PERPINDAHAN KALOR & MASSA

KONSEP DAN APLIKASI

ERNA KUSUMA WATI

BUKU AJAR

PERPINDAHAN KALOR & MASSA
KONSEP DAN APLIKASI

Erna Kusuma Wati

LP-UNAS

PERPINDAHAN KALOR & MASSA
KONSEP DAN APLIKASI

Oleh: Erna Kusuma Wati

Hak Cipta© 2021 pada penulis

Editor : Fitri Rahmah
Penyunting : Fitria Hidayanti
Desain Cover : Rudi Ristanto

Hak Cipta dilindungi Undang-undang.
Dilarang Memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronis maupun mekanis, termasuk memfotocopy, merekam atau dnegan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin dari penulis.

ISBN : 978-623-7273-08-0

Penerbit : LP_UNAS
Jl.Sawo Manila, Pejaten Pasar Minggu, Jakarta Selatan
Telp. 021-78067000 (Hunting) ext.172
Faks. 021-7802718
Email : bee_bers@yahoo.com

ISBN 978-623-7273-08-0

9 786237 273080

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT sehingga buku yang berjudul " **Perpindahan Kalor & Massa "** telah selesai disusun. Dalam pembuatan buku ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada beberapa pihak yang telah banyak membantu. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. El Amry Bermawi Putra, MA selaku Rektor Universitas Nasional
2. Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Nasional
3. LP Unas
4. Jajaran dosen dan karyawan di lingkungan Universitas Nasional

Semoga buku ini dapat membantu bagi mahasiswa termasuk mahasiswa Program Studi Teknik Fisika Universitas Nasional.

Penulis pun menyadari jika didalam penyusunan buku ini mempunyai kekurangan, namun penulis meyakini sepenuhnya bahwa sekecil apapun buku ini tetap akan memberikan sebuah manfaat bagi pembaca.

Jakarta, Juni 2021.

Penulis

Erna Kusuma Wati

DAFTAR ISI

Kata Pengantar iii

Daftar Isi iv

Bab 1. Pendahuluan 1

1. 1 Perpindahan kalor & Energi 1

1. 2 Sistem termodinamika 3

1. 3 Sistem dan lingkungan 4

1. 4 Besaran pokok yang digunakan 8

Bab 2. Pengendalian Suhu dan Kelembaban pada ruang penyimpan Biji Kopi Arabica 13

2. 1 Spesifikasi Rancangan 13

2. 2 Perancangan blok diagram 16

2. 3 Perancangan sistem 17

2. 4 Mikrokontroller Arduino ke LCD . 22

2. 5 Wiring Diagram 24

2. 6 Arduino Uno 24

2. 7 Hasil Kinerja Pengendalian suhu da kelembaban 26

2. 8 Proses pengendalian suhu dan kelembaban 27
2. 9 Pengambilan data 29
2. 10 Hasil Rancang Bangun 37
2. 11 Pengujian Rancang Bangun 1 . 39
2. 12 Pengujian Rancang Bangun 2 . 41
2. 13 Pengujian Rancang Bangun 3 . 43
2. 14 Pengujian Rancang Bangun 4 . 44
2. 15 Pengujian Rancang Bangun 5 . 43
2. 16 Pengujian Rancang Bangun 6 . 42
2. 17 Pengujian Suhu 49
a. Pengujian Sample A 49
a. Pengujian Sample B 51
2. 18 Pengujian Kelembaban 52
a. Pengujian Sample A 52
a. Pengujian Sample B 54
Referensi 57
Bab 3 Sistem Penghangat dan Pendingin Termoelektrik. 60
3. 1 Pendahuluan 60
3. 2 Beban Pengujian 66
3. 3 Perpindahan Kalor 68

3. 4 Pengoalahan Data 70
3. 5 Termoelektrik 72
3. 6 Komponen Dasar dan sistem ... 74
3.7 Prinsip Kerja Pendingin
Termoelektrik 75
3. 8 Sensor Suhu 77
3. 9 Relay 78
3. 10 Baterei 80
3. 11 Arduino 82
3. 12 Perancangan Alat 90
3. 13 Pengambilan Data 104
3. 14 Pengujian Alat 105
3. 15 Hasil Perancangan Alat 106
3. 16 Pengujian perhitungan beban dan
perpindahan kalor 137
3. 17 Simpulan 141
Bab 4 . Pengendalian Suhu dan
Kelembaban pada ruang penyimpan
Biji Kopi Sangrai 147
4. 1 Pendahuluan 147
4. 2 Kopi 152
4. 3 Sistem Kontrol 156

4. 4Termoelektrik 158
4. 5 Suhu dan Kelembabab 160
4. 6 Arduino Uno 165
4.7 Desain rancang Bangun 175
4. 8 Hasil dan Pengujian Alat 188
4. 9 Simpulan 212
Referensi 212

1. Pendahuluan

1.1 Perpindahan panas & Energi

Pengetahuan dasar tentang termodinamika, perpindahan panas dan mekanika fluida sangat membantu para calon calon operator dan staf pemeliharan mesin mesin industri. Konsep konsep dasar akan dipakai dalam pemahaman prinsip-prinsip dasar kerja mesin mesin industri.

Pembahasan tidak dipresentasikan secara menyeluruh, tetapi ditekankan pada hal- hal khusus saja yang berkenaan dengan konsep dasar. Untuk pembahasan yang menyeluruh pembaca bisa merujuk pada buku teks yang ada pada daftar pustaka.

Ilmu termodinamika adalah ilmu

yang mempelajari hubungan panas dengan kerja. Dua besaran tersebut adalah sangat penting untuk dipahami karakeristiknya untuk pemahaman dasar keteknikan. Jadi jelas pengetahuan dasar termodinamika sangat penting, karena dipakai untuk menganalisa kondisi operasi berbagai alat atau mesin yang berhubungan dengan panas dan kerja.

Energi merupakan kemampuan untuk melakukan kerja atau perubahan, energy juga tidak dapat diciptakan atau dihilangkan, hanya dapat dirubah bentuknya. Contoh : pembuatan listrik tenaga uap, sistem pendinginan

Energy :

- stored energy

Energi kinetik

Energi potensial

Energi dalam (internal energy)

Energi kimia, ……..dsb

- energy in transition

Panas (heat), kalor

Kerja (work)

1.2 . Sistem Termodinamika

Untuk menganalisa mesin-mesin panas atau mesin-mesin fluida, mesin-mesin tersebut disebut dengan **benda kerja.** Fluida atau zat alir yang dipakai pada benda kerja disebut dengan **fluida kerja**. Sebagai contoh untuk pompa sebagai benda kerja, fluida kerjanya adalah zat cair (air, oli), sedangkan kompresor fluida kerjanya adalah udara.

Untuk membedakan benda kerja

dengan lingkungan sekitarnya, benda kerja sering disebut dengan **sistem**, yaitu setiap bagian tertentu, yang volume dan batasnya tidak perlu tetap, dimana perpindahan dan konversi energi atau massa akan dianalisa. Adapun istilah istilah yang sering disebut adalah sebagai berikut.

Batas sistem adalah garis imajiner yang membatasi sistem dengan lingkungannya

Sistem tertutup yaitu apabila sistem dan lingkungannya tidak terjadi pertukaran energi atau massa, dengan kata lain energi atau massa tidak melewati batas-batas sistem.

Sistem terbuka yaitu apabila energi

dan massa dapat melintasi atau melawati batas- batas sistem. Sistem dengan lingkungannya ada interaksi

1.3. sistem termodinamika dan keadaan sistem

Dalam pembahasan setiap masalah yang berhubungan dengan kejadian-kejadian alam atau suatu proses fisika alam, untuk memudahkan pemahaman masalah tersebut, pemodelan matematis banyak digunakan. Pemodelan matematik adalah suatu metode untuk mecari hubungan antara faktor-aktor fisik yang satu dengan yang lainnya menggunakan simbol-simbol dan koordinat matematik. Dengan pemodelan tersebut, akan ketemu suatu rumusan matematik

yang bisa mewakili permasalahan fisik secara kwantitatif

Dalam ilmu termodinamika koordinat-koordinat atau besaran fisik akan selalu melingkupi semua rumusan termodinamika adalah **Voume *V***, **Temperatur *T***, **Tekanan *p***, **Kerapatan** ρ dan besaran-besaran lainnya. Besaran- besaran ini akan mempengaruhi berbagai keadaan sistem termodinamika. Misalkan, sistem motor bakar akan berubah keadaannya apabila tekanan p kompresinya turun, yaitu tenaga yang dihasilkan berkurang. Perubahan keadaan temodinamika digambarkan pada grafik hubungan tekanan dengan volume atau dengan tekanan. Contoh

perubahan keadaan termodinamika yaitu perubahan keadaan pada temperatur tetap (isotermis).

Perubahan tersebut akan tetap berlangsung sebelum ada porses keadaan yang lainnya. Proses keadaan selalu mempunyai satu ada lebih karakteristik yang spesifik. Sebagai contoh untuk proses keadaan isotermis, karakteristik yang pasti khusus adalah tidak ada perubahan temperatur selama proses.

Dalam termodinamika, besaran sistem dibagi menjadi dua yaitu besaran eextensive, dan besaran intensive. Adapaun definisi masing-masing besaran adalah sebgai beikut.

[1] Besaran **ekstensif**, adalah besaran yang dipengarui oleh massa atau mol sisitem. Contoh volume, kapasitas panas, kerja, entropi. Dari besaran-besaran ekstensive diperoleh harga-harga jenis (spesifik value). Harga jenis adalah perbandingan antara besaran ekstensif dengan massa sistem atau zat.

[2] Besaran **intensif**, adalah besaran yang tidak dipengarui oleh massa sistem. Contoh tekanan, temperatur, dan lainnya

1.4. Besaran pokok yang digunakan

Besaran **temperatur** dan **tekanan** adalah besaran yang menjadi pokok dari sistem termodinamika, karena hubungan antar keduanya sangat penting untuk mecirikan proses keadaan sistem. Disamping itu besaran temperatur dan tekanan adalah besaran dari hasil pengukuran secara langsung dari suatu proses keadaan sistem. Hal ini berbeda dengan besaran lainnya yang tidak berdasarkan pengukuran, tetapi diturunkan dari besaran temperatur dan tekanan. Sebagai contoh, kerja adalah besaran turunan dari tekanan atau temperatur.

1. Kerja pada volume konstan W=

$m.R.\Delta T$

2. Kerja pada tekanan kostan $W = p\Delta V$

Energi adalah suatu besaran turunan dengan satuan N.m atau Joule. Energi dan kerja mempunyai satuan yang sama. Sedangkan kerja bisa didefinisikan sebagai usaha untuk memindahkan benda sejauh S (m) dengan gaya F (Newton). Sedang bentuk-bentuk energi lain dijelaskan dibawah ini :

Energi Kinetik ; energi suatu benda karena bergerak dengan kecepatan V, sebagai contoh , mobil yang bergerak, benda jatuh dan lain-lain ,

Energi potensial, adalah energi yang tersimpan pada benda karena kedudukannya. Sebagai contoh, **energi potensial air** adalah energi yang yang dimiliki air karena ketinggihannya dari permukaan

$$Ep = m.g.h$$

Sedang untuk **energi potesial pegas** adalah energi yang dimiliki oleh benda yang dihubungkan dengan pegas untuk berada pada kedudukan tertentu karena penarikan pegas.

Energi mekanik ; adalah energi total yaitu penjumlahan antara energi kinetik dengan energi potesial.

Adapun energi atau kerja mekanik pada mesin mesin panas, adalah kerja yang dihasilkan dari proses ekspansi atau kerja yang dibutuhkan proses kompresi. Kerja mekanik (dW) tersebut sebanding dengan perubahan volume (dV) pada tekanan (p) tertentu.

$$\Delta W = p\Delta V$$

sebagai contoh energi ini secara sederhana adalah pergerakan piston, putaran poros enkol, dan lain lain

2. Pengendalian Suhu Dan Kelembaban Pada Ruang Penyimpan Biji Kopi

2.1 Spesifikasi Rancangan

Tujuan yang dicapai adalah terbuatnya perangkat yang mampu mengendalikan suhu dan kelembaban pada ruang penyimpanan biji kopi pascapanen. Di sini penulis membuat rancangan untuk mengendalikan suhu dan kelembaban pada ruang penyimpanan biji kopi agar dapat mempertahankan sifat-sifat baik bahan yang disimpan seperti kualitas fisik biji kopi selama penyimpanan, terutama dijaga dari segi suhu dan kelembaban. Ruang penyimpanan biji-bijian dikatakan netral apabila dapat mengontrol suhu dan kelembabannya, yaitu dengan cara

membangun ruangan penyimpanan biji-bijian dan menyiapkan *fan* agar dapat memberi suhu yang cukup pada ruang penyimpanan. Setelah itu dikontrol suhu dan kelembabannya dari *feedback* sensor DHT11 Kemudian dikontrol dengan Arduino-Uno, setelah itu baru bisa mendapatkan angka suhu dan kelembaban yang stabil untuk ruang penyimpanan sehingga kopi pascapanen dapat memberikan kualitas yang baik sesuai dengan referensi suhu 19°C - 27°C dan kelembabab 60 % - 70%

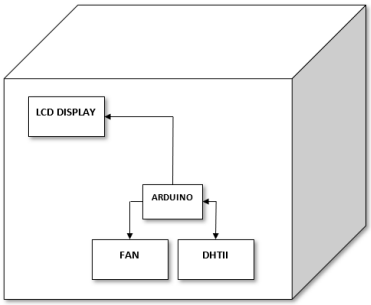
Gambar 2.1 Alat Pengendali Suhu dan Kelembaban Pada Ruang Penyimpan Biji Kopi [9]

Alat pada gambar 3.1 terbuat dari rangka besi dan dinding sterofoam dan dilapisi triplek dengan ukuran tinggi 80 cm dan lebar 80 cm. Maksud menggunakan styrofoam dan triplek disini yang utama adalah karena dinilai ringan dan dinilai dapat menjaga suhu dan kelembaban dengan baik. Rak terbuat dari besi karena dinilai bahan

yang mudah untuk ditemukan dan dapat diganti apabila terjadi kerusakan sehingga saat perawatan mudah untuk diganti.

2.2. Perancangan Blok Diagram

Untuk mempermudah perancangan sistem digunakan diagram blok sebagai langkah awal pembuatan sistem. Diagram blok menggambarkan secara umum bagaimana cara kerja rangkaian secara keseluruhan. Di bawah ini dapat dilihat diagram blok sistem yang akan dirancang.



Gambar 2.2 Diagram Blok Rangkaian [10]

2.3 Perancangan Sistem

Pengontrolan sistem alat ini diatur oleh mikrokontroller Arduino Uno sebagai pusat kontrol. Input yang diperoleh dari sensor DHT11 akan menghasilkan nilai suhu dan kelembaban. Nilai yang diperoleh tersebut ditampilkan melalui LCD. Transistor berfungsi sebagai pengatur putaran *fan/*kipas.

2.31 Perancangan Hardware

Perancangan dan realisasi perangkat keras sistem kendali pengaturan suhu dan kelembaban pada ruang penyimpanan biji-bijian pasca panen terdiri dari beberapa blok yang

terdiri dari 2 buah sensor DHT11, mikrokontroller Arduino - Uno, blok aktuator, dan *fan*.

1) Tipe Sensor DHT11

DHT11 adalah sensor digital untuk temperatur sekaligus kelembaban pertama di dunia yang diklaim oleh pabrik pembuatnya, Sensirion Corp. Mempunyai kisaran pengukuran dari 0-100% RH, dan akurasi RH absolute +/-3% RH. Sedangkan akurasi pengukuran temperature ± 0.4ºC pada 25 ºC. Sensor ini bekerja dengan interface 2-wire.

Aplikasi sensor ini biasanya pada data logging, pemancar, automotive, perangkat instrumentasi, dll. Sensor ini lebih presisi dan akurat daripada saudaranya yaitu DHT1x yang juga lebih murah. Sensor ini juga telah

dipatenkan melalui proses mikro oleh CMOSSen® technology sehingga terbukti ketahanan dan stabilitasnya yang bagus. Kedua sensor tersebut digabungkan dengan analog digital converter (ADC) 14 bit dan serial interface circuit pada chip yang sama. Hasilnya adalah sinyal besar yang bagus, waktu respon yang cepat dan ketahanan terhadap gangguan yang berasal dari luar. Internal voltage regulation dan 2-wire serial interface memungkinkan adanya pemasangan yang mudah dan cepat ke dalam suatu system.

Ukuranya kecil dan konsumsi daya rendah membuat sensor ini sebagai pilihan utama untuk sebagian besar aplikasi.sensor ini terdiri dari 2

bentuk yaitu surface-mountable LCC (Leadless Chip Carrier) dan plugable 4-pin single-in-line. (Datasheet DHT11, 2009).

2) Blok Aktuator

Aktuator - aktuator yang digunakan adalah sebagai berikut :

a. *Fan* digunakan untuk memberikan sirkulasi udara pada ruang penyimpanan Biji- bijian kopi.

2.3.2 Implementasi Sistem

Cara kerja sistem secara umum berdasarkan pada blok diagram sistem adalah sebagai berikut :

1) Seluruh kinerja sistem dikendalikan oleh mikrokontroler

sesuai dengan perintah yang telah diatur oleh perangkat lunak.

2) Pada saat sistem diaktifkan, maka sistem melakukan inisialisasi terhadap semua actuator. Setelah itu sistem akan membaca besaran-besaran fisis berupa suhu dan kelembaban melalui sensor.

3) Data suhu dan kelembaban dengan rentang pengukuran suhu antara 19ºC sampai dengan 27ºC dan kelembaban antara 0-100 % Rh. Keakurasian pengukuran mencapai ±0,3 setiap kenaikan 25 ºC untuk temperatur dan ± 1,8 % RH untuk kelembaban. maka sensor akan membaca berapa angka suhu yang didapatkan maka Arduino-uno sebagai controller akan membaca berapa suhu dan kelembaban yang stabil untuk biji-

bijian pada parameter yang telah ditentukan..

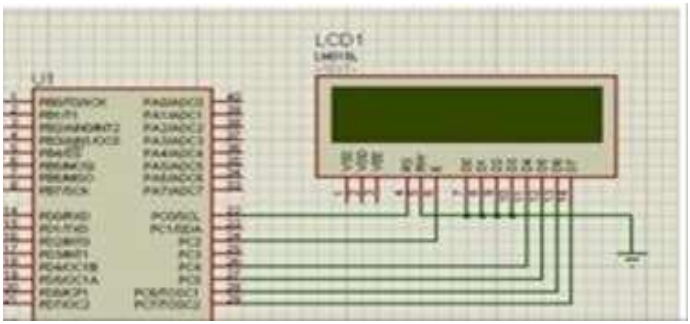
4) Lalu sistem akan berjalan dengan otomatis tanpa harus berurutan.

2.4 Mikrokontroler Arduino Ke LCD

LCD adalah alat yang berfungsi sebagai menampilkan suatu pembacaan baik itu tulisan dan angka. LCD yang dipakai pada percobaan ini adalah LCD yang berukuran 16x2. LCD akan menampilkan output berupa kata-kata yang telah diprogram berupa tampilan status “Suhu :“ pada baris pertama dan status“Humidity :“ pada baris kedua.

Port PC.0 mikrokontroler terhubung dengan port RS pada LCD. Port PC.1 mikrokontroler terhubung dengan port R/W pada LCD. Port PC.2 mikrokontroler terhubung dengan port EN pada LCD. Port PC.4 mikrokontroler terhubung dengan port D4 pada LCD. Port PC.5 mikrokontroler terhubung dengan port D5 pada LCD. Port PC.6 mikrokontroler terhubung dengan port D6 pada LCD. Port PC.7 mikrokontroler terhubung dengan port D7 pada LCD.

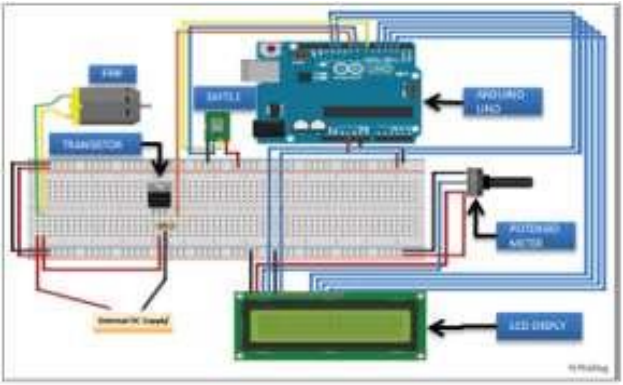
Pada pembahasan ini akan dijelaskan cara kerja pembacaan dari Arduino Uno ke LCD dan skematik gambarnya.



Gambar 2.3 Skematik Rangkaian Arduino Uno ke LCD [11]

2.5 Wiring Diagram

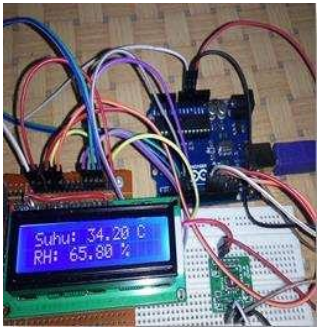
Rangkain kontroler pada gambar dibawah ini merupakan rangkaian yang digunakan pada alat pengendalian suhu dan kelembaban pada biji kopi



Gambar 2.4 Wiring Diagram [12]

2.6 Arduino Uno

Adapun pengontrolan pengendalian suhu dan kelembaban pada biji kopi menggunakan Arduino Uno sebagai controller. Berikut adalah gambar Arduino Uno sebagai controller



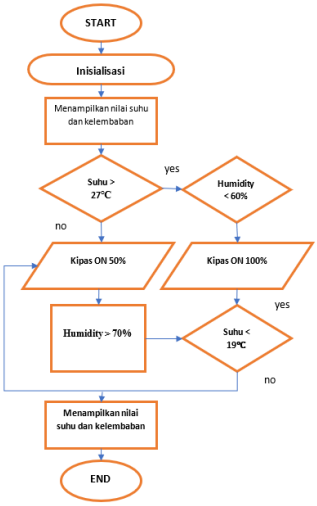
Gambar 2.5 Arduino Uno [13

2.7 Kinerja Pengendalian Suhu Dan Kelembaban Dengan Sensor DHT11

Kinerja pengendalian suhu dan kelembaban pada sensor DHT11 dilakukan untuk mengetahui suhu dan kelebaban pada biji kopi Arabica pasca panen dengan suhu 19ºC - 27ºC. Pada setiap sisi dinding kotak penyimpanan pengendalian suhu dan kelembaban akan dipasang 2 buah sensor DHT11.

2.8 Proses Alat Pengendalian Suhu Dan Kelembaban Pada Biji Kopi

Pada subbab ini akan menjelaskan tentang cara kerja yang akan dilakukan pada proses pengendalian suhu dan kelembaban pada biji kopi.



Gambar 2.6 Flowchart Alat Pengendalian Suhu Dan Kelembaban Pada Biji Kopi [15]

Pada flowchart diatas menjelaskan jika suhu pada alat diatas $27^{O}C$ maka kipas akan memutar dengan daya full atau 100% untuk menurunkan suhu yang ada dalam alat. Apabila putaran 100% telah dapat menurunkan suhu hingga dibawah $19^{O}C$ maka putaran kipas akan jadi 50% atau setengahnya. Berbanding terbalik dengan kelembaban, apabila kelembaban dibawah 60% maka putaran kipas akan 100% dan apabila lebih dari 70% maka putaran kipas akan menurun menjadi 50%. Semua perubahan akan tercatat pada LCD karena sensor suhu dan kelembaban diletakan ditengah alat. Diletakan ditengah alat karena dinilai merupakan titik paling stabil yang berada pada alat. *Fan* bertugas untuk mengatur sirkulasi

udara yang masuk dan keluar dari alat. Dengan demikian suhu dalam alat akan tetap terjaga mengikuti command dari program Arduino

2.9 Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dengan mencatat angka suhu dan kelembaban pada LCD display. Pengambilan data dilakukan setiap 1 jam sekali. Data primer yang didapat akan dibuat tabel sehingga dapat dilihat grafik pada tiap variabel yang diukur

Penyimpanan biji-bijian merupakan tahapan proses untuk menyelamatkan biji-bijian tersebut dari kegagalan atau penurunan kualitas dan menunggu proses selanjutnya. Dalam upaya meningkatkan ketahanan pangan,

teknologi penyimpanan menjadi sangat penting karena selama penyimpanan sering terjadi kerusakan dan kehilangan, yang disebabkan oleh berbagai hal. Penurunan kualitas disebabkan oleh :

1. Perubahan kimia dalam bahan pangan;

2. Perkembangan mikroorganisme dan serangga;

3. Kesalahan penanganan oleh manusia;

4. Pemakaian wadah yang kurang baik;
5. Kondisi bahan pangan yang tidak baik untuk disimpan; serta
6. Pengaruh lingkungan yang kurang baik. [1]

Penyimpanan biji-bijian dapat berlangsung di tingkat kebun atau di tingkat pabrik atau tempat lain. Penyimpanan biasanya dilakukan untuk

menunggu proses pengangkutan atau laku dijual. Di tingkat pabrik atau di tempat lain, sebagian masyarakat menyebut penyimpanan sebagai penggudangan. Di tempat ini, penyimpanan ditujukan untuk menunggu proses selanjutnya seperti proses pengolahan atau pemasaran. Di negara-negara berkembang, kerugian pasca panen dapat terjadi selama proses penyimpanan. Penyimpanan harus mampu mempertahankan sifat-sifat baik bahan yang disimpan seperti kualitas selama penyimpanan, dapat mengalami kerusakan oleh karena kondisi penyimpanan yang tidak baik. Kerusakan kondisi penyimpanan disebabkan oleh: kapang, insekta, rodensia, respirasi, serta penyebab kehilangan antara lain adalah terjadinya

kerusakan fisik, kimia, biologi dan mikrobiologi, maupun organoleptik. Di Indonesia, sebagai negara berkembang dan beriklim tropis basah, kendala utama adalah kelembaban relatif udara (RH) yang tinggi. Untuk melakukan

Proses penyimpanan yang baik, diperlukan prasarana dan sarana yang baik, dan biasanya memerlukan biaya yang tidak sedikit. Pelaku penyimpanan biji-bijian di Indonesia adalah : petani, pengusaha (termasuk “broker”), dan pemerintah. Penyimpanan termasuk dalam salah satu komponen dalam sistem usaha tani (farming system), sistem perusahaan, atau kebijakan pemerintah. Pada petani kecil, penyimpanan biji-bijian dilakukan untuk sediaan pangan atau keperluan lain

(misal dijual pada waktu mencukupi kebutuhan hidupnya). Pada pengusaha, penyimpanan seringkali merupakan upaya memperoleh keuntungan yang lebih tinggi, sedangkan penyimpanan yang dilakukan oleh pemerintah ditujukan untuk stabilitas kehidupan bernegara. [2]

Setelah melalui proses pengeringan sekitar 3 sampai 4 minggu, biji kopi kemudian disimpan di gudang dengan standar referensi suhu 19℃ – 27℃ [3] dan kelembaban 60%-70%.[4] Gudang harus memiliki ventilasi yang baik

untuk menjaga suhu dan kelembaban, terkadang hal ini menjadi tidak terkontrol karena ketiadaan sistem

pengukur suhu dan kelembaban yang akurat sehingga berimbas pada kualitas biji kopi.

Berdasarkan masalah diatas penulis membuat rancangan alat pengendalian suhu dan kelembaban pada ruang penyimpanan kopi untuk menjaga suhu dan kelembaban kopi untuk mempertahankan mutu serta memperpanjang daya simpan.

Adapun rumusan masalah tugas akhir ini adalah pengendalian suhu dan kelembaban yang merupakan faktor penting dalam menjaga kualitas biji kopi pascapanen, keadaan suhu ruang penyimpanan yang terlalu tinggi dan kelembaban yang terlalu rendah serta sebaliknya akan membuat kualitas biji

kopi menurun dari segi fisik dan kimia seperti kopi membusuk, berjamur, dan berbau tak sedap. Dengan pengendalian suhu dan kelembaban menggunakan sensor temperatur dan sensor humidity diharapkan dapat mempertahankan mutu biji-bijian dan memperpanjang daya simpan biji-bijian dengan baik.

Dengan demikian adapan tujuan dari rancang bangun sistem ini adalah untuk

a. Membuat alat penyimpanan biji kopi pascapanen yang dapat mempertahankan suhu dan kelembaban ruangan

b. Mempertahankan suhu dan kelembaban ruangan untuk menyimpan biji kopi pascapanen yang sesuai

referensi dengan kelembaban 60%-70% dan suhu 19℃-27℃.

Dalam penelitian ini, penulis memberikan batasan masalah yaitu :

a. Mikrokontroler yang digunakan pada perancangan sistem ini adalah Arduino Uno

b. Output yang dikontrol adalah sebuah *fan* untuk menentukan suhu dan kelebaban pada ruang penyimpanan biji-bijian.

c. Variabel yang menentukan kualitas kopi yang baik adalah dapat dilihat dari suhu dan kelembaban pada ruangan penyimpanan.

2.10 Hasil Rancang Bangun Alat Pengendali Suhu Dan Kelembaban Pada Ruang Penyimpan Biji Kopi

Gambar 2.7 Ditampilkan konfigurasi alat dalam kondisi operasional. [16]

Alat pada gambar diatas terbuat dari rangka besi dan dinding sterofoam dan di lapisi triplek dengan ukuran tinggi 80 cm dan lebar 80 cm. Maksud

menngunakan sterofoam dan triplek disini yang utama adalah karena dinilai ringan dan dinilai dapat menjaga suhu dan kelembaban dengan baik. Rak terbuat dari besi karena dinilai bahan yang mudah untuk ditemukan dan dapat diganti apabila terjadi kerusakan sehingga saat perawatan mudah untuk diganti.

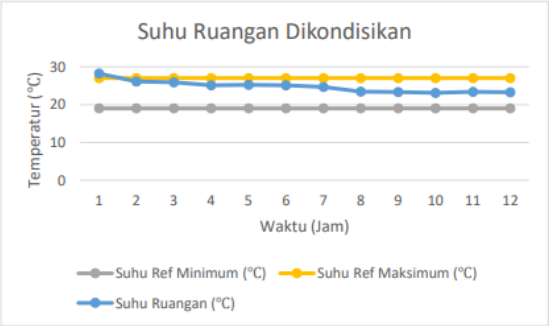
Gambar 2.8 Ditampilkan Penempatan Biji Kopi Pada Alat Dalam Kondis

Biji kopi pascapanen dibagi ke dalam dua bungkus plastik yang masing-

masing berisi 500 gram dan ditaruh di dalam alat dengan posisi seperti gambar di atas. Biji kopi di rak paling atas diberi kode sampel A dan sampel kopi di rak bawah diberi kode sampel B. di masing-masing rak terdapat sensor DHT11 dan *fan*.

2.11 Pengujian Ruang Dikondisikan dan Tidak Dikondisikan

a. Sensor Ruangan Dikondisikan dan Suhu Referensi

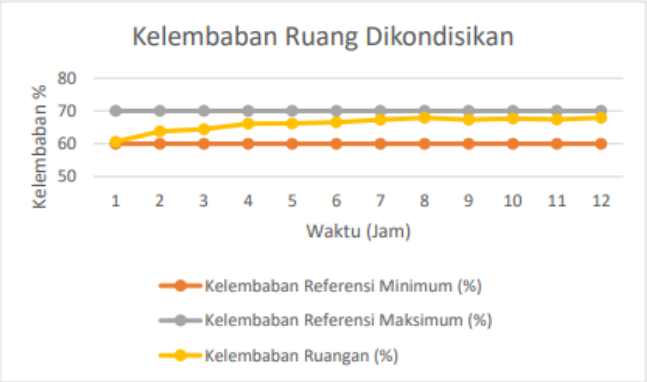


Gambar 2.9 Grafik Suhu DHT11 dengan Suhu Referensi pada Ruang Dikondisikan [18

Pada grafik 2.9 diatas dapat dilihat bahwa suhu yang berada didalam alat cukup terjaga. Suhu referensi yang dianjurkan adalah antara 19°C hingga 27°C. Kenaikan suhu pada awal percobaan terjadi karena sistem baru mulai bekerja. Suhu awal yang didapat saat pengujian adalah sebesar 29,27^{o}C. Seiring dengan berjalannya sistem menjadi lebih stabil temperatur mencapai suhu referensi dikisaran 26,13^{o}C yaitu setelah sistem berjalan selama 1 jam. Suhu terendah yang didapat adalah sebesar 23,12^{o}C pada saat sistem telah berjalan selama 10 jam. Titik tertinggi suhu setelah sistem berjalan normal adalah sebesar 24,68^{o}C pada saat sistem berjalan selama 5 jam, dengan rata-rata suhu ruang

dikondisikan selama 12 jam adalah 24,84℃.

2.12 Kelembaban Ruangan Dikondisikan Dan Kelembaban Referensi

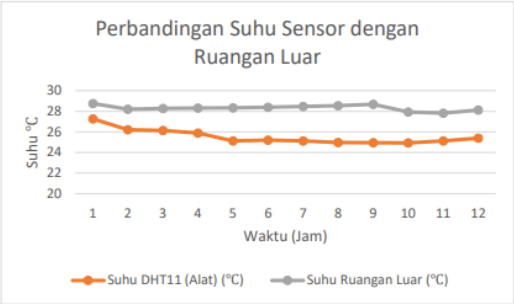


Gambar 2.10 Grafik Kelembaban DHT11 Dengan Kelembaban Referensi Ruang Dikondisikan [19]

Dilihat pada grafik 2.10 kelembaban awal sudah masuk ke suhu referensi yaitu antara 60% hingga

70%. Kelembaban awal pada saat sistem berjalan adalah 66,6%, kelembaban dipertahankan hingga jangka waktu 12 jam. Titik kelembaban terendah setelah kelembaban mencapai referensi adalah sebesar 66,21% setelah sistem pada alat berjalan selama 4 jam. Titik kelembaban tertinggi yang didapat setelah kelembaban mencapai referensi adalah sebesar 68,72% setelah sistem pada alat berjalan selama 12 jam.

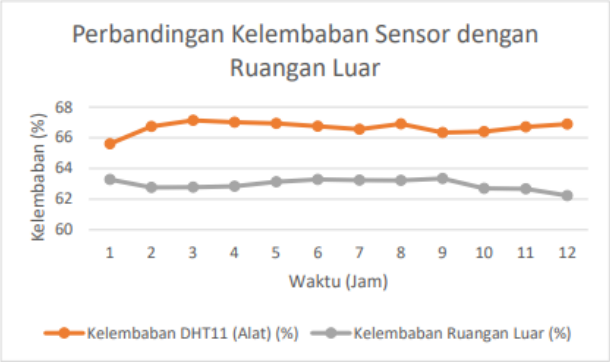
2.13 Perbandingan Suhu DHT11 dan Suhu Ruangan Luar



Gambar 2.11 Grafik Suhu DHT11 dan Suhu Ruangan Luar [20]

Pada grafik 2.11 suhu alat dapat dipertahankan di suhu referensi 19℃-27℃ pada titik 25℃ hingga 24℃. Suhu luar ruangan tercatat berada di titik 28℃ hingga 27℃. Hal ini memperlihatkan bahwa ketika sistem berjalan, suhu luar alat tidak berpengaruh pada suhu dalam alat.

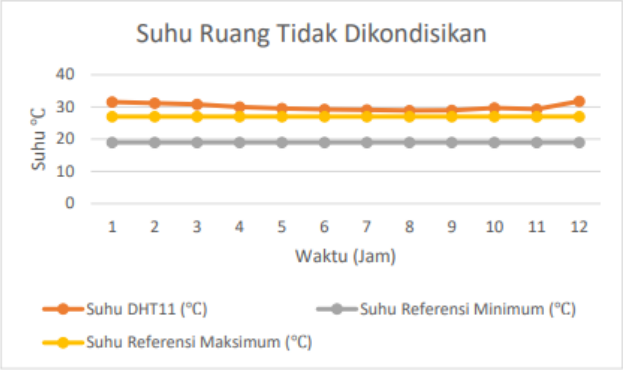
2.14 Kelembaban Sensor DHT11 dan Kelembaban Ruangan Luar



Gambar 2.12 Grafik Kelembaban DHT11 dan Kelembaban Ruangan Luar [21]

Pada grafik 2.12 kelembaban alat menurut sensor DHT11 dengan sensor referensi adalah berkisar diangka 66% hingga 67%. Untuk kelembaban luar ruangan lebih rendah karena suhu luar ruangan lebih tinggi daripada suhu alat.

2.15 Suhu DHT11 Suhu Ruang Tidak Dikondisikan

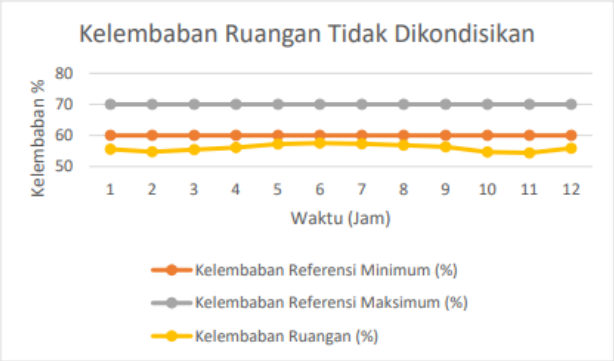


Gambar 2.13 Grafik Suhu DHT11 Suhu Ruang Tidak Dikondisikan [22]

Pada grafik 2.13 dapat dilihat bahwa suhu yang didapat memasuki suhu referensi. Titik suhu terendah yang didapat adalah sebesar 28,9^{O}C saat sistem pada alat berjalan selama 8 jam. Selisih antara titik terendah dengan suhu referensi sebesar 1,9^{O}C.

Sedangkan untuk titik tertinggi yang dapat adalah sebesar 31,79^{o}C saat sistem pada alat berjalan selama 12 jam. Selisih antara nilai tertinggi dengan suhu referensi adalah sebesar 4,79^{o}C. Dengan demikian dapat dilihat semakin lama sistem bekerja tidak membuat suhu didalam alat menyentuh angka referensi yang dianjurkan. Maka dapat dinilai bahwa suhu yang dihasilkan cukup buruk.

2.16 Kelembaban DHT11 Ruang Tidak Dikondisikan



Gambar 2.14 Grafik Kelembaban DHT11 Ruang Tidak Dikondisikan [23]

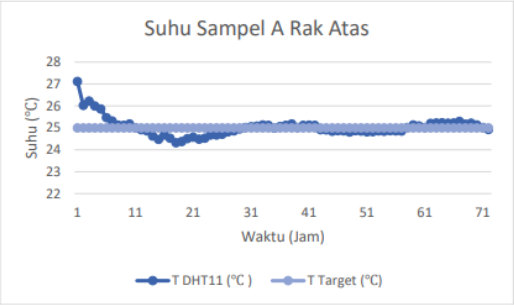
Grafik 2.14 adalah perbandingan kelembaban ruangan yang tidak dikondisikan yang cukup jauh dari kelembaban referensi yang dianjurkan yaitu diangka 60-70%. Titik terendah yaitu berada diangka 54,4% pada saat sistem berjalan selama 10 jam. Untuk titik tertinggi berada diangka 57,55%

pada saat sistem berjalan selama 5 jam. Dengan demikian hasil kelembaban yang didapat pada ruang yang tidak dikondisikan cukup buruk karena tidak ada satupun kelembaban yang menyentuh nilai kelembaban referensi.

2.17 Pengujian Suhu Ruang Penyimpan Kopi Arabika Ruang Dikondisikan

Pengujian suhu ruangan ditargetkan agar stabil di antara suhu referensi 19℃-27℃ dan ditargetkan agar stabil di 25℃ (T Target).

a. Suhu Sampel A

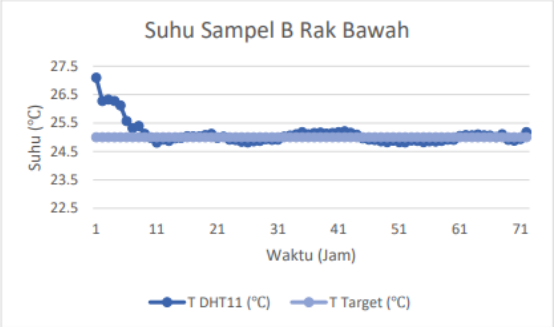


Gambar 2.15 Grafik Suhu Pada Sampel A [24]

Pada grafik 2.15 dapat dilihat bahwa penurunan suhu kopi pertama kali terjadi setelah 1 jam sistem bekerja dan langsung memasuki suhu

referensi. Suhu kopi awal adalah sebesar 27,12℃ dengan suhu target 25℃. Suhu ruangan turun sampai ke kisaran pertengahan 25℃ setelah proses penurunan selama 7 jam. Suhu ini turun ke titik 24,53℃ setelah berjalan selama 17 jam, kemudian naik lagi dan bertahan di kisaran suhu 25℃ sampai akhir penelitian. Proses suhu lebih cepat dibandingkan dengan proses pada ruang tidak dikondisikan. Sampel kopi A berada di rak yang paling atas.

b. Suhu Sampel B



Gambar 2.16 Grafik Suhu Pada Sampel B [25]

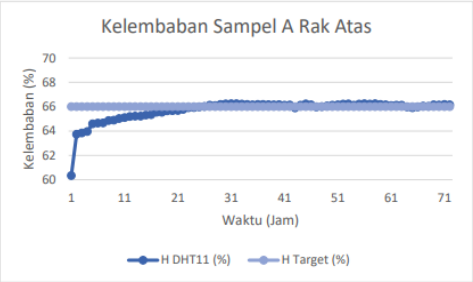
Pada grafik 2.16 sampel kopi B diletakkan pada rak bawah. Titik awal suhu berada di angka 27,1℃ dan langsung memasuki suhu referensi di titik 26,28℃ pada satu jam pertama. Suhu kopi mulai menemui suhu target di jam ke 7 penelitian dan dapat mempertahankan suhunya sampai titik terendah 24,81℃ dan selebihnya di

suhu target 25℃.

2.18 Pengujian Kelembaban Kopi Arabika Ruang Dikondisikan

Pengujian kelembaban ruangan ditargetkan agar stabil di antara kelembaban referensi 60%-70% dan ditargetkan bisa bertahan di 66% (H Target Kopi).

a. Kelembaban Sampel A

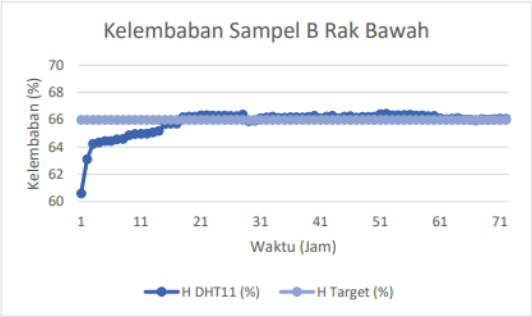


Gambar 2.17 Grafik Kelembaban Pada Sampel A [26]

Dilihat pada grafik 2.17

kelembaban kopi sampel A sudah mencapai kelembaban referensi (60%-70%) di titik 60,34% di awal penelitian, serta memerlukan waktu 1 jam untuk menaikan kelembaban ke 63,74%. Kelembaban menyentuh target kelembaban kopi di kisaran nilai 66% mulai dari jam ke 27 dan dapat mempertahankannya sampai selesai penelitian. Kelembaban kopi rak atas ini cukup stabil dengan kelembaban terendah senilai 65,9% dan kelembaban tertinggi 66,25%.

b. **Kelembaban Sampel B**



Gambar 2.18 Grafik Kelembaban Pada Sampel B [27]

Pada grafik 2.18 terlihat kelembaban kopi sampel B dimulai dari titik 60,6% dan memasuki kelembaban target pada jam ke 20 di titik 66,19%. Kelembaban terendah setelah 20 jam adalah 65,91% dan kelembaban tertinggi adalah 66,44%. Angka ini cukup stabil berada di area 65%-66% hingga akhir penelitian

Telah dibuat pengendali ruang penyimpanan biji kopi pascapanen berbasis Arduino Uno yang dapat mengondisikan serta mempertahankan kondisi ruang penyimpanan biji kopi.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Berhasil dibuat sebuah alat pengendalian suhu dan kelembaban pada biji kopi pasca panen yang mampu menurunkan suhu kopi selama kurang lebih 20 jam dengan menjaga suhu direntang 19-27°C dan kelembaban direntang 60-70% dalam waktu kurang dari 30 jam.

2. Dari kedua sampel kopi pascapanen, sampel A pada rak atas

serta sampel B di rak bawah sama-sama memerlukan waktu 7 jam untuk menurunkan suhunya hingga mencapai suhu target di angka 25℃. Untuk kelembabannya, sampel kopi A mencapai kelembaban target di 66,02% dalam jangka waktu 26 jam, serta sampel kopi B mencapai kelembaban target di 66,19% dalam waktu 18 jam. Semua sampel kopi berhasil dipertahankan keadaan suhunya dan kelembabannya sesuai referensi

Referensi

[1] Haryadi, Yadi. 2010. Peranan Penyimpanan Dalam Menunjang Ketahanan Pangan. Institut Pertanian Bogor: Bogor.

[2] [BPS] Badan Pusat Statistik (2010). Hasil Sensus Penduduk 2010, Data Agregat per Provinsi. BPS.

[3] Direktoran Jenderal Industri Kecil Dan Menengah. 2017. Buku Peluang Usaha IKM Kopi. Kementerian Perindustrian: Jakarta.

[4] Badan Standardisasi Nasional. 2008. Standar Nasional Indonesia (SNI) Biji Kopi Nomor 01-2907-2008. Jakarta.

[5] Direktorat Jendral Perkebunan. 2018. Penanganan Pascapanen Kopi Secara Baik dan Benar (*good handling practices/ghp*). Kementerian Pertanian: Jakarta.

[6] Peraturan Menteri Pertanian Nomor 49/Permentan/OT.140/4/2014 Pedoman Teknis Budidaya Kopi yang baik

[7] Masdakaty, Yulin. 2016. Mengenal Toraja Sapan Yang Eksotis. OttenCoffee™ Magazine.

[8] Harsojuwono, Bambang Ahmadi & Arnata, I Wayan. 2017. Teknologi Polimer Industri Pertanian. Universitas Udayana: Denpasar.

[9] Hakim, Lukman. 2017. Pemanfaatan Limbah Aluminium Foil Untuk Produksi Gas Hidrogen Menggunakan Katalis Natrium Hidroksida (NaOH)

[10] AH, Saptadi. 2014. Perbandingan Akurasi Pengukuran Suhu dan Kelembaban Antara Sensor DHT11 dan DHT22. STT Telkom: Bandung.

[11] Amri, Khairul. 2008. Temperature and Humidity Measurement Instrumentation Based On Colpitis Oscillator. Universitas Indonesia: Depok.

[12] Yuliandri, Mustika Treisna. 2017. 4 Cara Menyimpan *Green Bean* (Biji Kopi Hijau). OttenCoffee™ Magazine

3. Sistem Pendingin dan Penghangat Termoelektrik

3.1 Pendahuluan

Beberapa penelitian telah dilakukan mengenai pendingin termoelektrik, penelitian tersebut adalah sebagai berikut:

a. Penelitian yang dilakukan oleh Hendar Abdul Aziz dalam membuat alat pendingin dan pemanas termoelektrik dengan tegangan input 6V menghasilkan temperatur terendah ruang pendingin dan ruang pemanas tanpa beban pendingin menggunakan *heat pipe* 22,83 ^{o}C dan 30,52 ^{o}C serta capaian terendah ruang pendingin dan ruang pemanas dengan beban pendingin 3 minuman

kaleng adalah 24,34 ^{o}C dan 32,27 ^{o}C.[15]

b. Penelitian pada tahun 2017 yang dilakukan oleh Windy Selviana tentang kinerja kotak pendingin termoelektrik mendapatkan penurunan suhu hingga 21%.[16]
c. Penelitian oleh Azridjal Aziz tentang aplikasi pendingin termoelektrik untuk minuman pada tahun 2015 menggunakan tiga buah peltier menghasilkan temperatur sebesar 14,3^{o}C tanpa beban pendingin.[17]
d. Penelitian oleh Rijan Wahyu dkk. Tentang pendingin temoelektrik pada tahun 2018 menghasilkan sistem pendinginan elemen termoelektrik dengan variasi tanpa beban (0 mL) memiliki nilai efisiensi tertinggi mencapai 54,88 % pada menit ke-21

dengan suhu lingkungan dalam kabin (T1) 10,7 ^{o}C dan dengan tanpa beban memiliki nilai efisiensi terendah mencapai 0,90 % pada menit ke-0 dengan suhu lingkungan dalam kabin (T1) 29,2 ^{o}C.[18]

e. Penelitian yang dilakukan oleh Ahmad Radhy pada tahun 2015 tentang sistem akuisisi data berbsis arduino pada pendingin termoelektrik didapatkan hasil beban TEC mampu dikontrol secara *real time* dengan waktu yang telah ditentukan sebesar 200 sekon. Nilai sensitivitas sensor LM35DZ yang diperoleh dari hasil pengujian ini sebesar $k \pm \Delta k$ = (10,08 ± 0,26) mV/0C. Sementara itu nilai hambatan *internal* beban TEC sebesar $R \pm \Delta R$ = (3,92 ± 0,01) ohm. [19]

f. Penelitian yang dilakukan oleh M. Faizal Syukrillah pada tahun tentang pengujian mesin pendingin minuman termoelektrik didapatkan hasil Dengan menggunakan adaptor, temperatur ruang pendingin tanpa beban pendingin terendah adalah sebesar 9,7 ℃. Sedangkan menggunakan beban pendingin, temperatur ruang pendingin terendah adalah 14,8 ℃ dengan beban pendingin 140 ml. Dengan menggunakan USB, temperatur ruang pendingin terendah adalah 15,6 ℃. Sedangkan menggunakan beban pendingin, temperatur ruang pendingin terendah adalah 19,1 ℃ dengan beban pendingin minuman isotonik 140 ml. [20]

g. Penelitian oleh Ficho Cahaya Putra pada tahun 2015 tentang pembuatan kotak pendingin termoelektrik untuk urine didapatkan hasil Pengujian temperatur kotak pendingin ini diperoleh hasil temperatur sebesar 18,40C dengan beban 0ml, 18,6^{0}C dengan beban 100 ml, 18,80C dengan beban 250 ml, dan 18,9^{0}C dengan beban 500 ml dengan pengujian selama 120 menit. Dengan temperatur 18,4^{0}C kotak pendingin ini dapat menyimpan urin selama 120 menit dengan menggunakan tenaga dari aki 12 V 3,5 A.[21]

h. Penelitian yang dilakukan oleh Wahyu Nugroho pada tahun 2016 tentang alat pendingin minuman menggunakan peltier didapatkan hasil temperatur sebesar 23°C

dengan beban 190mL dalam waktu 60 menit.[22]

i. Penelitian yanng dilakukan oleh Meqorry Yusfi pada tahun 2015 tentang rancang bangun sistem kontrol temperatur untuk pendingin menggunakan termoelektrik mendapatkan hasil Penurunan temperatur pada siang hanya mencapai 25˚C dalam kurun waktu 4080 detik dengan kecepatan rata-rata 0,002˚C/s tanpa beban dengan input 11,5V.[23]

j. Penelitian yang dilakukan oleh Rofan Aziz pada tahun 2017 tentang sistem kontrol suhu penyimpan buah dan sayur menggunakan termoelektrik didapatkan penurunan temperatur di kabin sampai 15°C dimenit ke 850.

Setelah itu suhu didalam kabin *stady state* sebesar15°C.[24]

k. Penelitian yang dilakukan oleh Jenny Delly tentang penggunaan modul termoelektrik sebagai pendingin didapatkan hasil Pada saat pemberian daya listrik pada pompa sebesar 9 W selama 45 menit, temperatur dalam box adalah 22 ^{o}C dari suhu awal 31 ^{o}C dengan beban 150gr buah jeruk.[25]

3.2 Beban Pengujian

Beban pengujian penelitian ini adalah beban panas dari ASI yang akan didinginkan atau dihangatkan.Adanya perbedaan temperatur dari produk terhadap temperatur ruangan di dalam alat membuat sistem harus bekerja agar temperatur yang dihasilkan tetap pada di

rentang yang diinginkan. Beban panas produk dalan penelitin ini adalah beban panas sensibel. Beban panas sensible adalah panas yang menyebabkan terjadinya perubahan tempartur (kenaikan atau penurunan temperatur) tanpa terjadinya perubahan wujud. Beban panas sensibel dapat dihitung menggunakanpersamaan :

$$Q = m.c.\Delta T$$

Dengan :

Q = Jumlah panas yang dipindahkan (kJ)

m = Berat produk (kg)

c = Panas spesifik (kJ/kg.^{o}C)

ΔT = Perbedaan temperatur (^{o}C)

3.3 Perpindahan Kalor

Perpindahan kalor yang terjadi dalam ruangan pendingin terdapat dengan cara konduksi dan cara konveksi.[21]

3.3.1. Perpindahan Kalor Konduksi

Perpindahan kalor secara konduksi merupakan model perpindahan panas yang mengalir dari daerah yang bersuhu tinggi ke daerah bersuhu rendah. Dengan adanya perbedaan temperatur pada suatu bahan akan menimbulkan energi kinetik pada atom-atom tersebut. Hubungan dasar untuk perpindahan dengan cara konduksi dapat dilihat pada persamaan :

$$\frac{Q}{t} = k.\frac{A}{d}.\Delta T.$$

Dengan :

$\frac{Q}{t}$ = Laju kalor (kJ)

k = Konduktivitas termal benda (J/s.m. ^{o}C)

A = Luas penampang bahan (m^2)

d = Tebal bahan (m)

ΔT = Perbedaan temperatur (^{o}C)

3.3.2 . Perpindahan Kalor Konveksi

Perpindahan kalor konveksi merupakan pengangkutan kalor yang terjadi karena gerak dari zat yang dipanaskan. Proses

perpindahan kalor secara konveksi merupakan satu fenomena permukaan atau hanya terjadi pada permukaan bahan. Jadi dalam proses ini struktur bagian dalam bahan kurang penting. Bagian yang paling utama dalam proses ini adalah keadaan permukaan dan keadaan sekelilingnya.

3.4 **Pengolahan data**

Pengolahan data diperlukan untuk memperjelas hasil penelitian. Penelitian ini melakukan pengambilan data berulang yaitu sebanyak tiga kali di setiap beban.Oleh karena itu, pengolahan data dilakukan dengan persamaan ketidakpastian.[26] Untuk mendapatkan nilai rata-rata digunakan persamaan :

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \ldots + x_n}{n}$$

Dengan : $\bar{x}$ = Nilai rata-rata

x_1 = Nilai ke-1

x_2 = Nilai ke-2

x_n = Nilai ke-n

n = Banyaknya data

Untuk mendapatkan hasil ketidakpastian, menggunakan persamaan berikut :

$$\Delta x = \frac{x_{max} - x_{min}}{2}$$

Dengan : Δx = Nilai ketidakpastian

x_{max} = Nilai paling besar

x_{min} = Nilai paling kecil

Dari persamaan (3) dan (4) maka hasil pengukuran dapat diketahui dengan persamaan berikut :

$$x = \bar{x} \pm \Delta x$$

Selain itu, sensor yang digunakan juga diuji telebih dahulu dan untuk mengetahui nilai error pada sensor dapat diketahui dengan persamaan:

$$Error = \left| \frac{x_1 - x_2}{x_1} \right| \times 100\%$$

Dengan : x_1 = Rata-rata nilai acuan

x_2 = Rata-rata nilai terukur

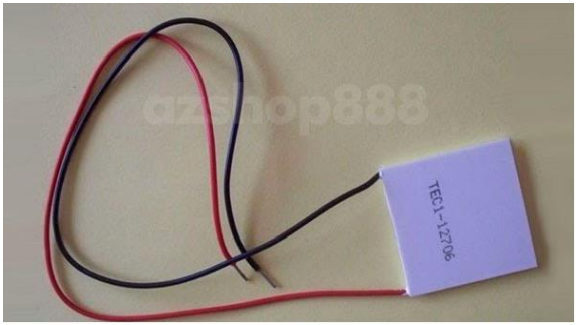
3.5. Termoelektrik

Termoelektrik merupakan alat yang bekerja dengan mengkonversi energi panas menjadi listrik secara langsung (generator termoelektrik) atau sebaliknya

dari listrik menghasilkan dingin (pendingin termoelektrik). Sistem pendingin beroperasi pada arus DC dan dapat digunakan untuk memanaskan atau mendinginkan dengan pembalikan arah arus. Proses pendinginan atau pemanasan ini dicapai dengan memindahkan panas dari salah satu sisi modul pendingin ke sisi yang lain dengan adanya arus listrik yang mengalir dan memenuhi hukum termodinamika. Modul termoelektrik terdiri dari elemen peltier, heatsink dan kipas. Spesifikasi termoelektrik peltier adalah sebagai berikut :

a. Model: TEC1-12706
b. Ukuran: 40 x 40 x 4 mm (penampang 16 cm2, tebal 4 mm);
c. Tegangan operasi: 0 s.d. 12 Volt DC

d. Konsumsi Daya Maksimum pada 12 Volt DC: 72 Watts[21]



Gambar 2.1 Elemen Peltier [21]

3.6. Komponen Dasar Sistem Termoelektrik

Sistem termoelektrik terdiri dari beberapa komponen dasar yaitu peltier, heatsink dan kipas. Heatsink terdapat dalam satu modul termoelektrik yang berfungsi untuk menyerap kalor pada sisi dingin elemen peltier maupun membuang kalor pada sisi panas peltier. Susunan dasar pendingin dan

penghangat termoelektrik terdiri dari elemen peltier dan heat sink baik pada sisi dingin elemen peltier maupun sisi panas, seperti pada gambar 2.2.[21]

Gambar 2.2 Susunan Dasar Sistem Pendingin[21]

3.7 Prinsip Kerja Pendingin Termoelektrik

Prinsip kerja pendingin termoelektrik berdasarkan efek Peltier, ketika arus DC dialirkan ke elemen termoelektrik yang terdiri dari beberapa

pasang sel semikonduktor tipe p yang memiliki tingkat energi yang lebih rendah dan tipe n yang memiliki tingkat energi yang lebih tinggi. Hal ini akan menyebabkan salah satu sisi terminal termoelektrik menjadi dingin (kalor yang diserap) dan pada terminal lain menjadi panas (kalor dilepaskan). Skema aliran termoelektrik Peltier ditunjukkan pada Gambar 2.2. [18]

Gambar 2.3 Skema Aliran Termoelektrik Peltier [18]

3.8. Sensor suhu

Sensor suhu digunakan untuk mengukur suhu ruangan didalam alat. Sensor suhu yang digunakan adalah sensor suhu berjenis DHT-11. Sensor ini memiliki tingkat kestabilan output yang cukup tinggi dan mempunyai keandalan jangka panjang. DHT-11 mengukur suhu disekitarnya dengan mengeluarkan sinyal *digital* pada pin data sehingga tidak memerlukan sinyal *input analog* lain dalam pengoperasiannya. Adapun spesifikasi *sensor* DHT-11, sebagai berikut :

a. Pasokan tegangan dan I/O : 3 – 5 Volt.
b. Rentang kelembaban : 20-80% RH dengan tingkat akurasi kesalahan ± 5%.

c. Rentang *temperature* : 0-50 ^{o}C dengan tingkat akurasi kesalahan 2 ^{o}C.

Bentuk sensor suhu DHT11 ditampilkan pada gambar 2.4. Masing-masing ruangan dalam alat yaitu ruangan pendingin dan ruangan penghangat dipasang satu sensor suhu.[27]

Gambar 2.4 Sensor Suhu DHT11 [27]

3.9. Relay

Modul relai adalah sakelar yang dioperasikan secara elektrik yang memungkinkan Anda untuk menghidupkan atau mematikan sirkuit

menggunakan tegangan dan / atau arus yang jauh lebih tinggi daripada yang bisa ditangani oleh mikrokontroler. Tidak ada koneksi antara rangkaian tegangan rendah yang dioperasikan oleh mikrokontroler dan sirkuit daya tinggi. Relai melindungi setiap sirkuit dari satu sama lain.

Setiap saluran dalam modul memiliki tiga koneksi bernama NC, COM, dan NO. Bergantung pada mode pemicu sinyal input, tutup jumper dapat ditempatkan pada mode efektif level tinggi yang 'menutup' sakelar normal terbuka (NO) pada input level tinggi dan pada mode efektif level rendah yang beroperasi sama tetapi pada input level rendah. Gambar 2.5 menunjukan bentuk dari relay yang digunakan dalam penelitian ini. Penelitian ini

menggunakan Relay 2 Channel dengan input tegangan 5V.[28]

Gambar 2.5 Relay 2 Channel [28]

3.10. Baterai Aki

Baterai dapat diartikan sebagai sebuah alat yang mampu merubah energi kimia menjadi energi listrik melalui proses kimia untuk dapat digunakan pada peralatan elektronik. Alat elektronik yang bersifat *portabel* umumnya banyak menggunakan baterai sebagai sumber energinya. Peralatan elektronik seperti *Handphone*, Jam, *Laptop*, *Diskman*, Senter, *Remote TV, UPS*, bahkan mobil

memerlukan baterai sebagai sumber energi dan penggeraknya.[22] Penggunaan baterai pada peralatan *portabel* membuat peralatan tersebut mudah untuk dibawa-bawa kemana saja. Baterai yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Aki kering 6V 4.5Ah. Bentuk dari aki yang digunakan terdapat pada gambar 2.6.

Gambar 2.6 Aki 6V 4,5Ah

3.11. Arduino

Arduino merupakan salah satu perangkat keras elektronik dengan sistem terbuka (*open source*) yang memiliki saluran masukan dan keluaran (*port I/O*). Arduino dapat dipakai untuk membuat sistem kontrol yang dapat berdiri sendiri, dan dapat digabungkan dengan komputer sebagai sistem data akuisisi. Selain itu, arduino memiliki software IDE sendiri yang lebih mudah digunakan dan artistik. Pada awalnya arduino dibuat di Ivrea Interaction Design Institute berupa peralatan prototyping yang mudah dan cepat untuk siswa yang tidak memiliki berlatar belakang bidang elektronika dan pemrograman. Perkembangannya sekarang arduino digunakan dari sistem yang sederhanya, hingga yang komplek salah satunya

adalah aplikasi *Internet of Think* (IoT). Tipe arduino yang sering digunakan dalam pembuatan prototipe adalah arduino uno. Arduino uno memiliki 14 pin I/O digital dan 6 pin I/O analog.[24]

Gambar 2.7 Arduino Uno [24]

A. Landasan teori

ASI adalah air susu ibu yang mengandung banyak nutrisi optimal. Pemberian ASI merupakan metode pemberian makan bayi yang terbaik karena ASI mengandung semua zat gizi dan cairan yang dibutuhkan untuk memenuhi seluruh gizi bayi.[4] ASI adalah biofluid yang sangat kompleks untuk memenuhi asupan dan gizi bayi untuk melindungi mereka dari penyakit yang disebabkan oleh sistem kekebalan tubuh bayi.[5] Pemberian ASI kepada bayi tanpa makanan pendamping selama enam bulan disebut sebagai ASI Eksklusif.

ASI sangat berharga bagi bayi baru lahir karena sifat fisiologis, imunologis, anti-infeksi, dan nutrisinya. ASI secara

universal telah dikonfirmasi sebagai pemberi nutrisi terbaik untuk bayi. Peningkatan jumlah ibu yang bekerja baru-baru ini telah membuat penyimpanan ASI diperlukan.[6]. Dalam satu hari seorang ibu bisa menghasilkan hingga satu liter ASI, sedangkan bayi mengkonsumsi sekitar 200mL hingga 250mL ASI. ASI perah sebaiknya disimpan dalam botol kaca atau plastik yang tidak mengandung Biphanol-A (BPA) yang beresiko bagi bayi. [7] ASI Perah dapat disimpan pada lemari pendingin atau tas pendingin agar tahan lama. Sebelum diberikan ke bayi, ASI Perah yang sudah didinginkan harus dihangatkan terlebih dahulu.[8]

1) Pengaruh Suhu terhadap Penyimpanan ASI

Terdapat beberapa penelitian yang pernah dilakukan mengenai pengaruh suhu terhadap penyimpanan ASI. penelitian tersebut adalah sebagai berikut:

a. Ibu menyusui harus memerhatikan petunjuk penyimpanan ASI karena ASI banyak mengandung zat anti bakteri, zat anti virus, dan zat gizi. Terdapat rekomendasi lama penyimpanan ASI yaitu pada suhu ruangan ≤ 25ºC selama 6-8 jam, suhu ruangan > 25ºC tahan 2-4 jam, pada suhu 15ºC selama 24 jam, pada suhu 4ºC sampai 5 hari, pada suhu -15ºC selama 2 minggu, dan disuhu -18ºC selama 3-6 bulan. Proses penyimpanan di lemari

pendingin bermanfaat untuk mempertahankan kualitas ASI, akan tetapi lama penyimpanan yang tidak sesuai anjuran juga akan mempengaruhi kualitas ASI.[2]

b. Ikatan Dokter Anak Indonesia (IDAI) menyarankan penyimpanan ASI dalam wadah tertutup selama 6-8 jam pada suhu ruangan atau sekitar 26˚C, penyimpanan selama tiga hingga lima hari pada suhu 4˚C, dan selama 6 – 12 bulan disuhu -18˚C.[8]

c. Penelitian yang dilakukan oleh Misbahul Huda dan Holidy Ilyas pada tahun 2016 yang melakukan penyimpanan selama 24 jam pada suhu 0˚C terhadap 25 sampel ASI dan didapatkan hasil penurunan kualitas bakteriologis. Dari 25 sampel, terdapat 15 ASI sampel

berkualitas sedang, 7 sampel ASI berkualitas baik, dan 3 sampel ASI berkualitas sangat baik. Dari penelitian ini juga disebutkan bahwa terdapat beberapa faktor yang memengaruhi penurunan kualitas bakteriologis pada ASI seperti pakaian ibu yang kurang hygienis, tidak ada proses membersihkan payudara sebelum proses pemerahan dan tangan ibu yang belum atau kurang bersih.[9]

d. Lalu penelitian yang dilakukan oleh Lusi Mutqin dkk. Dengan menyimpan ASI pada rentang suhu 20-28,5˚C, ASI dapat bertahan selama 6-8 jam untuk keadaan baik berdasarkan jumlah total bakteri *mesofil aerob* dan *enterobacter*. Namun suhu bukanlah

satu-satunya faktor yang memengaruhi kualitas ASI.[10]

e. Penelitian yang dilakukan oleh Puspito Arum dan Agatha Widyawati, dengan menyimpan ASI diruangan selama tiga jam mendapatkan hasil terjadinya kenaikan kandungan lemak ASI. Kandungan lemak ASI mengalami peningkatan karena terdapat aktifitas lipolisis. Aktifitas lipolisis terjadi lebih cepat pada suhu ruang atau suhu sekitar 25˚C dibandingkan dengan suhu yang lebih rendah atau sekitar 15˚C.[11]

f. Suhu pada alat untuk menghangatkan ASI adalah sekitar 40°C agar ASI yang dihangatkan memiliki suhu hangat sekitar 37°C. [12][13]

g. Menurut rekomendasi dari Human Milk Banking Association of North America (HMBANA) suhu menghangatkan ASI adalah sebesar 40 ^{o}C.[14]

3.12 Perancangan Alat

Konsep penelitian ini adalah perancangan alat. Alat pendingin dan penghangat ini dirancang seefisien mungkin dan terdapat batasan-batasan agar memudahkan perhitungan. Dalam mendesain alat mengacu pada ukuran dan jumlah bahan-bahan yang digunakan untuk penelitian ini seperti tas, elemen peltier, heatsink, fan, dll.

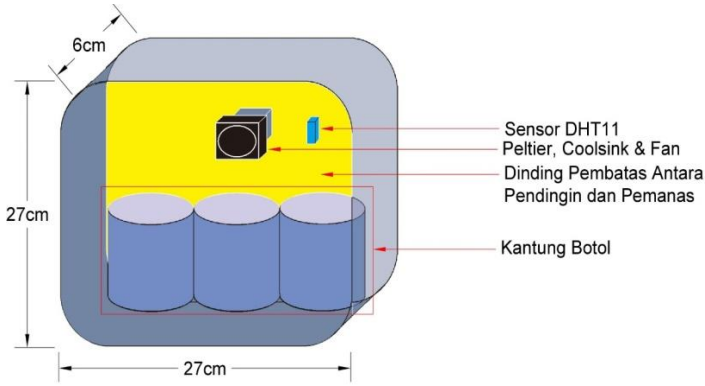
a. Desain alat

Alat yang dibuat merupakan pengembangan dari tas pendingin

yang sudah ada. Alat pendingin dan penghangat dibuat dengan memanfaatkan dua sisi komponen peltier (panas dan dingin). Termoelektrik diletakkan pada sekat yang memisahkan ruangan pendingin dan penghangat. Sisi termoelektrik yang mengeluarkan suhu dingin diletakkan menghadap ruangan pendingin, dan sisi termoelektrik yang menghasilkan panas dihadapkan pada ruangan penghangat.

Dalam masing-masing ruangan terdapat sensor suhu DHT-11 untuk mengukur suhu ruangannya. Hasil pengukuran suhu akan ditampilkan oleh LCD setiap lima detik. Penyimpanan mikrokontroller dan relay terdapat

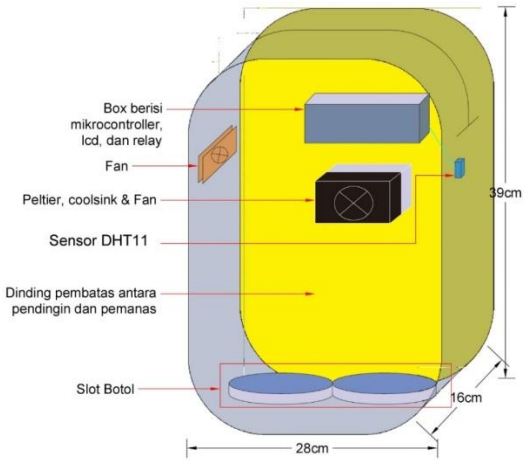
dibagian ruangan penghangat karena memiliki dimensi ruangan yang cukup besar. Dimensi ruangan pendingin ditunjukkan pada gambar 3.2.



Gambar 3.8 Desain Ruang Pendingin

Desain ruangan pendingin ditunjukkan pada gambar 3.2. sisi dingin termoelektrik dan sensor suhu terdapat pada dinding pembatas atau penyekat. Terdapat tiga kantung untuk menyimpan

botol ASI. Posisi ruangan pendingin ada dibagian depan tas. Ruang pendingin ini memiliki dimensi dengan panjang = 27cm, tinggi = 27cm, dan lebar = 6cm. Pada seluruh bagian dalam ruangan pendingin dilapisi dengan alumunium foil. Sedangkan dimensi ruangan penghangat ditunjukkan pada gambar 3.3.

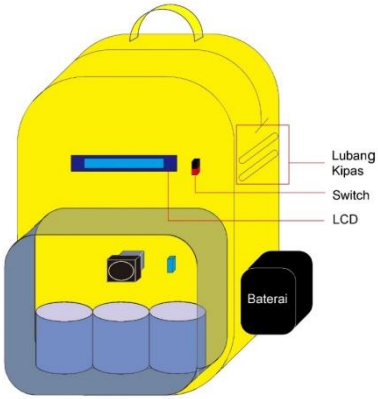


Gambar 3.9 Desain Ruang Penghangat

Desain ruang penghangat ditunjukkan pada gambar 3.3. pada dinding penyekat terdapat sensor suhu DHT-11, termoelektrik sisi panas, dan kotak berisi mikrokontroler, LCD dan Relay. Dibagian samping tuangan pendingin terdapat tambahan satu kipas yang berfungsi membuang panas jika terjadi panas berlebih dalam ruangan dan menjaga suhu tetap stabil. Kipas ini terhubung dengan relay 2. Jadi kipas ini akan menyala ketika suhu ruangan mencapai 40°C. Dalam ruangan penghangat terdapat dua tatakan untuk mengimpan botol ASI saat dihangatkan. Dimensi ruangan penghangat yaitu panjang = 28cm, tinggi = 39cm, dan lebar = 16cm.

Pada seluruh sisi dalam ruangan penghangat juga dilapisi dengan alumunium foil.

Secara keseluruhan desain tas dapat dilihat pada gambar 3.4. Sisi berwarna kuning merupakan penyekat antara ruangan pendingin dengan ruangan penghangat. Tampilan LCD dapat dilihat pada bagian luar tas. Juga terdapat switch yang berguna untuk meyalakan sistem pendingin dan penghangat dan memilih sumber tegangan antara baterai atau soket untuk disambungkan pada *ciggarate lighter* pada mobil. Soket disimpan pada kantung kiri tas, dan baterai disimpan pada sisi kiri dan kanan tas agar tas tidak berat sebelah.



Gambar 3.10 Tampak Depan Tas

Sekat antara sisi pendingin dan penghangat berupa busa *polyethylene* yang memiliki ketebalan 1,2cm. Untuk perpindahan kalor melalui sekat, dapat diketahui dari persamaan (1).

b. Desain sistem

Alat-alat yang dibutuhkan untuk merancang alat pendingin

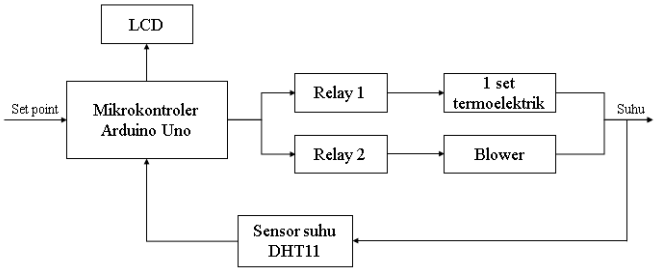
dan penghangat ASI terdapat dalam Tabel 3.1.

Tabel 1 Alat dan Bahan

No.	**Alat & Bahan**	**Jumlah**
1	Elemen Peltier TEC 12706	1
2	Aki/Baterai	2
3	Heatsink	1
4	Fan	3
5	Sensor DHT11	2
6	Arduino Uno	1
7	Kabel Jumper	1 gulung
8	Relay	2
9	Tas	1

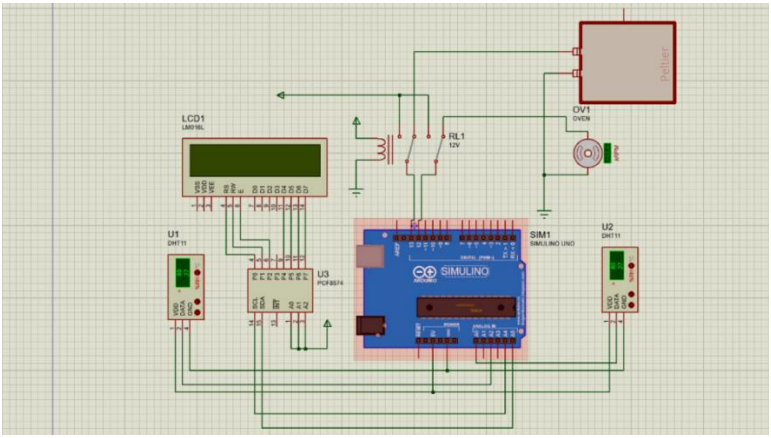
10	LCD	1
11	Regulator	1
12	Switch	1
13	Busa Alumunium Foil	1 meter

Blok diagram sistem pendingin dan penghangat ditampilkan pada gambar 3.5. Dimulai dengan catu daya yang berguna untuk membangkitkan tegangan sebesar 12V, lalu tegangan tersebut akan diturunkan menjadi 5V oleh regulator



Gambar 3.11 Diagram Blok Sistem

Output dari regulator menjadi input bagi mikrokontroler untuk mengaktifkannya. Selain input dari regulator, data dari sensor suhu juga menjadi input untuk mikrokontroler. Output dari mikrokontroler yaitu tampilan pada LCD dan kondisi relay. Untuk memperjelas diagram blok sistem, dapat dilihat wiring diagram sistem pada gambar 3.6.



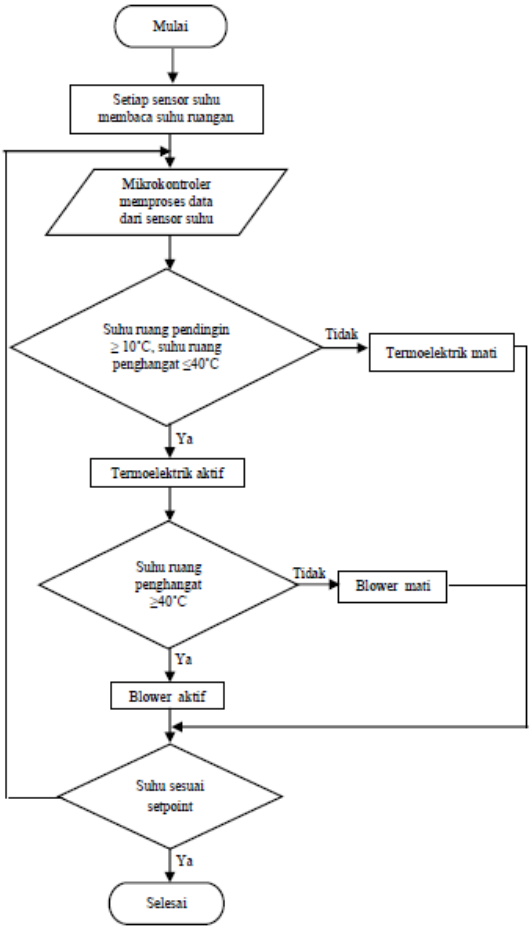
Gambar 3.12 Wiring Diagram Sistem Pendingin dan Penghangat

Wiring diagram sistem dapat dilihat pada gambar 3.6. Setiap komponen dihubungkan dengan kabel jumper.

c. Pengontrolan Suhu Sistem Pendingin dan Penghangat

Pengontrolan suhu pendingin dan penghangat menggunakan

mikrokontroller. Pada kedua ruang terdapat sensor suhu untuk mengetahui suhu pada setiap ruangan. Untuk memperjelas kerja dari sistem pendingin dan penghangat, dapat dilihat diagram alir prinsip kerja sistem dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.13 Diagram Alir Pengontrolan Suhu

Sensor suhu membaca nilai suhu dalam setiap ruangan, lalu mikrokontroler akan mendapatkan nilai dari sensor dan mengolahnya. Jika suhu yang terukur menunjukkan Suhu ruang hangat ≤ 40˚C, dan suhu ruang dingin ≥ 10˚C, maka relay pertama akan menyala dan membuat termoelektrik mulai bekerja. Lalu jika suhu ruang hangat mencapai ≥ 40˚C maka relay kedua akan menyala dan membuat fan yang terletak pada samping tas menyala untuk membuang suhu panas dari dalam tas.

Jika sistem pengontrolan suhu sudah dilakukan pengujian dan sudah sesuai maka dilakukan pengambilan data selama 8 jam.

d. Perakitan Alat

Perakitan alat dimulai dengan membeli peralatan dasar yang dibutuhkan sesuai dengan tabel 3.1. Tas sebagai wadah sistem pendingin dan penghangat ini juga dimodifikasi agar sesuai dengan kebutuhan penggunanya.

3.13 Pengambilan Data

Jika sistem pengontrolan suhu sudah dilakukan pengujian dan sudah sesuai maka dilakukan pengambilan data selama 8 jam dengan alasan suhu yang ingin dicapai adalah kurang dari 25 ^{o}C dan berdasarkan literatur, ASI mampu bertahan selama 8 jam pada rentang suhu tersebut. Pengambilan data dilakukan sebanyak tiga kali pada masing-masing beban, yaitu tanpa menggunakan beban, dengan

menggunakan total beban 100mL pada ruangan pendingin, dan menggunakan total beban 200mL pada kedua ruangan (pendingin dan penghangat). Selain itu, pengujian sensor juga dilakukan dengan membandingkan sensor yang akan digunakan (DHT-11) dengan alat ukur yang sudah terkalibrasi.

3.14 Pengujian Alat

Pengujian awal dilakukan dengan mengamati temperatur yang dihasilkan oleh sistem pendingin ketika diberikan beban volume yang berbeda. Pengujian sensor dilakukan dengan membandingkannya dengan termometer yang sudah dikalibrasi. Nilai error pada sensor dapat diketahui dengan persamaan (6).

4.1. Hasil Rancang Bangun

Hasil yang didapatkan pada penelitian ini yaitu rancang bangun tas pendingin dan penghangat ASI menggunakan termoelektrik. Bentuk asli tas pendingin dan penghangat asi ditunjukkan pada gambar 4.1

Gambar 4.14 Tas Tampak Depan dan Belakang

Sedangkan bentuk ruang pendingin dan penghangat ditampilkan pada gambar 4.2

(a) (b)

Gambar 4.15 (a) Ruang Penghangat (b) Ruang Pendingin

a. Pengujian sensor

Pengujian sensor dilakukan untuk mengetahui seberapa besar error pada sensor. Error sensor yang didapat dengan menggunakan persamaan (6) yaitu untuk sensor pendingin sebesar 0.224632% dan error sensor suhu

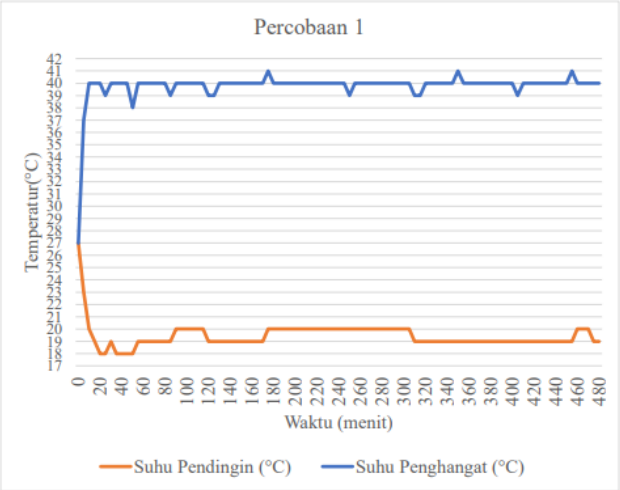
penghangat yaitu sebesar 0.096427%. Tabel nilai pengujian sensor suhu terlampir pada bab lampiran.

b. Kinerja Alat

Kinerja alat didapatkan dari hasil pengujian alat dengan mengubah variasi beban dalam ruangan pendingin dan penghangat. Lalu didapatkan hasil yang berbeda-beda tergantung pada volume beban.Hasil ditampilkan dalam bentuk grafik pada masing-masing pengujian.

1) Pendingin dan Penghangat Tanpa Beban

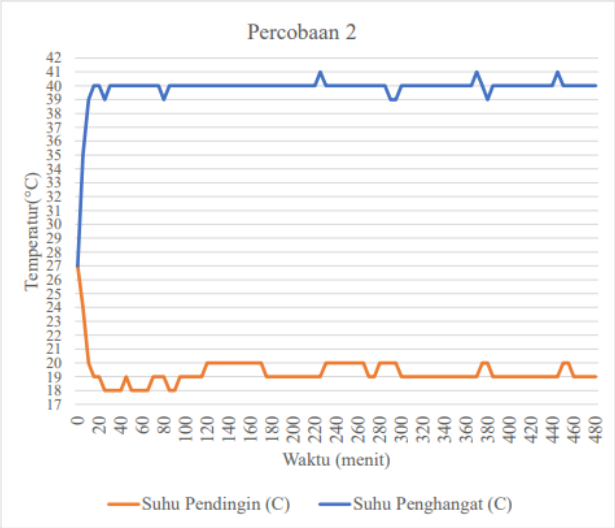
Hasil pengujian tanpa beban pendingin selama 8 jam diambil sebanyak tiga kali. Nilai pengukuran terlampir pada bab lampiran.



Gambar 4.16 Grafik Pengujian Tanpa Beban (1)

Hasil pada pengujian pertama didapatkan hasil bahwa selama 8 jam, suhu yang dihasilkan tidak konstan atau terjadi kenaikan atau penurunan suhu pada masing-masing ruangan. Perbedaan suhu antara ruangan pendingin dan ruangan penghangat rata-rata

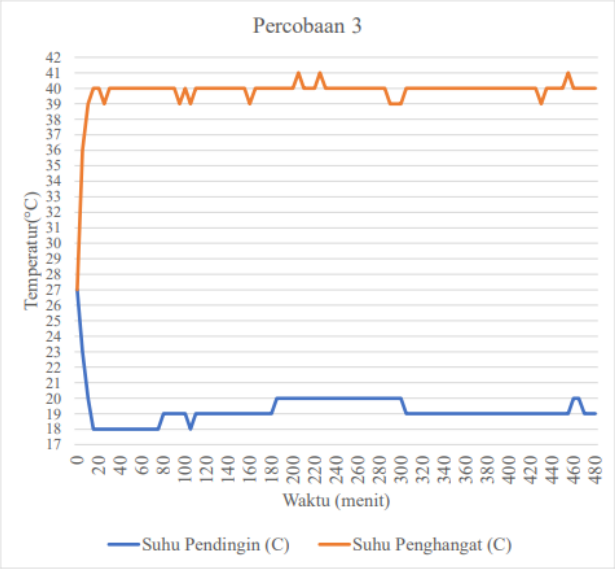
sebesar 20,3 ^{o}C. Pada menit ke-5 suhu ruang pendingin sudah berada dibawah 25°C. Suhu ruang penghangat mencapai 40°C saat menit ke-10



Gambar 4.17 Grafik Pengujian Tanpa Beban (2)

Hasil pada pengujian kedua didapatkan hasil bahwa selama 8

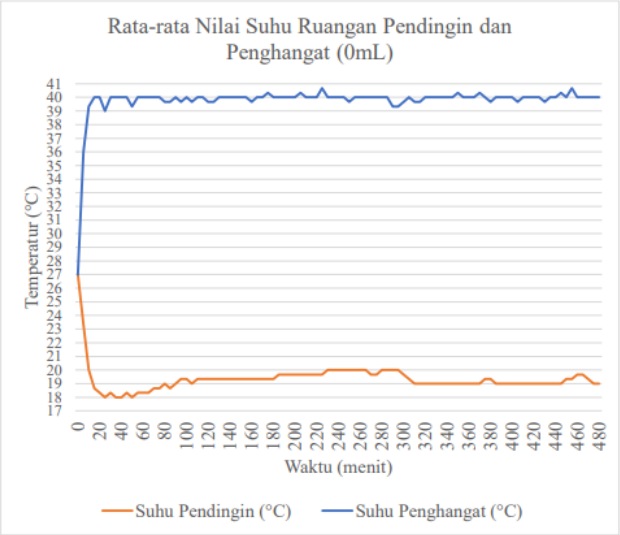
jam, suhu yang dihasilkan hampir sama dengan pengujian pertama yaitu tidak konstan atau terjadi kenaikan atau penurunan suhu pada masing-masing ruangan. Perbedaan suhu antara ruangan pendingin dan ruangan penghangat rata-rata sebesar 20,4 ^{o}C. Pada menit ke-5 suhu ruang pendingin sudah berada dibawah 25°C. Suhu ruang penghangat mencapai 40°C saat menit ke-15.



Gambar 4.18 Grafik Pengujian Tanpa Beban (3)

Hasil pada pengujian ketiga didapatkan hasil bahwa selama 8 jam, suhu yang dihasilkan hampir sama dengan pengujian-pengujian sebelumnya yaitu tidak konstan atau terjadi kenaikan atau

penurunan suhu pada masing-masing ruangan. Perbedaan suhu antara ruangan pendingin dan ruangan penghangat rata-rata sebesar 20,5 ^{o}C. Pada menit ke-5 suhu ruang pendingin sudah berada dibawah 25°C. Suhu ruang penghangat mencapai 40°C saat menit ke-15



Gambar 4.19 Grafik Rata-rata Pengujian Tanpa Beban

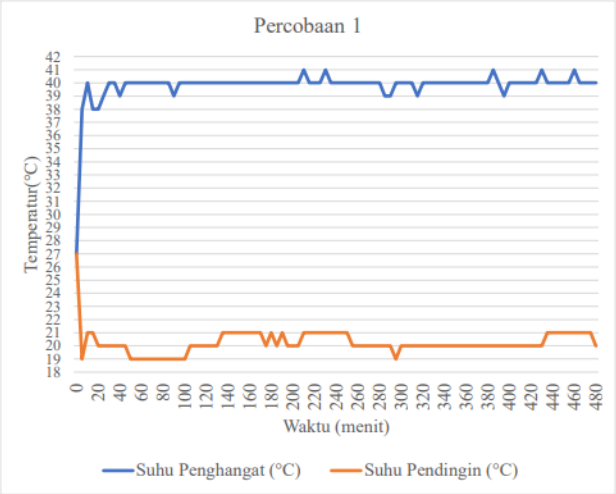
Hasil rata-rata didapatkan dari persamaan (3). Rata-rata temperatur pada ruangan penghangat yaitu sebesar 39,7 ^{o}C, dan ruangan pendingin sebesar 19,3 ^{o}C. Suhu tertinggi yang dicapai pada ruang penghangat setelah

mencapai suhu 40°C pertama yaitu sebesar 40,7 ^{o}C dan suhu terendahnya adalah 39°C. Sehingga dengan persamaan (4) dan (5) diketahui nilai suhu ruangan penghangat yang dihasilkan = 39,7 ± 0,85 ^{o}C.

Sedangkan suhu terendah yang dicapai ruang pendingin setelah mencapai suhu dibawah 25 ^{o}C pertama kali adalah sebesar 18 ^{o}C dan suhu tertingginya sebesar 23,3 ^{o}C. Sehingga dengan persamaan (4) dan (5) diketahui nilai suhu ruangan pendingin yang dihasilkan = 19,3 ± 2,65 ^{o}C. Perbedaan suhu antara ruangan pendingin dan ruangan penghangat rata-rata sebesar 20,4 ^{o}C.

2) Pendingin dengan beban 100ml

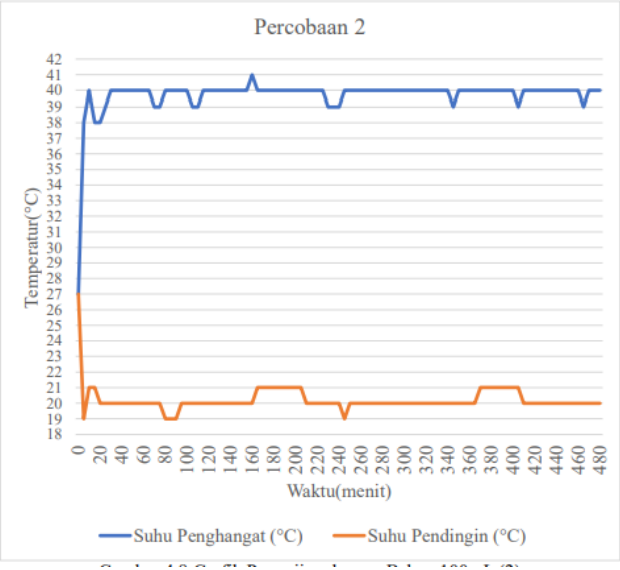
Hasil pengujian menggunakan total beban 100mL yang disimpan hanya pada ruangan pendingin ditunjukkan pada Gambar 4.7, Gambar 4.8, Gambar 4.9, dan Gambar 4.10. Pengujian dilakukan selama 8 jam dan sebanyak tiga kali. Nilai pengukuran terlampir pada bab lampiran.



Gambar 4. 20 Grafik Pengujian dengan Beban 100mL(1)

Hasil pengujian pertama alat dengan beban 100mL pada ruangan pendingin menunjukan bahwa suhu pada setiap ruangan juga mengalami kenaikan dan penurunan. Dengan beban pendingin sebanyak 100mL didapatkan hasil tetap pada rentang

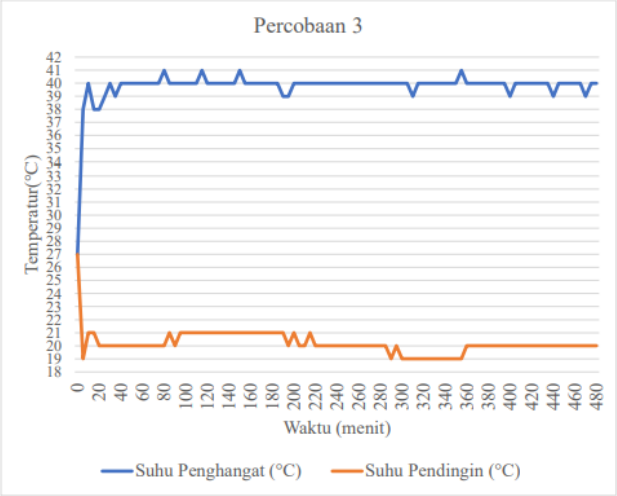
yang diinginkan pada ruangan pendingin yaitu masih dibawah 25 ^{o}C. Suhu awal beban pendingin yaitu sebesar 25 ^{o}C. Selama 8 jam, suhu beban pendingin mengalami penurunan menjadi 21 ^{o}C. Pada menit ke-5 suhu ruang pendingin sudah berada dibawah 25°C. Suhu ruang penghangat mencapai 40°C saat menit ke-10.



Gambar 4.21 Grafik Pengujian dengan Beban 100mL (2)

Hasil pengujian kedua pada alat dengan beban 100mL pada ruangan pendingin menunjukan bahwa suhu pada setiap ruangan juga mengalami kenaikan dan penurunan. Dengan beban pendingin sebanyak 100mL

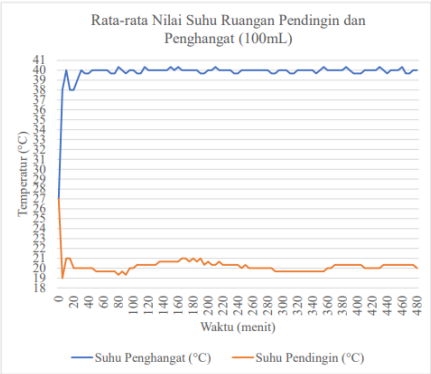
didapatkan hasil tetap pada rentang yang diinginkan pada ruangan pendingin yaitu masih dibawah 25 ^{o}C. Pada menit ke-5 suhu ruang pendingin sudah berada dibawah 25°C. Suhu ruang penghangat mencapai 40°C saat menit ke-10. Suhu awal beban pendingin yaitu sebesar 25 ^{o}C. Setelah disimpan dalam ruangan pendingin, suhu berubah menjadi 22 ^{o}C. Hasil pengujian kedua tidak jauh berbeda dengan pengujian sebelumnya.



Gambar 4.22 Grafik Pengujian dengan Beban 100mL (3)

Hasil pengujian ketiga alat dengan beban 100mL pada ruangan pendingin menunjukan bahwa suhu pada setiap ruangan juga mengalami kenaikan dan penurunan. Dengan beban pendingin sebanyak 100mL didapatkan hasil tetap pada rentang

yang diinginkan pada ruangan pendingin yaitu masih dibawah 25 ^{o}C. Pada menit ke-5 suhu ruang pendingin sudah berada dibawah 25°C. Suhu ruang penghangat mencapai 40°C saat menit ke-10. Suhu awal beban pendingin yaitu sebesar 25 ^{o}C. Setelah disimpan selama 8 jam pada ruangan pendingin, suhu beban turun menjadi 19 ^{o}C.



Gambar 4.23 Grafik Rata-rata Pengujian dengan Beban 100mL

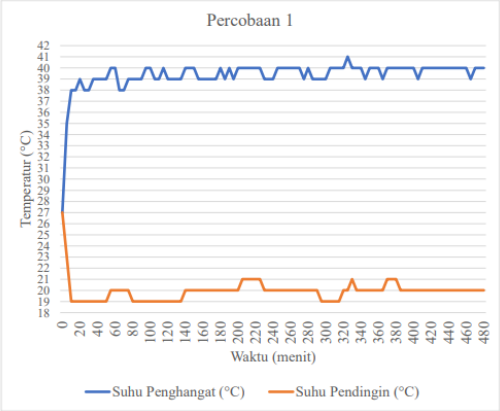
Hasil rata-rata didapatkan dari persamaan (3). Rata-rata temperatur pada ruangan penghangat yaitu sebesar 39,7 ^{o}C, dan ruangan pendingin sebesar 20,2 ^{o}C. Suhu tertinggi yang dicapai pada ruang penghangat setelah mencapai suhu 40°C pertama yaitu sebesar 40,3 ^{o}C dan suhu terendahnya adalah 38°C.

Sehingga dengan persamaan (4) dan (5) diketahui nilai suhu ruangan penghangat yang dihasilkan = 39,7 ± 1,15 ^{o}C.

Sedangkan suhu terendah yang dicapai ruang pendingin setelah mencapai suhu dibawah 25 ^{o}C pertama kali adalah sebesar 19 ^{o}C dan suhu tertingginya sebesar 21 ^{o}C. Sehingga dengan persamaan (4) dan (5) diketahui nilai suhu ruangan pendingin yang dihasilkan = 20,2 ± 1 ^{o}C. Perbedaan suhu antara ruangan pendingin dan ruangan penghangat rata-rata sebesar 19,5 ^{o}C. Suhu rata-rata beban setelah didinginkan selama 8 jam adalah 20,6 ^{o}C.

3) Pendingin dan penghangat dengan beban 200ml

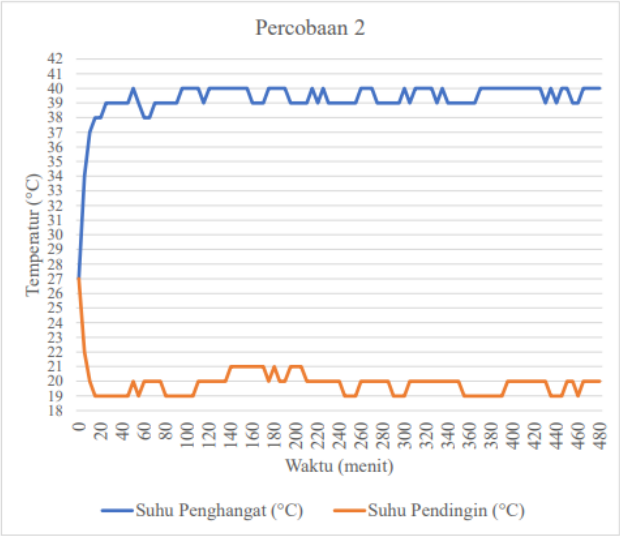
Hasil pengujian menggunakan total beban pendingin 200mL yang ditempatkan pada kedua ruangan (pendingin dan penghangat) ditunjukkan pada gambar 4.11, gambar 4.12, gambar 4.13 dan gambar 4.14. Pengujian dilakukan selama 8 jam dan sebanyak tiga kali. Nilai pengujian terlampir pada bab lampiran.



Gambar 4.24 Grafik Pengujian dengan Beban 200mL (1)

Hasil pengujian pertama alat dengan beban total 200mL pada ruangan pendingin dan penghangat menunjukan bahwa suhu pada setiap ruangan juga mengalami kenaikan dan penurunan. Dengan beban pendingin sebanyak 100mL didapatkan hasil tetap pada rentang yang diinginkan pada ruangan pendingin yaitu masih dibawah 25

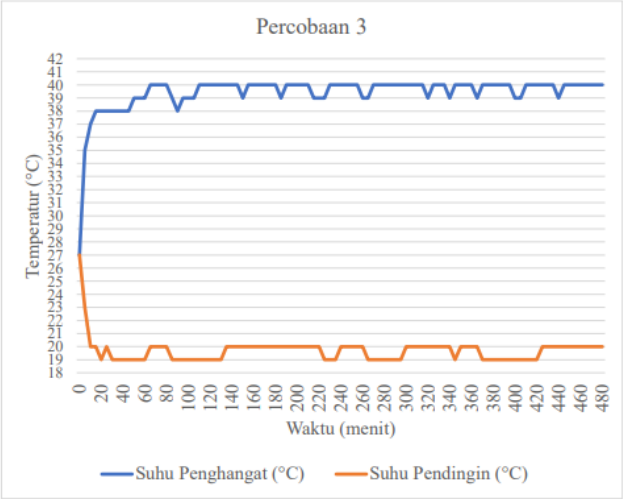
^{o}C. Suhu awal beban pendingin yaitu sebesar 25 ^{o}C. Pada menit ke-10 suhu ruang pendingin sudah berada dibawah 25°C. Suhu ruang penghangat mencapai 40°C saat menit ke-55. Setelah disimpan selama 8 jam pada ruangan pendingin, suhu beban turun menjadi 22 ^{o}C . Pada saat menit ke-60, beban pada ruang penghangat diambil untuk dicek suhunya, dan suhu beban didapatkan sebesar 37 ^{o}C.



Gambar 4.25 Grafik Pengujian dengan Beban 200mL (2)

Hasil pengujian kedua pada alat dengan beban total 200mL pada ruangan pendingin dan penghangat menunjukan bahwa suhu pada setiap ruangan juga mengalami kenaikan dan penurunan. Dengan beban pendingin sebanyak 100mL

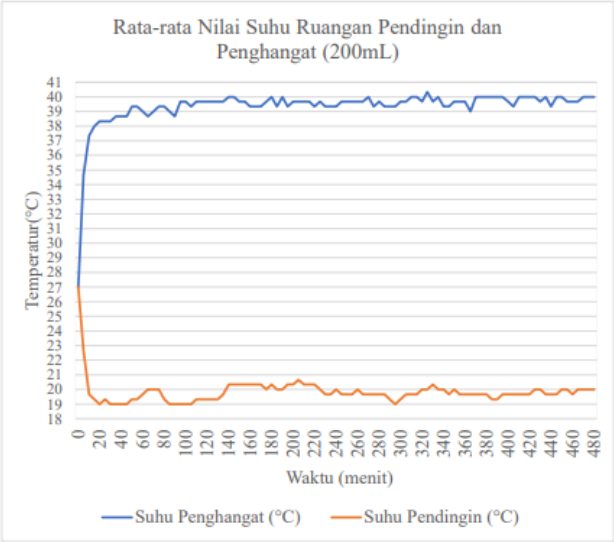
didapatkan hasil tetap pada rentang yang diinginkan pada ruangan pendingin yaitu masih dibawah 25 ^{o}C. Suhu awal beban pendingin yaitu sebesar 25 ^{o}C. Pada menit ke-5 suhu ruang pendingin sudah berada dibawah 25°C. Suhu ruang penghangat mencapai 40°C saat menit ke-50. Setelah disimpan selama 8 jam pada ruangan pendingin, suhu beban turun menjadi 21 ^{o}C. Pada saat menit ke-60, beban ruang penghangat diambil untuk dicek suhunya, dan suhu beban didapatkan sebesar 37 ^{o}C. Hasil ini tidak jauh berbeda dengan pengujian sebelumnya.



Gambar 4.26 Grafik Pengujian dengan Beban 200mL (3)

Hasil pengujian ketiga pada alat dengan beban total 200mL pada ruangan pendingin dan penghangat menunjukan bahwa suhu pada setiap ruangan juga mengalami kenaikan dan penurunan. Dengan beban total 200mL pada kedua ruangan

didapatkan hasil tetap pada rentang yang diinginkan pada ruangan pendingin yaitu masih dibawah 25 ^{o}C. Suhu awal beban pendingin yaitu sebesar 25 ^{o}C. Pada menit ke-5 suhu ruang pendingin sudah berada dibawah 25°C.Suhu ruang penghangat mencapai 40°C saat menit ke-65. Setelah disimpan selama 8 jam pada ruangan pendingin, suhu beban turun menjadi 22 ^{o}C Pada saat menit ke-60, beban pada ruangan penghangat diambil untuk dicek suhunya, dan suhu beban didapatkan sebesar 38°C.



Gambar 4.27 Grafik Rata-rata Pengujian dengan Beban 200mL

Hasil rata-rata didapatkan dari persamaan (3). Rata-rata temperatur pada ruangan penghangat yaitu sebesar 39,3 ^{o}C, dan ruangan pendingin sebesar 19,8 ^{o}C. Suhu tertinggi yang dicapai pada ruang penghangat setelah

mencapai suhu 40°C pertama yaitu sebesar 40,3 ^{o}C dan suhu terendahnya adalah 39°C. Sehingga dengan persamaan (4) dan (5) diketahui nilai suhu ruangan penghangat yang dihasilkan = 39,3 ± 0,65 ^{o}C.

Sedangkan suhu terendah yang dicapai ruang pendingin setelah mencapai suhu dibawah 25 ^{o}C pertama kali adalah sebesar 19 ^{o}C dan suhu tertingginya sebesar 21 ^{o}C. Sehingga dengan persamaan (4) dan (5) diketahui nilai suhu ruangan pendingin yang dihasilkan = 19,8 ± 1,85 ^{o}C. Perbedaan suhu antara ruangan pendingin dan ruangan penghangat rata-rata sebesar 19,5 ^{o}C. Suhu rata-rata beban pada ruangan

pendingin setelah didinginkan selama 8 jam adalah 21,6 ^{o}C, sedangkan suhu rata-rata beban pada ruang penghangat setelah disimpan dalam ruangan penghangat adalah 37,3 ^{o}C.

3.16 Perhitungan beban dan perpindahan kalor

Beban panas dari dalam ruangan harus dibuang dari ruangan pendingin agar ruangan dapat mencapai temperatur yang rendah. Beban panas dalam ruangan berasal dari panas produk. Pada penelitian ini ruang pendingin menggunakan beban 100mL dengan suhu awal beban 25 ^{o}C dan suhu terendah yang dicapai yaitu sebesar 21,1 ^{o}C. Beban ditempatkan dalam botol kaca, maka untuk menghitung beban panas adalah sebagai berikut:

Diketahui :

a. T_{max} = 25 ^oC f. m_{botol} = 0,12 kg

b. T_{min} = 21,1 ^oC g. C_{ASI} = 3,93 kJ/kg.C

c. ΔT = 3,9 ^oC h. C_{botol} = 0,75 kJ/kg.C

d. m_{ASI} = 0,10 kg

Maka : $Q = (m_{ASI}.C_{ASI} + m_{botol}.C_{botol})\ \Delta T$

$= (0,10\ .\ 3,93 + 0,12\ .\ 0,75)\ 3,9$

$= 1,88$ kJ

Perpindahan kalor konduksi terjadi pada sekat antara ruang pendingin dan

penghangat. Kalor bergerak dari suhu yang tinggi ke suhu yang rendah, artinya suhu dalam ruangan penghangat mempengaruhi suhu dalam ruang pendingin. Hal ini dapat dilihat dari suhu yang dihasilkan pada subbab 4.3 yaitu ketika suhu ruang penghangat naik maka suhu ruang pendingin juga ikut naik. Peranan material sekat sangatlah penting. Penelitian ini menggunakan material busa *polyurethane* yang memiliki konduktivitas termal sebesar 0,024 J/s.m. ^{o}C. Tebal material sekat adalah 1,2 cm. Luas penampang beban sebesar 0.04 m^2. Perbedaan rata-rata suhu ruang penghangat dan ruang pendingin adalah 19,8 ^{o}C. Maka laju kalor yang berpindah dari ruang penghangat ke ruang pendingin dapat diketahui dengan perhitungan sebagai berikut:

Diketahui : a. k = 0,024 J/s.m. ^{o}C

b.A = 0.04 m^2

c. d = 0,012 m

d. ΔT = 19,8 ^{o}C

Maka : $\frac{Q}{t}$ = k.$\frac{A}{d}$.ΔT

$\frac{Q}{t}$ = 0,024 x $\frac{0,04}{0,012}$ x 19,8

= 1,584 J

Dari hasil diatas didapatkan kalor yang dipindahkan dari ruangan penghangat ke ruang pendingin adalah sebesar 1,584 J.

3.17 Simpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

a. Telah dibuat alat pendingin dan penghangat dalam bentuk tas dengan memanfaatkan kedua sisi termoelektrik. Sistem pengontrolan suhu menggunakan mikrokontroler Arduino Uno dan dua unit relay untuk menjaga kestabilan suhu.
b. Hasil pengujian alat selama 8 jam dengan bermacam-macam beban dapat disimpulkan bahwa saat alat diuji tanpa menggunakan beban didapatkan suhu ruang penghangat sebesar 39,7 ± 0,85 ^{o}C dan ruangan pendingin sebesar 19,3 ± 2,65 ^{o}C. Saat alat diuji dengan beban total 100mL pada ruang pendingin, didapatkan suhu ruang penghangat sebesar 39,7 ± 1,15 ^{o}C dan suhu ruangan pendingin sebesar 20,2 ± 1 ^{o}C. Saat pengujian dengan beban

total 200mL, suhu ruang penghangat sebesar 39,3 ± 0,65 ^{o}C dan suhu ruangan pendingin sebesar 19,8 ± 1,85 ^{o}C. Rata-rata nilai perbedaan suhu pada ruangan pendingin dan penghangat adalah 19,8 ^{o}C. Seiring dengan turunnya suhu pada ruang pendingin maka suhu beban juga turun. Rata-rata suhu beban setelah disimpan dalam ruang pendingin adalah 21,1 ^{o}C. Sedangkan suhu beban pada ruang penghangat juga mengalami kenaikan seiring dengan naiknya suhu ruangan. Rata-rata suhu beban setelah 60 menit disimpan dalam ruangan penghangat adalah 37,3 ^{o}C. Dengan pengujian beban 100mL, ruang pendingin memiliki beban panas sebesar 1,88 kJ, dan kalor yang berpindah dari

ruang penghangat ke ruang pendingin melalui sekat sebesar 1,584 J. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa alat bekerja dengan baik jika dilihat dari suhu yang dihasilkan selama 8 jam, yaitu suhu tetap berada dibawah suhu 25 ^{o}C agar ASI tetap tahan selama 8jam.

Saran penelitian ini didapatkan dari hasil dan pengkajian. Untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan material yang lebih baik untuk memperkecil nilai perpindahan kalor dan menjaga agar alat (khususnya ruang pendingin) bekerja sesuai dengan yang diharapkan.

REFERENSI

[1] Kementrian Bappenas, *Proyeksi Penduduk Indonesia Indonesia Population Projection*, no. 6. 2019.

[2] J. K. Lentera, A. Vol, I. Cetak, and I. Online, “Pengaruh Lama & Suhu Penyimpanan ASI Serta Cara Mencairkan ASI Beku Terhadap Kadar Protein ASI,” vol. 2, no. 1, pp. 12–18, 2019.

[3] Mohanis, “Peran Petugas Kesehatai\ Dan Status Pekerjaan Ibu Dengai\ Pemberian Asi Ekslusif,” vol. 8, no. 1, pp. 4–9, 2014.

[4] T. Sulistiyowati, “Perilaku Ibu Bekerja dalam Memberikan ASI Eksklusif di Kelurahan Japanan Wilayah Kerja Puskesmas Kemlagi-Mojokerto,” *J. Promkes*, vol. 2, pp. 89–100, 2014.

[5] N. J. Andreas, B. Kampmann, and K. M. Le-doare, “Early Human Development Human breast milk : A review on its composition and

bioactivity," *Early Hum. Dev.*, pp. 1–7, 2015.

[6] N. Demirel, T. Aksu, C. Tu, I. M. Hirfanog, E. Ergenekon, and E. Koc, "The effects of breast milk storage and freezing procedure on interleukine-10 levels and total antioxidant activity," vol. 7058, no. January 2008, pp. 1–4, 2014.

[7] P. Asri, A. Maharani, P. Perkapalan, and N. Surabaya, "Manajemen asi perah untuk kesehatan balita," pp. 29–35, 2018.

[8] I. Dokter and A. Indonesia, "Memerah dan Menyimpan Air Susu Ibu (ASI)," pp. 9–11, 2014.

[9] M. Huda and H. Ilyas, "Pengaruh waktu dan suhu penyimpanan air susu ibu terhadap kualitas bakterioogis," vol. XII, no. 1, pp. 97–105, 2016.

[10] L. Mutqin, "Pengaruh Durasi Penyimpanan Asi Dalam Ruangan Terhadap Kualitas Asi," *J. Kesehat. PRIMA*, vol. 13, no. 1, pp. 51–59, 2019.

[11] P. Arum and A. Widiyawati, “Perbedaan Kandungan Gizi ASI (Air Susus Ibu) Pada Berbagai Suhu dan Lama Penyimpanan,” pp. 48–51, 2016.

[12] Beurer, “Bottle Warmer Instruction,” *Instr. use*.

[13] T. Tippee, “Bottle Warmer Instructions,” *Instr. Use*, p. 26572.

[14] S. Bransburg-zabary, A. Virozub, and F. B. Mimouni, “Human Milk Warming Temperatures Using a Simulation of Currently Available Storage and Warming Methods,” pp. 1–13, 2015.

[15] L. K. Energi, J. T. Mesin, F. Teknik, and U. Riau, “Alat Pendingin Dan Pemanas Portable Menggunakan Modul Termoelektrik Tegangan Input 6 Volt Dengan Tambahan Heat Pipe Sebagai Media Pemindah Panas,” vol. 4, pp. 6–10, 2017.

[16] M. M. T. Tec- and W. Selviana, “Analisa Kinerja Kotak Pendingin Dan Penghangat Menggunakan Modul Termoelektrik TEC-12706,”

vol. 12706, 2017.

[17] K. Minuman, “Aplikasi modul pendingin termoelektrik sebagai media pendingin kotak minuman,” no. March, 2016.

[18] M. Listrik and D. Akumulator, “Pengaruh beban pendinginan minuman kaleng terhadap suhu pada kotak pendingin berbasis termoelektrik dengan menggunakan listrik dari akumulator,” no. CI, pp. 247–252, 2018.

[19] A. RADHY, “Pengembangan Sistem Akuisisi Data Berbasis Arduino Modul Pendingin Termoelektrik,” p. 2015, 2015.

[20] M. Port, U. S. B. Dan, A. Sebagai, and D. Input, “Pengujian mesin pendingin minuman,” vol. 3, no. 2, pp. 1–5, 2016.

[21] F. C. Putra and V. V. R. Repi, “Perancangan Dan Pembuatan Kotak Pendingin Berbasis Termoelektrik Untuk Aplikasi Penyimpanan Vaksin Dan,” vol. 18, no. November, pp. 73–80, 2015.

[22] W. Nugroho, “Rancang Bangun Alat Pendingin Minuman Portable Menggunakan Peltier.”

[23] M. Yusfi, “Proses Pendinginan Menggunakan Termoelektrik Design And Construction Of Temperature Control System For Cooling Process Using Thermoelectric,” pp. 194–203.

[24] R. Aziz, P. N. Indramayu, and S. Pendingin, “Sistem Kontrol Suhu Penyimpan Buah-Sayur Pada Mesin Pendingin,” vol. 3, no. September, pp. 32–36, 2017.

[25] N. Mei, S. T. Mt, M. Hasbi, and S. T. Mt, “Studi Penggunaan Modul Thermoelektrik Sebagai Sistem Pendingin Portable,” vol. 1, no. 1, pp. 50–55, 2016.

[26] B. Darmawan, “Koleksi Buku 1984 Djonoputro , B . Darmawan " Teori ketidakpastian : menggunakan satuan SI / oleh B . Darmawan Djonoputro " 1984,” p. 1984, 1984.

[27] R. Sistem and D.-B. Android, “Jurnal Resti,” vol. 1, no. 10, pp. 66–72, 2021.

[28] Songle, “2 CHANNEL 5V 10A RELAY MODULE DataSheet.”

4. Desain Dan Pembuatan Sistem Penyimpan Biji Kopi Sangrai

4.1 Pendahuluan

Kopi merupakan komoditi yang sedang berkembang pesat. Hal ini terlihat dari total luas areal mencapai 1.241.836 ha dan produksi 675.915 ton pada tahun 2013, dan sebagian besar (90 %) merupakan areal perkebunan rakyat. Pertanian kopi terluas di Indonesia terdapat di Pulau Sumatera (60 %) dan total luas areal di Provinsi Jambi 25.935 ha dengan produksi 13.326 ton (Kementan, 2013). Sebagai produk perkebunan di Indonesia kopi menduduki peringkat keenam setelah kelapa sawit, karet gula, teh, dan kakao.

Menurut penelitian Aji (2019) yang berjudul rancang bangun pengendalian suhu dan kelembaban pada ruang penyimpan biji kopi Arabika pasca panen didapatkan hasil untuk penyimpanan mencapai suhu 25 ℃ diperlukan waktu 7 jam sedangkan waktu yang diperlukan untuk mencapai kelembaban 66 % sampel pertama mencapai *set point* dalam waktu 26 jam. Sedangkan untuk kedai kopi pemilik membeli kopi yang sudah disangrai agar dapat menggiling kopi untuk disajikan pada konsumen dalam hal ini kopi sangrai membutuhkan tempat penyimpanan yang berbeda dari pada kopi pasca panen.

Biji kopi setelah disangrai rata-rata didiamkan selama 24 jam untuk pelepasan karbondioksida tergantung waktu sangrai, kemudian kopi harus

segera disimpan dalam sebuah wadah yang terhindar dari udara bebas karena jika terlalu lama maka akan terjadi proses oksidasi, hal ini kebalikan dari proses pelepasan karbondioksida yaitu dengan adanya gas oksigen masuk ke dalam biji kopi. Ketika oksigen masuk maka akan ada penurunan rasa, aroma dan kualitas pada biji kopi sangrai.

Menurut penelitian Marin (2008) dalam jurnal berjudul aroma baru kopi sangrai selama penyimpanan mengatakan bahwa kopi disimpan dalam sebuah wadah yang bersuhu 23±2 ℃ dengan kelembaban 40±10 % untuk mendapatkan kualitas mutu yang tetap tanpa perubahan yang signifikan.

Perkembangan industri kopi dan tuntutan pasar saat ini menuntut produk yang konsisten dalam kualitas dan aman

untuk dikonsumsi. Peningkatam mutu salah satunya yaitu dengan penyimpanan yang aman dan sesuai dengan suhu dan kelembaban yang tepat untuk jenis kopi sangrai secara umum.. Oleh karena itu penulis ingin membantu dengan membuat alat penyimpanan kopi sangrai yang dapat menjaga dan mempertahankan kualitas. Dalam hal ini yaitu dengan wadah tertutup yang dikendalikan suhu dan kelembabannya sehingga terjaga kualitas biji kopi sangrai tersebut.

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu bagaimana membuat sistem penyimpan biji kopi sangrai yang sesuai dengan suhu 23±2 ℃ dengan kelembaban 40±10

% untuk mengurangi penurunan kualitas kopi sangrai.

Adapun tujuan penelitian adalah :

a. Merancang, membuat sekaligus menguji alat penyimpan biji kopi setelah sangrai.
b. Mengendalikan suhu dan kelembaban tempat penyimpan biji kopi sangrai sesuai referensi.

Adapun batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah :

a. Pada rancang bangun ini menggunakan Arduino Uno, elemen Peltier sebagai pendingin dan sensor *thermohygro* dengan tipe DHT11

b. Pada penelitian ini variabel yang dikendalikan adalah suhu dan kelembaban yang didapat dari sistem yang rancang.

c. Jenis kopi sangrai yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis kopi sangrai secara umum yaitu kopi *robusta.*

4.2 Kopi

Kopi untuk diminum membutuhkan waktu yang panjang, untuk pencinta kopi mereka menikmati melalui aroma, rasa dan karakteristik setiap kopi. Proses kopi dimulai dari biji kopi merah diproses menjadi gabah, kemudian menjadi *green bean* selanjutnya akan disangrai kemudian kopi dapat digiling menjadi bubuk untuk siap diseduh. Pada proses

sangrai citarasa akan banyak ditentukan di sini oleh karena itu proses ini penting. Secara umum sangrai kopi tergantuk pada suhu, waktu, dan tingkat sangrai kopi tersebut yang biasanya berupa warna kopi tersebut.

Pada dasarnya sangrai dilakukan untuk mengurangi kadar air dalam kopi, mengurangi beratnya hingga 20%, mengubah zat gula pada kopi menjadi CO2 untuk memberikan aroma kopi. Tingkatan sangrai pada kopi di Indonesia dibagi menjadi tiga yaitu : *light roast, medium roast,* dan *dark roast.*

a. *Light Roast*

Sangrai pada *light roast* terasa asam, aroma kopi belum banyak muncul. Pada prosen ini tingkat kematangan pada kopi masih

rendah. Kopi *light roast* berwarna coklat terang. Untuk mendapatkan *light roast* suhu sangrai berkisar 180℃ - 205℃.

2.1.1 *Medium Roast*

Sangrai pada *medium roast* memiliki rasa manis, aroma asap hasil penyangraian, warnanya semakin hitam dan kandungan gula telah berkurang. *Medium roast* adalah sangrai paling banyak dipakai, karena dinilai tidak berlebihan dan seimbang pada aroma, keasaaman dan rasa. , Untuk mendapatkan *medium roast* suhu sangrai berkisar 210 ℃ -220 ℃.

b. *Dark Roast*

Sangrai pada *dark roast* merupakan tingkatan paling

matang, apabila berlebihan kopi akan terasa tidak enak. Warna biji kopi lebih gelap dibandingkan *medium roast.* Rasa kopi lebih pahit sehingga dapat menghilangkan rasa khas kopi. Untuk *dark roast* suhu sangrai berkisar 240 ℃. Kopi ini cocok untuk yang menyukai kopi dengan kepekatan warna hitam yang tinggi (Hayuangga, 2018).

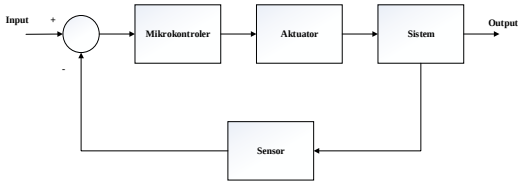
Kopi yang sudah disangrai harus dijaga agar tidak ada pengaruh dari luar. Karena itu harus mempunyai wadah yang baik untuk menyimpan. Supaya kopi tidak ada perubahan kimia maupun fisiknya selama penyimpanan. Kopi yang baru disangrai disimpan setelah dingin dalam wadah tertutup untuk menghindari

proses oksidasi pada kopi yang akan membuat rasa dan aroma kopi mejadi berkurang. Suhu yang baik untuk penyimpanan kopi setelah sangrai yaitu 23±2 ℃ dengan kelembaban 40±10 %. Dikatakan bahwa selama disimpan di udara luar kopi bertahan paling lama 4 bulan akan tetapi jika ditempatkan pada ruangan yang dikondisikan maka dapat bertahan 1 tahun. (Marin, 2008)

4.3 Sistem Kontrol

Tujuan sistem control yaitu mengatur keluaran dari kondisi atau keadaan masukan dari input melalui sistem kontrol. Sistem kontrol yaitu proses otomatis tanpa adanya campur tangan manusia. Dalam sistem kontrol penyimpan biji kopi menggunakan sistem loop tertutup. Nilai yang didapat dari

system control akan menjadi masukan terhadap apa yang akan dilakukan selanjutnya. Nilai masukan itu berupa selisih dari sinyal yang didapat dengan sinyal perintah yang dimasukan, yang kemudian dikontrol oleh mikrokontroler untuk melakukan kegiatan selanjutnya untuk system tersebut sehingga nilai yang diharapkan tercapai. (Erinofirdi dkk, 2012)



Gambar 2.1 Blok Diagram Sistem Kontrol

Pada gambar 2.1 adalah blok diagram sederhana yang sering digunakan pada pengendalian, pada sistem pengendalian ada kontroler yang

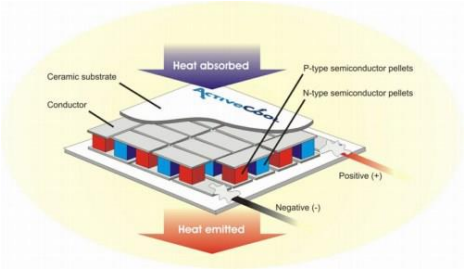
akan mengatur aktuator kemudian aktuator akan berpengaruh terhadap sistem, sistem akan dibaca sensor dan menjadi masukan kembali ke kontroler.

4.4 Termoelektrik

Termoelektrik bekerja mengubah listrik menjadi panas dan dingin, atau mengubah panas yang diterima menjadi listrik. Termoelektrik yang digunakan untuk pendingin relatif lebih aman bagi lingkungan dibandingkan dengan *air conditioner* yang menggunakan refigeran yang kurang baik bagi lingkungan.

Efek Peltier cara kerjanya berkebalikan dari efek Seeback. Peltier mengubah energi listrik menjadi perubahan suhu yaitu dimana energi panas diserap pada salah satu bagian

kemudian dilepaskan pada bagian lain ketika arus listik mengalir.



Gambar 2.2 Sistem Peltier
(sumber :
http://www.vedcmalang.com/pppptkboemlg/index.php/menuutama/listrik-electro/1292-mengenal-thermo-electric-peltier)

Pada gambar 2.2 merupakan sistem kerja Peltier yang terdiri dari sebuah semikonduktor tipe n dan tipe p yaitu ketika semikonduktor dialirkan tegangan maka elektron akan bergerak dari semikonduktor tipe n ke tipe p. Kemudian

elektron yang tiba pada semikonduktor tipe p akan melepaskan energi dalam bentuk panas, untuk bagian dari tipe n melepaskan diri dari ikatan valensinya sehingga menyerap panas. (Sri P dkk, 2017)

Pada sistem pendingin termoelektrik ada bagian yang penting yaitu alat penukar panas (*heat exchanger*), seperti *heatsink* dan *heatpipe.* Alat penukar panas ini penting untuk membuat panas pada sisi panas Peltier ke udara bebas agar suhu dapat dipertahankan konstan sehingga sisi dingin pada Peltier juga dapat menyerap panas secara konstan.

4.5 Suhu dan Kelembaban

Nilai yang menunjukan suatu derajat panas benda disebut suhu. Jika suatu benda panas maka semakin tinggu suhu pada benda tersebut. Suhu juga

menggambarkan energi, makin tinggi suhu benda maka energi pada atom penyusunnya juga semakin tinggi.

Satuan sistem internasional (SI) satuan untuk suhu yaitu Kelvin (K) namun di Indonesia lebih sering digunakan Celsius (C) perbandingan Kelvin dan Celsius sesuai dengan persamaan 2.1 :

$$K = C + 273 \tag{2.1}$$

Dimana :

K= Nilai Suhu Kelvin

C= Nilai Suhu Celsius

Kelembaban relatif yaitu suatu gabungan dari udara dan air dapat didefinisikan sebagai rasio tekanan parsial uap air dalam gabungan tekanan

uap air jenuh pada sauatu suhu. Kelembaban relatif memiliki satuan persen (%) dan didapat dari perhitungan :

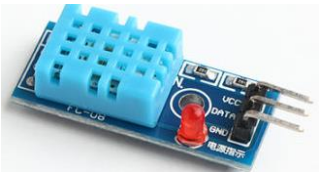
$$Relative\ Humadity = \frac{actual\ vapor\ density}{saturation\ vapor\ density} \times 100\% \qquad (2.2)$$

Nilai kelembaban *relative* dihitung dengan membagi (actual vapor density) berat jenis kelembaban sebenarnya dengan (saturation vapor density).(Kresna, 2017)

DHT 11

Sensor DHT11 adalah sensor yang digunakan untuk mengukur suhu dan kelembaban. Sensor ini merupakan sensor digital yang banyak digunakan karena harganya yang cukup terjangkau.

Sensor ini digunakan untuk pengukuran langsung ataupun sebagai inputan sebuah kontrol yang dapat menggunakan mikrokontroler Arduino UNO (Saptadi. 2014).



Gambar 2.3 Sensor DHT11
(sumber :
https://makerselectronics.com/product/dht11)

Pada gambar 2.3 Sensor DHT 11 dengan input digital berarti pin data menggunakan digital untuk pembacaan suhu, pada Arduino UNO pin digital ada tigabelas pin yang dapat digunakan. Untuk tegangan yang dibutuhkan yaitu 5

volt yang dapat diambil langsung melalui Arduino UNO

Tabel 2.1 Data Sheet DHT 11

Parameters	Conditions	Minimum	Typical	Maximum
Humidity				
Resolution		1%RH	1%RH	1%RH
			8 Bit	
Repeatability			±1%RH	
Accuracy	25℃		±4%RH	
	0-50℃			±5%RH
Interchangeability	Fully Interchangeable			
Measurement Range	0℃	30%RH		90%RH
	25℃	20%RH		90%RH
	50℃	20%RH		80%RH
Response Time (Seconds)	1/e(63%)25℃, 1m/s Air	6 S	10 S	15 S
Hysteresis			±1%RH	
Long-Term Stability	Typical		±1%RH/year	
Temperature				
Resolution		1℃	1℃	1℃
		8 Bit	8 Bit	8 Bit
Repeatability			±1℃	
Accuracy		±1℃		±2℃
Measurement Range		0℃		50℃
Response Time (Seconds)	1/e(63%)	6 S		30 S

(sumber : https://www.mouser.com/datasheet/2/758/DHT11-Technical-Data-Sheet-Translated-Version-1143054.pdf)

Pada tabel 2.1 DHT 11 memiliki rentang ukur 0°C - 50°C untuk pengukuran

suhu sedangkan rentang ukur pada klembaban yaitu 20 % - 90 % . Nilai akurasi sebesar 1℃ untuk pengukuran suhu dan 4% - 5% untuk akurasi kelembaban.

Prinsip kerja utama pada DHT11 terdapat dua bagian yaitu bagian kelembaban dan bagian suhu. Untuk bagian kelembaban menggunakan *humidity sensing component* yang terdiri dari *moisture holding substrac* yang diapit oleh dua elektroda, sedangkan untuk suhu bagiannya terdiri dari NTC *temperature sensor.*

4.6 Arduino UNO

Arduino UNO adalah sebuah alat kontroler yang digunakan karena bersifat terbuka yang artinya pemrogram dapat mengatur dan mengubah apa yang diinginkan melalui program Arduino. Arduino UNO layaknya seperti mikrokontroler lain yang

dapat diberi input berupa sensor analog yaitu sensor yang memberikan nilai tegangan pada bagian inpu alalog arduino yang selanjutnya akan diubah menjadi nilai suatu besaran fisika biasanya akan tetapi juga menerima sensor digital yang inputanya sudah berupa nilai besaran fisika. Setelah itu Arduino juga dapat memberikan kontrol kepada aktuator hal ini adalah salah satu perubahan akibat adanya suatu inputan.

Gambar 2.4 Arduino UNO

(sumber : https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3)

Pada gambar 2.3 merupakan gambar Arduino UNO yang akan digunakan dalam penelitian. Arduino UNO menggunakan *chipset* mikrokontroler Atmega328. Arduino UNO diprogram menggunkan aplikasi Arduino yang dapat di unduh dalam halaman web resmi Arduino. Arduino UNO menggunakan bahasa pemrograman C yang menghubungkan dengan komputer menggunakan koneksi USB tipe A ke USB tipe B . Spesifikasi Arduino UNO ditampilkan dalam tabel 2.2 :

Tabel 2.2 Spesifikasi Arduino UNO

NO	PARAMETER	SPESIFIKASI
1	Mikrokontroler	Atmega328
2	Tegangan Kerja	5V
3	Tegangan Masuk	7-12V
4	Tegangan Masuk Terbatas	6-20V
5	Pin I/O	14 pin
6	Pin PWM	6 pin
7	Pin Analog	6 pin
8	Arus	20mA - 50 mA
9	Flash Memori	32 KB
10	SRAM	2 KB
11	EEPROM	1 KB
12	Kecepatan Baca	16 Mhz
13	LED tertanam	pin 13
14	Panjang Arduino	68,6 mm
15	Lebar Arduino	53,4 mm
16	Berat Arduino	24 g

(sumber : https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3)

Dari table 2.2 arduino dapat diberi inputan tegangan dari 7 volt – 12 volt dan beroperasi pada 5 volt, dengan jumlah pin

analog 6 pin pin I/O 14 pin dan pin PWM 6 pin.

4.7 Relay

Relay adalah sebuah *switch* atau saklar yang cara penggunaanya dikontrol secara elektrik. Komponen utama pada relay yaitu sebuah elektromagnet (koil) dan mekanik (sebuah saklar).

Gambar 2.5 Relay Arduino

(sumber : https://www.jemrf.com/products/relay-for-raspberry-pi-or-arduino-1-channel-5v-relay-module-250v-10a)

Pada gambar 2.5 relay Arduino bekerja dengan prinsip elektromagnetik untuk menggerakan saklar dengan tegangan kecil kemudian dapat mengahantarkan listrik dengan tegangan yang lebih tinggi.

2.8. Alumunium foil

Alumunium foil merupakan lembaran logam tipis yang banyak digunkan dalam melapisi makanan untuk proses pemanggangan karena alumunium foil tahan terhadap suhu.

Gambar 2.6 Alumunium foil

(sumber :
https://www.findit.com/virikkdrzhmsyvm/RightNow/
world-aluminium-foil-market-2018-import-
exportm/dcf540db-0d2f-463b-a788-ebec61411836)

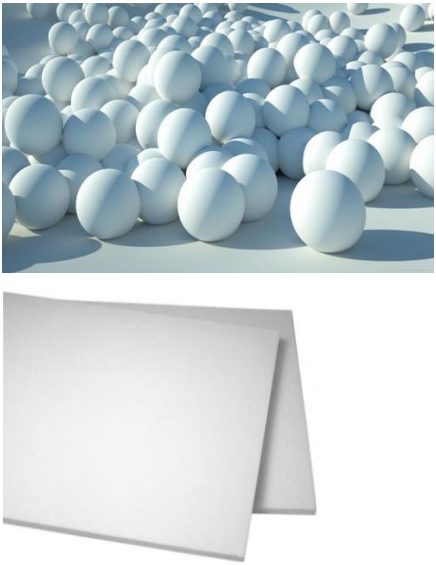
Pada gambar 2.6 merupakan alumunium yang umum digunakan alumunium tersebut mempunyai kelebihan sebagai logam yang anti magnetis, tidak beracun dan tidak berbau, mempunyai sifat yang baik untuk proses mekanik dari kemampuan perpanjangannya, hal ini dapat

dilihat dari proses penuangan, pemotongan, pembengkokan, ekstrusi dan penempaan aluminium. Adapun kekurangannya adalah dapat rusak karena pengaruh asam, garam dapur dan logam berat. Sebenarnya aluminium foil tahan terhadap pengaruh berbagai bahan kimia, tergantung dari campuran spesifik atau bahan kimia yang terkandung di dalamnya dan kontak langsung dengan alumunium foil tersebut.(Aji, 2019)

2.9. *Styrofoam*

Styrofoam adalah plastik yang dapat berbusa terbuat dari polistirena, yang berasal dari minyak mentah. Awalnya *styrefoam* terbentuk dari kloroflourakarbon yang berbahaya menjadi gumpalan resin yang terbuat dari sterina. Tahun 1980 produsen membuat produk *Styrofoam* dengan meniup

atau megisi karbondioksida pada lelehan plastik.



Gambar 2.7 *Styrofoam*

(sumber : https://www.patrickmorin.com/en/styrofoam-panel-expanded-polystyrene-4-ft-x-8-ft-x-4-in-stybla4)

Pada gambar 2.7 adalah adanya pemanasan berakibat gas mengembang dalam polisterina akan membentuk ruang-ruang kecil atau yang biasa disebut *foam*/busa.

Setelah terjadi pendinginan maka *foam*/busa tersebut akan terjebak didalamnya sehingga terbentuklah apa yang selama ini desebut dengan Styrofoam. Udara dalam Styrofoam mengisi sekitar 98% sebab itu massanya ringan dan memiliki sifat isolasi yang baik. Dalam sistem ini Styrofoam digunakan untuk dinding dikarenakan Styrofoam dikenal dapat menjaga suhu. (Kresna P, 2017)

4.7 Desain Rancang Bangun

Berikut tahapan proses yang dilakukan dalam penelitian ini yang ditampilkan dalam

Waktu dan Tempat Penelitian

Perencanaan dan penelitian dilakukan pada bulan September 2019 sampai dengan November 2019 di tempat tinggal penulis yang berada di Jalan Ketapang No. 49 RT 05 RW 10, Kelurahan Jati Padang, Pasar Minggu, Jakarta Selatan, daerah Khusus Ibukota Jakarta.

a. Penulis mempertimbangkan waktu dan biaya karena lokasi tersebut terjangkau oleh penulis

b. Mempermudah akses dan proses dalam pengambilan data penelitian yang dikerjakan.

3.3. Alat dan bahan

Pada penelitian ini digunakan beberapa alat dan bahan untuk perancangan alat penyimpan biji kopi sangrai yang ditunjukan pada table dibawah ini :

Tabel 3.1 Alat dan bahan

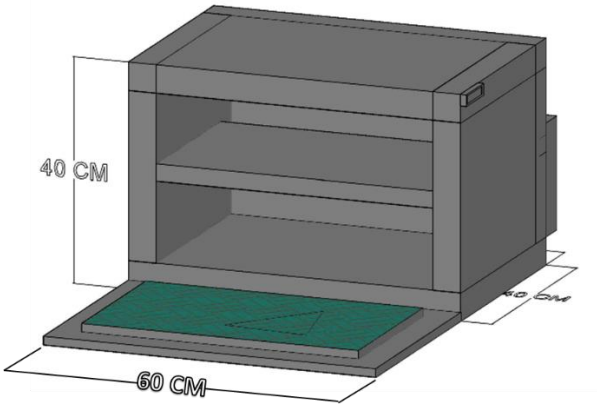
No.	**Nama Barang**	**Jumlah Barang**
1	Mikrokontroler Arduino *Uno*	1
2	Plat besi	3
3	Mur dan baut	1 set
4	Sensor *thermohygro* DHT11	1
5	Relay	2

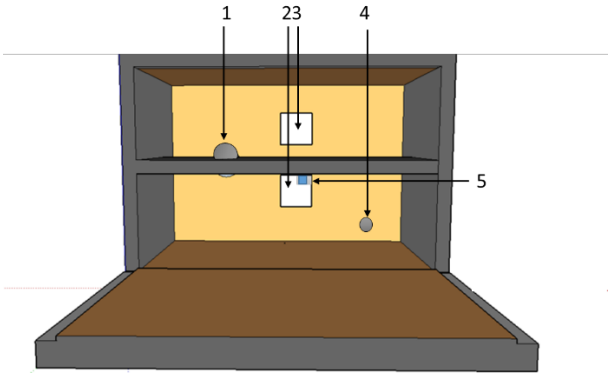
6	Power Suplay 12 Volt 15 A	1
7	Kabel jumper	11
8	Solder dan timah solder	1
9	*Glue gun* dan *refill*	1
10	Penggaris	1
11	Blower (500-1000 RPM)	1
12	Lakban putih	1
13	Gergaji kayu	1
14	Kayu Lapis	1
15	Alumunium foil	2
16	*Water trap separator*	1
17	Selang	1
18	Peltier *set* (Kipas 12V 1500RPM)	2
19	*Styrofoam*	6
21	Meter ukur	1
22	Alat tulis spidol dan	1

	pensil	
24	Stopwatch	1
25	*Thermohygrometer*	1

3.4. Desain Alat

Berikut ini merupakan skema alat yang dirancang





Keterangan : 1. Blower

2. *Heat sink* dan kipas 9cm x 9cm

3. Peltier dan *cold sink*

4. Masukan *water trap*

5. Sensor DHT11

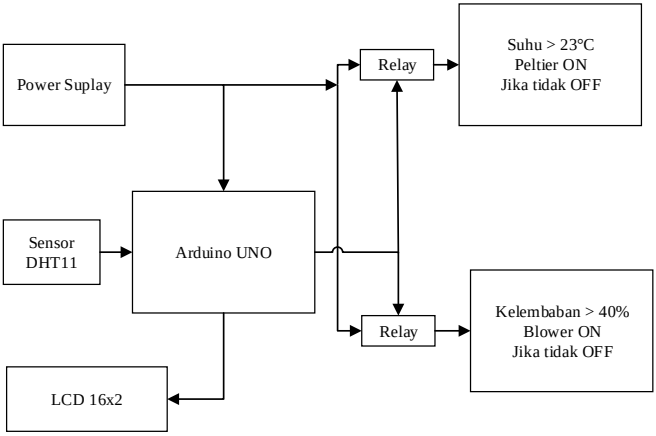
Gambar 3.2 Skema Alat

Alat penyimpan biji kopi sangrai sesuai gambar 3.3 dibuat menggunakan aplikasi AutoCAD, alat tersebut terdiri dari dua kolom yang digunakan untuk meletakan biji kopi sangrai dalam kolom tersebut. Pada dinding alat tersebut

digunakan alumunium foil, *sterofoam*, dan kayu lapis pada bagian luar dengan total tebal dinding 3 cm. Rangka utama pada alat penyimpat biji kopi sangrai adalah besi yang disusun membentuk sebuah almari dengan ukuran Panjang 60 cm, lebar 40 cm dan tinggi 40 cm. Diharapkan dari dimensi tersebut dapat menampung kopi sangrai 6 - 10 Kg dengan perbandingan kopi dan sirkulasi udara didalam sebesar 50%.

3.5. Pembuatan Sistem

Proses pembuatan alat penyimpan biji kopi pada penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan sistem yang optimal, berikut adalah pembuatan rancangan sistem yang ditampilkan dalam bentuk diagram blok :

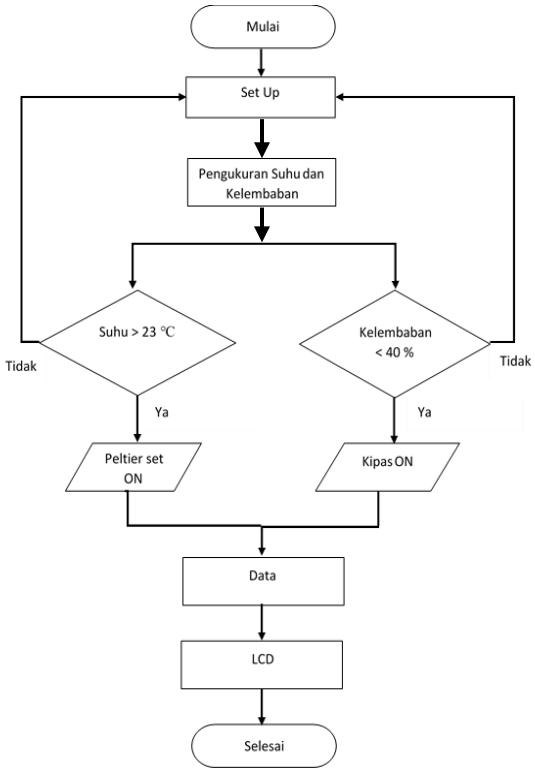


Gambar 3.3 Diagram blok sistem

Pada gambar 3.3 diagram blok merupakan cara kerja sistem penyimpanan biji kopi sangrai. Bekerja ketika sensor mendapatkan nilai suhu dan kelembaban dalam tempat penyimpanan, maka kontroler akan merespon hasil tersebut ketika suhu diatas 23 ℃ pendingin Peltier akan bekerja jika dibawah 23 ℃ maka pendingin Peltier mati. Sedangkan untuk

kelembaban ketika kelembaban berada lebih dari 40 % maka blower akan bekerja jika kurang dari 40 % maka blower mati.

Untuk diagram alir alat sama halnya dalam diagram blok berikut diagram alir alat :



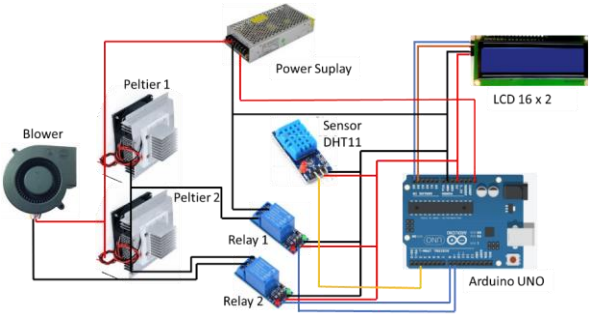
Gambar 3.4 Diagram Alir Alat

Pada gambar 3.4 mengenai diagram alir alat menunjukan urutan kerja alat dari mulai sistem menyala, Arduino menerima pembacaan dari sensor DHT 11 yang membaca suhu dan kelembaban

pada alat penyimpan biji kopi sangrai. Kemudian hasil pembacaan menjadi masukan oleh Arduino kembali dan diolah menggunakan program yang sudah dibuat. Maka dari nilai suhu pada LCD mengetahui bahwa jika suhu diatas 23 ℃ Peltier akan bekerja sedangkan untuk kelembaban yang diatas 40 % maka kipas akan bekerja. Hasil suhu dan kelembabaan kemudian dapat dilihat dari LCD yang sudah tersedia.

3.5.1 Perancangan Elektrikal

Pada proses perancangan elektrikal yaitu dengan menghubungkan komponen yang sudah dirancang sebelumnya menjadi satu kesatuan sistem, setiap komponen berperan masing-masing.



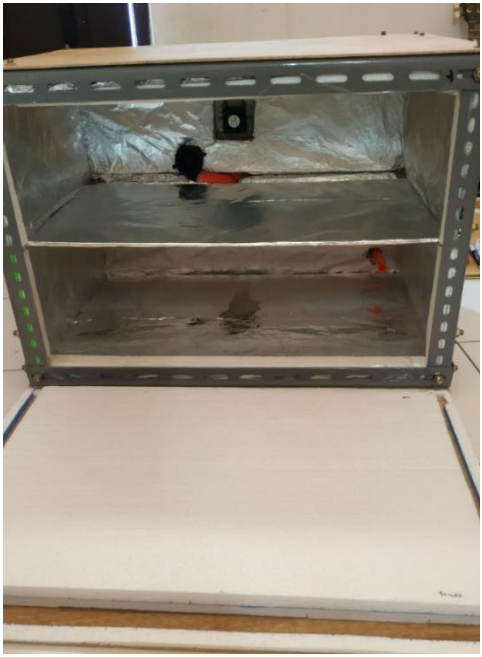
Gambar 3.5 Skema perancangan komponen

Pada gambar 3.5 skema rancangan komponen tersebut selanjutnya akan dihubungkan dengan alat atau bagian yang membentuk tempat penyimpanan biji kopi sangrai. Sebelum dapat bekerja meikrokontroler Arduino diprogram terlebih dahulu.

3.5.2 Pembuatan Alat

Proses pembuatan alat dilakukan dengan menggabungkan alat dan bahan

berupa rangka besi, *Styrofoam,* alumunium foil, kemudian merangkai dengan elektrikal yang sudah disusun sesuai diagram elektrikal sehingga menjadi satu kesatuan.



Gambar 3.6 Hasil Rancangan Alat

Pada Gambar 3.3 merupakan hasil perancangan alat yang telah dibuat, alat tersebut telah dibuat berdasarkan dimensi yang sesuai dengan rancangan awal. Pada alat tersebut sudah terpasang komponen utama yang digunakan sebagai pendingin yaitu Peltier sebagai pendingin yang selanjutnya akan bekerja sesuai dengan diagram alir alat pada gambar 3.5.

4.8 Pengujian Alat

Pada pengujian alat dilakukan sesuai referensi tugas akhir Aji pada tahun 2019 yaitu dengan menjalankan alat kemudian mendapatkan waktu mencapai suhu *set point* dan suhu yang dicapai selama alat dijalankan. Pengujian

sensor juga dilakukan pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Trias Prima S dan Fitri P pada tahun 2019 mengenai perbandingan sensor DHT22 dan *thermohygrometer* menggunakan metode perbandingan langung yang dilakukan pada suhu 25℃ dan kelembaban ruangan 48 %.

Pada pengujian sensor dimaksudkan untuk mengetahui kesalahan pada sensor apakah melebihi batas atau masih dalam batas yang dapat diterima. Perbandingan sensor dan *thermohygrometer* dilakukan pada media pendingin yaitu plat Peltier, perbandingan sensor dilakukan pada suhu kerja sensor yaitu dari 34 ℃ hingga 20 ℃. Berikut merupakan matriks perbandingan sensor dengan *thermohygrometer.*

Tabel 3.1 Matriks perbandingan suhu sensor DHT11 dengan *thermohygrometer*

Pembacaan Standar	Pembacaan Sensor Uji	selisih	*Error*
℃	℃	℃	℃

Perbandingan kelembaban menggunakan sensor DHT11 dengan *throhygrometer* yang dilakukan pada media *Humidifier* pada ruangan ber-AC dengan kelembaban 40 % karena pengujian dilakukan pada kelembaban alat akan bekerja yaitu skitan 40 % hingga 60%. Setelah itu dibuat matriks hasil sebagai berikut :

Tabel 3.2 Matriks Perbandingan kelembaban sensor DHT11 dengan *thermohygrometer*

Pembacaan Standar	Pembacaan Sensor Uji	selisih	*Error*
%	%	%	%

Persentase *error* diketahui menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$error = \left|\frac{Pembacaan\ sensor - pembacaan\ standar}{pembacaan\ standar}\right| \quad (3.1)$$

Pengujian juga dilakukan pada kipas yang digunakan kipas sebelumnya diukur nilai RPM menggunkan takometer kemudian dilakukan perhitungan untuk mengetahui kekuatan dari kipas dalam

membuang kalor. Rumus yang digunakan menggunakan persamaan berikut :

$$Q = Hc\ A\ \Delta T \quad (3.2)$$

Di mana :

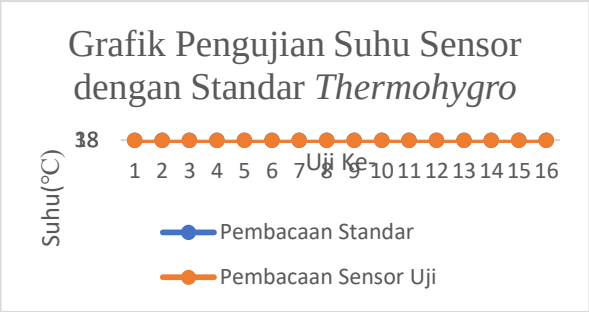
Q : Usaha (watt)

Hc : Koefisien *heat transfer* udara

A : Luas Permukaan Kipas

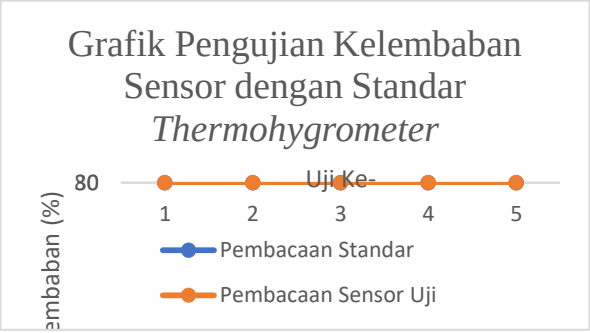
ΔT : Selisih Suhu

4.1 Hasil Pengujian Sensor



Gambar 4.1 Grafik Perbandingan suhu sensor DHT11 dengan *thermohygrometeR*

Pada gambar 4.1 mengenai grafik perbandingan sensor dengan *thermohygrometer* menunjukan nilai *error* pada setiap titik, dari nilai *error* tersebut diketahui *error* untuk sensor DHT yaitu 1,36 %.Perbandingan dilakukan dalam kurun waktu 1 jam. Dari hasil yang didapat diketahui bahwa nilai *error* untuk suhu 1,36 % sehingga dapat dikatatakan sensor dapat bekerja dengan baik sesuai spesifikasinya.

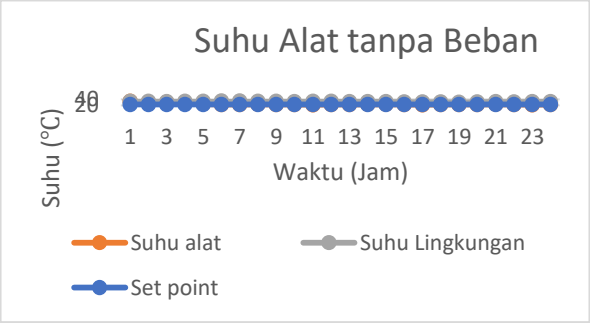


Gambar 4.2 Grafik Perbandingan kelembaban sensor DHT11 dengan *thermohygrometer*

Dari data table 4.2 mengenai perbandingan sensor kelembaban DHT11 dengan termohygrometer tersebut didapat bahwa rata-rata *error* yaitu 2,9 % dengan spesifikasi akurasi 5% maka sesor tersebut masih dalam batas. Dibandingkan penelitian sebelumnya mengenai pengujian sensor .

4.2 Hasil Pengujian Alat

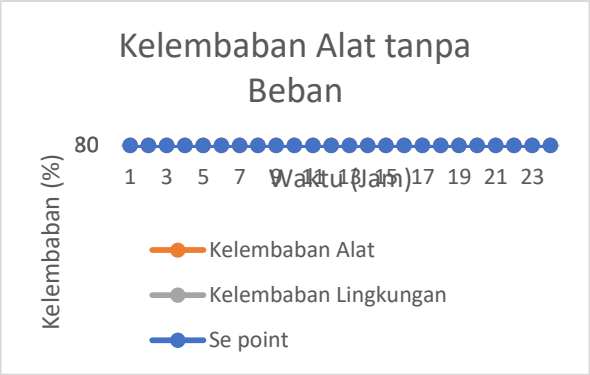
Pengujian ini dilakukan pada alat dalam keadaan kosong. Berikut grafik yang didapat.



Gambar 4.3 Grafik Suhu Alat tanpa beban

Pada gambar 4.3 terlihat grafik pengujian alat tanpa ada beban dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa alat tersebut mencapai suhu yang ingin dicapai pada 23 ℃. *Set point* suhu tercapai pada jam ke-6 namun dalam mempertahankan suhu tersebut terdapat

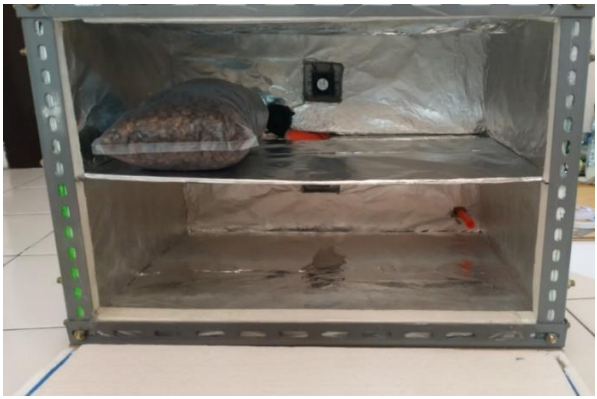
fluktuatif namun masih dalam batas suhu referensi.



Gambar 4.4 Grafik kelembaban Alat tanpa beban

Pada Gambar 4.4 mengenai grafik tersebut kelembaban mencapai 40 % pada jam ke-18 sedangkan menurut referesi kelembaban mulai mencapai referensi pada jam ke-13 dibandingkan penelitian Aji tahun 2019 untuk jenis kopi pasca panen waktu tersebut sama dan juga lebih cepat dari pengujian yang mencapai 26 jam.

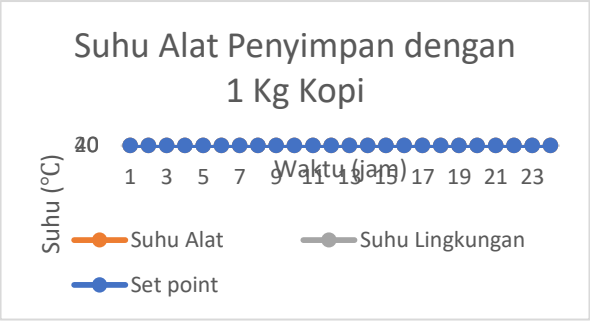
Kemudian bukan hanya dalam keadaan alat tanpa beban namun pengujian dilakukan juaga dengan beban kopi sangrai dengan massa 1 Kg. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh beban terhadap ruang penyimpanan dan bagaimana hasilnya.



Gambar 4.5 Alat Penyimpan Biji Kopi Sangrai dengan 1 Kg kopi

Alat penyimpan biji kopi sangrai yang telah selesai dibuat diberikan beban 1 Kg kopi sangrai pada kolom

bagian atas. Kemudian didapat data sebagai berikut:



Gambar 4.6 Grafik alat penyimpanan pada beban kopi 1 Kg

Grafik pada gambar 4.6 merupakan grafik penyimpanan biji kopi dengan beban penyimpanan kopi dengan massa 1 Kg. Dari grafik tersebut waktu untuk mencapai suhu referensi dibutuhkan waktu selama 7 jam. Jika dibandingkan dengan penelitian Aji 2019 pada biji kopi pasca panen dengan waktu yang sama akan tetapi suhu pada penyimpan kopi sangrai memiliki suhu

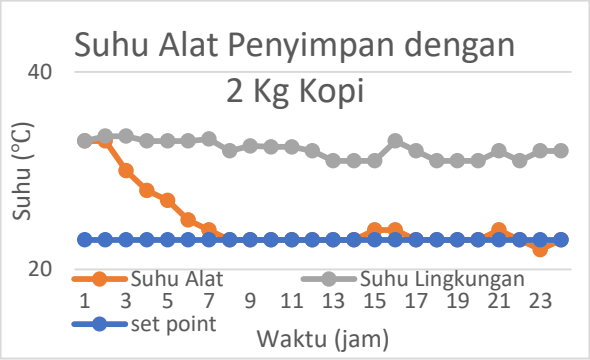
yang lebih rendah 4 ℃. Sedangkan untuk kelembaban pada penyimpanan kopi dengan beban kopi 1 Kg sebagai berikut :

Gambar 4.7 Grafik Kelembaban Alat Penyimpan dengan 1 Kg Kopi

Grafik pada gambar 4.7 merupakan grafik kelembaban pada alat penyimpan namun diberi beban kopi sangrai dengan massa 1 Kg hal ini juga dilakukan untuk mengetahui adanya perubahan kelembaban akibat dari

adanya beban pada alat pendingin yang nantinya juga digunakan untuk menyimpan biji kopi. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa dalam beban kopi 1 Kg waktu untuk mencapai kelembaban yaitu 19 jam ini berarti kopi tersebut menambah waktu alat untuk mencapai kelembaban.

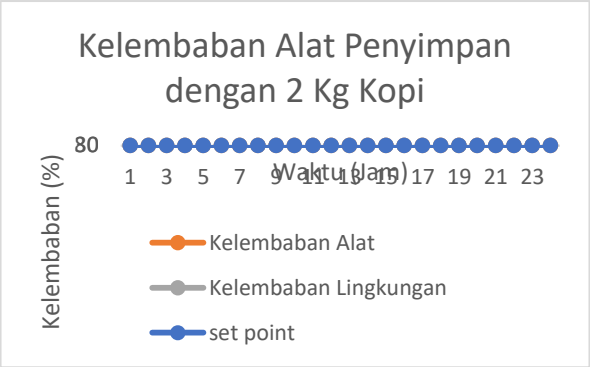
Alat pendingin biji kopi sangrai diberikan beban kopi sangrai dengan massa 2 Kg, penambahan beban tersebut digunakan untuk mengetahui jika ada tambahan beban yang diberikan seberapa berpengaruh dalam data yang didapat berikut data untuk beban 2 Kg kopi sangrai.



Gambar 4.8 Grafik suhu alat penyimpan dengan 2 Kg kopi

Grafik pada gambar 4.8 merupakan grafik penyimpanan biji kopi dengan beban penyimpanan kopi dengan massa 2 Kg. Dari grafik tersebut waktu untuk mencapai *set point* dibutuhkan waktu selama 8 jam. Nilai suhu naik turun akan tetapi masih dalam batas yaitu dibawah 20 - 25 ℃. Sedangkan untuk kelembaban pada

penyimpanan kopi dengan beban kopi 2 Kg sebagai berikut :

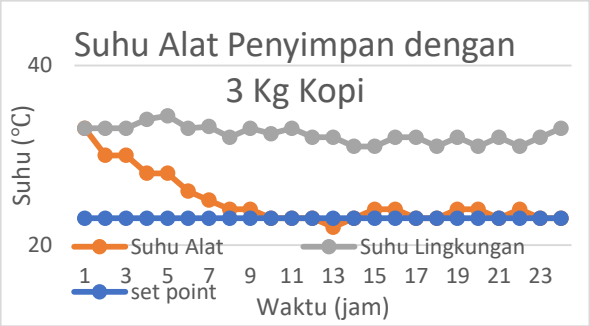


Gambar 4.9 Grafik kelembaban alat penyimpan dengan 2 Kg kopi

Grafik pada gambar 4.9 merupakan grafik kelembaban pada alat penyimpan namun diberi beban kopi sangrai dengan massa 2 Kg hal ini juga dilakukan untuk mengetahui adanya perubahan kelembaban akibat dari adanya beban lebih dari beban sebelumya 1 Kg .Dari grafik tersebut

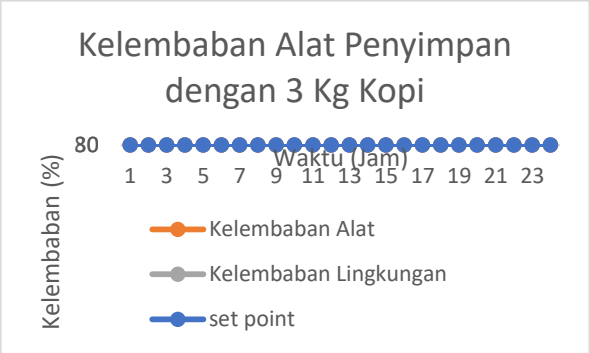
dapat dilihat bahwa dalam beban kopi 2 Kg waktu untuk mencapai kelembaban yaitu 18 jam dilihat dari *set point* kopi dengan massa 1 Kg mencapai *set point* lebih lama akan tetapi jika dilihat dari referensi 30±10% maka kopi sangrai 1 Kg lebih dahulu yaitu dijam ke-12 sedangkan kopi sangrai dengan massa 2 Kg mencapai kelembaban dijam ke-13 hal ini juga membuktikan bahwa beban bertambah berakibat pada penurunan kelembaban yang lebih lama.

Alat penyimpan biji kopi sangrai kemudian juga diberi beban kopi sangrai dengan massa 3 Kg ini juga dilakukan untuk mengetahui beban alat dengan beban yang lebih dari sebelumnya, berikut grafik dari suhu untuk beban kopi sangrai dengan massa 3 Kg.



Gambar 4.10 Grafik suhu alat penyimpan dengan 3 Kg kopi

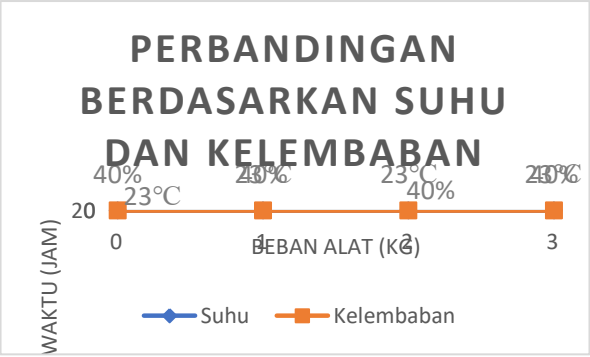
Grafik pada gambar 4.10 merupakan grafik penyimpanan biji kopi dengan beban penyimpanan kopi dengan massa 3 Kg. Dari grafik tersebut waktu untuk mencapai *set point* dibutuhkan waktu selama 10 jam. Nilai suhu naik turun akan tetapi masih dalam batas yaitu dibawah 23±2 ℃. Sedangkan untuk kelembaban pada penyimpanan kopi dengan beban kopi 3 Kg sebagai berikut :



Gambar 4.11 Grafik kelembaban alat penyimpan dengan 3 Kg kopi

Grafik pada gambar 4.11 merupakan grafik kelembaban pada alat penyimpan namun diberi beban kopi sangrai dengan massa 3 Kg hal ini juga dilakukan untuk mengetahui adanya perubahan kelembaban akibat dari adanya beban lebih dari beban sebelumya 1 Kg dan 2 Kg .Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa dalam

beban kopi 3 Kg waktu untuk mencapai kelembaban yaitu 18 jam.



Gambar 4.12 Grafik Perbandingan Berdasarkan Suhu dan Kelembaban

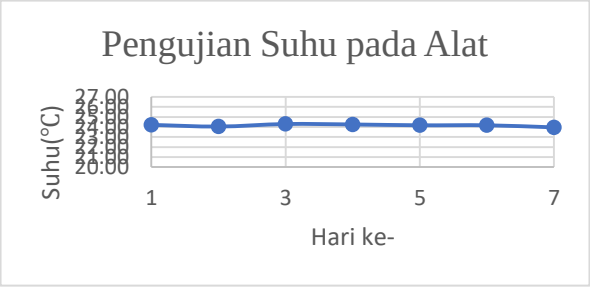
Berdasarkan gambar 4.12 dilihat pada beban 0 Kg atau tanpa beban waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *set point* 23℃ suhu yaitu 6 jam, untuk beban 1 Kg membutuhkan waktu 7 jam, pada beban 2 Kg membutuhkan waktu 8 jam sedangkan pada beban 3 Kg membutuhkan waktu 10 jam. Pada

mencapai kelembaban 40% juga mengalami perbedaan ketika 0 Kg kelembaban mencapai referensi 17 jam, pada beban 1 Kg mencapai 18 jam , pada beban 2 Kg mencapai 18 jam sedangkan pada beban 3 Kg mencapai kelembaban referensi selama 18 jam. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa baban pada alat mempengaruhi suhu dan kelembaban mencapai *set point*.

Proses penurunan suhu dan kelembaban pada alat penyimpan biji kopi ditandai dengan pembacacan sensor yang ditampilkan pada LCD kemudian pada Peltier didapati hasil kondensasi atau pengembunan yang hasil airnya dibuang hal ini membuktikan adanya penurunan kelembaban akibat adanya penurunan suhu. Kejadian tersebut sama seperti *air conditioner*

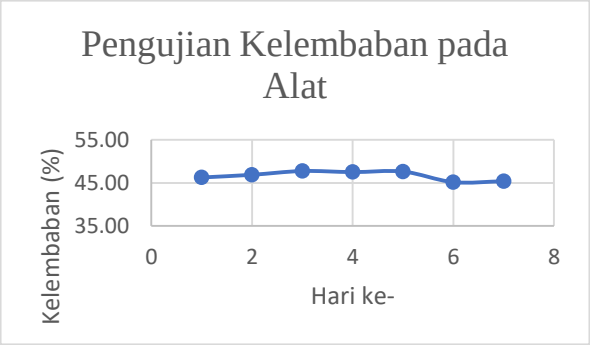
pada gedung-gedung atau ruangan yang menggunakannya AC akan ada pembuangan hasil kondensasi. Pada alat penyimpanan kopi *watertrap* kurang atau tidak efektif dalam penurunan hal ini juga dapat dilihat dari tabung *watertrap* tidak terdapat air hasil pengembunan atau terperangkapnya air didalamnya.

Dalam mengetahui nilai kesetabilan untuk menyimpan biji kopi sangrai maka diperlukan penyimpanan untuk beberapa hari oleh karena itu dilakukan pengujian dengan kopi sangrai 1 Kg yang datanya dilampirkan dalam lampiran 5. Selanjutnya data tersebut akan dilanjutkan untuk melihat kesetabilan alat.



Gambar 4.13 Grafik Pengujian Suhu pada Alat

Berdasarkan Grafik 4.13 nilai suhu menunjukan rata-rata sekitar 24 ℃ nilai *error* yaitu 3,31%. Nilai *error* tersebut jika dibandingkan referensi (Marin, 2008) yang memiliki batas hingga suhu 25℃ maka masih dapat ditoleransi. hal ini juga dapat dilihat dalam lampiran 5. Pada pengujian kelembaban dapat dilihat dalam grafik berikut :

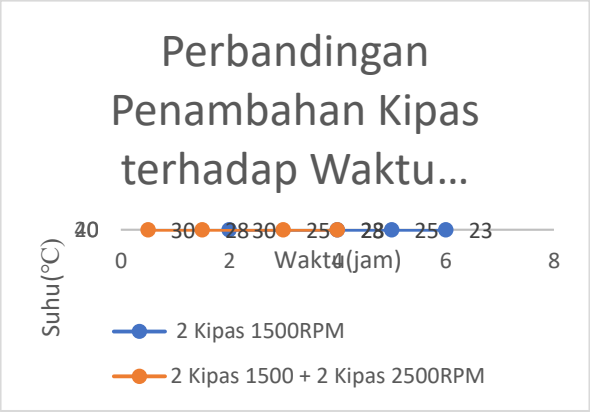


Gambar 4.14 Grafik Pengujian Kelembaban pada Alat

Berdasarkan pada gambar 4.14 mengenai grafik alat pada kelembaban nilainya masih dalam referesi namun mendekati batas atas hal ini juga dipengaruhi karena kelembaban lingkungan yang tinggi sehingga alat kurang baik dalam menurunkan kelembaban jika dilihat langung pada lampiran 5 nilai *error* dengan *set point* 40% memiliki *error* 10% dikarenakan kelembaban mencapai 45% akan tetapi

jika dibandingkan referesi (Marin 2008) yang mengatakan bahwa batas kelembaban atas 50% yang berarti data kelembaban tersebut masih bias ditoleransi . Dari hasil penyimpanan selama 7 hari kopi dari 1000 gr menjadi 995 gr hal ini dikarenakan penyimpanan pada tempat kering mengakibatkan kadar air dalam kopi berkurang tapi tidak signifikan.

Pada percobaan menenggunakan penambahan kipas ada hasil yang ditambahkan dalam laporan tugas akhir penambahan kipas yaitu dengan dua kipas yang memiliki kecepatan 2500 RPM yang sebelumnya menggunakan dua kipas dengan kecepatan 1500 RPM.



Gambar 4.15 Grafik Perbandingan Suhu dan Waktu Ketika Penambahan Kipas

Pada gambar 4.15 merupakan hasil dari penambahan kipas dengan RMP yang lebih tinggi didapat hasil sebagai berikut waktu untuk mencapai *set point* suhu 23 ℃ yang sebelumnya 6 jam menjadi 4 jam yang berarti ada selisih 2 jam dengan percobaan

sebelumnya. Sehingga waktu mencapai *set point* 23℃ lebih cepat tercapai.

Pada tabel 4.1 mengenai perbandingan kipas telah dilakukan percobaan pada no.1 dan no.2 dari data tersebut didapat Watt dan waktu yang tercapai sehingga melalui perhitungan kita dapat mengasumsi untuk mendapatkan nilai suhu yang lebih rendah maka diperlukan kipas yang lebih banyak dengan perincian kipas dan RPM tertentu.

4.9 Simpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada penelitian, didapatkan hasil kesimpulan sebagai berikut :

a. Telah berhasil dirancang dibuat dan diuji sistem penyimpan biji kopi sangrai yang dapat digunakan untuk menyimpan biji kopi sangrai sesuai

dengan referensi yaitu 23±2℃ dan kelembaban 40 ±10%.

b. Pada pengujian alat telah berhasil mengendalikan suhu pada *set point* 23℃ dan kelembaban 40%, hasil pengujian alat dilakukan dengan tanpa beban dan beban 1 Kg Kopi sangrai didapat hasil yaitu dalam alat penyimpan yang tanpa beban suhu mencapai *set point* waktu 6 jam sedangkan untuk kelembabanya dalam waktu 17 jam. Pengujian dengan beban kopi sangrai 1 Kg alat penyimpan dapat encapai *set point* untuk suhu yaitu 7 jam sedangkan mencapai kelembaban dalam waktu 18 jam. Pengujian beban kopi sangrai 2 Kg dibutuhkan waktu 8 jam untuk mencapai *set point* suhu, sedangkan untuk kelembaban 18 jam. Pengujian

dengan beban kopi sangrai 3 Kg dibutuhkan waktu 10 jam untuk mencapai suhu sesuai *set point*, sedangkan untuk kelembaban dibutuhkan waktu 18 jam untuk mencapai *set point*. Jika dilihat dari suhu maka semakin banyak beban maka semakin lama proses pendinginannya sepertihalnya pada kelembaban semakin banyak beban waktu kelembaban turun juga terpengaruh. Namun alat penyimpan biji kopi sangrai tetap bekerja menjaga nilai menuju *set point* yang telah ditentukan yaitu suhu 23 ℃ dan kelembaban 40%. Penambahan dua kipas dengan RPM lebih besar berhasil menambah waktu menjadi 2 jam lebih cepat dalam mencapai *set point* suhu

Pada desain dan pembuatan alat penyimpan biji kopi sangrai untuk mencapai suhu dan kelembaban referensi lebih cepat dapat menggunakan Peltier dengan jumlah yang lebih hal ini karena semakin banyak Peltier maka semakin banyak jumlah pendinginyang berarti juga dapat membantu mengurangi kelebaban. Untuk meningkatkan kemampuan menurunkan kelembaban dapat digunakan *dehumidifier* atau *silica gel electric* yang lebih mampu menurunkan kelembaban

REFERENSI

AH, Saptadi. 2014. *Perbandingan Akurasi Pengukuran Suhu dan Kelembaban Antara Sensor DHT11 dan DHT22*. STT Telkom: Bandung

Badan Standardisasi Nasional. 2008. Standar Nasional Indonesia (SNI) Biji Kopi Nomor 01-2907-2008. Jakarta.

Direktoran Jenderal Industri Kecil Dan Menengah. 2017. *Buku Peluang Usaha IKM kopi*. Kementerian Perindustrian: Jakarta.

Erinofiardi, dkk. 2012. *Penggunaan PLC dalam Pengontrolan Temperatur, Simulasi pada Prototype Ruangan.* Bengkulu: Universitas Bengkulu

Haryadi, Yadi. 2010. *Peranan Penyimpanan Dalam Menunjang Ketahanan Pangan*. Institut Pertanian Bogor: Bogor.

Hayuangga.2018 .Aplikasi Tingkat Kematangan Kopi Berdasarkan Hasil Roasting. Malang : Universitas Islam Negri Maulana Malik Ibrahim

Intan Erlita Dewanti, Jaenal Arifin, Danny Kurnianto. 2016. *Rancang Bangun Pendingin Perangkat Telekomunikasi Otomatis Berbasis Arduino Uno*. Purwokerto : STT Telematika Telkom

Made Subrata, dewa. 2013. *Rancang Bangun Incubator dengan Suhu dan Kelembaban Udara Terkendali untuk Penetasan Telur Ulat Sutera*. Bogor : IPB

Nur Asni, Araz Meilin. 2015. *Teknologi Penanganan Pascapanen dan Pengolahan Hasil Kopi Liberka Tunggal Komposit*. Jambi : Balai Pengkaji Teknologi Pertanian Jambi (Kementrian Pertanian)

Prastyo, Aji. 2019. *Rancang Bangun Pengendalian Suhu Dan Kelembaban Pada Ruang*

Penyimpan Biji Kopi Arabika. Jakarta : Universitas Nasional

Purwiyanti, Sri dkk. 2017. *Aplikasi Efek Peltier Sebagai Kotak Penghangat dan Pendingin Berbasis Mikroprosessor Arduino Uno.* Bandar lampung : Universitas Lampung.

Pangestu, Kresna. 2017. *Rancang Bangun Alat Penurun Kadar Air Dalam Madu Dengan Menggunakan Sensor SHT11.* Jakarta : Universitas Nasional

Sari, Paradilla Eka Permata. 2017. *Perangkat Keras Dalam Pemanfaatan Suhu Panas Dan Dingin Menjadi Energi Listrik Dari Elemen Peltier Dengan System Monitoring Berbasis Android*. Palembang : Politeknik Negeri Sriwijaya.

Trias Prima Satya and Fitri Puspasari, "Kajian Ketidakpastian Pengukuran Suhu Dan Kelembaban Udara Pada Sensor Dht22 Berbasis Arduino Uno," *J. Ilmu Fis.*, vol. 2,

no. 2, pp. 103–112, 2014.

Yulin. 2017. *Apa itu proses degassing dan Oksidasi pada kopi.* Jakarta : Otten

Ismail, M. S. Anuar, and R. Shamsudin, “Effect on the physico-chemical properties of liberica green coffee beans under ambient storage,” Int. Food Res. J., vol. 20, no. 1, pp. 255–264, 2013.

K. Marin, T. Požrl, E. Zlatić, and A. Plestenjak, “A new aroma index to determine the aroma quality of roasted and ground coffee during storage,” Food Technol. Biotechnol., vol. 46, no. 4, pp. 442–447, 2008.

C. F. Ross, K. Pecka, and K. Weller, “Effect of storage conditions on the sensory quality of ground arabica coffee,” J. Food Qual., vol. 29, no. 6, pp. 596–606, 2006.

Tentang Penulis

Erna Kusuma Wati lahir di Sukoharjo 22 januari 1989. Merupakan Alumni SMA Negeri 1 Klaten yang menyelesaikan Studi Pendidikan Fisika dari Fakultas MIPA Universitas Negeri Yogyakarta (2010). Master of Scince ilmu Fisika dari Universitas Gadjah Mada Yogyakarta (2013). Saat ini merupakan Dosen aktif di Program Studi Teknik Fisika Universitas Nasional, Jakarta.

ISBN 978-623-7273-08-0

9 786237 273080