

PERANCANGAN MESIN SANGRAI KOPI SKALA KECIL BERBASIS IOT DENGAN PILIHAN TINGKAT SANGRAI *LIGHT* DAN *MEDIUM ROAST*

Muhamad Riski Afandi ; Fajar Suryawan, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D.
Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Abstrak

Perkembangan industri kopi yang semakin pesat menuntut proses penyangraian yang mampu menghasilkan kualitas rasa dan aroma secara konsisten. Namun, proses sangrai pada skala kecil masih banyak dilakukan secara manual sehingga tingkat kematangan kopi sering kali tidak seragam karena bergantung pada pengalaman dan pengamatan operator, yang dapat menurunkan kualitas produk akhir serta efisiensi proses produksi. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun mesin sangrai kopi skala kecil berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu menghasilkan tingkat kematangan *light roast* dan *medium roast* secara lebih konsisten melalui sistem pengendalian suhu otomatis dan pemantauan proses melalui *smartphone*. Metode penelitian meliputi studi literatur, perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, pembuatan prototipe, integrasi sistem, serta pengujian kinerja alat. Sistem menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali, sensor termokopel tipe K dengan modul MAX6675 untuk mengukur suhu ruang sangrai, serta sensor MQ-2 untuk mendeteksi ketebalan asap selama proses sangrai. *Finned heater* digunakan sebagai sumber panas, sedangkan motor DC *gearbox* memutar drum penyangrai agar distribusi panas lebih merata. Mesin menyediakan pilihan kapasitas kopi 100 gram, 200 gram, dan 300 gram dengan target suhu berbeda pada setiap tingkat sangrai, dilengkapi antarmuka LCD, tombol fisik, dan aplikasi Blynk untuk *monitoring* serta kendali melalui *smartphone*. Apabila nilai asap melebihi ambang batas yang ditentukan, sistem secara otomatis melakukan cut off dengan mematikan *heater* dan motor sebagai fitur keselamatan. Hasil pengujian menunjukkan selisih pembacaan suhu maksimum sebesar 2,22% terhadap alat ukur, serta hasil sangrai yang konsisten dan telah sesuai dengan penilaian expert roaster.

Kata Kunci: Sangrai Kopi, *Internet of Things* (IoT), ESP32, Termokopel Tipe K, *light roast*, *medium roast*.

Abstract

The rapid growth of the coffee industry has increased the demand for roasting processes capable of producing consistent flavor and aroma quality. However, small-scale coffee roasting is still commonly performed manually, so the resulting roast level is often inconsistent since it depends heavily on the operator's experience and observation, which can reduce final product quality and production efficiency. This study aims to design and build a small-scale coffee roasting machine based on the Internet of Things (IoT) capable of producing light roast and medium roast levels more consistently through an automatic temperature control system and process monitoring via smartphone. The research method includes a literature review, hardware and software design, prototype development, system integration, and performance testing. The system uses an ESP32 microcontroller as the main controller, a K-type thermocouple sensor with a MAX6675 module to measure the roasting chamber temperature, and an MQ-2 sensor to detect smoke density during the roasting process. A finned heater is used as the heat source, while a DC gearbox motor rotates the roasting drum to achieve a more even heat distribution. The machine provides coffee capacity options of 100 grams, 200 grams, and 300 grams, each with a different target temperature for every roast level, and is equipped with an LCD, physical buttons, and the Blynk application for monitoring and control via smartphone. When the smoke value exceeds a predetermined threshold, the system automatically performs a cut-off by turning off the heater and motor as a safety feature. Test results show a maximum temperature reading difference of 2.22% compared to the measuring instrument, along with consistent roasting results that align with the expert roaster's assessment.

Keywords: Coffee Roasting, Internet of Things (IoT), ESP32, Type-K Thermocouple, Light Roast, Medium Roast.

1. PENDAHULUAN

Kopi merupakan komoditas pertanian strategis yang berperan penting dalam perekonomian Indonesia. Berdasarkan publikasi *Statistik Tanaman Perkebunan Tahunan Indonesia 2024* oleh Badan Pusat Statistik, produksi kopi nasional pada tahun 2024 mencapai sekitar 813 ribu ton, meningkat 4,9% dibandingkan tahun 2022 yang sebesar 775 ribu ton (Badan Pusat Statistik, 2025). Seiring meningkatnya produksi dan konsumsi kopi, kebutuhan akan pengolahan kopi yang mampu menghasilkan mutu dan cita rasa yang konsisten juga semakin tinggi. Sebelum dapat dikonsumsi, biji kopi harus melalui beberapa tahapan pengolahan untuk menghasilkan karakter rasa dan aroma yang diinginkan. Salah satu tahapan paling krusial dalam pengolahan kopi adalah proses penyangraian (*roasting*).

Berdasarkan buku *Teknologi Pengolahan Kopi*, proses sangrai berperan dalam membentuk rasa, aroma, warna, serta menurunkan kadar air biji kopi. Selama proses penyangraian terjadi perubahan fisik dan kimia, termasuk reaksi Maillard dan karamelisasi, yang memengaruhi karakter rasa dan aroma kopi (Towaha et al., 2018). Suhu sangrai menjadi faktor utama yang menentukan mutu hasil akhir, di mana *light roast* cenderung mempertahankan karakter asli biji dan keasaman lebih tinggi. Sementara itu, *medium roast* menghasilkan keseimbangan antara aroma, rasa, keasaman, dan *body* kopi, dengan cita rasa yang lebih manis serta tingkat kepahitan yang masih relatif rendah. *Light roast* umumnya berada pada kisaran suhu 190–200°C, sedangkan *medium roast* berada pada kisaran 200–220°C (Pakaya et al., 2025). Meskipun industri kopi di Indonesia memiliki potensi besar, masih terdapat kendala dalam proses pengolahan, khususnya pada tahap sangrai. Pada skala kecil, proses sangrai umumnya dilakukan secara manual dan bergantung pada pengamatan visual serta intuisi operator, sehingga hasilnya tidak selalu konsisten dan berpotensi menurunkan kualitas kopi (Rosiana & Risaldi, 2021). Berdasarkan prinsip sistem kendali dari buku *Modern Control Engineering*, proses pemanasan memerlukan pengukuran suhu yang akurat dan mekanisme kontrol yang stabil untuk memastikan konsistensi mutu (Katsuhiko Ogata, 2010). Sehingga diperlukan sistem pengukuran dan kontrol suhu pada proses penyangraian kopi sehingga di dapatkan hasil sangrai kopi yang konsisten.

Beberapa penelitian telah dilakukan terkait mesin sangrai kopi berbasis sistem kontrol. Pada penelitian Amri & Husaini (2023) mengembangkan mesin sangrai kopi yang menggunakan mikrokontroler Arduino Uno untuk pengendalian suhu, sedangkan penelitian Arifuddin et al. (2021) merancang sistem kontrol suhu dan waktu otomatis pada mesin sangrai kopi portabel. Penelitian Maulina & Idkham (2022) juga meneliti kinerja mesin penyangrai kopi dengan elemen pemanas listrik dan motor listrik yang mampu meningkatkan kestabilan proses sangrai. Namun, penelitian-

penelitian tersebut masih berfokus pada pengendalian suhu dan performa mesin secara lokal serta belum mengintegrasikan teknologi IoT, pemantauan asap sebagai fitur keamanan, dan pilihan tingkat sangrai yang dapat disesuaikan dengan kapasitas kopi. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan mesin sangrai kopi berbasis ESP32 dengan *monitoring* dan kontrol melalui *Blynk*, sensor suhu dan asap, serta pilihan mode *light roast* dan *medium roast* untuk meningkatkan konsistensi hasil sangrai dan kemudahan operasional.

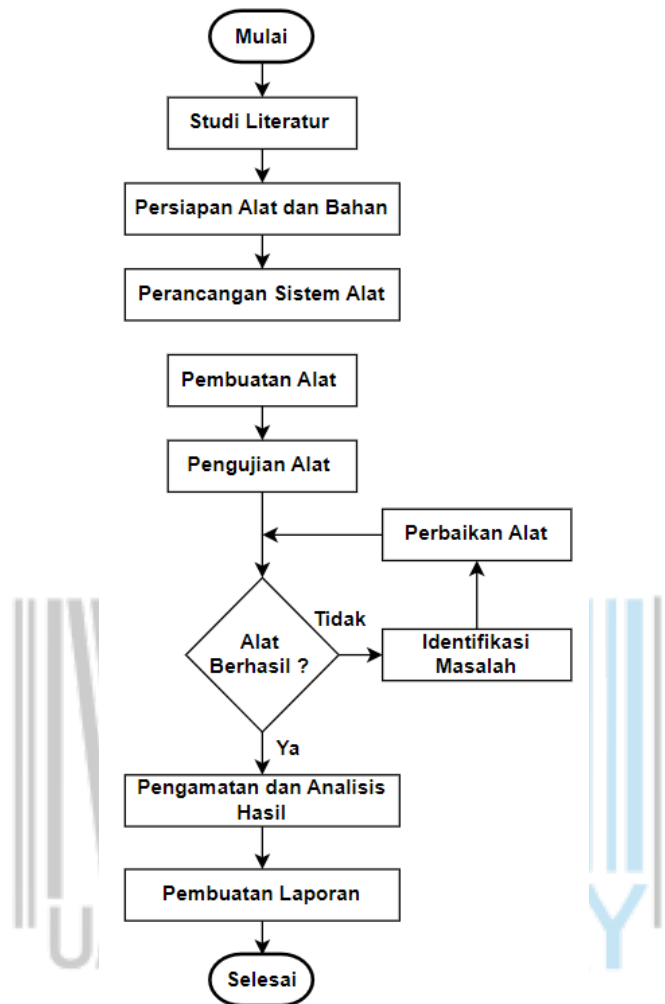
Pada era modern ini, perkembangan internet memungkinkan pemantauan proses sangrai kopi melalui aplikasi *smartphone*. Menurut buku *Konsep dan Implementasi Internet of Things*, perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) memungkinkan integrasi sensor dan sistem kontrol yang dapat dipantau secara *real-time* melalui perangkat digital (Rizal et al., 2023). Penelitian ini merancang mesin sangrai kopi berbasis ESP32 dengan sistem pemantauan suhu dan kontrol *finned heater* serta motor listrik, dilengkapi pilihan mode *light roast* dan *medium roast* untuk kapasitas 100g, 200g, dan 300g. Pengukuran suhu dilakukan menggunakan sensor termokopel dengan MAX6675, sedangkan sensor MQ-2 digunakan untuk memantau ketebalan asap selama proses sangrai. Apabila nilai asap melebihi batas yang ditentukan, sistem akan menghentikan proses sangrai (*cut off*) untuk menjaga keamanan. Selain itu, mesin dapat dipantau dan dikendalikan melalui aplikasi *Blynk* maupun melalui LCD dan *button* fisik yang tersedia pada mesin sangrai kopi.

Melalui perancangan mesin sangrai kopi skala kecil berbasis IoT dengan pilihan tingkat sangrai *light* dan *medium roast* ini, mampu meningkatkan kualitas dan konsistensi hasil sangrai, efisiensi proses, serta kemudahan operasional bagi segmen *home roaster* dan *coffee shop*. Selain itu dengan adanya variasi tingkat kematangan sangrai dapat meningkatkan kuantitas penikmat kopi serta meningkatkan pengalaman dalam menikmati kopi.

2. METODE

Penelitian ini memiliki tahapan kerja yang digambarkan dalam bentuk diagram alir pada Gambar 1. Penelitian diawali dengan studi literatur untuk mengkaji permasalahan yang terdapat pada proses sangrai kopi serta pengembangan sistem yang telah ada sebelumnya. Selanjutnya dilakukan tahap perancangan, pembuatan, dan pengujian mesin sangrai kopi skala kecil berbasis *Internet of Things* (IoT) sebagai solusi terhadap permasalahan tersebut. Pada tahap pengujian dilakukan percobaan terhadap sistem dengan variasi profil sangrai yaitu *light roast* dan *medium roast*, serta variasi berat kopi 100 gram, 200 gram, dan 300 gram. Penelitian ini juga menganalisis pengaruh variasi profil dan berat terhadap proses sangrai yang dilakukan. Pengambilan data dilakukan untuk menganalisis

suhu akhir proses sangrai serta kinerja sistem dalam pengendalian elemen pemanas, motor pengaduk, dan pemantauan sistem melalui LCD maupun platform IoT.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.1 Studi Literatur

Tahap studi literatur dilakukan dengan cara mengumpulkan berbagai sumber ilmiah yang relevan dan dapat dipercaya sesuai dengan topik penelitian yang akan dikaji. Sumber tersebut kemudian dipelajari dan dianalisis untuk memperoleh pemahaman mengenai teori dasar, konsep, serta hasil-hasil penelitian terdahulu yang berkaitan. Selain itu, kegiatan ini juga bertujuan untuk meninjau metode yang telah digunakan pada penelitian sebelumnya sebagai bahan pertimbangan dalam pengembangan penelitian. Hasil dari kajian literatur ini selanjutnya digunakan sebagai landasan dalam penyusunan dan pelaksanaan penelitian agar lebih sistematis dan sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai. Studi literatur juga membantu dalam mengidentifikasi permasalahan penelitian, kesenjangan penelitian (*research gap*), serta peluang pengembangan yang belum banyak dikaji pada penelitian sebelumnya.

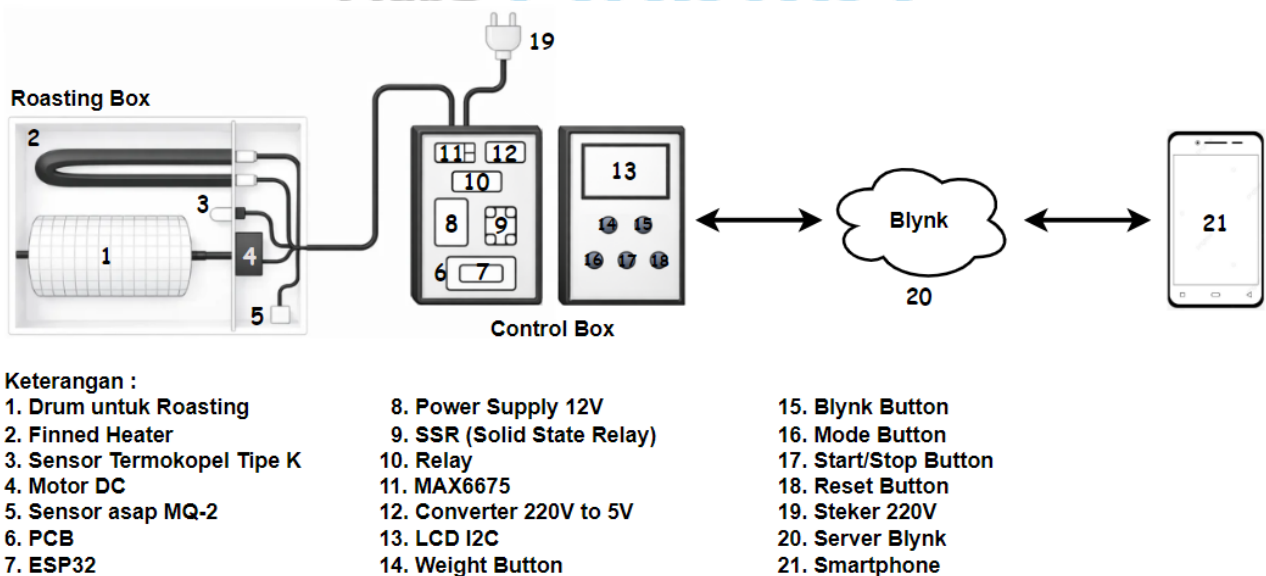
2.2 Persiapan Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini, penulis menggunakan beberapa perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) yang digunakan sebagai berikut:

- Perangkat lunak (*software*) yang digunakan pada penelitian ini meliputi Arduino IDE yang berfungsi sebagai alat untuk membuat serta mengunggah program ke mikrokontroler ESP32 sehingga sistem dapat bekerja sesuai dengan rancangan yang telah ditentukan. Selain itu, digunakan aplikasi *Blynk* sebagai platform untuk membangun antarmuka pemantauan dan pengendalian perangkat, yang memungkinkan pengguna melakukan *monitoring* dan kontrol menggunakan smartphone melalui jaringan internet.
- Perangkat Keras (*hardware*) yang digunakan pada penelitian ini meliputi sensor termokopel tipe K dengan MAX6675, sensor MQ-2, *button*, *solid state relay*, *finned heater* 750 Watt, *relay*, motor DC 12V 66 RPM, LCD I2C, serta *power supply* 12V dan *Converter* 220V AC to 5V DC. Terdapat pula *roasting box* dan *control Box* untuk penempatan komponen.
- Terdapat juga peralatan dan bahan tambahan seperti kabel, tang *crimping*, *solder*, timah, *header*, dan *spacer*.

2.3 Perancangan Sistem

Perancangan alat ini diawali dengan penentuan komponen yang digunakan serta perancangan alur kerja sistem secara keseluruhan agar proses sangrai kopi dapat berjalan sesuai dengan fungsi yang diharapkan.



Gambar 2. Sketsa Perancangan Mesin Sangrai Kopi

Gambar 2 adalah sketsa perancangan mesin sangrai kopi yang terdiri dari dua bagian utama, yaitu *roasting box* dan *control box*. Terdapat pula fitur IoT yang menunjang mesin tersebut

menggunakan *server* dan aplikasi *Blynk* pada *smartphone*. Sistem dirancang untuk mengendalikan proses sangrai menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali yang mengatur seluruh input, proses, dan output sistem. Proses pemanasan dilakukan menggunakan elemen *heater* yang dikendalikan berdasarkan pembacaan suhu dari sensor termokopel tipe K dengan MAX6675. Sistem ini dirancang dengan dua pilihan profil sangrai, yaitu *light roast* dan *medium roast*, yang masing-masing memiliki variasi berat kopi 100 gram, 200 gram, dan 300 gram. Setiap variasi berat dan profil sangrai kopi memiliki setpoint suhu akhir yang berbeda. Selain itu, sistem juga dilengkapi dengan motor DC sebagai pengaduk yang berfungsi menjaga pemerataan panas selama proses sangrai berlangsung. Terdapat pula sensor gas MQ-2 yang berfungsi mendeteksi tingkat kepadatan asap selama proses sangrai pada mesin roasting kopi ini.

Perancangan *user experience* (UX) pada sistem mesin sangrai kopi dilakukan untuk mendukung interaksi pengguna dengan sistem selama proses pengoperasian. Sebelum proses sangrai dimulai, pengguna terlebih dahulu memilih berat biji kopi yang akan disangrai, yaitu 100 gram, 200 gram, atau 300 gram, kemudian memilih profil sangrai yang diinginkan, yaitu *light roast* atau *medium roast*. Pemilihan parameter tersebut dapat dilakukan melalui tombol fisik pada mesin maupun melalui aplikasi Blynk yang terhubung dengan sistem. Setelah seluruh parameter dipilih, pengguna dapat memulai proses roasting melalui tombol *start* pada panel kontrol atau aplikasi. Selama proses berlangsung, sistem secara otomatis mengendalikan motor pengaduk dan elemen pemanas berdasarkan target suhu yang telah ditentukan sesuai kombinasi berat dan profil sangrai yang dipilih.

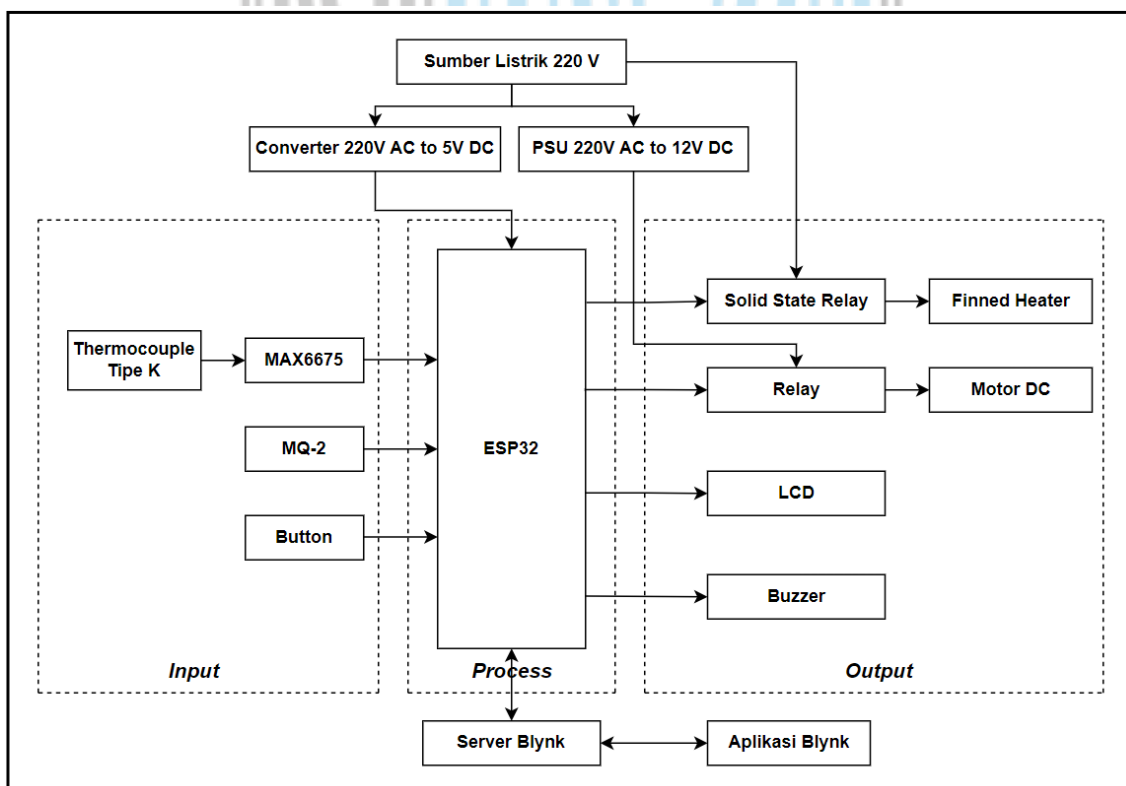
Informasi proses ditampilkan secara real-time melalui LCD dan aplikasi Blynk, meliputi nilai suhu, status roasting, kondisi asap hasil saat penyangraian, status pemanas, dan status motor. Apabila terdeteksi kondisi asap berlebih yang mengindikasikan potensi ketidaksesuaian proses, sistem akan mengaktifkan mekanisme *cut-off* untuk menghentikan proses roasting sebagai fitur keselamatan. Ketika suhu target tercapai, sistem secara otomatis menghentikan pemanas dan motor, kemudian memberikan notifikasi berupa indikator status dan bunyi *buzzer* sebagai tanda bahwa proses roasting telah selesai. Selain itu, pengguna dapat menghentikan proses kapan saja melalui fungsi *stop* serta mengembalikan sistem ke kondisi awal menggunakan fitur *reset*.

Tabel 1. Suhu Akhir Sangrai Kopi

Berat (g)	Mode Sangrai	Suhu Akhir (°C)
100	Light Roast	192
200	Light Roast	198

Berat (g)	Mode Sangrai	Suhu Akhir (°C)
300	Light Roast	201
100	Medium Roast	201
200	Medium Roast	203
300	Medium Roast	206

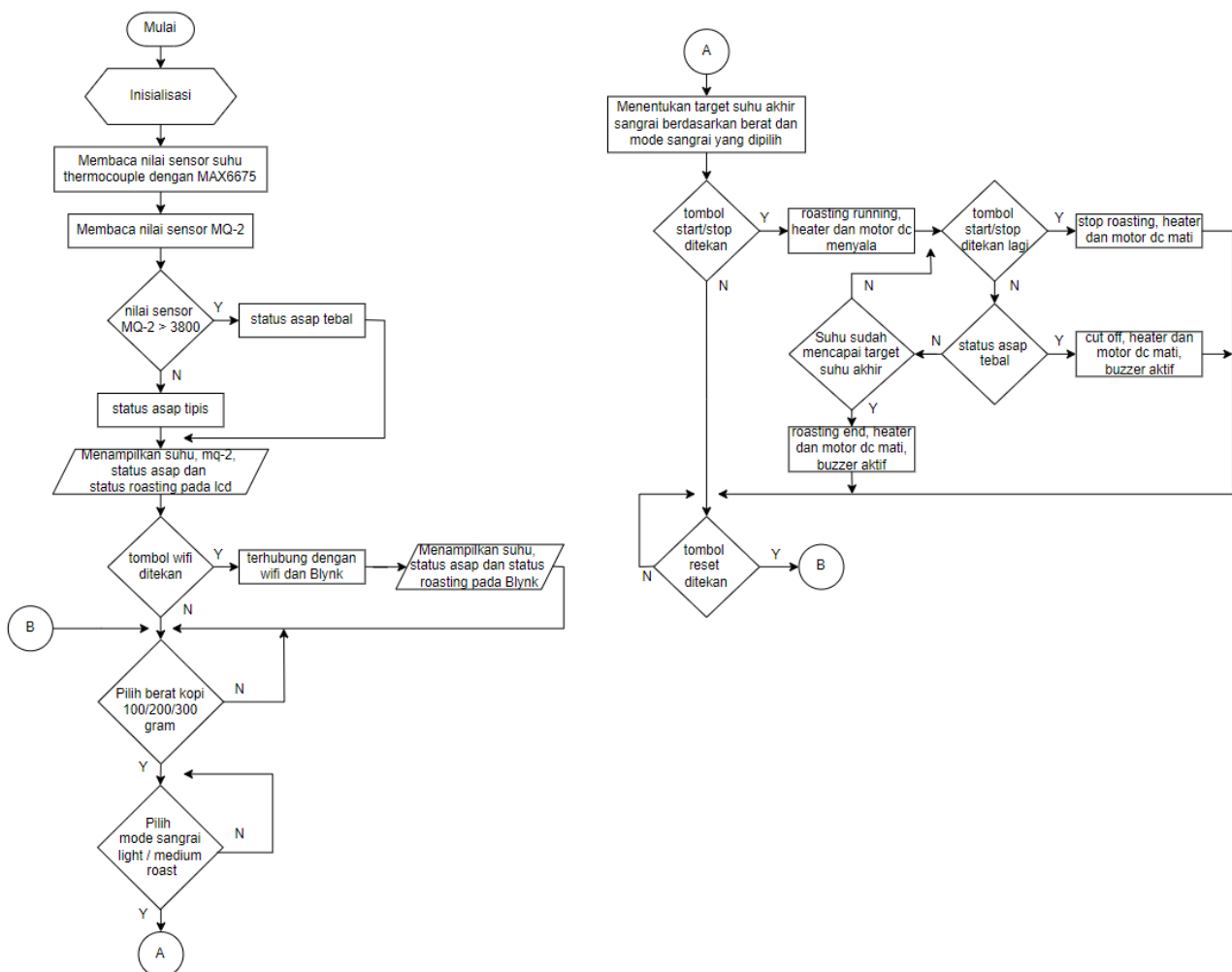
Secara keseluruhan, perancangan sistem digambarkan dalam bentuk blok diagram yang menunjukkan hubungan antara komponen *input*, proses, dan *output* pada Gambar 3. Bagian *input* terdiri dari sensor suhu, sensor asap MQ-2, serta *input* pengguna berupa *button*, bagian proses dilakukan oleh mikrokontroler ESP32 untuk mengolah data dan logika sistem, sedangkan bagian *output* berupa *heater*, *motor DC* pengaduk, *buzzer*, *LCD*, serta terdapat antarmuka sistem IoT *Blynk* yang dapat digunakan untuk *controlling* dan *monitoring* sangrai kopi. Terdapat pula *converter 220V to 5V* untuk *power* ESP32 dan *power supply 12V* untuk *power motor* serta 220V untuk *power heater*.



Gambar 3. Blok Diagram Sistem

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai mekanisme kerja sistem yang dirancang, disajikan diagram alir sistem pada Gambar 4. Diagram ini menjelaskan tahapan kerja alat mulai dari proses inisialisasi, pemilihan profil sangrai dan berat kopi, pembacaan data dari sensor, hingga proses pengendalian selama penyangraian berlangsung. Diagram alir juga

menunjukkan respons sistem terhadap berbagai kondisi yang terjadi, seperti saat suhu telah mencapai nilai yang ditentukan, ketika terdeteksi asap berlebih, maupun ketika pengguna memberikan perintah tertentu. Mekanisme kontrol yang digunakan memungkinkan sistem untuk menyesuaikan aktuator pemanas dan motor DC sebagai pengaduk kopi secara otomatis berdasarkan data sensor secara real-time. Hal ini bertujuan untuk menjaga kestabilan proses penyangraian agar sesuai dengan profil dan berat yang telah dipilih oleh pengguna. Dengan adanya diagram alir tersebut, urutan kerja sistem dapat terlihat dengan lebih jelas sehingga memudahkan dalam memahami proses yang terjadi pada alat secara keseluruhan.

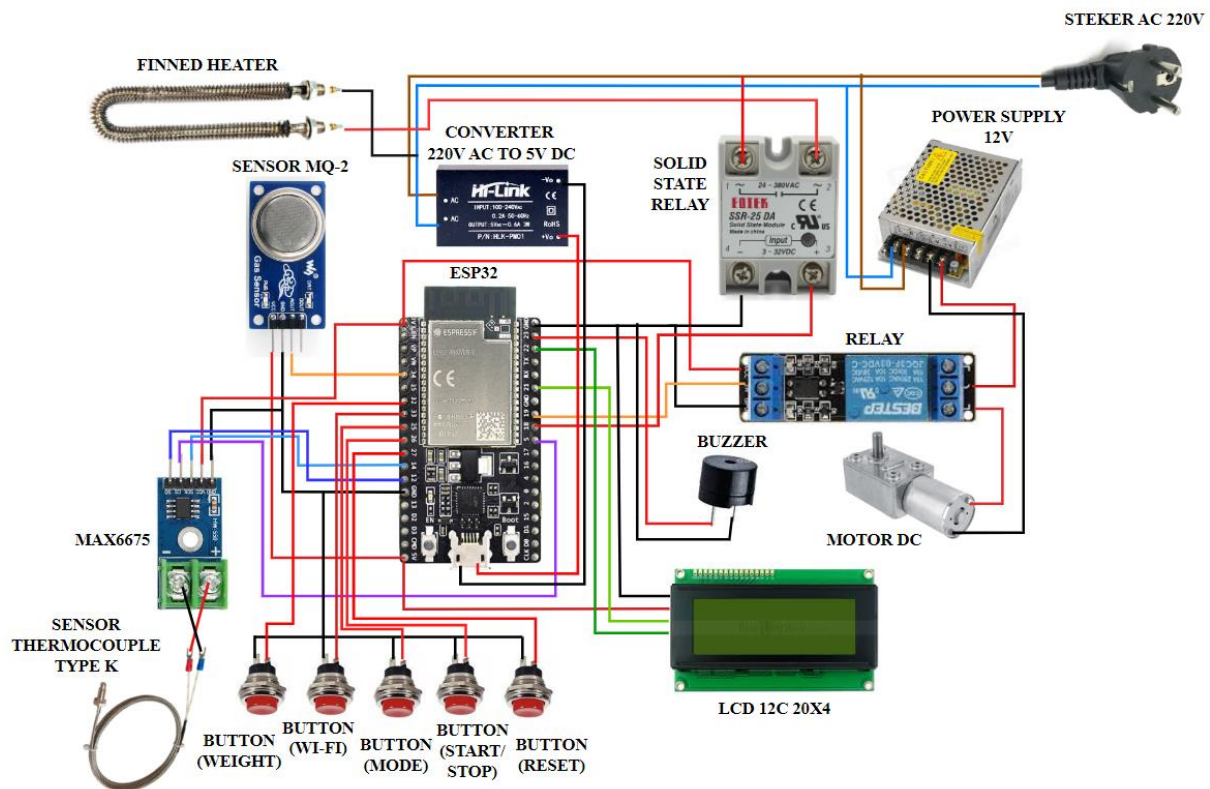


Gambar 4. Diagram Alir Sistem

Gambar 4 adalah gambar diagram alir sistem mesin sangrai kopi. Saat sistem dijalankan, ESP32 akan melakukan proses inisialisasi. Setelah itu sistem akan melakukan pembacaan suhu dan nilai MQ-2 yang kemudian dirubah menjadi asap tebal jika nilai MQ-2 melebihi 3800 dan asap tipis jika 3800 atau dibawahnya. Pembacaan tersebut kemudian ditampilkan di LCD. Jika tombol *Blynk* ditekan maka akan terhubung ke *internet* dan *Blynk*, pembacaan tadi juga akan ditampilkan pada *Blynk*. Selain suhu dan status asap juga ditampilkan status penyangraian pada LCD dan *Blynk*. Saat

ingin melakukan penyangraian kopi pengguna dapat memilih berat kopi yang akan disangrai dengan menekan tombol *weight*. Setelah berat dipilih kemudian pengguna memilih profil sangrai yang diinginkan, pengguna dapat memilih profil *light roast* atau *medium roast* dengan menekan tombol *mode*. Saat berat dan profil sangrai sudah dipilih pengguna dapat memulai penyangraian dengan menekan tombol *start/stop* dan *heater* serta *motor dc* akan menyala. Setelah mencapai suhu target sesuai dengan pilihan berat dan profil sangrai maka *motor dc* dan *heater* akan mati serta *buzzer* akan menyala. Selama proses penyangraian berlangsung pengguna dapat menghentikan proses penyangraian dengan menekan lagi tombol *start/stop*. Saat status asap tebal ketika penyangraian berlangsung maka sistem akan melakukan *cut off* atau menghentikan proses sangrai secara otomatis sebagai fitur keamanan. Terdapat pula tombol *reset* untuk kembali ke state awal dan semua parameter akan dikembalikan ke default, sehingga sistem siap untuk digunakan kembali.

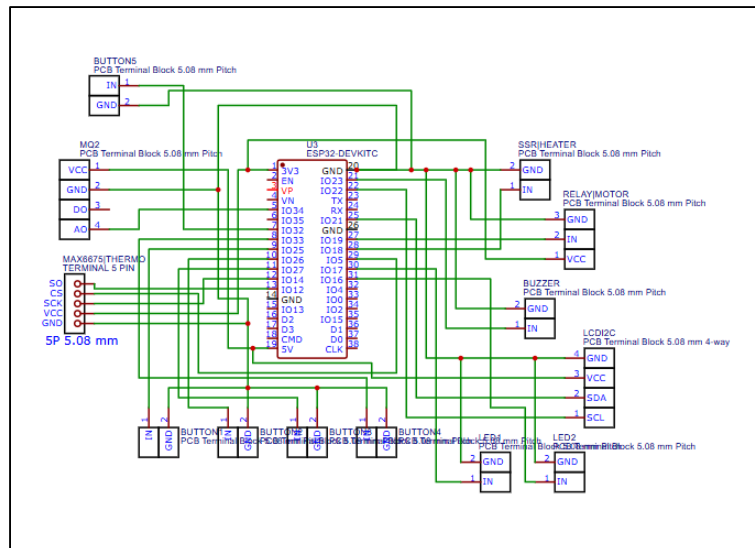
2.4 Perancangan Elektrikal



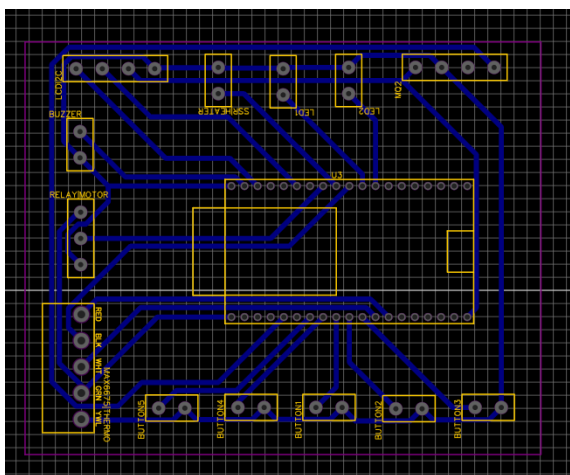
Gambar 5. *Wiring Diagram*

Gambar 5 adalah *wiring diagram* sistem mesin sangrai kopi skala kecil yang dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32. Perancangan sistem ini bertujuan untuk mendukung proses sangrai kopi secara otomatis melalui pengaturan temperatur, deteksi kondisi asap selama proses sangrai berjalan, serta pengendalian kerja *heater* dan motor pengaduk berdasarkan parameter yang telah ditentukan. Sumber listrik utama mesin sangrai kopi ini berasal dari steker *AC 220V*. Listrik tersebut kemudian dialirkan ke *SSR (Solid State Relay)* sebagai sumber untuk *heater* dan disalurkan ke *power supply*

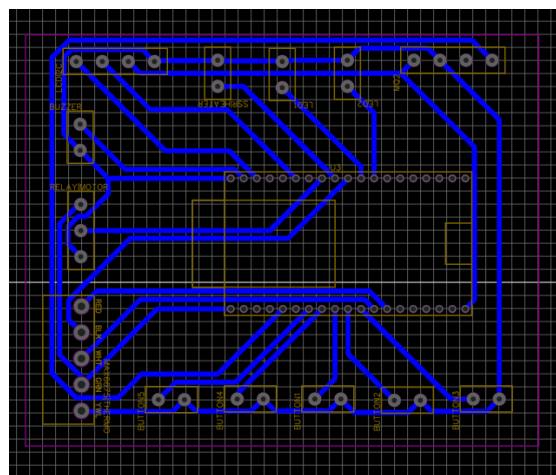
12V untuk *power motor* pengaduk serta dialirkan ke *converter 5V DC* untuk *power ESP32*. Pada sistem ini ESP32 terhubung dengan sensor termokopel dengan MAX6675 yang digunakan untuk membaca nilai suhu, sensor MQ-2 yang digunakan untuk membaca ketebalan asap serta *button* yang dapat mengirimkan perintah dari pengguna. Selain itu ESP32 juga terhubung dengan aktuator, seperti *heater* melalui *solid state relay* sebagai elemen pemanas pada sangrai kopi, *motor dc* melalui relay mekanik untuk memutar drum agar kopi dapat matang merata, *buzzer* dan *LCD I2C* untuk memberikan informasi kepada pengguna. Data yang diperoleh dari sensor kemudian diolah oleh ESP32 untuk mengendalikan aktuator sesuai kondisi yang terdeteksi selama proses sangrai berlangsung. Selain itu, sistem juga dilengkapi dengan fitur *monitoring* dan *controlling* melalui aplikasi *Blynk* sehingga pengguna dapat memantau parameter sangrai melalui *smartphone* dengan jaringan *internet*.



Gambar 6a. Skematik PCB



Gambar 6b. PCB Tampak Atas



Gambar 6c. PCB Tampak Bawah

Gambar 6. Desain *Layout* PCB

Gambar 6 adalah skematik dan *layout* PCB yang dirancang untuk mempermudah koneksi antar komponen serta memastikan ketepatan hubungan antara pin input sensor dan pin output aktuator dengan mikrokontroler ESP32. Perancangan PCB dilakukan berdasarkan kebutuhan sistem yang telah ditentukan agar seluruh komponen dapat bekerja sesuai dengan logika program yang dibuat. Skematik dan *layout* PCB dibuat menggunakan perangkat lunak *EasyEDA* berdasarkan rancangan perangkat keras dan program yang telah disusun. *Layout* PCB dirancang dengan memperhatikan penempatan komponen dan jalur koneksi agar rangkaian menjadi lebih rapi. Selain itu, penggunaan PCB membantu mengurangi penggunaan kabel yang berlebihan sehingga risiko terjadinya kesalahan sambungan dapat diminimalkan.

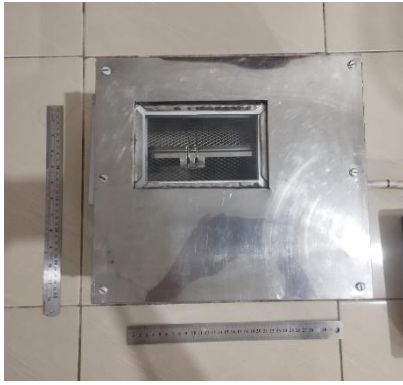
2.5 Tahap Pengujian

Tahap pengujian alat dilakukan untuk memastikan seluruh sistem pada mesin sangrai kopi dapat bekerja sesuai dengan perancangan yang telah dibuat. Pengujian pertama dilakukan pada proses penyalaan sistem, termasuk pemeriksaan catu daya yang digunakan serta memastikan seluruh komponen seperti ESP32, sensor, dan aktuator dapat berfungsi dengan baik. Selanjutnya dilakukan pengujian kinerja motor pengaduk dan *heater* untuk memastikan kedua komponen tersebut dapat bekerja sesuai perintah dari mikrokontroler. Tahap berikutnya adalah pengujian pembacaan sensor suhu menggunakan MAX6675 serta sensor asap MQ-2 untuk memastikan nilai yang dihasilkan sesuai dengan kondisi aktual selama proses sangrai. Setelah itu dilakukan pengujian terhadap respon sistem dalam mengendalikan *heater* dan motor berdasarkan perubahan suhu dan kondisi asap yang terdeteksi. Selain itu, dilakukan juga pengujian sistem *monitoring* melalui *LCD* dan aplikasi *Blynk* untuk memastikan seluruh data dapat ditampilkan secara *real-time* pada perangkat pengguna. Pada tahap akhir, dilakukan pengujian menyeluruh dengan menjalankan proses sangrai kopi secara langsung untuk melihat kestabilan sistem, ketepatan pengendalian suhu, serta keberhasilan proses sangrai pada berbagai mode dan kapasitas yang telah ditentukan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Perancangan

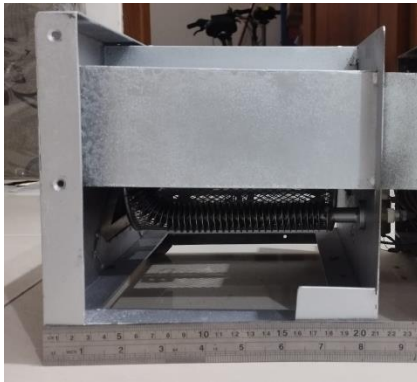
Hasil dari perancangan dan implementasi sistem *monitoring* dan kontrol mesin sangrai kopi skala kecil berbasis IoT ini dirancang dengan konstruksi yang terbagi menjadi dua bagian utama, yaitu *control box* dan *roasting box*. Selain itu terdapat pula fitur IoT yang terhubung dengan *server* dan aplikasi *Blynk* pada *smartphone*. Pada *roasting box* menggunakan bahan stainless steel dan besi dengan dimensi 30 cm × 27 cm × 22 cm dengan berat 5,1 kg. Sedangkan untuk *control box* terbuat dari bahan plastik dengan dimensi 22 cm × 15 cm × 9 cm dengan berat 910 gram.



Gambar 7a. *Roasting box* tampak atas



Gambar 7b. *Roasting box* tampak depan



Gambar 7c. *Roasting box* tampak dalam depan



Gambar 7d. *Roasting box* tampak dalam belakang

Gambar 7. *Roasting Box*

Gambar 7 menunjukkan *roasting box* yang berfungsi sebagai tempat berlangsungnya proses penyangraian kopi. Gambar 7a merupakan tampak atas *roasting box* yang pada bagian atasnya terdapat sebuah kaca yang dapat digunakan pengguna untuk melihat kondisi kopi yang sedang disangrai tanpa perlu membuka *roasting box* sehingga suhu di dalam ruang sangrai tetap terjaga. Gambar 7b menunjukkan bagian depan *roasting box* yang dilengkapi dengan sebuah pintu yang dapat dibuka dan ditutup sebagai akses untuk memasukkan dan mengeluarkan drum sangrai kopi sebelum dan sesudah proses penyangraian berlangsung. Gambar 7c memperlihatkan bagian dalam depan *roasting box* yang merupakan tempat berlangsungnya proses penyangraian, di mana terdapat *finned heater* sebagai sumber panas utama, drum sebagai wadah untuk menampung biji kopi selama proses sangrai, serta sensor suhu termokopel tipe K yang digunakan untuk mengukur dan membaca nilai suhu selama proses penyangraian berlangsung. Sementara itu, Gambar 7d menunjukkan bagian dalam belakang *roasting box* yang digunakan sebagai tempat pemasangan komponen penunjang, seperti motor DC yang berfungsi memutar drum agar biji kopi memperoleh panas secara merata serta sensor MQ-2 yang digunakan untuk mendeteksi ketebalan asap selama proses penyangraian berlangsung sehingga kondisi proses sangrai dapat dipantau dengan lebih baik.



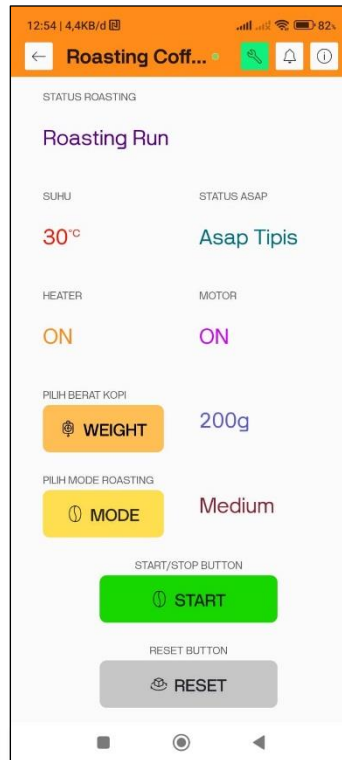
Gambar 8a. *Control box* tampak atas



Gambar 8b. *Control box* tampak dalam

Gambar 8. *Control box*

Gambar 8 menunjukkan *control box* yang berfungsi sebagai pusat pengendalian sistem yang berisi mikrokontroler ESP32, rangkaian kontrol listrik, serta antarmuka pengguna untuk pengaturan dan pemantauan sistem secara fisik. Gambar 8a merupakan tampilan atas *control box* yang dilengkapi dengan LCD I2C untuk menampilkan informasi kepada pengguna, seperti parameter dan status proses penyangraian. Selain itu, terdapat lima buah tombol, yaitu tombol *weight* untuk memilih berat kopi yang akan disangrai, tombol mode *roasting* untuk memilih profil sangrai *light* atau *medium*, tombol *start/stop* untuk memulai atau menghentikan proses penyangraian, tombol *reset* untuk mengembalikan parameter sangrai ke kondisi awal, serta tombol Blynk untuk menghubungkan sistem dengan aplikasi Blynk melalui jaringan internet. Gambar 8b menunjukkan bagian dalam *control box* yang berisi berbagai komponen elektronika penyusun sistem. Pada bagian ini terdapat PCB yang digunakan sebagai media penghubung antara mikrokontroler ESP32 dengan sensor dan aktuator yang digunakan sehingga seluruh komponen dapat bekerja secara terintegrasi. Selain itu, terdapat *relay* mekanik yang berfungsi untuk mengontrol motor DC dan SSR (*Solid State Relay*) yang digunakan untuk mengontrol kerja *heater*. Di dalam control box juga terdapat rangkaian catu daya yang terdiri atas steker 220 V sebagai sumber tegangan utama untuk *heater*, *power supply* 12 V sebagai sumber tegangan motor DC 12 V, serta *buck converter* 5 V yang berfungsi menurunkan tegangan untuk menyuplai daya ke mikrokontroler ESP32 sehingga seluruh komponen dapat beroperasi sesuai kebutuhan.



Gambar 9. Tampilan Aplikasi *Blynk*

Mesin sangrai kopi skala kecil ini juga terdapat fitur IoT untuk bisa memantau dan mengontrol proses sangrai kopi melalui *smartphone*. Fitur ini menggunakan aplikasi *Blynk* melalui jaringan *internet*, dengan tampilan yang ditunjukkan pada Gambar 9. Pada tampilan *Blynk* ini terdapat beberapa informasi parameter dari mesin *roasting* kopi seperti status *roasting*, suhu, status asap, status *heater*, dan status motor. Parameter tersebut ditampilkan dengan warna yang berbeda-beda, untuk status *roasting* warna ungu, suhu warna merah, status asap warna toska, status *heater* warna kuning, dan status motor warna ungu muda. Hal ini dapat membantu pengguna untuk memudahkan dalam melihat parameter yang tersedia saat proses sangrai. Selanjutnya terdapat bagian tampilan untuk *controlling* mesin sangrai kopi ini, terdapat tombol *weight* yang digunakan untuk memilih berat kopi yang di sampingnya menunjukkan informasi berat yang dipilih. Terdapat pula tombol mode untuk memilih profil *light* atau *medium* yang di sampingnya juga menampilkan profil yang dipilih. Selain itu terdapat pula tombol *start/stop* untuk memulai dan menghentikan proses sangrai dan *reset* untuk mereset parameter ke nilai awalnya. Fitur IoT ini menggunakan jaringan *internet* untuk mengirim dan menerima data. Data dikirim dari ESP32 ke server *Blynk* kemudian ditampilkan di aplikasi *Blynk* ataupun sebaliknya. Dengan adanya fitur ini diharapkan dapat memudahkan pengguna dalam memantau dan mengontrol mesin sangrai kopi skala kecil ini.

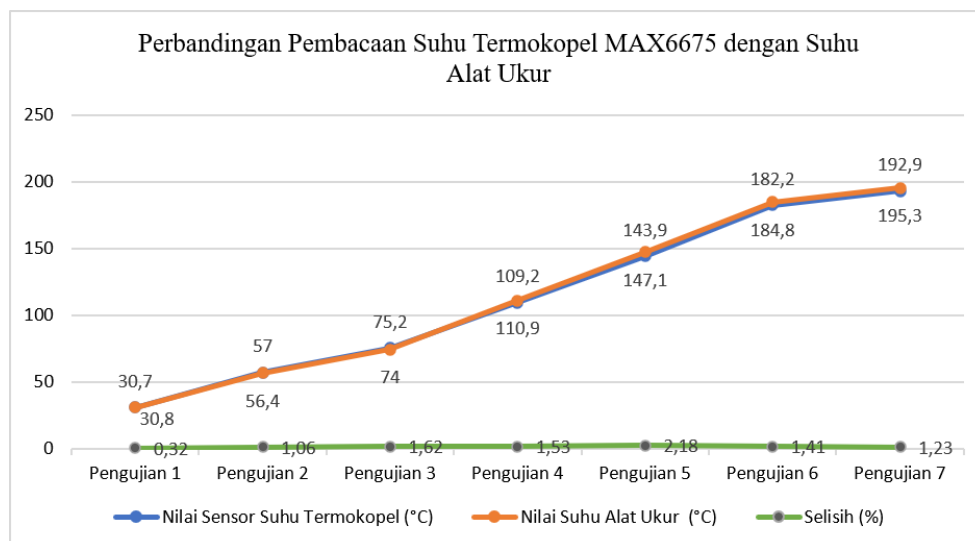
3.2 Hasil Pengujian

3.2.1 Pengujian Sensor Suhu Termokopel Tipe K dengan MAX6675

Pengujian sensor suhu ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik pembacaan sensor suhu termokopel tipe K dengan MAX6675 pada sistem sangrai kopi. Sensor ini digunakan sebagai komponen utama dalam pemantauan suhu selama proses penyangraian. Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan nilai suhu yang terbaca oleh MAX6675 dengan pembacaan suhu dari alat ukur lain yang digunakan sebagai pembanding. Perbandingan ini bertujuan untuk melihat perbedaan hasil pengukuran antara kedua alat pada berbagai kondisi suhu, sehingga dapat diketahui tingkat kesesuaian pembacaan sensor selama proses sangrai berlangsung.

Tabel 2. Hasil Pengujian Sensor Suhu Termokopel dengan MAX6675

No	Nilai Suhu Sensor Termokopel dengan MAX6675 (°C)	Nilai Suhu Alat Ukur (°C)	Selisih (%)
1	30,7	30,8	0,33
2	57,0	56,4	1,05
3	75,2	74	1,60
4	109,2	110,9	1,56
5	143,9	147,1	2,22
6	182,2	184,8	1,43
7	192,9	195,3	1,24



Gambar 10 Grafik Perbandingan Pembacaan Suhu Sensor dengan Suhu Alat Ukur

Tabel 2 merupakan hasil pengujian dengan membandingkan antara pembacaan sensor suhu Termokopel tipe K MAX6675 dengan suhu dari alat ukur, serta perhitungan selisih dari perbandingan pembacaan suhu tersebut. Perhitungan persentase selisih menggunakan rumus dari Persamaan 1.

$$\text{Selisih}(\%) = \frac{|\text{Hasil alat ukur} - \text{Hasil sensor}|}{\text{Hasil alat ukur}} \times 100 \quad (1)$$

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 2, sensor suhu termokopel dengan MAX6675 dapat membaca nilai suhu dengan cukup baik dibandingkan dengan alat ukur. Persentase selisih dari pengujian pembacaan suhu tersebut memiliki nilai yang bervariasi. Hasil pengujian dengan persentase selisih terendah terdapat pada suhu 30,8 C dengan selisih 0,33%, sedangkan untuk selisih dengan persentase tertinggi pada suhu 143,9 C dengan selisih sebesar 2,22 %. Terdapat pula grafik hasil perbandingan pembacaan suhu tersebut pada Gambar 10. Pada Grafik tersebut menampilkan nilai suhu sensor termokopel, nilai suhu alat ukur dan nilai dari persentase selisih perbandingan pembacaan suhu. Selisih pembacaan suhu tersebut terjadi karena adanya nilai toleransi akurasi baik dari sensor suhu termokopel maupun dari alat ukur. Selain itu adanya perbedaan *response time* antara sensor suhu dan alat ukur dapat menyebabkan perbedaan pembacaan nilai suhu tersebut, karena sensor termokopel memiliki *response time* yang lebih cepat dari alat ukur. Meskipun begitu, secara keseluruhan nilai selisih masih tergolong rendah dengan nilai selisih tertinggi sebesar 2,22%. Persentase kesalahan yang dinilai memenuhi standar adalah di bawah 5% (Kurniawan et al., 2022). Persentase selisih tersebut masih jauh dibawah 5 % sehingga hal tersebut dapat memastikan bahwa sensor suhu termokopel masih cukup akurat dan andal dalam membaca nilai suhu pada proses sangrai kopi.

3.2.2 Pengujian Sensor Asap MQ-2

Pada sistem mesin sangrai kopi ini, sensor MQ-2 digunakan sebagai pendeteksi keberadaan asap yang dihasilkan selama proses penyangraian biji kopi. Sensor ini berperan penting dalam sistem keamanan (*safety system*), karena peningkatan konsentrasi asap dapat menjadi indikator terjadinya proses pembakaran berlebih (*over-roasting*) atau kondisi yang tidak normal di dalam *roasting box*. Pengujian sensor MQ-2 dilakukan untuk mengetahui respons sensor terhadap perubahan kadar asap selama proses sangrai, serta memastikan bahwa sistem mampu memberikan tindakan yang sesuai secara otomatis. Hasil pembacaan sensor kemudian diklasifikasikan menjadi dua kondisi, yaitu asap tebal dan asap tipis, yang akan mempengaruhi status sistem seperti *heater*, motor, *buzzer*, dan status sangrai secara keseluruhan.

Tabel 3. Hasil Pengujian Sensor Asap MQ-2

No	Nilai MQ-2	Status Asap	Status Roasting	Heater	Motor	Buzzer
1	136	Asap Tipis	Roasting Run	ON	ON	OFF
2	532	Asap Tipis	Roasting Run	ON	ON	OFF
3	1135	Asap Tipis	Roasting Run	ON	ON	OFF
4	2402	Asap Tipis	Roasting Run	ON	ON	OFF
5	3809	Asap Tebal	Cut Off	OFF	OFF	ON
6	3962	Asap Tebal	Cut Off	OFF	OFF	ON
7	4095	Asap Tebal	Cut Off	OFF	OFF	ON

Sensor MQ-2 pada sistem sangrai kopi digunakan untuk mendeteksi konsentrasi asap yang dihasilkan selama proses penyangraian biji kopi. Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 3, sensor MQ-2 dapat membaca nilai dari pembacaan asap yang bervariasi, yang merepresentasikan perubahan intensitas asap dari kondisi tipis hingga kondisi tebal. Sistem menggunakan nilai ambang (*threshold*) sebesar 3800 sebagai batas penentuan kondisi asap. Ketika nilai sensor masih berada di bawah atau mencapai 3800, sistem mengklasifikasikan kondisi sebagai asap tipis, dan proses sangrai tetap berjalan normal dengan status *Roasting Run*, di mana *heater* dan motor tetap aktif (*ON*). Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi tersebut, asap masih dalam batas aman dan tidak mengganggu proses penyangraian. Namun, ketika nilai MQ-2 melebihi 3800, sistem secara otomatis mengubah status menjadi asap tebal. Kondisi ini menandakan adanya peningkatan konsentrasi asap yang signifikan, yang dapat mengindikasikan potensi *over-roasting* atau kondisi yang tidak normal di dalam *roasting box*. Sebagai respons, sistem melakukan tindakan pengamanan berupa *cut off*, yaitu *heater* dan motor dimatikan (*OFF*), serta *buzzer* diaktifkan (*ON*) sebagai alarm peringatan kepada pengguna.

Pengujian tersebut menunjukkan bahwa sensor MQ-2 dapat bekerja dengan baik dalam mendeteksi perubahan konsentrasi asap, serta sistem mampu merespons secara otomatis berdasarkan *threshold* yang telah ditentukan, sehingga sistem dapat menjalankan proses sangrai kopi secara stabil dan aman sesuai dengan rancangan yang telah dibuat.

3.2.3 Pengujian Hasil Sangrai Kopi

Pengujian hasil sangrai dilakukan untuk mengevaluasi kinerja mesin sangrai kopi yang telah dirancang serta mengetahui tingkat keberhasilan proses sangrai berdasarkan parameter yang telah ditentukan. Pada pengujian ini, biji kopi disangrai dengan variasi berat dan mode sangrai yang berbeda, yaitu *light roast* dan *medium roast*. Selama proses sangrai berlangsung, sistem memantau suhu menggunakan sensor termokopel untuk memastikan proses sangrai berjalan sesuai target. Data hasil pengujian kemudian dianalisis untuk mengetahui kesesuaian antara proses yang berlangsung dengan hasil sangrai yang diperoleh. Hasil pengujian ini digunakan untuk menilai kemampuan sistem dalam mencapai tingkat sangrai yang diinginkan serta memastikan mesin dapat beroperasi secara konsisten dan andal selama proses sangrai.

Tabel 4. Pengujian Hasil Sangrai Kopi

No	Berat (g)	Mode Sangrai	Suhu Awal (°C)	Suhu Akhir (°C)	Waktu	RoR (°C/menit)	Hasil Sangrai
1	100	Light Roast	30,2	192	22 menit 51 detik	7,08	
2	200	Light Roast	29,5	198	29 menit 18 detik	5,75	
3	300	Light Roast	31	201	34 menit	5	

No	Berat (g)	Mode Sangrai	Suhu Awal (°C)	Suhu Akhir (°C)	Waktu	RoR (°C/menit)	Hasil Sangrai
4	100	Medium Roast	30,2	201	26 menit 4 detik	6,55	
5	200	Medium Roast	31	203	31 menit 16 detik	5,5	
6	300	Medium Roast	31	206	37 menit 16 detik	4,7	

Tabel 4 merupakan tabel hasil pengujian yang menunjukkan data proses sangrai kopi menggunakan alat yang telah dirancang dengan dua mode sangrai, yaitu *Light Roast* dan *Medium Roast*, pada variasi berat kopi 100 gram, 200 gram, dan 300 gram. Parameter yang diamati meliputi suhu awal, suhu akhir, waktu sangrai, nilai *Rate of Rise* (RoR), dan hasil visual biji kopi setelah proses sangrai.

Pada mode *Light Roast*, suhu akhir yang dicapai berturut-turut adalah 192°C untuk berat 100 gram, 198°C untuk berat 200 gram, dan 201°C untuk berat 300 gram. Pada mode *Medium Roast*, suhu akhir sangrai ditetapkan lebih tinggi dibandingkan *Light Roast*, yaitu 201°C untuk berat 100 gram, 203°C untuk berat 200 gram, dan 206°C untuk berat 300 gram. Suhu tersebut digunakan sebagai batas penghentian proses sangrai untuk memperoleh tingkat sangrai ringan. Setelah suhu target tercapai, sistem secara otomatis mematikan pemanas dan motor pengaduk sebagai tanda bahwa proses sangrai telah selesai. Selain suhu, parameter yang diamati adalah waktu sangrai, yaitu

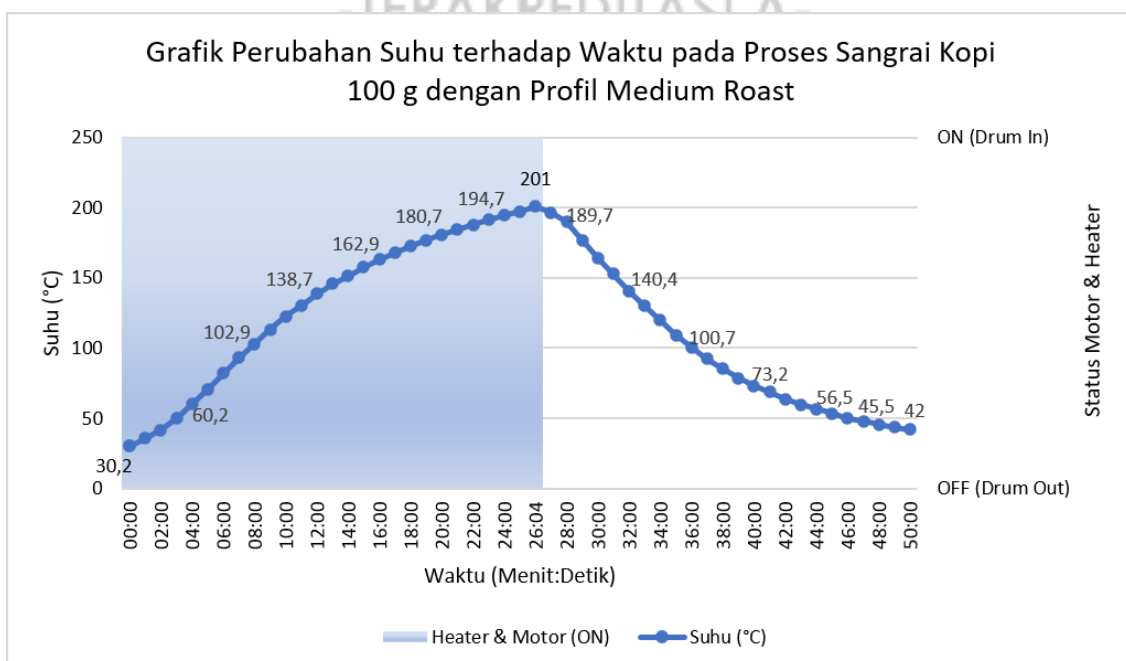
lama waktu yang diperlukan sejak proses dimulai hingga mencapai suhu target sesuai dengan mode yang dipilih.

Parameter berikutnya adalah *Rate of Rise* (RoR). RoR merupakan indikator yang menunjukkan kecepatan kenaikan suhu selama proses sangrai dan dinyatakan dalam satuan derajat Celsius per menit ($^{\circ}\text{C}/\text{menit}$). Nilai RoR diperoleh dari perbandingan antara kenaikan suhu yang terjadi selama proses sangrai dengan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu akhir. RoR dihitung menggunakan rumus dari Persamaan 2.

$$\text{RoR} (^{\circ}\text{C}/\text{menit}) = \frac{\text{Suhu Akhir} - \text{Suhu Awal}}{\text{Waktu}} \quad (2)$$

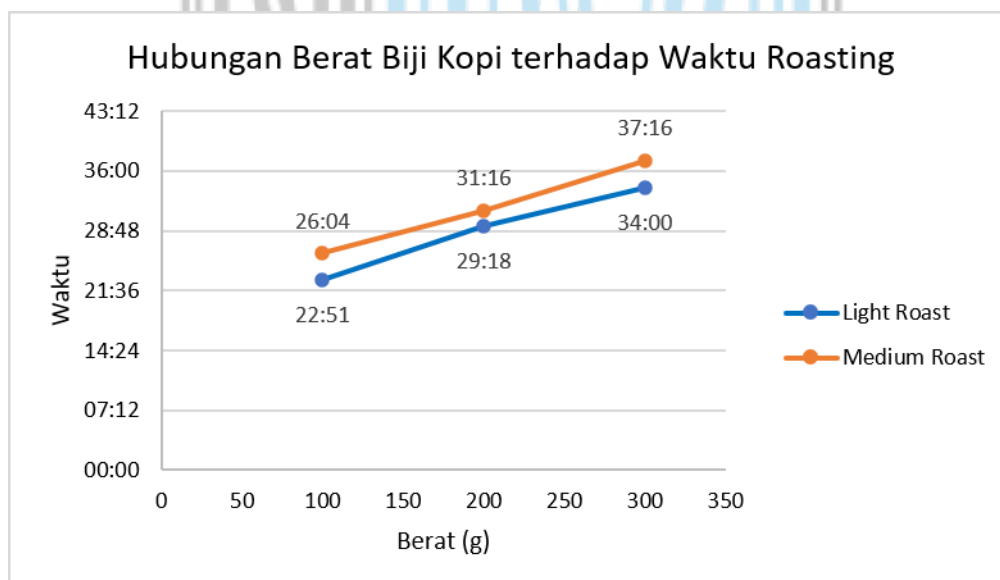
Hasil pengujian juga ditunjukkan melalui foto biji kopi setelah proses sangrai selesai. Pada mode *Light Roast*, biji kopi memiliki warna coklat muda hingga coklat keemasan. Permukaan biji masih terlihat relatif terang dan belum menunjukkan perubahan warna yang terlalu gelap. Kondisi ini menunjukkan bahwa proses sangrai dihentikan pada tingkat kematangan ringan sehingga karakter asli biji kopi masih lebih dominan.

Sementara itu, pada mode *Medium Roast*, warna biji kopi terlihat lebih gelap dibandingkan hasil *Light Roast*. Warna coklat yang dihasilkan tampak lebih pekat dan merata pada seluruh permukaan biji. Perubahan warna tersebut menunjukkan bahwa biji kopi mengalami proses pemanasan yang lebih lanjut sehingga tingkat kematangannya lebih tinggi dibandingkan *Light Roast*. Berdasarkan hasil pengujian, data selanjutnya dianalisis dalam bentuk grafik. Pembahasan pertama difokuskan pada analisis perubahan suhu selama proses sangrai 100g Medium Roast yang ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11 Grafik Perubahan Suhu terhadap Waktu pada Sangrai 100g Medium Roast

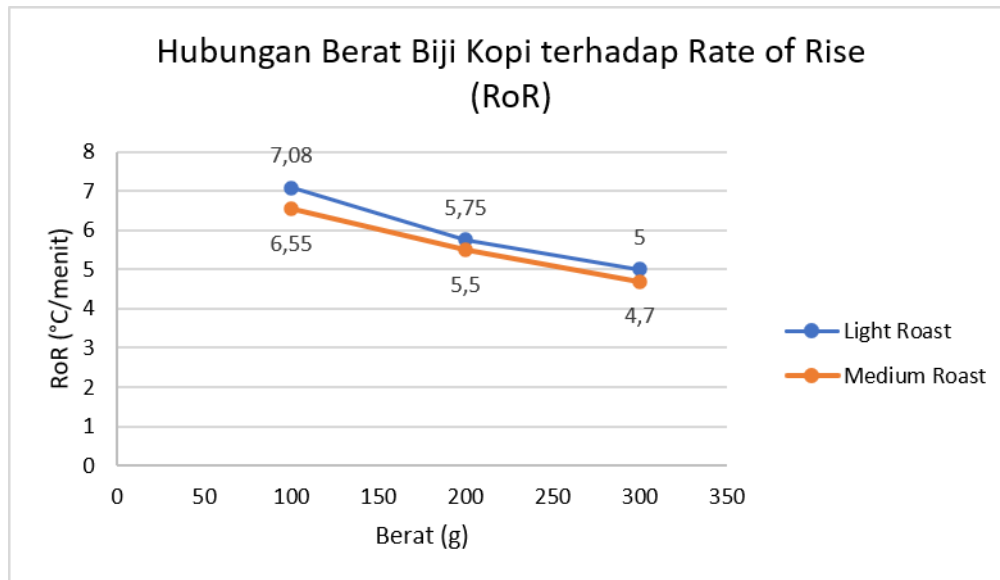
Berdasarkan Gambar 11, suhu awal ruang sangrai sebesar $30,2^{\circ}\text{C}$ mengalami peningkatan secara bertahap hingga mencapai suhu target 201°C pada menit 26:04. Pada fase awal proses sangrai, laju kenaikan suhu relatif cepat, terlihat dari peningkatan suhu dari $30,2^{\circ}\text{C}$ menjadi $102,9^{\circ}\text{C}$ dalam 8 menit pertama. Kondisi ini terjadi karena perbedaan suhu antara sumber panas dan ruang sangrai masih besar sehingga perpindahan panas berlangsung lebih efektif. Namun, seiring bertambahnya suhu, laju kenaikan temperatur cenderung melambat. Hal ini terlihat dari kenaikan suhu yang semakin kecil ketika mendekati suhu target, misalnya dari $194,7^{\circ}\text{C}$ pada menit 24 menjadi 201°C pada menit 26:04. Setelah suhu target tercapai, sistem secara otomatis mematikan heater dan motor sehingga proses pemanasan berhenti. Pada fase pendinginan, suhu mengalami penurunan yang relatif cepat pada menit-menit awal, yaitu dari 201°C menjadi $140,4^{\circ}\text{C}$ dalam waktu sekitar 6 menit. Selanjutnya laju penurunan suhu semakin lambat ketika temperatur mendekati suhu lingkungan, ditunjukkan oleh penurunan suhu dari $56,5^{\circ}\text{C}$ pada menit 44 menjadi 42°C pada menit 50. Pola tersebut menunjukkan karakteristik perpindahan panas yang umum terjadi, yaitu laju perubahan suhu akan lebih besar saat perbedaan temperatur tinggi dan semakin kecil ketika temperatur sistem mendekati kondisi kesetimbangan dengan lingkungan sekitar. Kemudian, dilakukan analisis hubungan antara berat biji kopi dan waktu sangrai.



Gambar 12 Grafik Hubungan Berat Biji Kopi terhadap Waktu Sangrai

Berdasarkan grafik hubungan berat biji kopi terhadap waktu sangrai pada Gambar 12, terlihat bahwa semakin besar berat kopi yang digunakan maka waktu sangrai yang dibutuhkan juga semakin lama pada kedua mode, yaitu *Light Roast* dan *Medium Roast*. Pada *Light Roast*, waktu meningkat dari 22 menit 51 detik (100 g), 29 menit 18 detik (200 g), hingga 34 menit (300 g), sedangkan pada *Medium Roast* meningkat dari 26 menit 4 detik, 31 menit 16 detik, hingga 37 menit 16 detik untuk berat yang sama. Perbedaan waktu antara kedua mode menunjukkan bahwa *Medium Roast*

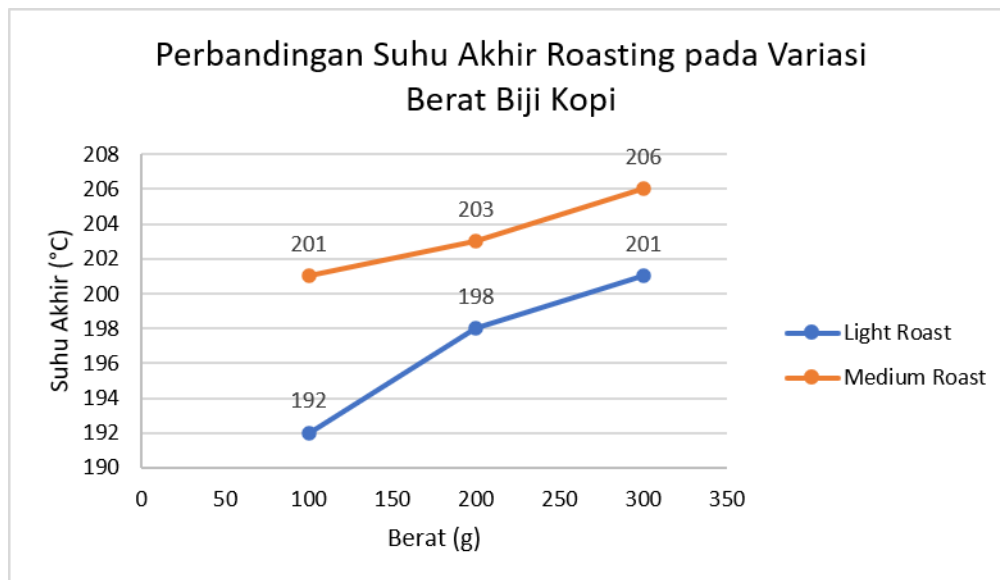
membutuhkan durasi lebih lama karena target suhu yang lebih tinggi dibanding *Light Roast*. Secara keseluruhan, grafik menunjukkan kecenderungan peningkatan waktu sangrai seiring bertambahnya berat biji kopi yang digunakan. Selanjutnya, dilakukan analisis hubungan antara berat biji kopi dan nilai *Rate of Rise* (RoR) untuk mengetahui perubahan laju kenaikan suhu pada setiap variasi berat yang digunakan selama proses sangrai.



Gambar 13 Grafik Hubungan Berat Biji Kopi terhadap Rate of Rise (ROR)

Berdasarkan grafik hubungan berat biji kopi terhadap *Rate of Rise* (RoR) pada Gambar 13, terlihat bahwa nilai RoR mengalami penurunan seiring bertambahnya berat biji kopi pada kedua mode sangrai, yaitu *Light Roast* dan *Medium Roast*. Pada mode *Light Roast*, nilai RoR menurun dari 7,08°C/menit pada berat 100 g menjadi 5,75°C/menit pada berat 200 g, kemudian kembali menurun menjadi 5°C/menit pada berat 300 g. Pola penurunan yang serupa juga terjadi pada mode *Medium Roast*, yaitu dari 6,55°C/menit pada berat 100 g menjadi 5,5°C/menit pada berat 200 g, dan mencapai 4,7°C/menit pada berat 300 g. Hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin besar berat biji kopi yang disangrai, semakin rendah laju kenaikan suhu yang terjadi selama proses penyangraian. Kondisi ini disebabkan oleh meningkatnya massa biji kopi yang harus dipanaskan, sehingga energi panas yang diberikan oleh *heater* harus didistribusikan ke jumlah biji yang lebih banyak. Akibatnya, proses penyerapan panas berlangsung lebih lambat sehingga kenaikan suhu per satuan waktu atau nilai *Rate of Rise* (RoR) menjadi lebih kecil. Selain itu, pada setiap variasi berat terlihat bahwa mode *Light Roast* memiliki nilai RoR yang sedikit lebih tinggi dibandingkan mode *Medium Roast*, yang menunjukkan bahwa laju kenaikan suhu pada tahap penyangraian *Light Roast* cenderung lebih cepat. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa berat biji kopi merupakan salah satu faktor yang memengaruhi nilai RoR selama proses penyangraian, di mana peningkatan berat biji kopi menyebabkan penurunan laju kenaikan suhu. Tahap berikutnya akan membahas perbandingan suhu

akhir sangrai pada berbagai variasi berat biji kopi untuk mengetahui perbedaan pencapaian suhu pada setiap kondisi pengujian dan mode sangrai yang digunakan.



Gambar 14 Grafik Perbandingan Suhu Akhir Sangrai pada Variasi Berat Kopi

Berdasarkan grafik pada Gambar 14, suhu akhir sangrai menunjukkan tren meningkat seiring bertambahnya berat biji kopi pada kedua tingkat sangrai. Pada *Light Roast*, suhu akhir naik dari 192°C pada berat 100 g menjadi 198°C pada 200 g dan 201°C pada 300 g. Sementara itu, pada *Medium Roast*, suhu akhir meningkat dari 201°C menjadi 203°C dan mencapai 206°C pada berat 300 g. Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan berat biji kopi cenderung meningkatkan suhu akhir yang dicapai selama proses sangrai. Selain itu, *Medium Roast* secara konsisten menghasilkan suhu akhir yang lebih tinggi dibandingkan *Light Roast* pada setiap variasi berat, dengan selisih suhu berkisar antara 5–9°C. Hal ini mengindikasikan bahwa tingkat sangrai memiliki pengaruh yang signifikan terhadap suhu akhir, di mana *Medium Roast* memerlukan suhu yang lebih tinggi untuk mencapai karakteristik sangrai yang diinginkan. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa peningkatan berat biji kopi berbanding lurus dengan kenaikan suhu akhir sangrai, dan *Medium Roast* selalu menghasilkan suhu akhir yang lebih tinggi dibandingkan *Light Roast* pada seluruh variasi berat biji kopi yang diuji.

Berdasarkan hasil pengujian dari pengamatan parameter teknis, sistem sangrai yang dirancang mampu bekerja dengan baik dalam mengontrol proses sangrai sesuai parameter yang telah ditetapkan. Hal ini ditunjukkan oleh keberhasilan sistem dalam mencapai suhu target, menghasilkan perbedaan tingkat sangrai sesuai mode yang dipilih, serta menunjukkan pola perubahan waktu sangrai dan nilai RoR yang konsisten pada setiap variasi berat biji kopi. Dengan demikian, alat sangrai yang dikembangkan dapat dikatakan mampu melakukan proses sangrai secara otomatis dan menghasilkan tingkat kematangan sangrai yang sesuai dengan pengaturan yang diberikan.

Setelah dilakukan pengujian terhadap parameter teknis mesin sangrai, tahap selanjutnya adalah pengujian hasil sangrai berdasarkan penilaian ahli (*expert judgment*). Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kesesuaian hasil sangrai yang dihasilkan mesin dengan karakteristik sangrai yang diharapkan. Penilaian dilakukan oleh dua orang ahli yang memiliki pengalaman dan pemahaman di bidang pengolahan serta sangrai kopi. Masing-masing ahli diminta untuk mengamati dan mengevaluasi hasil sangrai yang diperoleh dari setiap variasi berat kopi dan mode sangrai yang digunakan. Pengujian hasil sangrai dilakukan melalui penilaian oleh dua orang ahli sangrai kopi yang berasal dari tempat usaha yang berbeda. Ahli pertama adalah Saudara Ochid selaku manajer divisi *roaster* di Koeslan Coffee, sedangkan ahli kedua adalah Saudara Raymond yang berprofesi sebagai *roaster* dan *barista* di Swargi Roaster Workshop. Penilaian dilakukan berdasarkan pengamatan terhadap hasil sangrai pada seluruh variasi berat kopi dengan mode *Light Roast* dan *Medium Roast*.

Tabel 5. Hasil Penilaian *Expert* Sangrai Kopi

Nama Roaster	Hasil Pendapat	Saran
Ociid Cristian	Baik	Mode <i>Medium Roast</i> sudah sesuai profil, namun dapat ditingkatkan dengan sedikit penambahan durasi untuk menghasilkan aroma yang lebih keluar dan kompleks.
Christoper Raymond	Baik	Mode <i>Medium Roast</i> dapat dibuat sedikit lebih gelap, sedangkan untuk <i>Light Roast</i> sudah sesuai dengan karakteristik yang diharapkan.

Berdasarkan hasil penilaian, Saudara Ochid menyatakan bahwa hasil sangrai yang dihasilkan oleh mesin sudah cukup baik dan sesuai dengan profil *Light Roast* maupun *Medium Roast* untuk semua variasi berat kopi yang diuji. Selain itu, tingkat kematangan biji kopi dinilai sudah merata dan menunjukkan keseragaman hasil yang baik. Namun demikian, beliau memberikan saran bahwa pada mode *Medium Roast*, meskipun sudah sesuai dengan profil yang diharapkan, proses sangrai dapat dikembangkan dengan sedikit penambahan durasi agar aroma yang dihasilkan dapat lebih keluar dan lebih kompleks, meskipun secara keseluruhan hasil sangrai sudah tergolong baik.

Sementara itu, Saudara Raymond menyampaikan bahwa hasil sangrai yang dihasilkan mesin telah sesuai dengan profil sangrai, baik pada mode *Light Roast* maupun *Medium Roast*. Beliau

menilai bahwa hasil sangrai sudah cukup baik, dengan tingkat kematangan yang merata dan seragam pada setiap sampel yang diuji. Selain itu, kualitas sangrai secara keseluruhan juga dinilai sudah baik dan konsisten. Adapun saran yang diberikan adalah pada mode *Medium Roast* warna biji kopi dapat dibuat sedikit lebih gelap, sedangkan pada mode *Light Roast* hasil yang diperoleh sudah sesuai dengan karakteristik yang diharapkan. Berdasarkan hasil penilaian kedua ahli tersebut, dapat disimpulkan bahwa mesin sangrai yang dirancang telah mampu menghasilkan tingkat sangrai yang sesuai dengan profil *Light Roast* dan *Medium Roast* yang diinginkan, dengan tingkat keseragaman yang baik pada seluruh variasi berat kopi yang diuji.

4. PENUTUP

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem mesin sangrai kopi skala kecil berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan ESP32, dapat disimpulkan bahwa sistem yang dikembangkan telah berhasil mencapai tujuan penelitian, yaitu merancang sistem sangrai kopi yang mampu melakukan pengendalian suhu, pemantauan kondisi proses, serta menghasilkan tingkat sangrai yang konsisten.

Sistem kontrol suhu menggunakan sensor termokopel tipe K dengan modul MAX6675 mampu memantau suhu proses sangrai dengan baik dan digunakan sebagai acuan pengendalian *heater*, dengan tingkat kesalahan yang masih berada dalam batas toleransi sehingga layak digunakan dalam sistem. Selain itu, sensor MQ-2 berfungsi sebagai sistem keamanan dengan mendeteksi perubahan konsentrasi asap selama proses sangrai, di mana sistem secara otomatis melakukan tindakan *cut off* dengan mematikan *heater* dan motor serta memberikan peringatan ketika nilai asap melebihi ambang batas yang telah ditentukan.

Sistem mampu menjalankan proses sangrai pada mode *Light Roast* dan *Medium Roast* dengan variasi berat 100 gram, 200 gram, dan 300 gram, serta mencapai suhu target yang telah ditentukan dengan pola waktu sangrai dan *Rate of Rise* (RoR) yang konsisten. Hasil visual menunjukkan tingkat kematangan biji kopi sesuai dengan karakteristik masing-masing mode, untuk video demo mesin roasting kopi ini dapat dilihat pada tautan <https://youtu.be/EGQ-VmOX7YQ> atau dengan memindai QR Code dibawah ini :



Gambar 15. QR Code Dokumentasi Mesin Sangrai Kopi

Selain itu, hasil *expert judgement* menunjukkan bahwa kualitas sangrai sudah baik, merata, dan konsisten pada seluruh variasi yang diuji. Integrasi teknologi IoT melalui platform *Blynk* memungkinkan sistem untuk dipantau dan dikendalikan secara *real-time*, sehingga meningkatkan efisiensi, kemudahan operasional, serta memberikan fleksibilitas dalam proses sangrai kopi.

Pada pengembangan sistem lebih lanjut, terdapat beberapa saran yang dapat dipertimbangkan, antara lain:

1. Pengembangan sistem profiling sangrai yang lebih detail dapat diterapkan agar variasi tingkat sangrai tidak hanya terbatas pada *Light Roast* dan *Medium Roast*, tetapi juga dapat mencakup tingkat lain seperti *Dark Roast*.
2. Implementasi data *logging* berbasis *cloud* dapat ditambahkan untuk menyimpan riwayat proses sangrai sehingga dapat digunakan untuk analisis dan evaluasi jangka panjang.
3. Sistem dapat dikembangkan dengan menggunakan beberapa *heater* yang dikontrol secara bertingkat (*multi-stage*), sehingga pemanasan dapat diatur dengan mengaktifkan satu, sebagian, atau seluruh heater untuk meningkatkan kestabilan suhu dan efisiensi energi.
4. Sistem IoT dapat dikembangkan dengan meningkatkan tampilan antarmuka aplikasi menjadi lebih interaktif, seperti penambahan grafik *real-time* suhu dan RoR serta indikator status proses sangrai agar *monitoring* lebih informatif dan mudah dipahami.

PERSANTUNAN

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini dengan baik. Dalam proses penyelesaian tugas akhir ini, penulis menyadari bahwa terdapat banyak pihak yang telah memberikan dukungan, bantuan, serta doa. Oleh karena itu, penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, yang selalu hadir memberikan cinta, doa, dan dukungan tanpa henti, baik dalam bentuk motivasi moral maupun dukungan material. Setiap doa dan pengorbanan yang diberikan menjadi kekuatan utama bagi penulis dalam menghadapi berbagai tantangan selama proses perkuliahan hingga penyelesaian skripsi ini.
2. Bapak Fajar Suryawan, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D selaku dosen pembimbing, yang telah dengan penuh kesabaran membimbing penulis melalui berbagai arahan, koreksi, serta masukan yang sangat berharga. Bimbingan yang diberikan tidak hanya membantu dalam penyusunan skripsi, tetapi juga memberikan wawasan dan pemahaman yang lebih mendalam terkait bidang penelitian yang dikerjakan.

3. Kakak dan seluruh saudara penulis, yang senantiasa memberikan dukungan, perhatian, serta semangat dan bantuan dalam setiap proses yang dijalani. Kehadiran mereka menjadi salah satu sumber motivasi bagi penulis untuk tetap konsisten dalam menyelesaikan studi hingga tahap akhir.
4. Rekan-rekan Mahasiswa Teknik Elektro, yang telah menjadi teman diskusi, berbagi ilmu, serta saling membantu dalam berbagai proses akademik maupun penyusunan tugas akhir. Kebersamaan dan kerja sama yang terjalin memberikan banyak pengalaman berharga selama masa perkuliahan.
5. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah memberikan bantuan dalam berbagai bentuk, baik secara langsung maupun tidak langsung, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Setiap dukungan yang diberikan sangat berarti bagi penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.

Semoga segala bantuan, dukungan, dan kebaikan yang telah diberikan kepada penulis mendapatkan balasan yang berlipat ganda dari Allah SWT serta dicatat sebagai amal kebaikan.



DAFTAR PUSTAKA

- Amri, A., & Husaini, H. (2023). RANCANG BANGUN ALAT PENDETEKSI SUHU PADA PENYANGRAI BIJI KOPI BERBASIS INTERNET of THINGS. *Journal of Artificial Intelligence and Software Engineering (J-AISE)*, 3(1), 18.
<https://doi.org/10.30811/jaise.v3i1.4136>
- Arifuddin, R., Mujahidin, I., & Wikantiyoso, R. (2021). *Sistem Kontrol Suhu dan Waktu Otomatis Mesin Roasting Kopi Portabel*. 4, 4–7. <https://doi.org/https://doi.org/10.30651/cl.v4i2.6517>
- Badan Pusat Statistik. (2025). *STATISTIK TANAMAN PERKEBUNAN TAHUNAN INDONESIA 2024* (Vol. 1). Badan Pusat Statistik.
- Katsuhiko Ogata. (2010). Modern control engineering. In *Modern Control Engineering*. Pearson Education, Inc. <https://doi.org/10.1201/9781315214573>
- Kurniawan, E., Pangaudi, D. S., & Widjatmoko, N. (2022). *Perancangan Sistem Monitoring Konsumsi Daya Listrik Berbasis Android*. 5(01), 63–68.
<https://doi.org/https://doi.org/10.30651/cl.v5i1.8772>
- Maulina, H., & Idkham, M. (2022). *Uji Kinerja Mesin Penyangrai Kopi Dengan Menggunakan Sumber Elemen Pemanas Listrik (Heater) dan Tenaga Penggerak Motor Listrik (Coffee Roasting Machine Performance Test Using an Electric Heating Source and an Electric Motor)*. 7, 535–542. <https://doi.org/https://doi.org/10.17969/jimfp.v7i1.19025>
- Pakaya, I. M., Purwantana, B., & Dharmawan, A. (2025). *CYLINDER-TYPE COFFEE ROASTING MACHINE Analysis Kinerja dan Kualitas Penyangraian dalam Mesin Penyangrai Kopi Tipe Silinder Putar Rotary cylinder coffee roasting machine*. 7(2), 123–132.
- Rizal, M., Sondakh, D. E., Mahmudi, I. F. A., & Hidayat, W. (2023). *Konsep & Implementasi Internet Of Things (IoT)* (M. J. F. Sirait (ed.)). Yayasan Kita Menulis.
- Rosiana, E., & Risaldi, Y. (2021). Rancang Bangun Mesin Sangrai Kopi Dengan Mikrokontroler Arduino Uno. *EPIC Journal of Electrical Power Instrumentation and Control*, 4(1), 53.
<https://doi.org/10.32493/epic.v4i1.12865>
- Towaha, J., Purwanto, E. H., Iflah, T., & Tarigan, E. B. (2018). *TEKNOLOGI PENGOLAHAN KOPI Upaya Peningkatan Mutu dan Nilai Tambah Kopi Rakyat*. INDONESIAN AGENCY FOR AGRICULTURAL RESEARCH AND DEVELOPMENT (IAARD) PRESS.