memperluas bidang kontak antara pipa tembaga dan pasir silika serta mendistribusikan panas pada beberapa tingkat ketinggian di dalam tabung.

Tabung dalam memiliki tinggi sebesar 46 cm. Namun, seluruh bagian *coil* tidak berada di dalam media pasir silika. Perancang menempatkan bagian utama lilitan di dalam tabung, sedangkan ujung pipa keluar sekitar 5 cm dari bagian atas tabung. Ujung pipa tersebut berfungsi sebagai jalur masuk dan keluar aliran udara sekaligus memudahkan penyambungan *coil* dengan saluran blower. Design 3D perancangan awal bentuk coil dapat dilihat pada Gambar 3. 2.



Gambar 3. 2 Perancangan Awal Coil

Rancangan awal menggunakan pipa tembaga berukuran nominal 1/2 inci. Konversi ukuran tersebut ke satuan milimeter mengikuti persamaan berikut:

$$d_p = 0,5 \times 25,4$$

$$d_p = 12,7 \text{ mm}$$

Nilai tersebut menunjukkan hasil konversi ukuran nominal pipa. Diameter aktual pipa tetap perlu mengikuti hasil pengukuran langsung karena ukuran nominal tidak selalu sama dengan diameter luar atau diameter dalam pipa.

Diameter keseluruhan *coil* sebesar 12 cm menghasilkan jari-jari lilitan sebesar:

$$r_c = \frac{D_c}{2}$$

$$r_c = \frac{12}{2} = 6 \text{ cm}$$

Keliling satu lilitan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$K_c = \pi D_c$$

$$K_c = \pi(0,12)$$

$$K_c \approx 0,377 \text{ m}$$

Setiap lilitan membutuhkan panjang pipa sekitar 0,377 m. Jumlah lilitan yang banyak meningkatkan panjang lintasan aliran udara di dalam pipa. Selain itu, bentuk heliks menyebabkan udara mengalami perubahan arah secara terus-menerus sepanjang jalur *coil*.

Pengujian awal menunjukkan penurunan tekanan udara blower yang cukup besar setelah udara melewati *coil*. Diameter aliran yang relatif kecil, panjang lintasan pipa, jumlah lilitan, dan perubahan arah aliran meningkatkan hambatan terhadap aliran udara. Kondisi tersebut menurunkan kecepatan dan debit udara pada bagian keluaran *coil*.

Rugi tekanan akibat gesekan di dalam pipa dapat dijelaskan menggunakan persamaan Darcy-Weisbach berikut:

$$\Delta P_f = f \frac{L}{D_i} \frac{\rho v^2}{2}$$

dengan:

$$\begin{aligned}\Delta P_f &= \text{rugi tekanan akibat gesekan (Pa),} \\ f &= \text{faktor gesekan,} \\ L &= \text{panjang lintasan pipa (m),} \\ D_i &= \text{diameter dalam pipa (m),} \\ \rho &= \text{densitas udara (kg/m}^3\text{),} \\ v &= \text{kecepatan udara di dalam pipa (m/s).}\end{aligned}$$

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa peningkatan panjang pipa dan pengecilan diameter dalam dapat meningkatkan rugi tekanan. Selain rugi gesekan, geometri heliks juga menghasilkan rugi tekanan tambahan akibat perubahan arah aliran.

Rugi tekanan tambahan dapat dinyatakan melalui persamaan berikut:

$$\Delta P_m = K \frac{\rho v^2}{2}$$

dengan:

$$\begin{aligned}\Delta P_m &= \text{rugi tekanan akibat belokan dan sambungan (Pa),} \\ K &= \text{koefisien rugi minor,} \\ \rho &= \text{densitas udara (kg/m}^3\text{),} \\ v &= \text{kecepatan udara di dalam pipa (m/s).}\end{aligned}$$

Rugi tekanan total merupakan gabungan antara rugi gesekan sepanjang pipa dan rugi akibat perubahan arah aliran:

$$\Delta P_{\text{total}} = \Delta P_f + \sum \Delta P_m$$

*Tabel 3 - 1 Spesifikasi Heat Collector Coil*

| Parameter                        | Keterangan                                  |
|----------------------------------|---------------------------------------------|
| Material                         | Tembaga                                     |
| Ukuran nominal pipa              | 1/2 inci                                    |
| Konversi ukuran nominal          | 12,7 mm                                     |
| Bentuk                           | Heliks vertikal                             |
| Diameter keseluruhan <i>coil</i> | 12 cm                                       |
| Jari-jari lilitan                | 6 cm                                        |
| Tinggi keseluruhan               | 48 cm                                       |
| Posisi ujung pipa                | Keluar sekitar 5 cm dari bagian atas tabung |
| Keliling satu lilitan            | Sekitar 0,377 m                             |

| Parameter             | Keterangan                                   |
|-----------------------|----------------------------------------------|
| Sumber aliran udara   | Blower                                       |
| Fungsi                | Jalur pengambilan dan perpindahan panas      |
| Kendala utama         | Penurunan tekanan udara blower cukup besar   |
| Keputusan perancangan | Mengganti rancangan dengan <i>coil</i> kedua |

Berdasarkan hasil evaluasi, tinggi *coil* bukan faktor yang menyebabkan perubahan rancangan karena bagian ujung pipa memang keluar dari bagian atas tabung. Penggantian rancangan terutama mempertimbangkan penurunan tekanan udara blower setelah udara melewati jalur heliks.

Rancangan berikutnya menggunakan geometri yang lebih lebar dengan diameter keseluruhan sebesar 25,1 cm dan tinggi sebesar 36 cm. Perancang juga menggunakan jalur pipa 3/4 inci pada bagian bawah dan pipa 1/4 inci pada bagian lainnya. Perubahan tersebut bertujuan mengurangi hambatan aliran dan meningkatkan distribusi udara di dalam sistem. Spesifikasi Heat Collector Coil yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3 – 1.

### 3.2.1.2 Perancangan Akhir heat collector coil

Rancangan *coil* kedua merupakan hasil penyempurnaan dari rancangan awal. Perubahan rancangan bertujuan mengurangi hambatan aliran udara dan mempertahankan tekanan keluaran blower. Rancangan ini menggunakan pipa tembaga berukuran nominal 3/4 inci pada bagian bawah dan pipa tembaga berukuran nominal 1/4 inci pada bagian lainnya.

*Coil* kedua memiliki diameter keseluruhan sebesar 25,1 cm dan tinggi sebesar 36 cm. Susunan *coil* terdiri atas beberapa jalur melingkar yang terhubung dengan dua pipa vertikal. Geometri tersebut menghasilkan jalur aliran yang lebih terbuka dibandingkan rancangan awal. Diameter keseluruhan yang lebih besar juga memperluas area kontak antara pipa tembaga dan pasir silika.

Penggunaan pipa berukuran 3/4 inci pada bagian bawah bertujuan menyediakan jalur aliran udara dengan luas penampang yang lebih besar. Peningkatan luas penampang membantu mengurangi kecepatan udara pada bagian tersebut dan menekan rugi tekanan akibat gesekan. Pipa berukuran 1/4 inci pada bagian lainnya

membentuk jalur distribusi panas pada beberapa tingkat ketinggian di dalam media pasir silika.

Rancangan kedua mengurangi jumlah lilitan rapat yang terdapat pada rancangan awal. Susunan jalur yang lebih terbuka mengurangi perubahan arah aliran secara berulang dan membantu mempertahankan tekanan udara dari blower. *Coil* tetap menyediakan luas permukaan yang memadai untuk mendukung proses perpindahan panas antara udara di dalam pipa dan pasir silika. Design 3D perancangan akhir bentuk coil dapat dilihat pada Gambar 3. 3.



*Gambar 3. 3 Perancangan Akhir Coil*

Ukuran nominal pipa 3/4 inci dan 1/4 inci dapat dikonversi ke dalam satuan milimeter sebagai berikut:

$$d_{3/4} = \frac{3}{4} \times 25,4 = 19,05 \text{ mm}$$

$$d_{1/4} = \frac{1}{4} \times 25,4 = 6,35 \text{ mm}$$

Nilai tersebut menunjukkan hasil konversi ukuran nominal pipa. Diameter luar dan diameter dalam aktual perlu mengikuti hasil pengukuran komponen karena ukuran nominal pipa tidak selalu sama dengan diameter fisiknya.

### 3.2.1.3 Kesesuaian Rancangan dengan Tabung Dalam

Tabung dalam memiliki diameter sebesar 32 cm, sedangkan *coil* kedua memiliki diameter keseluruhan sebesar 25,1 cm. Jarak radial antara sisi luar *coil* dan dinding tabung dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$C_r = \frac{D_{\text{tabung}} - D_{\text{coil}}}{2}$$

$$C_r = \frac{32 - 25,1}{2}$$

$$C_r = 3,45 \text{ cm}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa rancangan menyediakan jarak radial sekitar 3,45 cm pada setiap sisi. Ruang tersebut memungkinkan pasir silika berada di antara permukaan *coil* dan dinding tabung. Pasir pada ruang tersebut menerima panas dari pipa tembaga dan menyimpannya sebagai energi termal sensibel. Tabung dalam memiliki tinggi sebesar 46 cm, sedangkan *coil* kedua memiliki tinggi sebesar 36 cm. Selisih tinggi kedua komponen mencapai:

$$\Delta H = H_{\text{tabung}} - H_{\text{coil}}$$

$$\Delta H = 46 - 36$$

$$\Delta H = 10 \text{ cm}$$

Jika *coil* menempati bagian tengah tabung secara vertikal, ruang pada bagian atas dan bawah masing-masing mencapai:

$$C_v = \frac{\Delta H}{2}$$

$$C_v = \frac{10}{2} = 5 \text{ cm}$$

Ruang vertikal tersebut memungkinkan pasir silika menutupi bagian atas dan bawah *coil*. Penempatan akhir tetap menyesuaikan posisi saluran masuk, saluran keluar, elemen pemanas, dan thermocouple.

### 3.2.1.4 Pertimbangan Rugi Tekanan

Rugi tekanan total pada jalur udara mencakup rugi gesekan sepanjang pipa dan rugi akibat sambungan serta perubahan arah aliran. Hubungan tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\Delta P_{\text{total}} = \Delta P_f + \sum \Delta P_m$$

Rugi tekanan akibat gesekan mengikuti persamaan Darcy-Weisbach:

$$\Delta P_f = f \frac{L}{D_i} \frac{\rho v^2}{2}$$

Rugi tekanan akibat belokan dan sambungan mengikuti persamaan:

$$\Delta P_m = K \frac{\rho v^2}{2}$$

dengan:

- $\Delta P_{\text{total}}$  = rugi tekanan total (Pa),
- $\Delta P_f$  = rugi tekanan akibat gesekan (Pa),
- $\Delta P_m$  = rugi tekanan akibat belokan dan sambungan (Pa),
- $f$  = faktor gesekan,
- $L$  = panjang pipa (m),
- $D_i$  = diameter dalam pipa (m),
- $\rho$  = densitas udara ( $\text{kg/m}^3$ ),
- $v$  = kecepatan udara (m/s),
- $K$  = koefisien rugi minor.

Rancangan kedua menggunakan susunan yang lebih lebar dan lebih terbuka untuk mengurangi hambatan aliran. Namun, peneliti tetap perlu mengukur tekanan atau kecepatan udara pada bagian masuk dan keluar *coil* untuk memastikan peningkatan kinerja aliran secara eksperimental. Spesifikasi rancangan coil kedua dapat dilihat pada Tabel 3 – 2.

*Tabel 3 - 2 Spesifikasi Rancangan Coil Kedua*

| Parameter                            | Keterangan                 |
|--------------------------------------|----------------------------|
| Material utama                       | Tembaga                    |
| Bentuk                               | Jalur melingkar bertingkat |
| Ukuran pipa bagian bawah             | 3/4 inci                   |
| Konversi nominal pipa bagian bawah   | 19,05 mm                   |
| Ukuran pipa bagian lainnya           | 1/4 inci                   |
| Konversi nominal pipa bagian lainnya | 6,35 mm                    |
| Diameter keseluruhan <i>coil</i>     | 25,1 cm                    |
| Tinggi keseluruhan <i>coil</i>       | 36 cm                      |

| Parameter                        | Keterangan                                        |
|----------------------------------|---------------------------------------------------|
| Diameter tabung dalam            | 32 cm                                             |
| Tinggi tabung dalam              | 46 cm                                             |
| Jarak radial dari dinding tabung | Sekitar 3,45 cm                                   |
| Selisih tinggi dengan tabung     | 10 cm                                             |
| Ruang vertikal teoritis          | Sekitar 5 cm pada bagian atas dan bawah           |
| Media di sekitar <i>coil</i>     | Pasir silika                                      |
| Sumber aliran udara              | Blower                                            |
| Fungsi utama                     | Menyalurkan udara dan mendukung perpindahan panas |
| Status rancangan                 | Rancangan akhir                                   |

Berdasarkan hasil evaluasi geometris, rancangan kedua lebih sesuai dengan ukuran tabung dalam. Diameter *coil* sebesar 25,1 cm memperluas jangkauan perpindahan panas, sedangkan tinggi sebesar 36 cm memberikan ruang yang cukup pada bagian atas dan bawah tabung. Susunan jalur yang lebih terbuka juga bertujuan mengurangi penurunan tekanan udara blower yang muncul pada rancangan awal.

Dengan demikian, penelitian memilih rancangan kedua sebagai rancangan akhir *coil* tembaga. Rancangan ini mempertimbangkan dua kebutuhan utama, yaitu pemerataan perpindahan panas pada pasir silika dan keberlanjutan aliran udara di dalam pipa.

### 3.2.2 Perancangan Penempatan Thermocouple Tipe K pada Ruang Pengering

Untuk memantau distribusi dan profil suhu secara akurat di dalam ruang pengering (*oven*), sistem instrumentasi pada penelitian ini menggunakan sensor suhu termokopel (Thermocouple Type-K). Instalasi fisik termokopel dilakukan dengan membuat jalur lubang pada pelat dinding bagian belakang ruang pengering, sehingga *probe* (ujung logam sensor) dapat menembus masuk secara langsung ke dalam area sirkulasi udara panas. Untuk memastikan tidak ada kebocoran panas (disipasi termal) dari lubang tersebut, area masuknya kabel sensor diisolasi dengan rapat.

Sistem ini mengimplementasikan pemasangan total tiga buah sensor termokopel di dalam ruang pengering. Penempatan ketiga sensor tersebut dialokasikan secara spesifik untuk masing-masing tingkatan rak, yakni Rak 1 (posisi teratas), Rak 2 (posisi tengah), dan Rak 3 (posisi paling bawah). Karena letak sensor yang berbeda ketinggian, sangat dimungkinkan terjadinya disparitas (perbedaan) pembacaan nilai suhu pada masing-masing rak. Fenomena ini disebabkan oleh prinsip termodinamika terkait perbedaan massa jenis (densitas) udara. Udara bersuhu tinggi memiliki massa jenis yang lebih rendah, sehingga gaya apung (*buoyancy force*) akan mendorong massa udara panas tersebut untuk selalu bergerak naik ke bagian atas ruang tertutup (stratifikasi termal). Akibatnya, sensor pada Rak 1 secara alamiah akan membaca suhu yang relatif lebih tinggi dibandingkan Rak 2 dan Rak 3.

Guna mendapatkan satu nilai parameter suhu tunggal yang paling representatif untuk meregulasi algoritma kontrol aktuator (kondisi ON/OFF *blower*), mikrokontroler diprogram untuk menghitung nilai suhu rata-rata (*mean*) dari keseluruhan ruang pengering. Persamaan matematis yang digunakan untuk kalkulasi suhu rata-rata tersebut dirumuskan sebagai berikut:

$$T_{avg} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i$$

Mengingat jumlah sensor termokopel yang terpasang di dalam *oven* adalah tiga buah ( $n = 3$ ), maka penjabaran persamaan kalkulasinya pada program mikrokontroler menjadi:

$$T_{avg} = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{3}$$

Keterangan:

$T_{avg}$  = Suhu rata-rata ruang pengering ( $^{\circ}\text{C}$ )

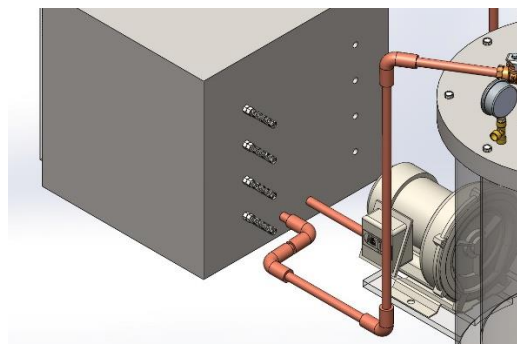
$T_1$  = Pembacaan suhu termokopel pada Rak 1 atas ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_2$  = Pembacaan suhu termokopel pada Rak 2 tengah ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_3$  = Pembacaan suhu termokopel pada Rak 3 bawah ( $^{\circ}\text{C}$ )

$n$  = Jumlah total sensor pada ruang pengering

Dari segi arsitektur perangkat keras, sinyal tegangan analog dalam skala milivolt (mV) yang dihasilkan oleh ujung bimetal termokopel (Efek Seebeck) tidak dapat diproses langsung oleh pin mikrokontroler. Oleh karena itu, ketiga jalur kabel termokopel tersebut dihubungkan ke tiga buah modul *amplifier* IC MAX6675 pada panel kontrol. Modul MAX6675 bertugas melakukan kompensasi persimpangan dingin (*cold-junction compensation*) sekaligus mengonversi sinyal analog tersebut menjadi data digital. Data digital pembacaan dari ketiga sensor ini kemudian dikirimkan secara serempak ke mikrokontroler (ESP32) melalui jalur komunikasi antarmuka *Serial Peripheral Interface* (SPI) untuk selanjutnya dihitung nilai  $T_{avg}$ -nya dan dikirim ke *database* pemantauan IoT. Gambar dan keterangan penempatan sensor thermocouple dapat dilihat pada Gambar 3. 4 dan Tabel 3 – 3.



Gambar 3. 4 Penempatan Sensor Thermocouple

Tabel 3 - 3 Penempatan Sensor Thermocouple

| Parameter             | Keterangan                              |
|-----------------------|-----------------------------------------|
| Jenis sensor          | Thermocouple tipe K                     |
| Jumlah sensor         | 2 unit                                  |
| Modul pembaca         | 2 modul MAX6675                         |
| Orientasi pemasangan  | Vertikal                                |
| Jalur pemasangan      | Melalui penutup tabung                  |
| Posisi sensor pertama | Sisi kiri ruang penyimpanan             |
| Posisi sensor kedua   | Lebih dekat dengan bagian tengah tabung |
| Kedalaman pemasangan  | Relatif sama                            |
| Posisi ujung sensor   | Tidak menyentuh dasar tabung            |

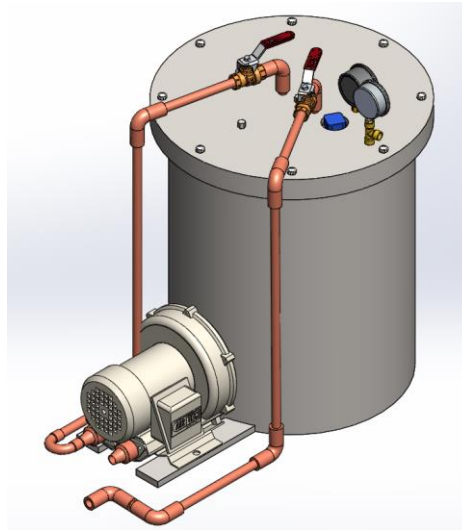
| Parameter                         | Keterangan                                    |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------|
| Kontak dengan heater              | Tidak ada                                     |
| Kontak dengan <i>coil</i> tembaga | Tidak ada                                     |
| Media yang diukur                 | Pasir silika                                  |
| Parameter hasil pengolahan        | Temperatur rata-rata dan perbedaan temperatur |

### 3.2.3 Perancangan Blower dan Saluran Pipa Tembaga untuk Udara

Perancangan blower dan saluran udara bertujuan membentuk sistem sirkulasi udara yang mampu mengambil energi termal dari pasir silika dan menyalurkannya menuju oven. Blower menghasilkan perbedaan tekanan yang mendorong udara melewati *coil* tembaga di dalam tabung *sand battery*. Udara kemudian menerima panas melalui dinding pipa tembaga sebelum mengalir menuju oven.

Rancangan menggunakan blower sentrifugal yang ditempatkan di sisi luar tabung utama. Blower berada pada dudukan datar agar posisinya tetap stabil selama pengoperasian. Penempatan blower di luar tabung juga memudahkan proses pemasangan, pemeriksaan, perawatan, dan penyambungan dengan saluran udara.

Sistem menggunakan dua jalur pipa tembaga pada bagian luar tabung. Salah satu jalur menghubungkan blower dengan saluran masuk *coil*, sedangkan jalur lainnya menghubungkan saluran keluar *coil* dengan oven. Kedua ujung *coil* keluar melalui penutup tabung sehingga proses penyambungan dapat dilakukan tanpa membuat lubang tambahan pada dinding samping tabung.



*Gambar 3. 5 Perancangan Blower dan Saluran Udara pada Sistem Sand Battery*

Gambar 3.5 menunjukkan bahwa saluran udara menggunakan beberapa sambungan siku 90° untuk menyesuaikan arah aliran dengan posisi blower, tabung *sand battery*, dan oven. Sambungan tersebut memungkinkan pipa mengikuti bentuk konstruksi tanpa mengganggu posisi penutup, elemen pemanas, thermocouple, dan komponen lainnya.

Katup manual terpasang pada jalur perpipaan di bagian atas tabung. Katup tersebut memberikan akses untuk membuka, menutup, atau mengatur aliran udara pada saat pengoperasian dan pemeriksaan sistem. Penempatan katup di atas penutup memudahkan pengguna dalam mengoperasikan katup tanpa membongkar bagian utama konstruksi.

Rancangan juga menempatkan alat ukur pada bagian penutup tabung untuk membantu pemantauan kondisi sistem. Posisi alat ukur dan katup mempertimbangkan kemudahan pembacaan serta akses pengoperasian. Tata letak komponen pada penutup tetap menyediakan ruang yang cukup agar setiap komponen tidak saling mengganggu.

Aliran udara pada sistem dimulai ketika blower menarik udara dari lingkungan dan mendorong udara menuju saluran masuk. Udara kemudian memasuki *coil* tembaga yang berada di dalam pasir silika. Pasir silika bertemperatur tinggi memindahkan panas menuju permukaan luar pipa melalui konduksi. Dinding

pipa tembaga menghantarkan panas menuju permukaan dalam pipa, kemudian udara menyerap panas tersebut melalui konveksi.

Setelah melewati *coil*, udara yang telah mengalami kenaikan temperatur bergerak menuju saluran keluar. Saluran tersebut mengarahkan udara panas menuju oven yang berfungsi sebagai beban termal. Dengan susunan ini, sistem dapat memanfaatkan energi yang tersimpan di dalam pasir silika tanpa mempertemukan udara secara langsung dengan pasir.

$$Q_v = Av$$

dengan:

$Q_v$  = debit volumetrik udara ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),

$A$  = luas penampang saluran udara ( $\text{m}^2$ ),

$v$  = kecepatan udara di dalam saluran ( $\text{m/s}$ ).

Luas penampang saluran berbentuk lingkaran dapat dihitung menggunakan Persamaan.

$$A = \frac{\pi D_i^2}{4}$$

dengan  $D_i$  sebagai diameter dalam pipa dalam satuan meter. Diameter dalam pipa memengaruhi kecepatan udara dan hambatan aliran. Diameter yang terlalu kecil dapat meningkatkan kecepatan aliran dan rugi tekanan, sedangkan diameter yang lebih besar dapat membantu menurunkan hambatan pada debit yang sama.

Perancangan saluran udara juga mempertimbangkan rugi tekanan yang muncul akibat gesekan, sambungan, katup, dan perubahan arah aliran. Rugi tekanan akibat gesekan sepanjang pipa dapat dijelaskan melalui persamaan Darcy-Weisbach berikut:

$$\Delta P_f = f \frac{L}{D_i} \frac{\rho v^2}{2}$$

dengan:

$\Delta P_f$  = rugi tekanan akibat gesekan (Pa),

$f$  = faktor gesekan,

$L$  = panjang saluran udara (m),

$D_i$  = diameter dalam pipa (m),

$\rho$  = densitas udara ( $\text{kg/m}^3$ ),

$v$  = kecepatan udara ( $\text{m/s}$ ).

Sambungan siku, katup, perubahan diameter, dan sambungan antarpipa menghasilkan rugi tekanan tambahan. Rugi tekanan tersebut dapat dinyatakan melalui Persamaan.

$$\Delta P_m = K \frac{\rho v^2}{2}$$

dengan:

$\Delta P_m$  = rugi tekanan akibat komponen saluran (Pa),

$K$  = koefisien rugi komponen,

$\rho$  = densitas udara ( $\text{kg/m}^3$ ),

$v$  = kecepatan udara (m/s).

Rugi tekanan total merupakan penjumlahan rugi gesekan sepanjang pipa dan rugi akibat komponen saluran.

$$\Delta P_{\text{total}} = \Delta P_f + \sum \Delta P_m$$

Jumlah sambungan siku pada rancangan perlu mendapat perhatian karena setiap perubahan arah dapat meningkatkan hambatan aliran. Oleh karena itu, proses perakitan harus menjaga keselarasan pipa, kerapatan sambungan, dan posisi katup. Kebocoran pada sambungan dapat menurunkan debit udara yang melewati *coil* serta mengurangi temperatur udara yang mencapai oven.

Kemampuan udara dalam membawa energi termal dapat dihitung berdasarkan laju aliran massa dan perubahan temperatur udara.

$$\dot{Q}_{\text{udara}} = \dot{m}_{\text{udara}} c_{p,\text{udara}} (T_{\text{out}} - T_{\text{in}})$$

dengan:

$\dot{Q}_{\text{udara}}$  = laju energi termal yang diterima udara (W),

$\dot{m}_{\text{udara}}$  = laju aliran massa udara (kg/s),

$c_{p,\text{udara}}$  = kapasitas panas spesifik udara (J/kgK),

$T_{\text{in}}$  = temperatur udara sebelum memasuki coil ( $^{\circ}\text{C}$ ),

$T_{\text{out}}$  = temperatur udara setelah melewati coil ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Laju aliran massa udara dapat dihitung melalui hubungan berikut:

$$\dot{m}_{\text{udara}} = \rho_{\text{udara}} Q_v$$

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa kemampuan sistem dalam menyalurkan panas menuju oven dipengaruhi oleh debit udara dan kenaikan temperatur udara. Debit yang terlalu rendah dapat membatasi jumlah energi termal

yang sistem pindahkan. Sebaliknya, debit yang terlalu tinggi dapat memperpendek waktu kontak udara dengan permukaan pipa sehingga kenaikan temperatur udara menjadi lebih kecil. Spesifikasi Blower dan Saluran Udara dapat dilihat pada Tabel 3 – 4.

*Tabel 3 - 4 Spesifikasi Blower dan Saluran Udara*

| <b>Parameter</b>             | <b>Keterangan</b>                          |
|------------------------------|--------------------------------------------|
| Jenis blower                 | Blower sentrifugal                         |
| Posisi blower                | Di sisi luar tabung utama                  |
| Dudukan blower               | Pelat datar                                |
| Fluida kerja                 | Udara                                      |
| Material saluran             | Pipa tembaga                               |
| Jumlah jalur utama           | Dua jalur                                  |
| Jalur pertama                | Blower menuju saluran masuk <i>coil</i>    |
| Jalur kedua                  | Saluran keluar <i>coil</i> menuju oven     |
| Posisi sambungan <i>coil</i> | Bagian atas penutup tabung                 |
| Jenis sambungan              | Sambungan lurus dan siku 90°               |
| Komponen pengatur aliran     | Katup manual                               |
| Penukar panas                | <i>Coil</i> tembaga                        |
| Sumber energi termal         | Pasir silika bertemperatur tinggi          |
| Penerima udara panas         | Oven                                       |
| Pertimbangan utama           | Debit, tekanan, kebocoran, dan rugi aliran |

Secara keseluruhan, rancangan blower dan saluran udara menghubungkan *sand battery* dengan oven melalui sistem perpipaan tertutup. Blower mendorong udara melewati *coil* tembaga, sedangkan pasir silika menyediakan energi termal yang udara serap. Saluran keluar kemudian membawa udara panas menuju oven.

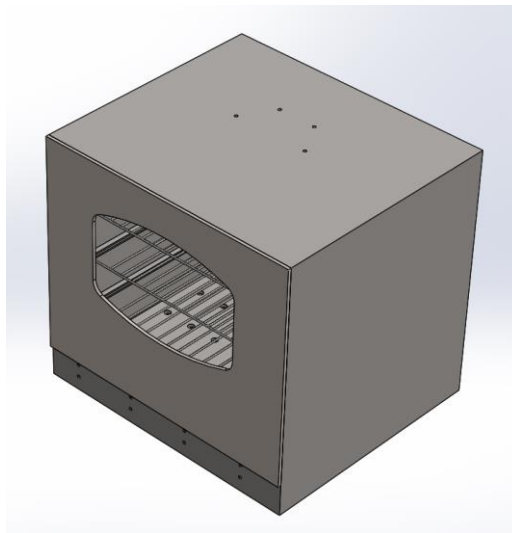
Penempatan blower di luar tabung memberikan akses yang mudah untuk pemeriksaan dan pemeliharaan. Posisi saluran masuk dan keluar pada bagian atas penutup juga membuat konstruksi lebih teratur. Katup manual mendukung pengaturan jalur udara, sedangkan sambungan pipa menjaga kontinuitas aliran dari blower menuju *coil* dan oven. Kinerja rancangan selanjutnya dapat dievaluasi

melalui pengukuran debit, tekanan, serta temperatur udara pada sisi masuk dan keluar.

#### 3.2.4 Perancangan Integrasi *Sand Battery* dengan Oven

Oven berfungsi sebagai ruang penerima dan pemanfaat energi termal dari sistem *sand battery*. Blower mengalirkan udara melalui *coil* tembaga yang berada di dalam pasir silika. Udara menyerap energi termal dari pasir, kemudian saluran udara mengarahkannya menuju oven.

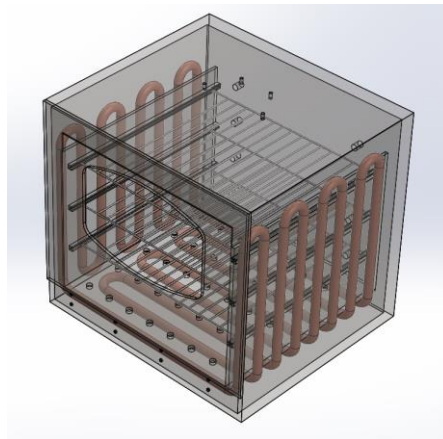
Rancangan oven menggunakan bentuk kabinet tertutup dengan penampang persegi panjang. Struktur tersebut menyediakan ruang yang memadai untuk penempatan rak dan saluran perpindahan panas. Bagian depan oven menggunakan pintu yang dilengkapi jendela pengamatan. Jendela tersebut memungkinkan pengguna mengamati kondisi bagian dalam tanpa membuka pintu sehingga kehilangan panas selama pengoperasian dapat dikurangi. Rancangan keseluruhan oven dapat dilihat pada Gambar 3. 6.



Gambar 3. 6 Rancangan Keseluruhan Oven

Bagian dalam oven memiliki beberapa rak yang tersusun secara horizontal dan bertingkat. Susunan tersebut membagi ruang oven menjadi beberapa tingkat serta memungkinkan udara panas bersirkulasi melalui celah antar-rak. Struktur rak menggunakan bentuk terbuka agar aliran udara tidak terhambat oleh permukaan yang tertutup sepenuhnya.

Rancangan menempatkan pipa tembaga berbentuk saluran berkelok pada sisi kiri, sisi kanan, dan bagian bawah oven. Susunan pipa pada beberapa sisi bertujuan memperluas bidang perpindahan panas dan membantu mendistribusikan energi termal ke berbagai bagian ruang oven. Posisi pipa pada bagian bawah mendukung pemanasan dari bagian dasar, sedangkan pipa pada kedua sisi mendukung penyebaran panas secara lateral. Susunan komponen dan pipa tembaga di dalam oven dapat dilihat pada Gambar 3. 7.



*Gambar 3. 7 Susunan Komponen dan Pipa Tembaga di Dalam Oven*

Udara panas mengalir melalui sistem saluran yang terhubung dengan *sand battery*. Selanjutnya, energi termal berpindah menuju ruang oven melalui pipa dan sirkulasi udara di dalam kabinet. Saluran masuk dan keluar perlu memiliki sambungan yang rapat agar sistem dapat mengurangi kebocoran udara dan kehilangan panas sebelum udara mencapai ruang oven.

Pintu oven menggunakan sistem penutup yang memberikan akses terhadap seluruh rak. Pada saat pintu tertutup, bidang pintu menutup bagian depan ruang oven. Sambungan pintu perlu memiliki kerapatan yang memadai agar udara panas tidak keluar melalui celah di sepanjang sisi pintu. Penggunaan material penyekat tahan temperatur pada bagian tepi dapat membantu mengurangi kebocoran panas.

Perancangan oven mempertimbangkan beberapa aspek utama, yaitu:

1. kapasitas ruang oven;
2. jumlah dan jarak antar-rak;
3. sirkulasi udara di antara rak;

4. posisi saluran udara masuk dan keluar;
5. susunan pipa tembaga;
6. kerapatan pintu dan sambungan;
7. distribusi temperatur di dalam ruang oven; dan
8. kemudahan pemeriksaan serta pemeliharaan.

Spesifikasi keseluruhan oven dapat dilihat pada Tabel 3 – 5.

*Tabel 3 - 5 Spesifikasi Oven*

| Parameter                   | Keterangan                              |
|-----------------------------|-----------------------------------------|
| Bentuk konstruksi           | Kabinet persegi panjang                 |
| Fungsi                      | Beban termal sistem <i>sand battery</i> |
| Sumber energi termal        | Udara panas dari <i>sand battery</i>    |
| Sumber aliran udara         | Blower sentrifugal                      |
| Akses ruang oven            | Pintu bagian depan                      |
| Fitur pintu                 | Jendela pengamatan                      |
| Susunan rak                 | Horizontal dan bertingkat               |
| Bentuk rak                  | Terbuka untuk mendukung aliran udara    |
| Material saluran panas      | Pipa tembaga                            |
| Posisi pipa tembaga         | Sisi kiri, sisi kanan, dan bagian bawah |
| Mekanisme perpindahan panas | Konduksi dan konveksi                   |
| Sistem pemanas tambahan     | Tidak digunakan                         |
| Parameter utama             | Temperatur ruang oven                   |

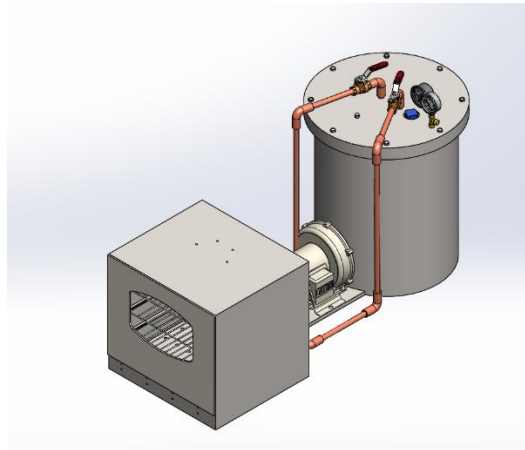
Secara keseluruhan, rancangan oven mengintegrasikan kabinet tertutup, rak bertingkat, jendela pengamatan, dan pipa tembaga berkelok. Susunan pipa pada kedua sisi dan bagian bawah bertujuan memperluas area perpindahan panas, sedangkan rak terbuka mendukung pergerakan udara di dalam ruang oven. Oven kemudian memanfaatkan energi termal yang berasal dari *sand battery* sebagai ruang penerima panas.

### 3.2.5 Hasil Akhir Perancangan Mekanik

Hasil akhir perancangan mekanikal menghasilkan sistem terintegrasi yang terdiri atas unit *sand battery*, blower sentrifugal, jaringan perpipaan, katup manual,

instrumen pemantauan, dan oven. Seluruh komponen membentuk satu kesatuan mekanikal yang mendukung proses penyimpanan dan penyaluran energi termal.

Gambar 3.8 menunjukkan susunan akhir komponen mekanikal dalam tampilan isometrik.



*Gambar 3. 8 Hasil Akhir Perancangan Mekanikal Sistem Sand Battery dan Oven*

Berdasarkan Gambar 3.8, oven berada pada bagian depan, blower sentrifugal berada di antara oven dan *sand battery*, sedangkan unit *sand battery* berada pada bagian belakang. Tata letak tersebut menghasilkan susunan yang ringkas dan mempersingkat jarak antara komponen utama. Penempatan ini juga memberikan ruang yang cukup untuk pemasangan saluran udara serta memudahkan proses pemeriksaan dan pemeliharaan.

Unit *sand battery* menggunakan konstruksi tabung berbentuk silinder. Tabung tersebut terdiri atas tabung dalam dan tabung luar. Tabung dalam berfungsi menampung 57 kg pasir silika berukuran 30 sampai 50 mesh, dua elemen pemanas, *coil* tembaga, dan dua thermocouple tipe K. Tabung luar berfungsi melindungi tabung dalam dan material isolasi termal.

Bagian atas unit *sand battery* menggunakan penutup berbentuk lingkaran. Sejumlah baut terpasang secara merata di sepanjang tepi penutup untuk menghubungkan penutup dengan badan tabung. Penggunaan baut memungkinkan penulis membuka penutup ketika perlu memeriksa pasir silika, elemen pemanas, *coil* tembaga, atau thermocouple.

Penutup tabung juga menjadi tempat pemasangan saluran masuk dan keluar udara, dua katup manual, instrumen analog, serta komponen pendukung lainnya. Penempatan komponen pada bagian atas memberikan akses yang lebih mudah selama pengoperasian dan pemeriksaan. Susunan tersebut juga mengurangi kebutuhan pembuatan lubang tambahan pada dinding samping tabung.

Dua elemen pemanas dengan spesifikasi masing-masing sebesar 42 V dan 500 W terpasang secara vertikal melalui penutup tabung. Bagian aktif elemen pemanas berada di dalam pasir silika, sedangkan terminal listrik berada di atas penutup. Penempatan vertikal memperluas bidang kontak antara elemen pemanas dengan media pasir. Secara elektrik, kedua elemen pemanas terhubung secara seri sehingga memiliki tegangan nominal total sebesar 84 V dan daya nominal total sebesar 1.000 W.

Di dalam tabung terdapat *coil* tembaga yang berfungsi sebagai jalur aliran udara dan penukar panas. Rancangan akhir *coil* memiliki diameter keseluruhan sebesar 25,1 cm dan tinggi sebesar 36 cm. Bagian bawah *coil* menggunakan pipa tembaga berukuran nominal 3/4 inci, sedangkan bagian lainnya menggunakan pipa tembaga berukuran nominal 1/4 inci.

Pasir silika mengelilingi sebagian besar permukaan luar *coil*. Ketika pasir memiliki temperatur yang lebih tinggi daripada udara di dalam pipa, panas berpindah dari pasir menuju permukaan luar pipa. Pipa tembaga kemudian menghantarkan panas menuju permukaan dalam, lalu udara menyerap panas tersebut selama melewati jalur *coil*.

Dua thermocouple tipe K terpasang secara vertikal melalui penutup tabung. Kedua sensor menempati posisi horizontal yang berbeda dengan kedalaman pemasangan yang relatif sama. Penempatan tersebut memungkinkan sistem mengukur temperatur pada dua lokasi di dalam pasir silika. Ujung thermocouple tidak menyentuh elemen pemanas, *coil* tembaga, dinding tabung, atau dasar tabung agar pembacaan sensor dapat mewakili temperatur pasir.

Blower sentrifugal berada pada bagian tengah sistem, tepatnya di antara oven dan unit *sand battery*. Blower terpasang pada dudukan datar yang

mempertahankan kestabilan komponen selama pengoperasian. Dudukan juga menjaga posisi blower agar tetap sejajar dengan jaringan perpipaan.

Blower menghasilkan aliran udara yang melewati *coil* tembaga. Udara dari lingkungan masuk melalui sisi masukan blower, kemudian blower mendorong udara menuju saluran yang terhubung dengan unit *sand battery*. Setelah melewati *coil*, udara mengalami kenaikan temperatur dan bergerak menuju oven melalui saluran keluaran.

Jaringan perpipaan berada pada sisi luar tabung dan menggunakan beberapa sambungan lurus serta siku 90°. Sambungan siku mengubah arah aliran agar pipa dapat menghubungkan blower, bagian atas *sand battery*, dan oven. Susunan pipa eksternal memberikan akses yang lebih mudah untuk pemeriksaan sambungan dan mengurangi gangguan terhadap komponen internal tabung.

Dua katup manual terpasang pada saluran di bagian atas penutup. Katup tersebut berfungsi membuka, menutup, atau mengatur jalur aliran udara. Penempatan tuas katup pada bagian atas memudahkan pengguna mengoperasikan sistem tanpa membongkar konstruksi utama.

Instrumen analog juga terpasang pada bagian atas penutup tabung. Instrumen tersebut mendukung pemantauan kondisi sistem pada jalur perpipaan. Posisi instrumen memberikan kemudahan pembacaan selama sistem beroperasi. Jenis dan rentang pengukuran instrumen perlu mengikuti komponen yang terpasang pada prototipe aktual.

Oven berada di bagian depan sistem dan menggunakan konstruksi kabinet tertutup. Pintu oven memiliki jendela pengamatan yang memungkinkan pengguna mengamati bagian dalam oven tanpa membuka pintu. Fitur tersebut membantu mengurangi kehilangan panas akibat pembukaan pintu selama proses pengoperasian.

Bagian dalam oven memiliki rak horizontal yang tersusun secara bertingkat. Struktur rak menggunakan bentuk terbuka agar udara panas dapat mengalir melalui celah antar-rak. Susunan tersebut mendukung distribusi udara pada beberapa bagian ruang oven dan memungkinkan sistem memanfaatkan volume ruang secara lebih efektif.

Udara panas dari *sand battery* masuk menuju oven setelah melewati *coil* tembaga. Oven kemudian menerima dan mempertahankan energi termal tersebut di dalam ruang tertutup. Dengan demikian, oven berfungsi sebagai beban termal yang memanfaatkan panas dari media pasir silika.

Sistem perpipaan memerlukan sambungan yang rapat agar udara tidak keluar sebelum mencapai oven. Kebocoran pada sambungan dapat menurunkan debit aliran dan mengurangi temperatur udara yang sampai ke ruang oven. Oleh karena itu, rancangan mempertimbangkan posisi sambungan, jumlah belokan, pemasangan katup, dan penyangga saluran.

Penempatan blower di antara oven dan *sand battery* memberikan beberapa keuntungan. Posisi tersebut mempersingkat jarak penghubung, mengurangi kebutuhan saluran yang terlalu panjang, dan memudahkan pemeriksaan blower. Namun, proses pemasangan tetap harus menjaga jarak aman antara blower dengan permukaan panas agar temperatur sistem tidak mengganggu kinerja blower. Spesifikasi keseluruhan alat dapat dilihat pada Tabel 3 – 6.

Tabel 3 - 6 Spesifikasi Final Alat

| Bagian                     | Hasil Perancangan                                          |
|----------------------------|------------------------------------------------------------|
| Konfigurasi sistem         | <i>Sand battery</i> , blower, jaringan perpipaan, dan oven |
| Bentuk <i>sand battery</i> | Tabung silinder berlapis                                   |
| Diameter tabung dalam      | 32 cm                                                      |
| Tinggi tabung dalam        | 46 cm                                                      |
| Diameter tabung luar       | 50 cm                                                      |
| Tinggi tabung luar         | 40 cm                                                      |
| Media penyimpan panas      | Pasir silika                                               |
| Massa pasir silika         | 57 kg                                                      |
| Ukuran pasir silika        | 30 sampai 50 mesh                                          |
| Material isolasi           | Rockwool dan aluminium foil                                |
| Ketebalan rockwool         | 5 cm                                                       |
| Jumlah elemen pemanas      | 2 unit                                                     |

| Bagian                        | Hasil Perancangan                      |
|-------------------------------|----------------------------------------|
| Spesifikasi elemen pemanas    | 42 V dan 500 W per unit                |
| Posisi elemen pemanas         | Vertikal melalui penutup tabung        |
| Konfigurasi elektrik heater   | Seri                                   |
| Daya nominal total heater     | 1.000 W                                |
| Material <i>coil</i>          | Tembaga                                |
| Diameter <i>coil</i> akhir    | 25,1 cm                                |
| Tinggi <i>coil</i> akhir      | 36 cm                                  |
| Pipa bagian bawah <i>coil</i> | Nominal 3/4 inci                       |
| Pipa bagian lain              | Nominal 1/4 inci                       |
| Sensor temperatur pasir       | 2 thermocouple tipe K                  |
| Orientasi thermocouple        | Vertikal                               |
| Penggerak aliran udara        | Blower sentrifugal                     |
| Posisi blower                 | Di antara oven dan <i>sand battery</i> |
| Dudukan blower                | Dudukan datar                          |
| Material saluran udara        | Pipa tembaga                           |
| Jenis sambungan               | Sambungan lurus dan siku 90°           |
| Pengatur aliran               | Dua katup manual                       |
| Instrumen pemantauan          | Instrumen analog pada penutup tabung   |
| Bentuk oven                   | Kabinet tertutup                       |
| Akses oven                    | Pintu depan dengan jendela pengamatan  |
| Susunan bagian dalam oven     | Rak horizontal bertingkat              |
| Fungsi oven                   | Beban termal dan ruang penerima panas  |

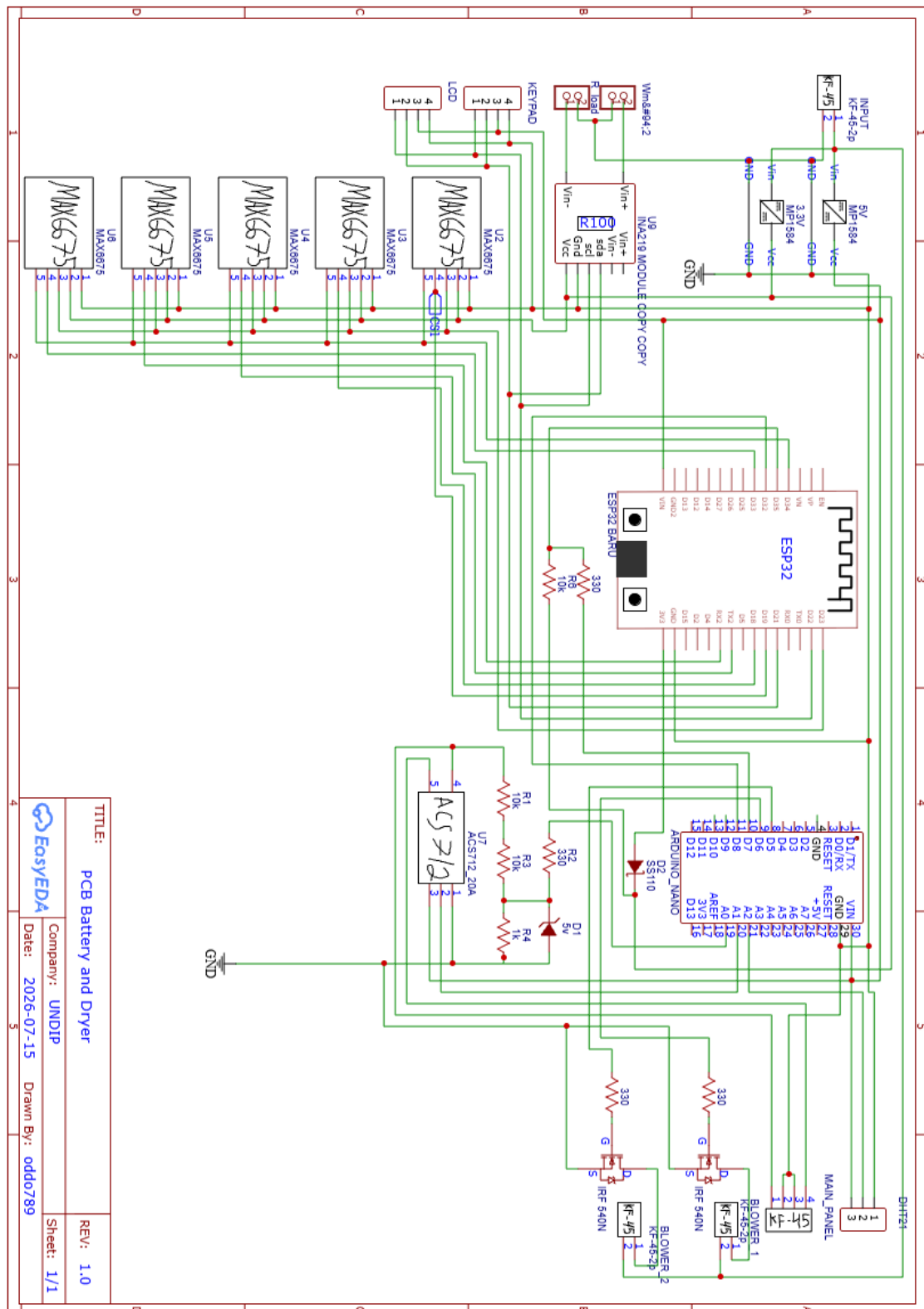
Hasil akhir perancangan menunjukkan bahwa seluruh komponen mekanikal telah membentuk satu sistem yang saling terhubung. Unit *sand battery* menyimpan energi termal di dalam pasir silika. Blower menghasilkan aliran udara, sedangkan *coil* tembaga menjadi media pertukaran panas antara pasir silika dan udara.

Saluran udara membawa udara yang telah mengalami kenaikan temperatur menuju oven. Oven kemudian menerima energi termal tersebut dan mendistribusikan udara panas di dalam ruang kabinet. Katup manual mendukung pengaturan jalur udara, sedangkan instrumen analog membantu pengguna memantau kondisi sistem.

Rancangan akhir juga menyediakan akses terhadap komponen utama. Pengguna dapat menjangkau blower, katup, instrumen analog, sambungan pipa, penutup tabung, dan pintu oven tanpa membongkar seluruh sistem. Kemudahan akses tersebut mendukung proses perakitan, pemeriksaan, dan pemeliharaan.

Secara keseluruhan, hasil akhir perancangan mekanikal telah mengintegrasikan fungsi penyimpanan panas, pertukaran panas, pembentukan aliran udara, dan pemanfaatan energi termal. Gambar 3.X menjadi acuan bagi vendor dalam proses fabrikasi komponen mekanikal serta menjadi pedoman bagi penulis dalam proses perakitan dan integrasi prototipe.

### 3.2.6 Perancangan Skematik PCB



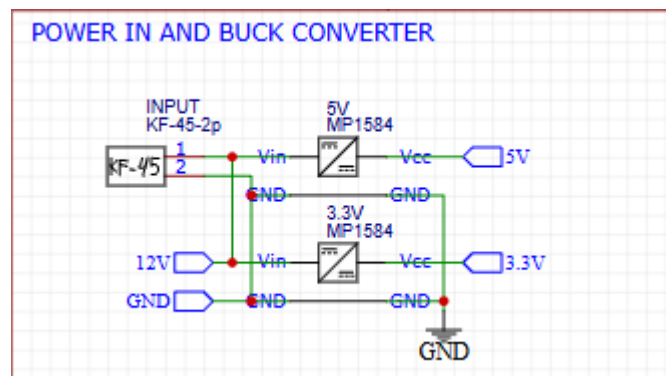
Gambar 3. 9 Skematik PCB

*Gambar 3. 10 Wiring diagram*

Rangkaian yang diperlihatkan pada Gambar 3. 9 dan Gambar 3. 10, merupakan wiring diagram keseluruhan komponen dan skematik utama dari PCB yang menggambarkan koneksi antara komponen baik komponen aktif maupun komponen pasif. Penjelasan lebih detail mengenai skematik ini meliputi :

### 3.2.6.1 POWER IN AND BUCK CONVERTER

Bagian ini yang mengatur catu daya utama untuk mengoperasikan mikrokontroller dan sensor pada alat, terdapat terminal KF-45 2 pin sebagai input 12V dari power supply, tegangan 12V kemudian di turunkan menjadi 5V untuk Arduino Nano dan 3.3V untuk ESP32. Untuk Pembuatan wiring diagram dimulai dari menghubungkan jalur power yang sumbernya dari power supply lalu tegangan di sesuaikan pada tegangan kerja komponen, penurunan tegangan menggunakan buck converter MP1584 karena buck converter memiliki efisiensi konversi yang baik serta komponennya mudah di dapatkan. Tegangan 3.3V disalurkan ke ESP32, MAX6675, INA219 dan tegangan 5V disalurkan ke Arduino Nano, LCD, Keypad, DHT2, ACS712. Skematik untuk power in dan buck converter dapat dilihat pada Gambar 3. 11.

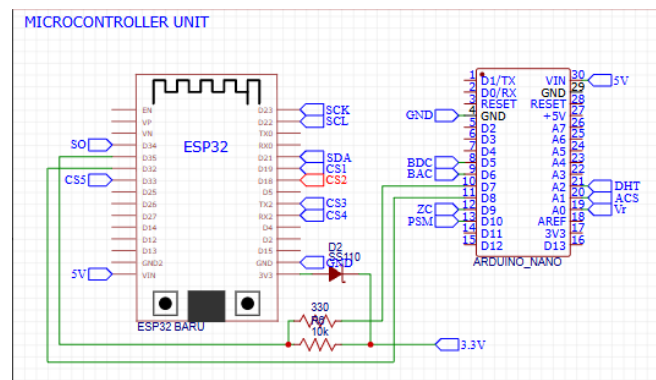


Gambar 3. 11 Skematik Power

### 3.2.6.2 MICROCONTROLLER UNIT

Bagian ini menunjukkan sambungan dari pin mikrokontroller ke komponen. ESP32 terhubung dengan Keypad, LCD dan INA219 melalui pin SCL (22) dan SDA (21), MAX6675 terhubung dengan ESP32 melalui pin SCK(23), SO(34) dan CS(19,18,17,16,33). ESP32 juga terhubung dengan Arduino Nano melalui pin

Tx(32) dan Rx(35) pada pin Rx, terdapat resistor 330 sebagai current limiter dari Tx Arduino Nano dan resistor 10k untuk pullup sinyal. Untuk rangkaian sinyal dari sensor ke Mikrokontroller, Mikrokontroller ke aktuator dan sinyal sesama mikrokontroller. Tegangan sinyal disesuaikan dengan rating dari masing-masing komponen, seperti pada komunikasi UART antara ESP32 dan Arduino Nano, tegangan 3.3V dari ESP32 dapat diterima dengan baik karena 3.3V masih termasuk dalam tegangan sinyal Arduino Nano tetapi sinyal 5V dari Arduino tidak bisa langsung diterima oleh ESP32 karena tegangannya lebih dari batas aman dan diperlukan penurunan tegangan atau pembatasan arus supaya sinyal 5V tidak merusak pin ESP32. Pada rangkaian yang dibuat, resistor 330 ohm digunakan untuk membatasi arus yang menuju ESP32 dan dioda Zener 3.3V digunakan untuk membuang tegangan yang berlebih. Skematik mikrokontroller unit dapat dilihat pada Gambar 3. 12.

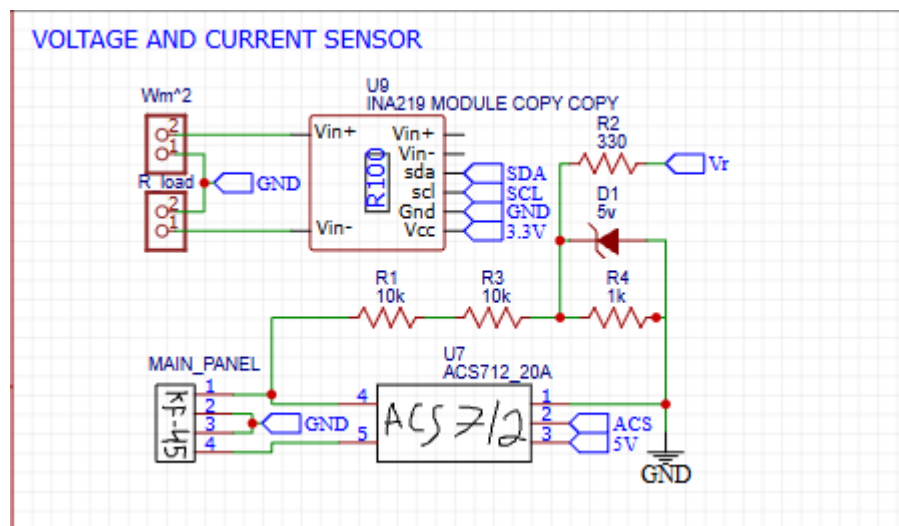


Gambar 3. 12 Skematik MCU

### 3.2.6.3 VOLTAGE AND CURRENT SENSOR

Bagian ini menunjukkan komponen dan sensor yang dirangkai langsung pada PCB, komponen tersebut meliputi rangkaian pembagi tegangan sebagai volt sensor pada panel utama, ACS712 sebagai sensor arus pada panel utama dan INA219 sebagai sensor tegangan, arus dan daya panel surya 10W. Rangkaian sensor tegangan menggunakan rangkaian pembagi tegangan dengan resistor 20k dan 1k menghasilkan skala penurunan tegangan sebesar 1:21 dengan target pembacaan maksimal 105V yang diturunkan menjadi 5V sesuai dengan rating tegangan

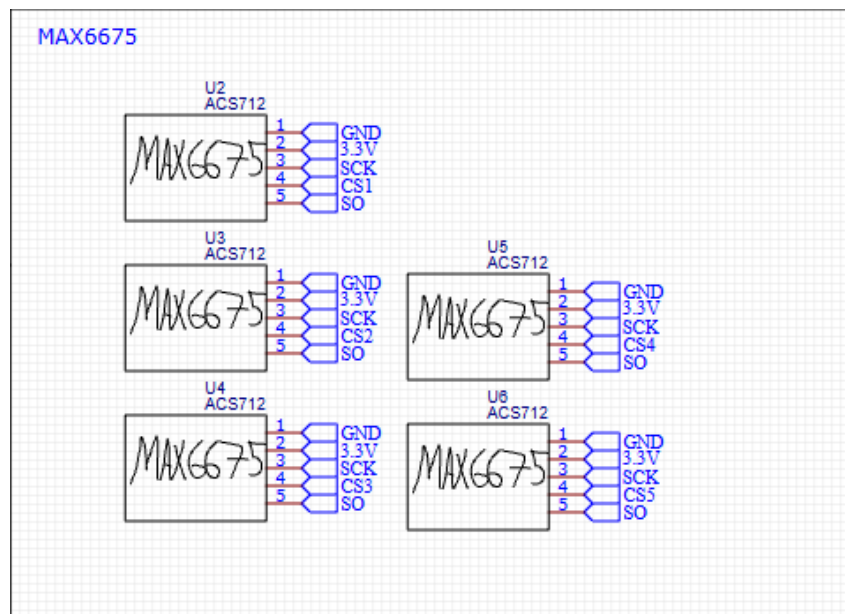
Arduino Nano, pada output sensor tegangan diberikan rangkaian pengaman berupa resistor 330 ohm sebagai pembatas arus dan dioda zener 5V untuk pengaman bila terjadi lonjakan tegangan diatas tegangan kerja. Sensor ACS712 terhubung dengan Arduino Nano dan dibaca menggunakan AnalogRead karena sensor ini mengkonversi besaran arus menjadi skala pembacaan berupa sinyal analog, pembacaan sinyal analog ini dilakukan dengan menggunakan library pada koding software Arduino Nano. INA219 terhubung dengan ESP32 dan berkomunikasi menggunakan protokol I2C sehingga pembacaan Arus, Tegangan dan Daya dapat dilakukan sekaligus oleh chip pada sensor lalu di konversi menjadi sinyal serial yang dibaca oleh library pada program ESP32. Skematik sensor tegangan dan arus dapat dilihat pada Gambar 3. 13.



Gambar 3. 13 Skematik Sensor

#### 3.2.6.4 MAX6675

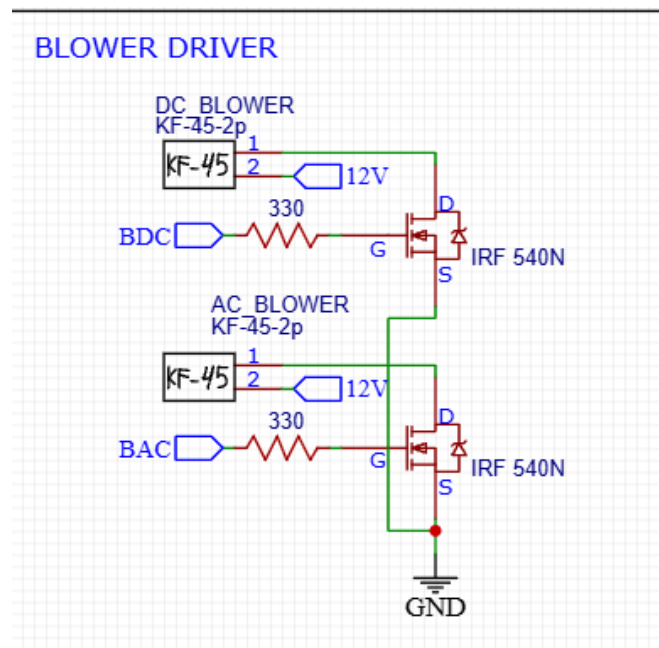
Bagian ini menunjukkan bagian skematik MAX6675 yang terhubung ke ESP32 seperti yang terlihat pada Gambar 3. 14.



Gambar 3. 14 Skematik MAX6675

### 3.2.6.5 BLOWER DRIVER

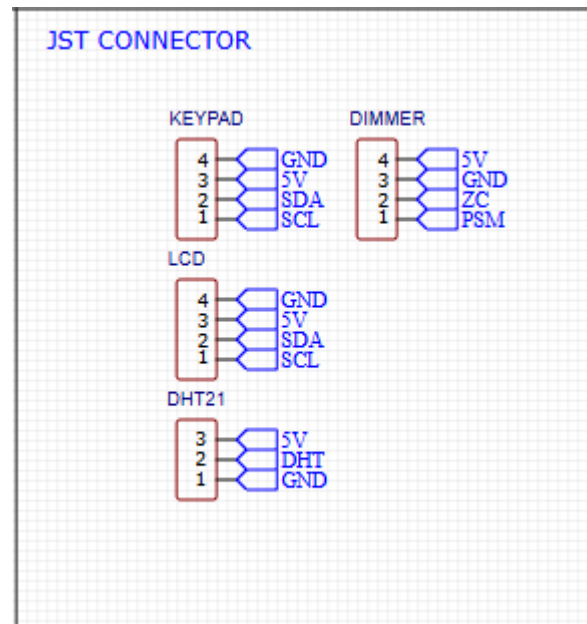
Bagian ini menunjukkan bagian skematik untuk blower driver, IRF540 digunakan sebagai logic shifter untuk mengubah sinyal logika 5V dari Arduino Nano menjadi 12V yang digunakan untuk mengontrol SSR yang terhubung secara seri dengan blower. Pada bagian rangkaian aktuator, mikrokontroller mengatur kondisi pada aktuator berdasarkan data yang di dapatkan dari sensor dan masukan kondisi dari pengguna melalui interface. Blower dikendalikan langsung oleh Arduino Nano menggunakan pin PWM supaya dapat diatur kecepatannya tetapi blower AC tetap dikontrol menggunakan kontrol On/Off karena SSR yang digunakan tidak dapat mengontrol tegangan ataupun frekuensi yang biasa digunakan sebagai pengontrol kecepatan motor AC. Karena tegangan kerja Arduino nano hanya 5V dan itu tidak mampu untuk membuka gate SSR secara penuh maka digunakan rangkaian logi shifter berupa mosfet IRF540 tanpa menggunakan opto-coupler karena load yang diterima oleh IRF540 tidak terlalu berat sehingga gate pada mosfet masih aman jika tidak terbuka sepenuhnya. Skematik blower dapat dilihat pada Gambar 3. 15.



Gambar 3. 15 Skematik Blower

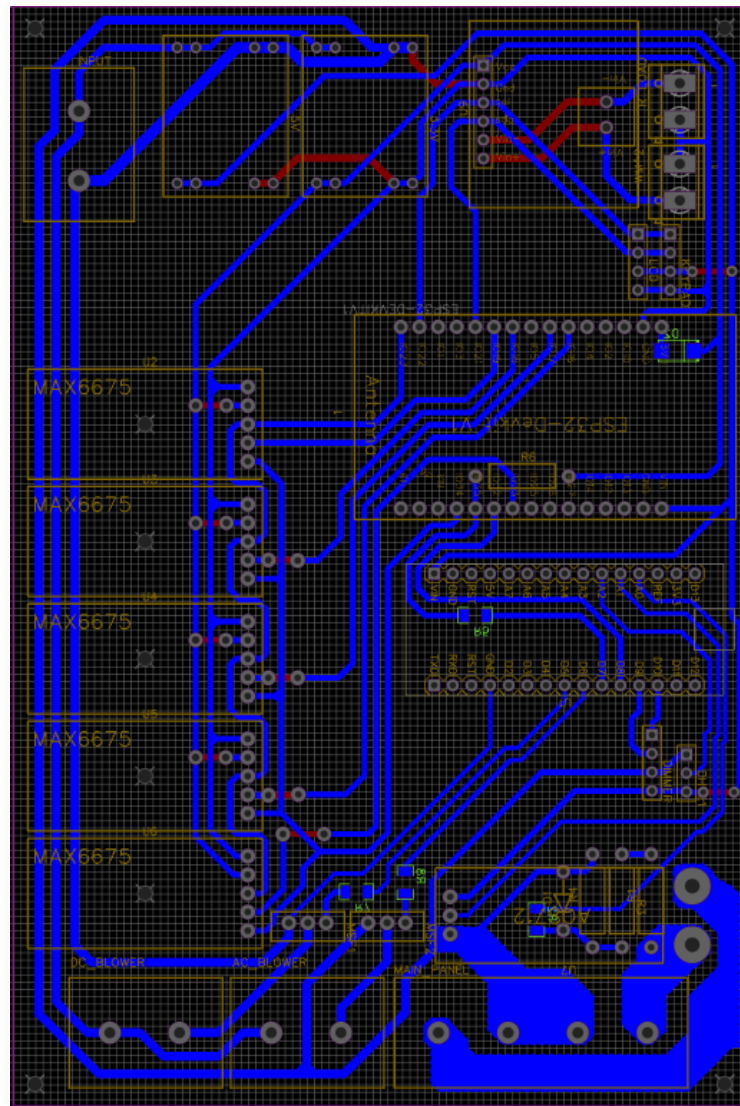
### 3.2.6.6 JST CONNECTOR

Bagian ini menunjukkan bagian skematik koneksi antara PCB dan komponen eksternal yang dihubungkan melalui konektor JST. Jst connector digunakan sebagai jembatan penghubung antara kelistrikan PCB dan komponen yang tidak terpasang langsung di PCB supaya jalur kelistrikan terhubung dengan baik dan aman dari guncangan ataupun gangguan yang dapat menghambat penyaluran power untuk komponen maupun komunikasi antar komponen. Penggunaan jst juga mempermudah proses maintenance karena untuk melepaskan koneksi dari pcb dan komponen dapat dilakukan dengan melepas konektor tersebut. Komponen yang terhubung menggunakan jst adalah Keypad, LCD dan modul dimmer yang gagal digunakan pada penelitian alat ini. Skematik sambungan JST dapat dilihat pada Gambar 3. 16.



Gambar 3. 16 Skematik JST Connector

### 3.2.7 Pembuatan Desain PCB



Gambar 3. 17 Desain PCB

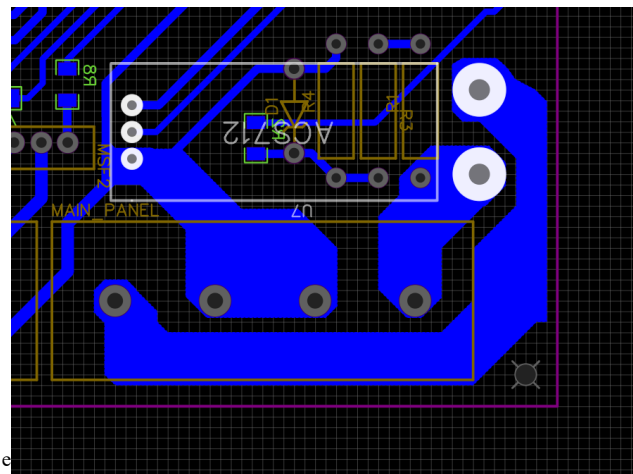
Rangkaian jalur PCB seperti pada Gambar 3. 17 dibuat berdasarkan skematik/wiring diagram yang sudah dirancang sebelumnya. Pada pembuatan jalur pcb perlu diperhatikan seberapa besar daya yang akan disalurkan pada *wiring trace* dan penggunaan jalur tersebut sebagai jalur sinyal atau jalur power. Bila jalur digunakan sebagai jalur power maka ukuran dari jalur harus di pertebal jika dibandingkan jalur sinyal karena jalur power akan membawa arus yang lebih besar seperti pada jalur pembacaan tegangan dan arus panel utama yang terhubung ke PCB menggunakan terminal block KF-45 lalu jalur yang menghubungkan terminal

block tersebut ke sensor tegangan dan ACS712 dibuat dengan tebal minimal 3mm. Untuk menghitung tebal jalur pcb digunakan standar IPC-2221 dengan rumus

$$\begin{aligned} A &= \text{Luas Penampang} \\ I &= \text{Arus} \\ \Delta T &= \text{kenaikan suhu} \\ K &= 0.024 \end{aligned}$$

Lalu untuk mendapatkan lebar jalur PCB bagi Area dengan tebal tembaga pada PCB yang bisa didapatkan dari datasheet PCB yang digunakan atau keterangan dari penjual lalu hasil perhitungan dalam mils di konversi menjadi milimeter. Perhitungan untuk jalur bagian pembacaan tegangan adalah

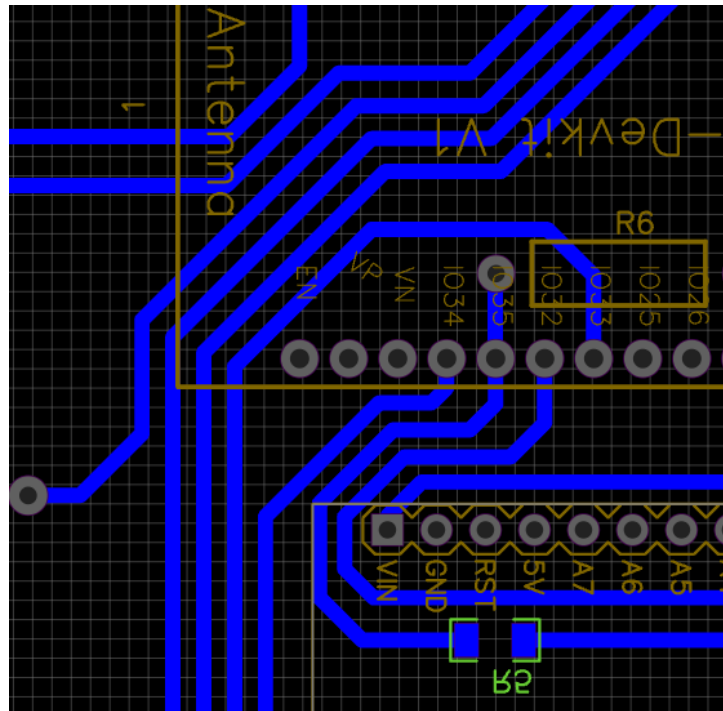
Jika dikonversi menjadi mm maka didapat 11,98 mm<sup>2</sup> yang mana ini tidak memungkinkan karena kurangnya ruang untuk jalur pada PCB, maka alternatif yang digunakan adalah menebalkan jalur PCB menggunakan tenol solder sehingga jalur mampu menahan arus yang tinggi tanpa menghasilkan panas berlebih yang dapat merusak komponen lainnya dan PCB itu sendiri. Jalur tebal yang digunakan pada PCB dapat dilihat pada Gambar 3. 18.



*Gambar 3. 18 PCB Jalur tebal*

Untuk jalur sinyal dapat digunakan trace PCB yang lebih sempit karena jalur sinyal tidak membawa arus besar yang dapat membuat panas berlebih. Tetapi untuk jalur sinyal perlu diperhatikan arah jalurnya, karena jika jalur berbelok itu dapat mempengaruhi impedansi dari jalur tersebut sehingga menghasilkan noise pada sinyal apabila impedansi terlalu tinggi. Belokan pada jalur sinyal tidak boleh tajam

(maksimal 90 derajat, lebih baik lagi jika tidak membentuk sudut). Jalur lekuk yang digunakan pada PCB dapat dilihat pada Gambar 3. 18.



Gambar 3. 19 PCB jalur lekuk

### 3.2.8 Interface

Interface pada alat ini tampilan melalui LCD 20x4, pengguna dapat memberikan perintah melalui keypad 4x4. Tombol dari masing-masing keypad sudah diprogram untuk menampilkan menu sesuai dengan input dari keypad. Tampilan pada LCD menunjukkan besaran nilai dari sensor sesuai dengan menu yang di pilih dan LCD juga menampilkan kondisi wifi dengan O berarti terhubung dengan wifi dan X berarti tidak terhubung dengan wifi.

#### 3.2.8.1 Battery

|         |    |
|---------|----|
| Battery | O  |
| Suhu 1: | °C |
| Suhu 2: | °C |

Menu ini menampilkan Suhu hasil pembacaan thermocouple pada baterai secara real time. Menu ini dapat diakses dengan menekan tombol '1' pada keypad.

### 3.2.8.2 Oven

|         |    |
|---------|----|
| Oven    | O  |
| Suhu 1: | °C |
| Suhu 2: | °C |
| Suhu 3: | °C |

Menu ini menampilkan Suhu hasil pembacaan thermocouple pada Pengering secara real time. Menu ini dapat diakses dengan menekan tombol '2' pada keypad.

### 3.2.8.3 DHT21\_BATTERY

|               |   |
|---------------|---|
| DHT21_BATTERY | O |
| Suhu DHT :    |   |
| Humid DHT :   |   |

Menu ini menampilkan Suhu dan kelembaban hasil pembacaan DHT22 pada ruang secara real time. Menu ini dapat diakses dengan menekan tombol '4' pada keypad.

### 3.2.8.4 DHT21\_OVEN

|             |   |
|-------------|---|
| DHT21_OVEN  | O |
| Suhu DHT :  |   |
| Humid DHT : |   |

Menu ini menampilkan Suhu dan kelembaban hasil pembacaan DHT22 pada pengering secara real time. Menu ini dapat diakses dengan menekan tombol '3' pada keypad.

### 3.2.8.5 Panel Utama

|             |   |
|-------------|---|
| Panel Utama | O |
| Volt :      | V |
| Current :   | A |
| Power :     | W |

Menu ini menampilkan tegangan dan arus hasil pembacaan sensor pada panel surya utama dan perhitungan daya secara real time. Menu ini dapat diakses dengan menekan tombol '5' pada keypad.

#### 3.2.8.6 Radiasi

|         |                  |
|---------|------------------|
| Radiasi | O                |
| Daya :  | W                |
| V / A   |                  |
| P / A : | W/m <sup>2</sup> |

Menu ini menampilkan tegangan dan arus hasil pembacaan INA219 pada panel 10w dan perhitungan radiasi matahari secara real time. Menu ini dapat diakses dengan menekan tombol '6' pada keypad.

#### 3.2.8.7 Run Oven

|           |
|-----------|
| Run Oven? |
| C to Run  |
| 0 Back    |

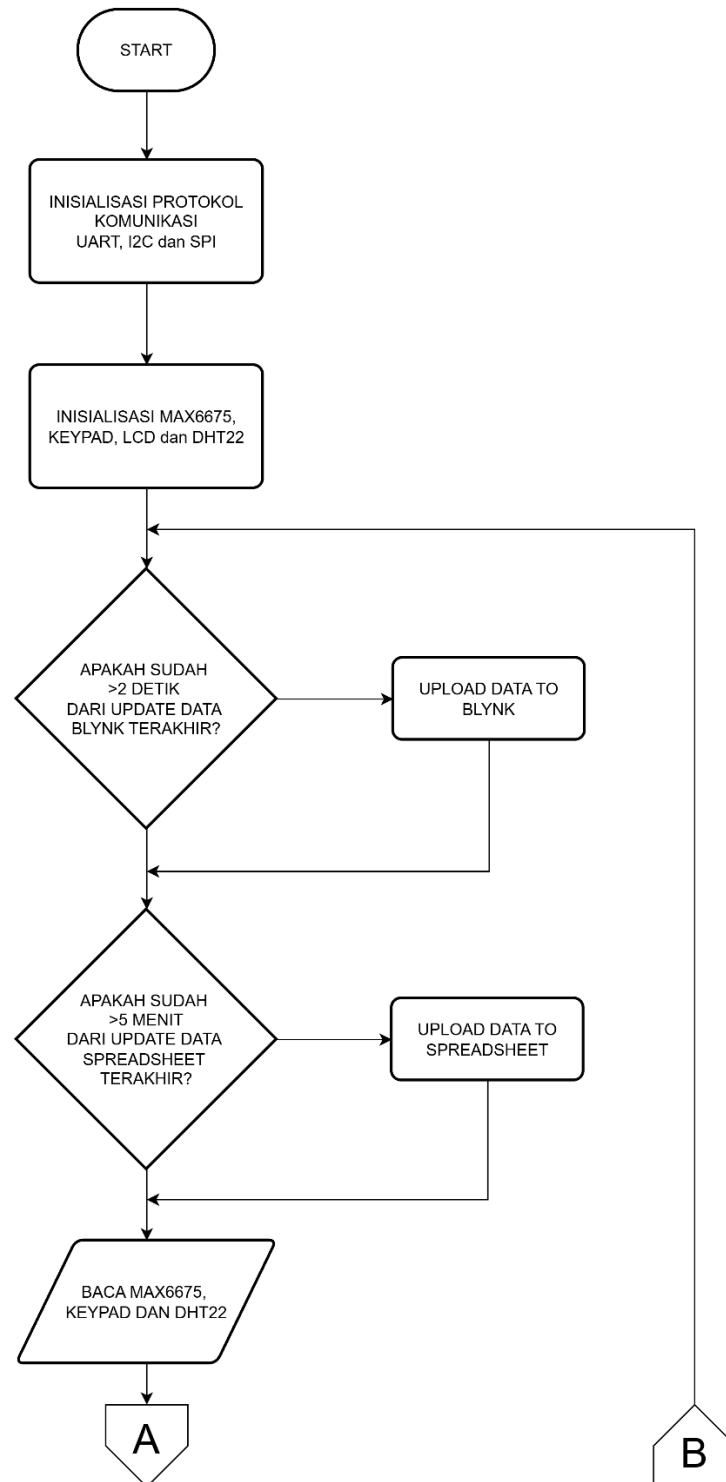
Menu ini menampilkan pilihan untuk menghidupkan blower apabila kondisi pengering tidak sedang beroperasi. Menu ini dapat diakses dengan menekan tombol 'B' pada keypad saat pengering sedang tidak beroperasi.

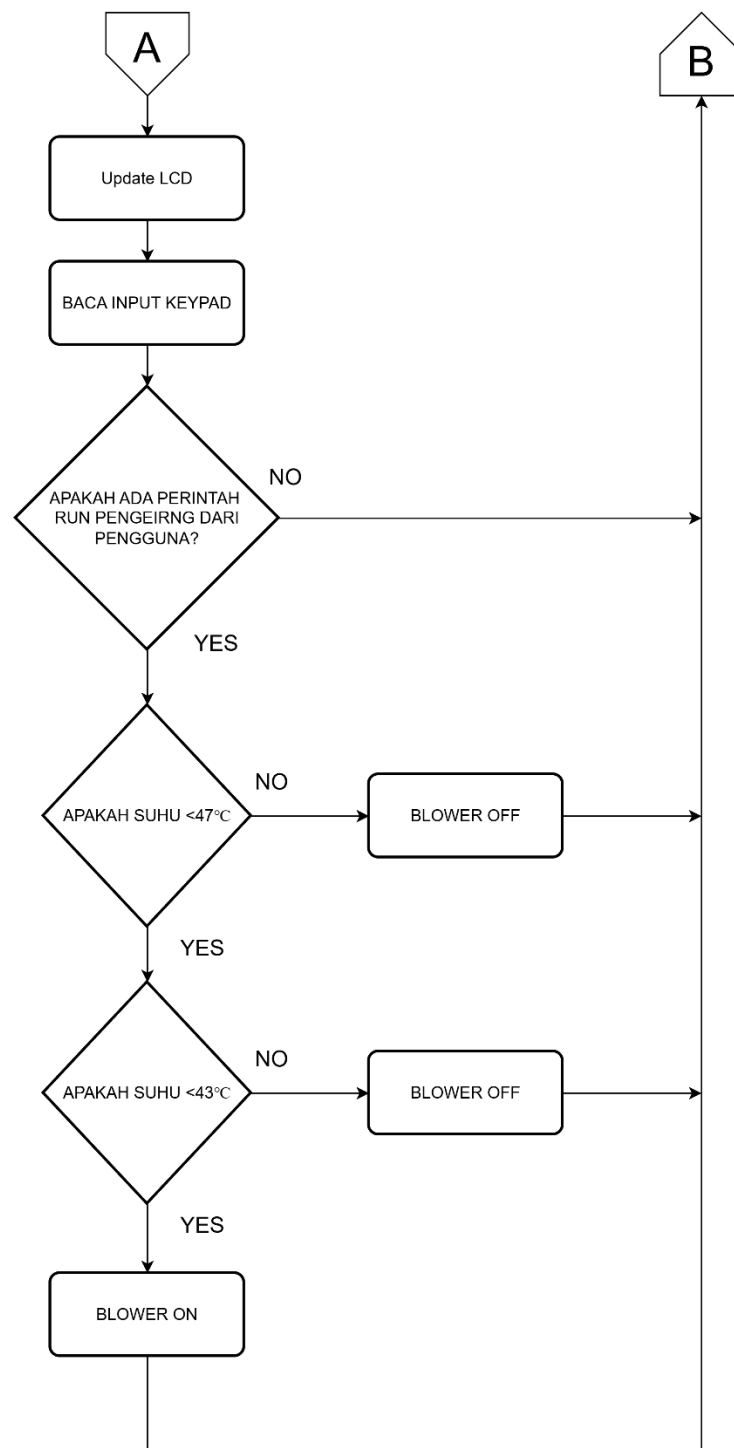
#### 3.2.8.8 Stop Oven

|            |
|------------|
| Stop Oven? |
| C to Stop  |
| 0 Back     |

Menu ini menampilkan pilihan untuk mematikan blower apabila kondisi pengering sedang beroperasi. Menu ini dapat diakses dengan menekan tombol 'B' pada keypad saat pengering sedang beroperasi.

### 3.3 Perancangan Software





Gambar 3. 20 Flow Chart

Flowchart pada alat ini yang disajikan pada Gambar 3. 20 menggambarkan bagaimana sistem kerja dari software untuk membaca dan mengatur masukan dan keluaran dari sistem. Flowchart terbagi menjadi bagian dari logika EPS32 dan logika Arduino Nano. Kedua flowchart saling berhubungan melalui protokol komunikasi UART. Saat booting sistem kedua mikrokontroller akan menginisiasi protokol komunikasi dan sensor yang terhubung pada masing-masing mikrokontroller. ESP32 akan membaca data dari sensor INA219, menerima data bacaan sensor dari Arduino Nano lalu menghitung data berdasarkan rumus yang di program. ESP32 juga menampilkan interface dalam bentuk menu-menu yang dapat dipilih oleh user melalui keypad. Apabila user hendak menghidupkan pengering, ESP32 akan mengirim sinyal ke Arduino untuk menghidupkan blower dan menjalankan kontrol suhu di dalam pengering. Arduino membaca data dari sensor tegangan, ACS712 dan DHT21 dan mengirimkan data bacaan sensor ke ESP32 untuk di proses dan dikirim ke Spreadsheet dan Blynk sebagai dashboard. Apabila Arduino menerima sinyal untuk menjalankan pengering dari ESP32, Arduino akan mengatur suhu pada pengering dengan mengatur laju udara pada pipa tembaga yang terhubung pada baterai pasir ke pengering. Arduino menggunakan bacaan suhu dari DHT21 sebagai acuan nyata pada pengering.

### 3.3.1 Data Logging

|    | A                  | B     | C     | D     | E        | F        | G    | H    | I |
|----|--------------------|-------|-------|-------|----------|----------|------|------|---|
| 1  | 26 Aug 2020, 10:21 | 32.75 | 28    | 31.75 | 30.83333 | 0.78333  | 35.8 | 57   |   |
| 2  | 26 Aug 2020, 10:26 | 34.25 | 26.75 | 31.75 | 30.91667 | 0.91667  | 40.5 | 43.6 |   |
| 3  | 26 Aug 2020, 10:31 | 35.25 | 27.25 | 33    | 31.83333 | 0.18333  | 45.6 | 38.6 |   |
| 4  | 26 Aug 2020, 10:36 | 35.5  | 29.5  | 33.25 | 32.75    | 0.18333  | 47   | 36.5 |   |
| 5  | 26 Aug 2020, 10:41 | 37.25 | 31    | 34.25 | 34.16667 | 0.28333  | 47.7 | 39.6 |   |
| 6  | 26 Aug 2020, 10:46 | 37    | 29.75 | 35    | 33.91667 | -0.05    | 48.3 | 35   |   |
| 7  | 26 Aug 2020, 10:51 | 37.25 | 30.5  | 34.75 | 34.16667 | 0.06     | 48.7 | 34.7 |   |
| 8  | 26 Aug 2020, 10:56 | 37.25 | 29.5  | 34.5  | 33.75    | -0.08333 | 48.8 | 34.4 |   |
| 9  | 26 Aug 2020, 11:06 | 38.5  | 32.5  | 34.5  | 35.16667 | 0.35     | 49.2 | 34.5 |   |
| 10 | 26 Aug 2020, 11:11 | 37.5  | 29.75 | 34.25 | 33.83333 | -0.26667 | 49.3 | 34.1 |   |
| 11 | 26 Aug 2020, 11:16 | 37.5  | 30.25 | 34.75 | 34.16667 | 0.06667  | 49.5 | 33.6 |   |
| 12 | 26 Aug 2020, 11:21 | 38.75 | 31.25 | 35.5  | 35.16667 | 0.2      | 49.8 | 33   |   |
| 13 | 26 Aug 2020, 11:26 | 38.5  | 30.25 | 34.25 | 34.13333 | -0.16667 | 50   | 32.3 |   |
| 14 | 26 Aug 2020, 11:31 | 39.25 | 30.75 | 35.75 | 35.25    | 0.18333  | 50.2 | 32.6 |   |
| 15 | 26 Aug 2020, 11:36 | 39    | 35.75 | 34.75 | 38.5     | 0.25     | 50.1 | 32.8 |   |
| 16 | 26 Aug 2020, 11:41 | 39.5  | 36.5  | 35.5  | 37.16667 | 0.13333  | 50.3 | 32.6 |   |
| 17 | 26 Aug 2020, 11:46 | 39.5  | 34.75 | 35    | 36.41667 | -0.15    | 50.6 | 32.1 |   |
| 18 | 26 Aug 2020, 11:52 | 39.5  | 36.5  | 36.5  | 37.16667 | 0.15     | 50.8 | 32.2 |   |
| 19 | 26 Aug 2020, 12:02 | 39.25 | 30.75 | 35.5  | 35.16667 | -0.16667 | 50   | 32.9 |   |
| 20 | 26 Aug 2020, 12:07 | 39.5  | 31.25 | 35.75 | 35.5     | 0.06667  | 50.2 | 32.7 |   |
| 21 | 26 Aug 2020, 12:12 | 39.75 | 30.5  | 35.5  | 35.25    | -0.05    | 50.4 | 32.4 |   |
| 22 | 26 Aug 2020, 12:17 | 40    | 32    | 36.5  | 36.16667 | 0.18333  | 50.6 | 31.8 |   |
| 23 | 26 Aug 2020, 12:22 | 40.5  | 38.5  | 37.25 | 38.75    | 0.51667  | 51   | 31.5 |   |
| 24 | 26 Aug 2020, 12:27 | 39.5  | 37.5  | 37.25 | 38.83333 | -0.13333 | 51.3 | 30.7 |   |
| 25 | 26 Aug 2020, 12:32 | 40.75 | 32.25 | 37.5  | 36.83333 | -0.25    | 51.6 | 30.6 |   |
| 26 | 26 Aug 2020, 12:37 | 41.25 | 33.5  | 38    | 37.58333 | 0.15     | 52.1 | 30.5 |   |
| 27 | 26 Aug 2020, 12:42 | 42    | 36.25 | 36.5  | 38.91667 | 0.46667  | 52.1 | 29.7 |   |
| 28 | 26 Aug 2020, 12:47 | 40.75 | 40.25 | 38.25 | 39.75    | -0.03333 | 52.4 | 29.4 |   |
| 29 | 26 Aug 2020, 12:57 | 39.25 | 37.25 | 35    | 37.16667 | -0.23333 | 53.2 | 28.6 |   |
| 30 | 26 Aug 2020, 13:02 | 40.5  | 33    | 35.75 | 38.41667 | -0.15    | 53.4 | 28.2 |   |
| 31 | 26 Aug 2020, 13:07 | 38.25 | 29.5  | 30.75 | 30.83333 | -1.11667 | 48.1 | 45   |   |
| 32 | 26 Aug 2020, 13:12 | 38.25 | 35.75 | 32.25 | 34.75    | 0.78333  | 48.6 | 58.9 |   |
| 33 | 26 Aug 2020, 13:17 | 37.25 | 35.75 | 32.5  | 35.16667 | 0.08333  | 47.2 | 59.1 |   |
| 34 | 26 Aug 2020, 13:22 | 37    | 37    | 32    | 34.99999 | -0.1     | 47.9 | 59.8 |   |
| 35 | 26 Aug 2020, 13:27 | 37.5  | 36.75 | 33    | 35.83333 | 0.23333  | 48.1 | 57.9 |   |
| 36 | 26 Aug 2020, 13:32 | 38    | 36.75 | 33    | 35.91667 | 0.01667  | 48.7 | 58.9 |   |
| 37 | 26 Aug 2020, 13:37 | 37.5  | 38    | 35    | 36.83333 | -0.18333 | 48.8 | 59.7 |   |
| 38 | 26 Aug 2020, 13:42 | 37.5  | 38.25 | 35.25 | 37       | 0.03333  | 48.7 | 61.8 |   |

|    | A                  | B      | C      | D         | E       | F        | G    | H         | I          | J   |
|----|--------------------|--------|--------|-----------|---------|----------|------|-----------|------------|-----|
| 1  | 13 Aug 2020, 08:49 | Suhu 1 | Suhu 2 | Suhu rata | Delta T | Tegangan | Arus | Daya      | Radiasi    | V/H |
| 2  | 13 Aug 2020, 08:49 | 28.5   | 30.25  | 29.375    | 0       | 28.97    | 3.43 | 92.5471   |            |     |
| 3  | 13 Aug 2020, 07:54 | 27.5   | 28.5   | 27        | -0.475  | 28.69    | 3.63 | 104.14471 | 38.8889    |     |
| 4  | 13 Aug 2020, 07:59 | 27.5   | 25.5   | 26.525    | -0.075  | 35.39    | 4.42 | 156.4236  | 28.99441   |     |
| 5  | 13 Aug 2020, 08:04 | 27.75  | 26     | 26.875    | 0.05    | 39.77    | 4.9  | 198.473   | 138.88066  |     |
| 6  | 13 Aug 2020, 08:09 | 27.5   | 26.25  | 26.875    | 0       | 39.69    | 4.88 | 193.68719 | 535.52527  |     |
| 7  | 13 Aug 2020, 08:14 | 28     | 26.75  | 27.375    | 0.11    | 48.74    | 5.09 | 205.99462 | 684.31344  |     |
| 8  | 13 Aug 2020, 08:19 | 27.5   | 25.75  | 26.625    | -0.15   | 49.63    | 6.02 | 298.77261 | 688.55363  |     |
| 9  | 13 Aug 2020, 08:24 | 28     | 25.75  | 26.875    | 0.05    | 50.96    | 6.18 | 314.9328  | 691.8623   |     |
| 10 | 13 Aug 2020, 08:29 | 27.25  | 25.5   | 26.375    | -0.11   | 53.85    | 6.48 | 346.48448 | 704.63907  |     |
| 11 | 13 Aug 2020, 08:34 | 27.5   | 25.75  | 26.625    | 0.05    | 55.81    | 6.68 | 372.81979 | 886.68891  |     |
| 12 | 13 Aug 2020, 08:49 | 28.25  | 28.75  | 28.5      | -0.05   | 62.58    | 7.42 | 464.41762 | 1021.62271 |     |
| 13 | 13 Aug 2020, 08:54 | 28.75  | 29.5   | 29.125    | 0.125   | 64.95    | 7.07 | 468.68862 | 1079.89307 |     |
| 14 | Jam                | Suhu 1 | Suhu 2 | Suhu rata | Delta T | Tegangan | Arus | Daya      | Radiasi    | V/H |
| 15 | Jam                | Suhu 1 | Suhu 2 | Suhu rata | Delta T | Tegangan | Arus | Daya      | Radiasi    | V/H |
| 16 | Jam                | Suhu 1 | Suhu 2 | Suhu rata | Delta T | Tegangan | Arus | Daya      | Radiasi    | V/H |
| 17 | 13 Aug 2020, 08:25 | 33     | 37.25  | 35.125    | -0.175  | 73.59    | 8.4  | 618.15584 | 1367.23004 |     |
| 18 | 13 Aug 2020, 09:30 | 34.5   | 41.25  | 37.875    | 0.165   | 74.94    | 8.42 | 623.41661 | 1387.70366 |     |
| 19 | 13 Aug 2020, 09:35 | 34.5   | 37.5   | 36        | -0.375  | 74.96    | 8.53 | 638.40875 | 1451.94421 |     |
| 20 | Jam                | Suhu 1 | Suhu 2 | Suhu rata | Delta T | Tegangan | Arus | Daya      | Radiasi    | V/H |
| 21 | Jam                | Suhu 1 | Suhu 2 | Suhu rata | Delta T | Tegangan | Arus | Daya      | Radiasi    | V/H |
| 22 | 13 Aug 2020, 02:41 | 38     | 45.75  | 41.875    | 0       | 74.9     | 8.51 | 637.39905 | 1474.68433 |     |
| 23 | Jam                | Suhu 1 | Suhu 2 | Suhu rata | Delta T | Tegangan | Arus | Daya      | Radiasi    | V/H |
| 24 | Jam                | Suhu 1 | Suhu 2 | Suhu rata | Delta T | Tegangan | Arus | Daya      | Radiasi    | V/H |
| 25 | Jam                | Suhu 1 | Suhu 2 | Suhu rata | Delta T | Tegangan | Arus | Daya      | Radiasi    | V/H |
| 26 | 13 Aug 2020, 09:57 | 42     | 42.25  | 42.125    | 0       | 76       | 9    | 672       | 1571.32088 |     |
| 27 | 13 Aug 2020, 10:02 | 43     | 53.5   | 48.25     | 0.15    | 76.21    | 8.62 | 656.93018 | 1571.32088 |     |
| 28 | Jam                | Suhu 1 | Suhu 2 | Suhu rata | Delta T | Tegangan | Arus | Daya      | Radiasi    | V/H |
| 29 | 13 Aug 2020, 16:20 | 193    | 192.5  | 192.75    | -0.25   | 123.03   | 1.91 | 25.9323   | 36.30383   |     |
| 30 | 13 Aug 2020, 16:34 | 193.25 | 191.5  | 192.375   | -0.075  | 11.99    | 1.58 | 18.9442   | 27.28791   |     |
| 31 | 13 Aug 2020, 16:39 | 193.75 | 192.5  | 193.125   | 0.15    | 10.31    | 1.36 | 14.0216   | 28.46993   |     |
| 32 | 13 Aug 2020, 16:44 | 194.25 | 191    | 192.625   | -0.11   | 8.77     | 1.17 | 10.2699   | 14.78995   |     |
| 33 | 13 Aug 2020, 16:49 | 194.75 | 190.5  | 192.625   | 0       | 7.48     | 1.01 | 7.5548    | 11.36966   |     |
| 34 | 13 Aug 2020, 16:54 | 195.25 | 191    | 193.125   | 0.11    | 6.07     | 0.88 | 5.2202    | 7.39048    |     |
| 35 | Jam                | Suhu 1 | Suhu 2 | Suhu rata | Delta T | Tegangan | Arus | Daya      | Radiasi    | V/H |
| 36 | 13 Aug 2020, 16:59 | 196.25 | 190.75 | 193.5     | 0       | 4.81     | 0.72 | 3.4832    | 4.54789    |     |
| 37 | 13 Aug 2020, 17:04 | 196.75 | 190.25 | 193.5     | -0.11   | 3.88     | 0.6  | 2.337     | 2.84349    |     |
| 38 | 13 Aug 2020, 17:09 | 195.25 | 188.5  | 192.375   | -0.125  | 2.85     | 0.47 | 1.3395    | 1.70548    |     |

Gambar 3. 21 Spreadsheet

Google Spreadsheet digunakan untuk mencatat kinerja dari alat ini. Pengunggahan data dari ESP32 ke spreadsheet dilakukan dalam interval 5 menit. Pemilihan interval upload setiap 5 menit didasari oleh kebutuhan akurasi data dan pertimbangan ketersediaan token google cloud yang terbatas. Dengan tampilan seperti pada Gambar 3. 21.

### 3.3.2 Dashboard

Perancangan antarmuka pengguna (*User Interface/UI*) dikembangkan menggunakan platform Blynk IoT untuk memfasilitasi pemantauan parameter operasional alat pengering secara *real-time*. Sistem ini mengandalkan mikrokontroler ESP32 sebagai unit akuisisi data pusat yang terhubung ke jaringan internet. Untuk memastikan kelancaran pengiriman data sensor majemuk ke *server* tanpa memicu hambatan (*blocking*) pada proses eksekusi program utama, transmisi data dikelola secara asinkron menggunakan penjadwalan *multitasking* FreeRTOS. Mengingat kuantitas instrumen ukur yang digunakan sangat banyak, tata letak *dashboard* dirancang menggunakan konsep satu halaman memanjang (*scrollable interface*) dalam satu identitas perangkat (*single Auth Token*). Pendekatan ini menjaga beban kerja memori ESP32 tetap ringan sekaligus memudahkan interaksi pengguna. Antarmuka tersebut secara visual dibagi menjadi dua zona pemantauan utama:

1. **Zona Hulu (Suplai Energi dan Baterai Pasir):** Segmen pemantauan primer yang menampilkan kinerja kelistrikan panel surya dan status *Thermal Energy Storage*. Parameter visual yang digunakan berupa pengukur indikator (*gauge*) untuk tegangan panel, arus panel, dan daya panel, serta indikator numerik untuk intensitas radiasi dan suhu rata-rata termal pasir.
2. **Zona Hilir (Ruang Pengering):** Segmen pemantauan sekunder yang berfokus pada kondisi termodinamika di dalam kabinet oven. Segmen ini menggunakan tampilan numerik untuk memetakan sebaran kalor secara presisi, mencakup suhu aktual pada Tray 1, Tray 2, Tray 3, nilai suhu rata-rata rak, beserta suhu dan tingkat kelembapan udara (*Relative Humidity*) yang dibaca oleh sensor DHT.

Komunikasi data antara variabel pembacaan di dalam program ESP32 dengan elemen visual di aplikasi Blynk dijembatani melalui perancangan *Datastream* menggunakan jalur pin virtual (*Virtual Pin*). Alokasi pemetaan pin virtual yang dirancang untuk sistem ini disajikan pada Tabel 3 – 7.

*Tabel 3 - 7 Alokasi Pemetaan Pin Virtual*

| <b>Virtual Pin (V-Pin)</b> | <b>Parameter Pemantauan</b>           | <b>Tipe Data</b>      | <b>Representasi Widget UI</b> |
|----------------------------|---------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| <b>V1</b>                  | Tegangan Panel Surya                  | <i>Double / Float</i> | <i>Gauge</i>                  |
| <b>V2</b>                  | Arus Panel Surya                      | <i>Double / Float</i> | <i>Gauge</i>                  |
| <b>V3</b>                  | Daya Panel Surya                      | <i>Double / Float</i> | <i>Gauge</i>                  |
| <b>V4</b>                  | Suhu Rata-rata Baterai Pasir          | <i>Double / Float</i> | <i>Labeled Value</i>          |
| <b>V5</b>                  | Radiasi Surya                         | <i>Double / Float</i> | <i>Labeled Value</i>          |
| <b>V7</b>                  | Status Blower ( <i>Dryer Status</i> ) | <i>Integer</i>        | <i>LED / Status</i>           |
| <b>V8 - V10</b>            | Suhu Tray 1, Tray 2, Tray 3           | <i>Double / Float</i> | <i>Labeled Value</i>          |
| <b>V11</b>                 | Suhu Rata-rata Tray                   | <i>Double / Float</i> | <i>Labeled Value</i>          |
| <b>V12</b>                 | Suhu Udara Pengering (DHT)            | <i>Double / Float</i> | <i>Labeled Value</i>          |
| <b>V13</b>                 | Kelembapan Udara (DHT)                | <i>Integer</i>        | <i>Labeled Value</i>          |

Alokasi *datastream* ini menjamin setiap data sensor direkam dan divisualisasikan pada alamat memori *cloud* yang terisolasi, sehingga tidak terjadi tumpang tindih data saat pengujian sistem berlangsung.