

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kopi merupakan salah satu komoditi perkebunan yang memiliki nilai ekonomis yang cukup tinggi dan juga berperan penting sebagai salah satu sumber devisa negara terbesar. Berdasarkan data *International Coffee Organisation* (ICO) pada tahun 2019 Indonesia terdapat di peringkat ketiga di dunia sebagai negara yang memiliki jumlah petani kopi terbesar yakni berjumlah 1,3 juta jiwa. Bahkan dalam 10 Tahun terakhir industri kopi di Indonesia mengalami pertumbuhan yang sangat signifikan hingga 250% dengan luas lahan sekitar 1,25 juta ha dan total produksi 761 ribu per tahun (Kemenko Perekonomian, 2021). Bahkan kopi merupakan komoditas hasil alam terpenting ketiga di Indonesia setelah kelapa sawit dan karet alam yang menyumbangkan presentasi 16,15% terhadap PDB perkebunan (Airlangga, 2021).

Sebelum dikonsumsi, biji kopi yang baru dipanen akan melalui berbagai proses untuk menjadi bubuk kopi siap seduh. Salah satu proses pengolahan biji kopi yang memiliki peran yang sangat penting untuk menciptakan cita rasa kopi yang khas adalah proses sangrai atau *roasting*. Pada dasarnya *roasting* kopi merupakan proses mengeluarkan kadar air pada biji kopi sehingga dapat mengurangi berat biji kopi serta dapat mengeluarkan cita rasa dan aroma pada kopi tersebut. Umumnya biji kopi yang dihasilkan dari proses *roasting* dibedakan menjadi 3 kategori, yaitu *light roast*, *medium roast*, dan *dark roast*.

Bahkan menurut *International Coffee Organisation* (ICO) Indonesia merupakan negara kedua di dunia dengan tingkat konsumsi kopi setelah Brazil yang mencapai 5.000 juta karung kopi dalam periode 2020-2021. Hal ini berbanding lurus dengan permintaan biji kopi *roasting* di Indonesia yang semakin meningkat. Akan tetapi, masih banyak hasil *roasting* kopi yang tidak merata dan membuat cita rasa dan aroma menjadi tidak maksimal. Seperti halnya jika membeli biji kopi *medium roast*, kita hanya akan mendapatkan biji kopi dengan tingkat kematangan *medium roast* sebanyak 80-90% dan selebihnya merupakan biji kopi yang tingkat kematangannya berbeda dari tingkat kematangan yang kita pesan. Bahkan di beberapa tempat *roasting* yang tingkat akurasi dari kematangan biji kopi itu hanya berkisar diantara 60-70%. Maka dari itu, untuk meningkatkan kualitas kopi agar semakin meningkat, dibutuhkan sebuah sistem yang dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas biji kopi hasil *roasting*.

Perkembangan teknologi yang semakin pesat memunculkan beberapa teknologi baru, salah satunya adalah *Internet of Things* atau biasanya dikenal dengan IoT. *Internet of Things* adalah sebuah teknologi yang memanfaatkan internet untuk melakukan pengendalian, komunikasi, kontrol sensor, dan pengambilan data pada perangkat keras melalui jaringan internet. Konsep IoT ini dapat kita terapkan pada mesin *roasting* kopi guna melakukan pengontrolan kepada mesin *roasting* untuk meningkatkan tingkat akurasi dan mengoptimalkan kinerja mesin *roasting*.

Salah satu teknologi yang dapat kita gunakan dalam melakukan pengukuran terhadap tingkat keakuratan hasil *roasting* biji kopi adalah dengan menggunakan *Artificial Intelligence* (AI). Salah satu algoritma dalam pemrosesan citra digital secara *real time* yang mulai banyak digunakan adalah algoritma *You Only Look Once* (YOLO). YOLO merupakan salah satu algoritma yang dapat mendeteksi dengan kecepatan proses dan keakuratan yang tinggi. Algoritma ini dijalankan di *framework* yaitu *pyTorch* dan didukung oleh *Graphics Processing Unit* (GPU).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang terdapat pada latar belakang, rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Bagaimana merancang dan membangun mesin *roasting* kopi otomatis berbasis *Internet of Things*?
- b. Bagaimana cara menerapkan prinsip *Artificial Intelligence* untuk meningkatkan kualitas biji kopi yang dihasilkan oleh mesin *roasting* kopi otomatis?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini tidak meluas, maka ditetapkan batasan masalah sebagai berikut.

- a. Alat *roasting* kopi yang dibuat menggunakan prinsip-prinsip *Internet of Things* untuk mengontrol sensor dan mengambil data yang akan disimpan di *database*.
- b. Algoritma *Artificial Intelligence* yang digunakan untuk membuat *realtime object detection* merupakan algoritma *You Only Look Once* (YOLO) dengan memilih salah satu varian yaitu algoritma YOLOv8.
- c. Algoritma yang digunakan untuk memprediksi waktu dan suhu untuk mengoptimalkan hasil *roasting* adalah *algoritma Recurrent Neural Network – Gated Recurrent Unit*.
- d. Kopi yang digunakan adalah jenis *green bean* kopi robusta dengan tingkat kadar air 10-13 persen.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Mengimplementasikan prinsip-prinsip *Internet of Things* pada mesin *roasting* kopi.
- b. Mengimplementasikan *real-time object detection* untuk mendeteksi akurasi tingkat kematangan pada mesin *roasting* kopi.
- c. Mengimplementasikan algoritma *deep learning* untuk mengoptimalkan hasil dari mesin *roasting* kopi.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Dapat meningkatkan keakuratan tingkat kematangan pada mesin *roasting* kopi.
- b. Membantu para *peroasting* kopi untuk meningkatkan hasil *roasting* biji kopi yang dihasilkan sehingga biji kopi yang dihasilkan dapat menghasilkan aroma dan cita rasa yang optimal.

- c. Memberikan pengetahuan kepada para pegiat kopi tentang *Internet of Things* dan juga *Artificial Intelligence*.
- d. Dapat memberikan kontribusi terhadap perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya dalam industri roasting biji kopi sehingga dapat mengoptimalkan hasil *roasting* biji kopi

1.6 Landasan Teori

1.6.1 Kopi

Kopi pertama kali ditemukan di dataran tinggi Ethiopia pada abad ke-9 yang juga dikenal sebagai kefa (kaffa). Konon orang yang pertama kali menemukan kopi ialah sebuah pengembala kambing dari Abyssinian yang bernama Kaldi. Setelah memakan buah berwarna merah yang tumbuh di dataran tinggi, Kaldi melihat kambingnya berkelakuan aneh. Kaldi yang penasaran akhirnya mencoba buah tersebut dan merasakan energi dari buah tersebut. Kaldi akhirnya melaporkan hasil temuannya ke kepala biara dan setelah itu informasi tentang buah itu semakin tersebar. Pada akhirnya berita ini bergerak ke timur dan mencapai semenanjung arab, hal inilah yang memulai perjalanan kopi yang tersebar ke seluruh dunia.

Di Indonesia sendiri kopi pertama kali masuk pada abad XVI, pada saat itu Indonesia masih dibawah jajahan Belanda VOC membawa tanaman kopi Arabica ke tanah air. Pemerintahan Belanda ingin meruntuhkan monopoli negara arab terhadap perdagangan kopi di dunia. Pertama kali bibit kopi ditanam di daerah sekitar Batavia (Jakarta), akan tetapi seiring meningkatnya permintaan pasar, maka penanaman bibit kopi mulai tersebar ke beberapa wilayah jajahan Belanda di Indonesia.

Jika kita mendengar kata kopi maka hal yang terpikirkan di kepala kita adalah sebuah minuman yang memiliki cita rasa yang khas. Akan tetapi untuk menikmati kopi ini, dibutuhkan beberapa tahapan dimulai dari memanen biji kopi, melakukan penjemuran biji kopi, sangrai biji kopi, penggilingan biji kopi, hingga penyeduhan biji yang telah digiling menjadi kopi yang siap dinikmati.

Salah satu proses yang penting demi menghasilkan cita rasa kopi yang khas adalah proses sangrai atau *roasting* biji kopi. Proses ini dibutuhkan untuk mengurangi kadar air dan juga mengeluarkan cita rasa kopi yang khas. Pada umumnya ada 3 jenis kematangan pada proses roasting kopi, yaitu *light roast*, *medium roast*, dan *dark roast*.

1.6.2 Internet of Things

Konsep perangkat yang terhubung sendiri berasal dari tahun 1832, ketika telegraf elektromagnetik pertama kali dirancang, telegraf ini memungkinkan komunikasi langsung antara dua mesin melalui transfer sinyal listrik. Namun perkembangan *Internet of Things* mulai berkembang seiring dengan ditemukannya internet pada tahun 1989, yang berkembang sangat pesat beberapa dekade berikutnya.

Akhirnya, pada tahun 1999 Kevin Ashton yang merupakan direktur eksekutif Auto ID Centre di MIT menciptakan *The Internet of Things* dan juga perangkat berbasis *Radio*

Frequency Identification atau RFID global pada tahun yang sama. Penemuan ini merupakan sebuah lompatan besar dalam perkembangan pasar *Internet of Things*.

Kemudian, di jaman modern seperti sekarang ini, perkembangan Internet of Things sudah sangat pesat. Beberapa sektor baik dibidang pembayaran dan pelayanan banyak mengadopsi sistem *Internet of Things*. Salah satu teknologi *Internet of Things* yang masih hangat adalah teknologi yang digunakan pada piala dunia 2022 di Qatar. Dengan menggabungkan teknologi dari tracking camera dan sensor yang ditanamkan pada bola Al-Rihla, posisi pemain dan bola bisa di track dan nantinya digunakan oleh wasit untuk mengambil keputusan offside.

1.6.3 Machine Learning

Sejak pertama kali komputer diciptakan manusia sudah memikirkan bagaimana caranya agar komputer dapat belajar dari pengalaman. Manusia telah lama memimpikan mesin yang dapat berpikir, bahkan sejak zaman Yunani Kuno, seperti Talos dalam mitos Yunani Kuno. Talos digambarkan sebagai automaton atau semacam robot yang terbuat dari perunggu yang diciptakan untuk melindungi Eropa.

Seiring berkembangnya teknologi kecerdasan buatan, muncul salah satu kecerdasan buatan yang menjadi perhatian para peneliti yaitu *Machine Learning*. *Machine Learning* mempelajari yang dimana komputer akan mampu belajar dari data yang ada, *Machine Learning* melibatkan berbagai disiplin ilmu seperti statistika, matematika, bahkan neurologi.

Istilah *Machine Learning* sendiri pada dasarnya adalah proses komputer yang belajar dari data. Tanpa adanya data, komputer tidak akan bisa belajar apa-apa. Oleh karena itu, *Machine Learning* tidak lepas dengan data dan akan terus berinteraksi dengan data. Dalam penerapan *Machine Learning*, mungkin saja terdapat persamaan dari data yang digunakan, akan tetapi perbedaan algoritma akan mendapatkan hasil yang berbeda-beda. Maka dari itu dalam perkembangannya, *Machine Learning* memiliki banyak sekali algoritma yang berbeda-beda sesuai dengan data yang digunakan untuk menghasilkan hasil yang optimal.

1.6.4 Deep Learning

Deep learning merupakan salah satu metode dalam kecerdasan buatan yang dimana komputer akan dilatih sedemikian rupa agar dapat memproses data dengan algoritma yang terinspirasi oleh struktur otak manusia. Model *deep learning* dapat mengenali pola kompleks dalam gambar, teks, suara, dan data lain untuk menghasilkan wawasan dan prediksi yang akurat. Metode *deep learning* biasanya digunakan untuk melakukan yang biasanya membutuhkan kecerdasan manusia, seperti mendeskripsikan citra, menyalin file suara ke dalam teks, bahkan *deep learning* ini diterapkan di salah satu produk berteknologi tinggi seperti *self-driving car*.

Istilah *Deep Learning* pertama kali dikemukakan pada tahun 2006, saat itu Geoffrey Hinton menemukan sebuah saraf tiruan yang diberi nama *Deep Belief Nets*. Temuan ini kemudian dipublikasikan dalam bentuk jurnal, yang kemudian menjadi awal dikenalnya

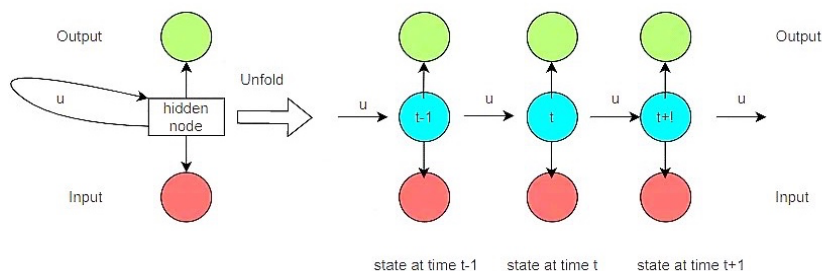
istilah *Deep Learning*. Penelitian tersebut terus dikembangkan hingga saat ini dan menghasilkan banyak varian dari *Deep Learning*.

1.6.5 Recurrent Neural Network (RNN)

Recurrent Neural Network adalah salah satu jenis arsitektur jaringan saraf tiruan yang dirancang sedemikian rupa sehingga cocok digunakan untuk memproses data berurutan atau deret waktu. Algoritma ini memiliki kemampuan untuk mengingat dan mempertimbangkan informasi dari iterasi sebelumnya dalam urutan data. Ini membuat algoritma ini sangat cocok dengan tugas yang melibatkan data yang memiliki hubungan temporal, seperti prediksi deret waktu, pemrosesan bahasa alami, dan masih banyak lagi.

Pada dasarnya, *Recurrent Neural Network* memiliki prinsip yang sama dengan *neural network* biasa, namun memiliki tambahan *memory-state* pada neuronnya. Hal ini membuat algoritma *Recurrent Neural Network* mampu menyimpan memori atau ingatan yang memungkinkan dapat mengenali pola dengan baik yang kemudian menggunakannya untuk melakukan prediksi yang akurat.

Cara kerja algoritma *Recurrent Neural Network* ialah dengan melakukan perulangan dengan cara menyimpan output di layer tertentu dan mengambil data yang telah disimpan pada saat melakukan prediksi. Sehingga algoritma ini tidak hanya mempertimbangkan input pada saat itu saja, akan tetapi juga mempertimbangkan input yang pernah diperoleh sebelumnya sehingga menghasilkan prediksi yang lebih akurat.

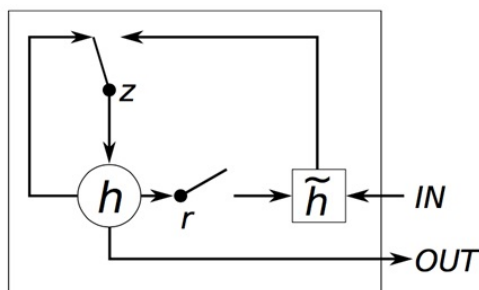


Gambar 1. Cara Kerja Algoritma *Neural Network*
(Sumber:trivusi.web.id)

Dalam perkembangannya, algoritma ini sudah dikembangkan menjadi beberapa bentuk algoritma, salah satunya adalah algoritma *Recurrent Neural Network* yang banyak digunakan adalah *Gated Recurrent Unit* atau yang biasa dikenal dengan *GRU*. Algoritma ini pertama kali diperkenalkan oleh Chung Et Al pada tahun 2014. Tujuan utama dari pembuatan algoritma *GRU* ini adalah untuk membuat setiap *recurrent unit* untuk dapat menangkap dependencies dalam skala waktu yang berbeda-beda secara adaptif.

Gated Recurrent Unit mempunyai dua *gate* yaitu *reset gate* dan *update gate*. *Gate* ini merupakan komponen pengatur alur informasi yang ada di dalam *GRU*. Pada saat pengambilan keputusan, *reset gate* pada *GRU* akan menentukan bagaimana

menggabungkan *input* baru dengan informasi masa lalu, lalu *update gate* akan menentukan berapa banyak informasi masa lalu yang harus tetap disimpan.



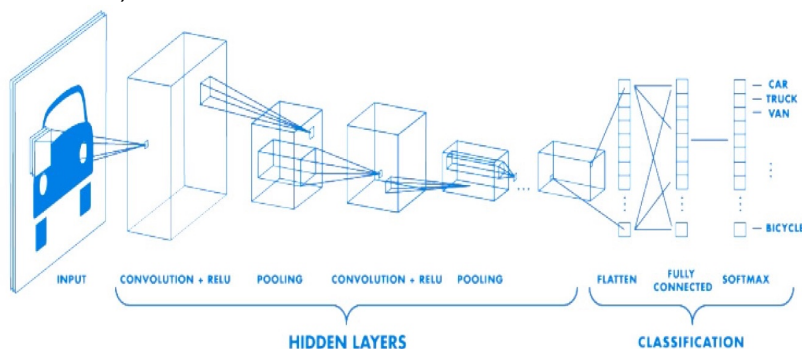
Gambar 2. Struktur *Gate* pada *Gated Recurrent Unit*

Pada gambar diatas, r melambangkan *reset gates*, dan z melambangkan *update gates*. Sedangkan h dan $\tilde{h}$ adalah *activation* dan *candidate activation*.

1.6.6 Convolutional Neural Network (CNN)

Desa *Convulsion Neural Network* atau yang biasa dikenal dengan CNN adalah salah satu arsitektur jaringan saraf tiruan yang biasanya digunakan mengklasifikasi gambar. Algoritma CNN memiliki *neuron* yang didesain sedemikian rupa sehingga dapat meniru cara kerja lubus frontal, khususnya area *visual cortex* pada otak manusia dan hewan. Algoritma CNN memiliki neuron yang diatur dalam tiga dimensi, yaitu *width*, *height*, dan *depth*. Kata *convulsion* dalam matematika memiliki arti yaitu sebuah operasi dua buah fungsi yang menghasilkan fungsi ketiga yang dimana fungsi ini menggabungkan dua buah himpunan informasi dan menunjukkan bagaimana bentuk satu fungsi yang dimodifikasi oleh fungsi lainnya.

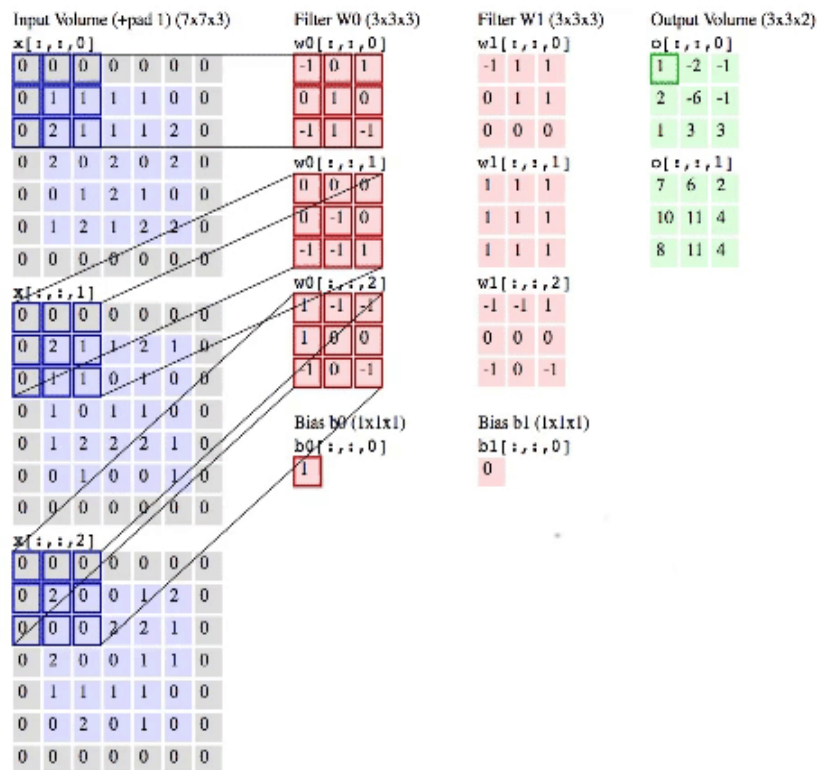
Secara umum, CNN terdiri dari dua tahap yaitu *feature learning* dan *classification*. Pada proses ekstraksi di CNN terdiri dari sejumlah *hidden layer*, yaitu *convolution layer*, *activation function*, dan *pooling*. Sementara pada proses klasifikasi terdiri dari *fully connected layer* dan *activation function* yang keluarannya adalah hasil klasifikasi (Nur Ibrahim, dkk, 2022).



Gambar 3. Cara Kerja Algoritma Convolutional Neural Network
(Sumber: trivusi.web.id)

1.6.7 Convolution Layer

Dalam pengolahan citra, konvolusi mengacu pada proses pengaplikasian sebuah kernel atau matriks pada citra. Kernel adalah sebuah matriks kecil dengan tinggi dan lebarnya lebih kecil dari matriks yang akan di konvolusi. Proses konvolusi memanfaatkan apa yang disebut sebagai filter. Seperti layaknya gambar, filter ini memiliki beberapa ukuran berupa tinggi, lebar, dan juga tebal. Pada setiap posisi gambar dihasilkan sebuah angka yang merupakan dot product yang berada di antara bagian gambar dan filter yang digunakan. Dengan menggeser filter di setiap kemungkinan posisi filter pada gambar, maka akan dihasilkan sebuah *activation map*.



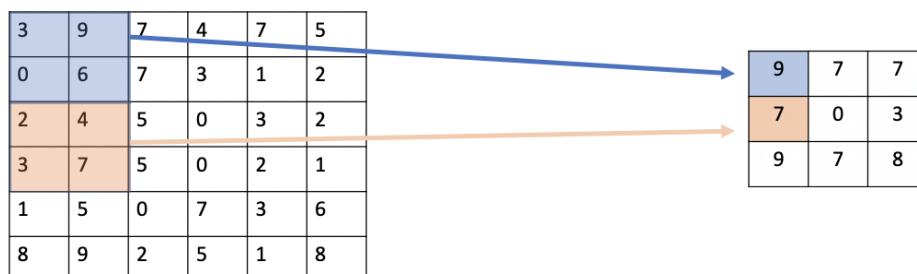
Gambar 4. Cara Kerja *Convolution Layer*
(Sumber: Richard Dharmadi, 2018)

Ukuran spasial dari output proses diatas dapat dihitung berdasarkan formula: $(N-F+2P)/S+1$, dimana N adalah ukuran tinggi spasial dari gambar input, F merupakan ukuran spasial filter, P adalah jumlah penambahan angka, dan S merupakan besaran pergeseran filter di setiap proses komputasi. Proses ini diulang dengan beberapa filter berbeda, hingga menghasilkan "gambar" baru yang merupakan kumpulan *activation map*.

1.6.8 Pooling Layer

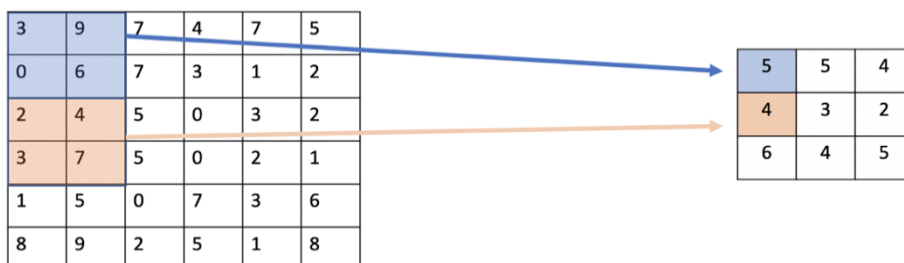
Pooling layer ini berfungsi untuk mereduksi input atau mengurangi ukuran dari jumlah parameter dengan menggunakan operasi *down sampling*. Pada umumnya metode *pooling* yang paling sering digunakan adalah metode *max pooling* atau mengambil nilai terbesar dari bagian tersebut dan juga *average pooling* atau mengambil nilai rata-rata dari bagian tersebut.

Dalam *max pooling*, filter hanya akan memilih nilai piksel dengan nilai maksimum di bidang reseptif. Misalnya, jika kita memiliki 4 piksel pada bidang reseptif dengan nilai 3, 9, 0, dan 6, maka kita akan memilih nilai 9 sebagai nilai piksel maksimum.



Gambar 5. Max Pooling
(Sumber: trivusi.web.id)

Dalam *average pooling*, filter melakukan penghitungan rata-rata dari nilai piksel di bidang reseptif. Misalnya ada 4 piksel dengan nilai 3, 9, 0, dan 6, maka kita mengambil rata-rata dari nilai tersebut yang berupa 4,5. Kemudian akan dibulatkan menjadi 5 yang akan menjadi nilai output.



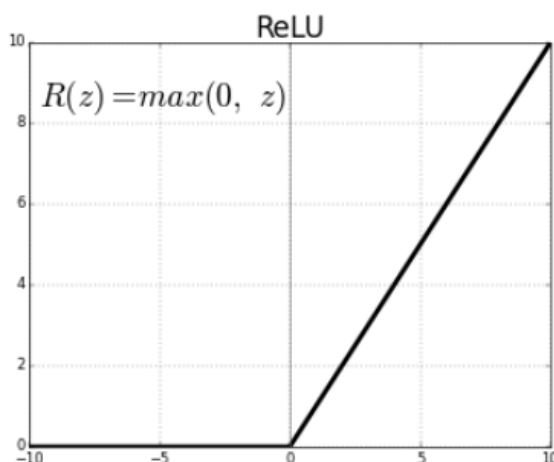
Gambar 6. Average Pooling
(Sumber: trivusi.web.id)

1.6.9 Activation Function

Activation function atau fungsi aktivasi biasanya mengubah *output* yang dihasilkan oleh sebuah *layer* menjadi nilai yang dapat diterima oleh *layer*. Fungsi ini dapat mengubah output yang dihasilkan *layer* menjadi nilai yang lebih terbatas, yang akhirnya dapat mempermudah model untuk mempelajari pola-pola yang ada menjadi lebih baik.

Activation function atau fungsi aktifasi yang biasanya digunakan pada algoritma yolo adalah fungsi aktifasi *Rectified Linear Unit* atau ReLU. ReLU merupakan aktifasi model

CNN yang mengaplikasikan fungsi $f(x)=\max(0,x)$ yang artinya fungsi ini melakukan *thresholding* dengan nilai nol terhadap nilai piksel pada input citra. Aktivasi ini membuat seluruh nilai piksel yang bernilai kurang dari nol pada suatu citra akan dijadikan 0 (Ilahiya & Nilogiri, 2018).



Gambar 7. Grafik Fungsi Aktivasi ReLU
(Sumber: *Researchgate.net*)

1.6.10 Fully Connected Layer

Activation Map yang dihasilkan dari *feature extraction layer* masih berbentuk *multidimensional array*, sehingga maka dari itu kita harus melakukan *reshape activation map* menjadi sebuah vektor agar bisa digunakan sebagai input dari *fully-connected layer*. *Layer* ini memiliki *hidden layer*, *activation function*, *output layer*, dan *loss function*. *Layer* ini adalah *layer* yang biasanya digunakan dalam penerapan *multi layer perceptron* dan bertujuan untuk melakukan transformasi pada dimensi data agar dapat diklasifikasikan secara linear. (Nabila Sholihah, 2018).

Data pada setiap neuron pada lapisan konvolusi harus ditransformasikan menjadi data satu dimensi terlebih dahulu sebelum dimasukkan kedalam lapisan *fully connected*. Karena proses menyebabkan hilangnya informasi spasial dan tidak dapat dikembalikan, maka lapisan *fully connected* hanya dapat diimplementasikan diakhir jaringan (Ilahiyah & Nilogiri, 2018).

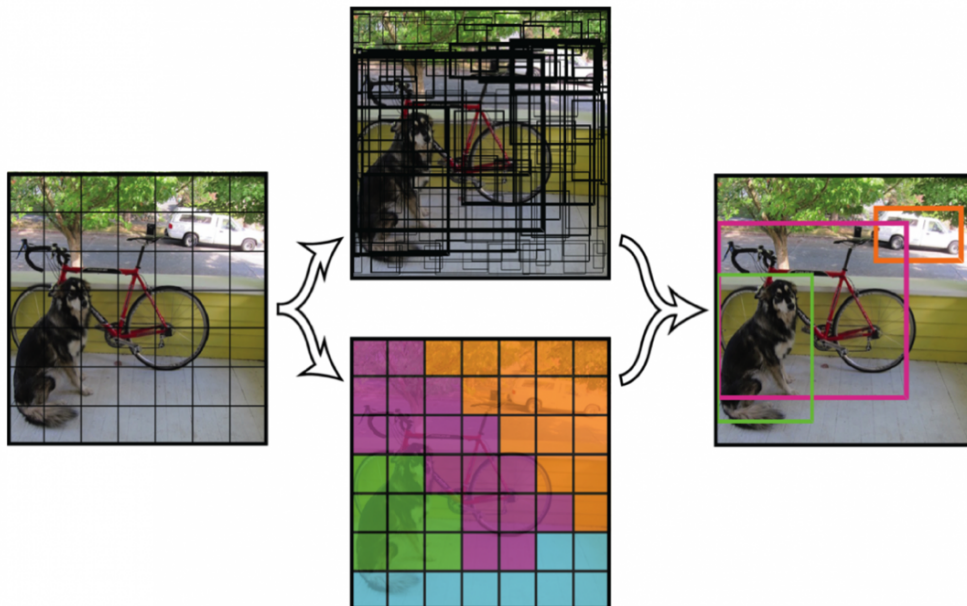
1.6.11 Object Detection

Object Detection atau deteksi objek merupakan salah satu teknologi yang terkait dengan citra digital dan pengolahan citra yang berfungsi untuk mendeteksi objek semantik dari golongan tertentu (Seperti manusia, gedung, atau mobil) yang ada di dalam gambar dan video digital (Tan, 2016). Proses deteksi objek terdiri dari pencarian posisi dan ukuran setiap bentuk objek yang ada didalam gambar. Tujuan dari deteksi objek yaitu menemukan semua bentuk objek dari satu atau beberapa golongan objek tertentu bagaimana ukuran, posisi, pose, sudut pandang pengambilan, dan kondisi pencahayaan objek tersebut (Verschae dan Ruiz-del-Solar, 2015).

Dalam proses deteksi objek, detektor akan mengembalikan daftar dari objek yang terdeteksi berdasarkan informasi dari kelas objek yang terdeteksi dengan probabilitas atau skor keyakinan yang berada pada rentang 0-1 yang dapat menunjukkan seberapa yakin detektor akan objek yang dideteksi. Selain itu detektor juga akan mengembalikan informasi yang berupa titik koordinat berbentuk persegi dimana wilayah objek yang terdeteksi yang biasa disebut sebagai *bounding box*.

1.6.12 You Only Look Once (YOLO)

You Only Look Once atau YOLO merupakan salah satu algoritma *Deep Learning* yang dikembangkan untuk melakukan deteksi objek secara *real-time*. Algoritma YOLO menjadi salah satu algoritma yang paling populer sejak pertama kali algoritma ini diusul oleh Joseph Redmond pada 2015 hingga sekarang karena mempunyai tingkat akurasi yang tinggi serta dapat dijalankan secara *real-time*. Sistem pendekatan dari algoritma ini yaitu menerapkan jaringan saraf tunggal pada keseluruhan gambar. Jaringan ini akan melakukan klasifikasi dan prediksi di kotak pembatas untuk ditimbang tingkat probabilitas kecocokan objek yang dideteksi.



Gambar 8. Cara Kerja Algoritma YOLO

(Sumber: <https://github.com/pjreddie/darknet/wiki/YOLO:-Real-Time-Object-Detection>)

YOLO menggunakan pendekatan jaringan saraf tiruan untuk mendeteksi objek pada sebuah citra. Jaringan ini membagi citra menjadi beberapa wilayah dan memprediksi setiap kotak pembatas dan probabilitas untuk setiap wilayah. Kotak-kotak pembatas ini kemudian dibandingkan dengan sistem yang berorientasi pada *classifier*, terlihat dari seluruh citra pada saat dilakukan test dengan prediksi yang diinformasikan secara global pada citra (Gerald & Lubis, 2020).

1.6.13 PyTorch

Pytorch adalah sebuah *framework* ilmiah yang digunakan untuk mengembangkan aplikasi berbasis *machine learning* dan *deep learning*. Ini memiliki fitur yang kuat untuk membangun dan melatih model jaringan saraf tiruan (*neural network*) serta melakukan berbagai macam operasi numerik yang kompleks. *Pytorch* sendiri dikembangkan oleh tim peneliti dari *Facebook AI Research* sebagai proyek *open source*.

Pytorch bekerja dengan memanfaatkan dua komponen inti, yaitu grafik dan tensor. Tensor merupakan tipe data inti dari *pytorch* yang mirip dengan array multidimensi yang digunakan untuk menyimpan dan memanipulasi *input* dan *output* model serta parameter model. Sedangkan grafik merupakan sebuah konsep yang dimana *neural network* direpresentasikan sebagai struktur grafik perhitungan. Didasarkan pada grafik komputasi yang dinamis, komputasi library grafik kembali dibangun saat menggunakan *runtime* menggunakan kode yang sama saat melakukan komputasi untuk melakukan *forward pass*, sehingga menciptakan struktur data yang diperlukan untuk melakukan backpropagation. Sebagai salah satu *framework* pertama yang cocok dengan kinerja grafik statis, library ini sangat cocok digunakan untuk kinerja grafik statis, konvolusi standar hingga *neural network* berulang.

1.6.14 PyQt

PyQt merupakan lintas platform GUI pada perangkat Qt yang mengikat pada python yang diimplementasikan sebagai plug-in. PyQt dikembangkan oleh perusahaan Inggirs yaitu *Riverbank Computing* dan dapat diakses secara gratis. PyQt dapat berjalan di semua platform yang didukung oleh Qt, diantaranya adalah Windows, Linux, MacOS, dan juga Android.

1.6.15 Labelling

Labelling merupakan aplikasi yang digunakan untuk melakukan pelabelan secara manual. Pelabelan dilakukan dengan memberikan *bounding box* kepada gambar sesuai dengan kategorinya. Lebellimg merupakan aplikasi yang digunakan menggunakan library dari PyQt.

1.6.16 Tensor Processing Unit (TPU)

Tensor processing unit merupakan jenis khusus dari unit pemrosesan yang dikembangkan oleh google untuk percepatan komputasi dalam konteks pengembangan Artificial Intelligence. TPU ini dirancang sedemikian rupa sehingga dapat melakukan operasi matriks dan tugas-tugas terkait yang umum dalam model machine learning dan deep learning. TPU menjadi populer dikarenakan daya yang efisien serta performa yang tinggi dala tugas-tugas yang memerlukan komputasi paralel seperti pelatihan model deep learning.

1.6.17 Nano Text Editor

Nano merupakan *text editor* yang berbasis terminal yang sering digunakan dalam lingkungan linux, termasuk di Jetson Nano. Editor ini dirancang dengan tampilan yang mudah dipahami dan antarmuka yang intuitif. Editor ini menyediakan *shortcut keyboard*

untuk mempermudah pengguna dalam melakukan tugas-tugas pengeditan code khususnya di Jetson Nano.

1.6.18 Nvidia Jetson Nano

Nvidia Jetson Nano merupakan *microcomputer* yang dikembangkan oleh perusahaan Nvidia. Jetson nano dikembangkan untuk aplikasi kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) dan juga komputasi yang mendalam seperti *deep learning*. Dengan desain yang ringkas dan juga konsumsi daya yang rendah, Jetson Nano dapat menjalankan beberapa komputasi seperti jaringan saraf tiruan meliputi *image processing*, *object detection*, *face recognizing*, dan masih banyak lagi.

Nvidia Jetson Nano memiliki beberapa fitur unggulan yang menjadikannya pilihan ideal untuk berbagai aplikasi komputasi. Salah satu fitur utamanya adalah GPU Nvidia Maxwell dengan 128 CUDA Cores, yang memberikan kekuatan komputasi tinggi untuk menjalankan algoritma Artificial Intelligence. Selain itu, Jetson Nano dilengkapi dengan CPU ARM Cortex-A57 *quad-core*, yang mendukung kinerja komputasi umum dengan efisiensi tinggi. Dengan 4 GB LPDDR4 RAM, perangkat ini mampu mengolah data dengan cepat dan efisien.

Jetson Nano juga mendukung berbagai *port I/O* seperti USB, HDMI, *Ethernet*, serta GPIO, memungkinkan integrasi dengan berbagai sensor dan perangkat lainnya. Selain itu, perangkat ini mendukung berbagai framework AI populer seperti *TensorFlow*, *PyTorch*, dan *Caffe*, serta alat pengembang dari Nvidia seperti Jetpack SDK, yang memudahkan pengembangan dan implementasi solusi AI



Gambar 9. Nvidia Jetson Nano B01

1.6.19 Penelitian Relevan

Salah satu penelitian yang relevan adalah penelitian yang dilakukan oleh Dian Prabowo, dkk., yang berjudul Rancang Bangun *Coffee Roaster Machine* Kapasitas 1 Kg dengan menggunakan Pengatur suhu dan waktu Termostat Rex-C 100. Penelitian ini menghasilkan mesin sangrai kopi yang dapat menyangrai kopi dengan kapasitas 1 kg dan menghasilkan hasil shangrai yang cukup baik.

Penelitian selanjutnya adalah penelitian yang berjudul *Smart Coffee Roaster* berbasis IoT yang dituliskan oleh Bil Haal Yahya Pratama. Penelitian ini menghasilkan sebuah mesin *roaster* kopi yang dapat menghasilkan kopi dengan 3 tingkat kematangan yang berbeda-beda. Dengan menyangrai kopi robusta 500 gr dengan kadar air 9-13 %, maka mesin ini dapat menghasilkan kopi light roast dengan waktu 43 menit, medium roast dengan waktu 48 menit dan juga dark roast dengan waktu matang 1 jam (Pratama, B. H. Yahya, 2022).

Penelitian berikutnya yang relevan adalah penelitian yang dilakukan oleh Jazmine Kezia Halim, dkk. Penelitian ini berjudul Penerapan *Gated Recurrent Unit* untuk prediksi zat pencemar udara. Penelitian ini menggunakan 5 variabel sebagai data input yaitu curah hujan, intensitas penyinaran matahari, kecepatan angin, kelembaban udara, dan PM 10 dengan hasil akurasi 93,34 % (Halim, J. K., 2022).

Selanjutnya adalah penelitian dari Haili Zhou, dkk., penelitian ini efisiensi penyerbukan bunga buah kiwi berdasarkan algoritma YOLOv5 yang sudah dikembangkan. Penelitian ini mendapatkan hasil dimana hasil prediksi dari algoritma YOLOv5 adalah 96,7% sebagai hasil tertinggi dari tes sedangkan mendapatkan rata-rata dari hasil prediksi adalah 89,1% dengan skor F1 90,12% dan penyimpanan memory yang dibutuhkan relatif kecil, yaitu sebesar 20MB (Zhou, H., dkk., 2023).

BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, yang melibatkan manipulasi variabel independen untuk mengamati dan mengukur efeknya pada variabel dependen dalam kondisi terkendali. Metode ini memungkinkan peneliti untuk menentukan hubungan sebab-akibat antara variabel dengan mengendalikan faktor-faktor eksternal yang mungkin mempengaruhi hasil.

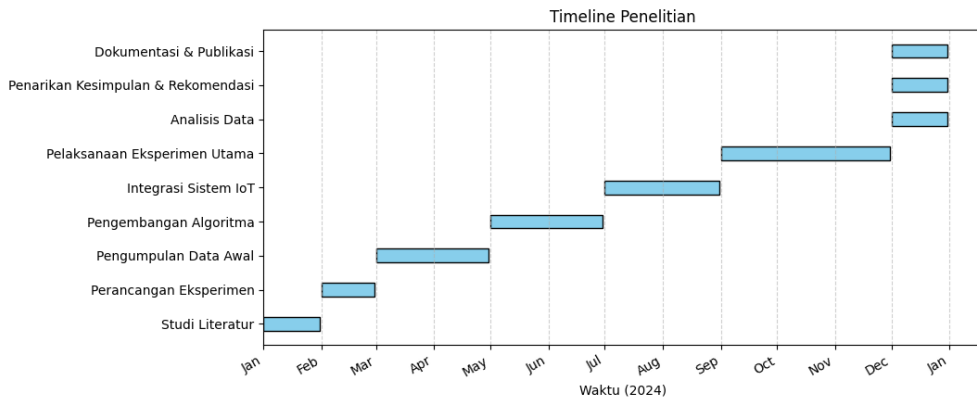
Dalam konteks penelitian ini, metode eksperimen diterapkan untuk mengembangkan dan menguji algoritma kecerdasan buatan dan sistem IoT dalam pengaturan otomatis mesin roasting kopi. Dengan menggunakan metode ini, peneliti dapat memanipulasi variabel seperti suhu dan waktu roasting, kemudian mengamati efeknya pada kualitas hasil roasting kopi.

Dengan cara ini, penelitian ini dapat menguji hipotesis secara sistematis dan mengukur efeknya dengan presisi. Penggunaan metode eksperimen memungkinkan untuk memperoleh data yang akurat dan memastikan bahwa perubahan dalam kualitas hasil roasting kopi benar-benar disebabkan oleh pengaturan otomatis yang diterapkan oleh algoritma kecerdasan buatan dan sistem IoT.

Langkah-langkah dalam metode eksperimen, seperti desain eksperimental, pelaksanaan eksperimen, pengumpulan data, analisis data, dan penarikan kesimpulan, memberikan bukti empiris yang kuat mengenai efektivitas sistem otomatis ini dalam mengoptimalkan proses roasting kopi. Dengan demikian, metode eksperimen ini sangat relevan untuk mencapai tujuan penelitian dan memberikan kontribusi signifikan dalam meningkatkan kualitas dan konsistensi hasil roasting kopi.

2.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan mulai dari bulan Januari 2024 sampai dengan Juni 2024 di laboratorium *Artificial Intelligence* dan *Data Science*, Program Studi Sistem Informasi Departemen Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.



Gambar 10. Timeline Penelitian

Proses penelitian ini dimulai dengan studi literatur, di mana peneliti mencari informasi yang relevan dengan masalah yang akan diteliti melalui pengumpulan data dari jurnal, artikel, buku, dan sumber media lainnya. Langkah berikutnya adalah perancangan eksperimen, yang mencakup identifikasi variabel independen dan dependen untuk merancang desain eksperimen yang komprehensif. Setelah perancangan, dilakukan pengumpulan data awal dengan melakukan eksperimen untuk mengumpulkan informasi tentang suhu, waktu, dan tingkat kematangan kopi.

Pengembangan algoritma menyusul, di mana algoritma YOLOv8 dikembangkan untuk mendeteksi tingkat kematangan kopi, sementara algoritma RNN-GRU dirancang untuk memprediksi parameter roasting yang optimal. Integrasi sistem IoT menjadi langkah berikutnya, yang melibatkan pemasangan sensor suhu, kamera, dan modul konektivitas IoT pada mesin *roasting*, serta menghubungkan sistem IoT dengan platform cloud untuk menyimpan data hasil roasting. Selanjutnya, pelaksanaan eksperimen utama dilakukan dengan variasi suhu dan waktu yang berbeda, di mana data hasil *roasting* dikumpulkan dan kualitas hasil roasting kopi diukur.

Data yang diperoleh kemudian dianalisis untuk mengukur akurasi algoritma YOLOv8 dalam mendeteksi tingkat kematangan kopi serta untuk mengevaluasi akurasi prediksi RNN-GRU dengan membandingkan hasil prediksi dengan data empiris. Penarikan kesimpulan dilakukan dengan menarik kesimpulan dari hasil analisis mengenai efektivitas sistem otomatis dalam mengoptimalkan proses roasting kopi, serta memberikan rekomendasi untuk pengembangan lebih lanjut dan penerapan di industri kopi. Akhirnya, seluruh proses dan hasil penelitian didokumentasikan dalam bentuk laporan akhir dan dipublikasikan dalam skripsi dan jurnal ilmiah, dengan tujuan memberikan kontribusi pada bidang ilmu pengetahuan dan teknologi.

2.3 Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian adalah alat atau perangkat yang digunakan untuk mengumpulkan data dalam penelitian. Dalam konteks penelitian Anda yang berfokus pada pengembangan algoritma kecerdasan buatan untuk pengaturan otomatis mesin roasting kopi berbasis Internet of Things (IoT), instrumen penelitian yang relevan meliputi perangkat keras dan perangkat lunak yang mendukung pengumpulan data eksperimen dan pengambilan data citra.

a. Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini meliputi berbagai komponen penting untuk mendukung proses otomatisasi dan pengolahan data. Salah satu komponen utamanya adalah Nvidia Jetson Nano, sebuah *microcomputer* yang dirancang untuk pemrosesan AI dan *computer vision*, cocok untuk menjalankan model deteksi objek seperti YOLOv8 yang digunakan dalam sistem ini. Selain itu, Arduino Uno, sebuah *microcontroller* yang banyak digunakan untuk pengendalian perangkat keras, berperan penting dalam pengelolaan sensor yang berhubungan dengan sistem roasting kopi.

Perangkat keras lain yang digunakan dalam proyek ini termasuk *Webcam* Logitech C270, Mesin Roasting Kopi, Fetek SSR 40 DA, *Finned Heater* 220V-1000 Watt, *Cooling Fan* Jetson Nano A02 B01 PWM, *Power Supply Adaptor* AC-DC 110V-220V AC to 3V-12V DC, Sensor DHT22, Monitor LG LED 19M34A, *Bread Board* 830 Holes, Kabel Jumper Male to Female, Kabel Jumper *Female to Female*, Kabel *Jumper Male to Male*, PSU 5V 5A, L298N Motor Driver Stepper, Logic Level Converter TXS0108E, Linear Actuator, Plat Aluminium, Baut, DC Motor, Platform Kayu berukuran 14 cm x 28 cm, Project Box, serta *Keyboard* dan *Mouse* Logitech MK220.

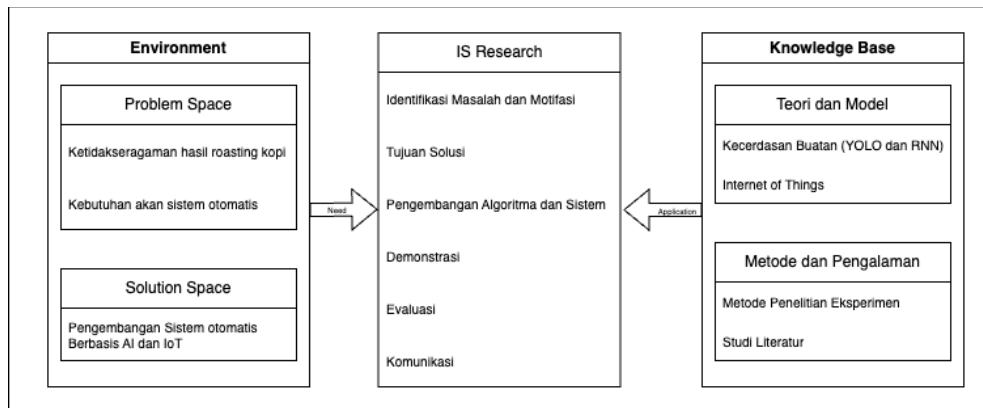
b. Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini mencakup berbagai sistem operasi dan aplikasi untuk mendukung pemrograman, desain, serta anotasi data. Sistem operasi yang digunakan meliputi macOS Sequoia 15.0.1 dan Linux Ubuntu 18.0.4. Selain itu, alat pemrograman dan pengembangan seperti *Collabs*, *VS Code*, Nano, dan Arduino IDE juga diintegrasikan untuk mengembangkan dan mengelola perangkat keras serta perangkat lunak sistem. Dalam hal desain dan anotasi, aplikasi seperti draw.io untuk pembuatan diagram, PyQt *Designer* untuk antarmuka pengguna, serta LabelImg untuk pelabelan dataset. Selain itu perangkat lunak yang digunakan adalah Github dan Kaggle yang digunakan untuk mencari referensi kode dan juga mencari dataset untuk membantu penelitian.

2.4 Desain Sains Penelitian

Desain sains penelitian merupakan suatu proses atau kegiatan pengumpulan, pengolahan, analisis, dan penyajian data yang dilakukan secara sistematis dan

bersifat objektif. Adapun mengenai desain sains pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 11. Desain Sains Penelitian

Environment mencakup konteks dan kondisi di mana penelitian dilakukan, termasuk masalah yang dihadapi serta kebutuhan yang harus dipenuhi melalui penelitian. Dalam hal ini, ruang masalah (*problem space*) diidentifikasi sebagai ketidakseragaman hasil roasting kopi yang dilakukan secara manual, yang mempengaruhi kualitas biji kopi akhir. Kebutuhan akan sistem otomatis yang dapat mengatur parameter dalam proses roasting kopi muncul sebagai solusi untuk mencapai hasil yang konsisten dan berkualitas tinggi. Oleh karena itu, ruang solusi (*solution space*) difokuskan pada pengembangan algoritma kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) dan sistem *Internet of Things* (IoT) untuk mesin roasting kopi otomatis. Pengembangan ini diharapkan mampu mengoptimalkan proses roasting kopi, sehingga menghasilkan produk dengan kualitas yang lebih baik dan lebih konsisten.

Information Sistem Research mencakup proses penelitian yang dikembangkan dan menguji sistem otomatis berbasis *Artificial Intelligence* dan *Internet of Things* untuk mesin roasting kopi. Identifikasi Penelitian ini diawali dengan identifikasi masalah dan motivasi, di mana tujuan utama adalah mengembangkan sistem otomatis yang dapat mengoptimalkan proses roasting kopi. Dalam langkah ini, diidentifikasi kebutuhan untuk meningkatkan konsistensi dan kualitas hasil *roasting* kopi melalui otomasi dan teknologi canggih. Selanjutnya, tujuan solusi ditetapkan untuk mengembangkan algoritma kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) menggunakan YOLOv8 dan RNN-GRU untuk mengontrol parameter *roasting* kopi serta mengintegrasikannya ke dalam sistem *Internet of Things* (IoT).

Berikutnya adalah pengembangan algoritma dan sistem, yang melibatkan perancangan eksperimen untuk menguji hubungan sebab-akibat antara suhu, waktu roasting, dan kualitas hasil roasting. Pada tahap ini, perangkat keras dan perangkat lunak yang diperlukan untuk sistem otomatis juga dikembangkan. Setelah sistem

dikembangkan, dilakukan demonstrasi melalui eksperimen untuk menguji efektivitas sistem otomatis dalam mengatur parameter roasting kopi.

Pada tahap evaluasi, data hasil eksperimen dianalisis untuk mengukur akurasi dan efektivitas sistem otomatis. Kualitas hasil *roasting* kopi dievaluasi menggunakan algoritma YOLOv8 untuk memastikan bahwa sistem otomatis menghasilkan hasil yang diinginkan. Akhirnya, seluruh proses penelitian dan hasil yang diperoleh didokumentasikan dalam bentuk laporan akhir. Hasil penelitian juga disusun untuk dipublikasikan dalam jurnal ilmiah, memastikan bahwa temuan penelitian ini dapat berkontribusi pada pengetahuan dan praktik dalam bidang otomasi proses roasting kopi.

Knowledge Base mencakup teori, model dan pengalaman sebelumnya yang sudah pernah digunakan atau dipublish sebagai dasar dalam melakukan penelitian. Teori dan model mencakup model kecerdasan buatan yang relevan seperti YOLOv8 dan RNN-GRU serta *Internet of Things* yang dapat diintegrasikan dengan berbagai sensor dan perangkat keras dalam pengembangan mesin roasting kopi otomatis. YOLOv8 digunakan untuk mendeteksi tingkat kematangan biji kopi secara *real-time*, sementara RNN-GRU digunakan untuk memprediksi parameter optimal seperti suhu dan waktu roasting berdasarkan data historis. Integrasi dengan *Internet of Things* memungkinkan mesin roasting kopi untuk berkomunikasi dengan berbagai sensor dan perangkat keras, sehingga menciptakan sistem yang cerdas dan responsif.

Metode dan pengalaman dalam penelitian ini melibatkan penggunaan metode eksperimen untuk menguji dan mengembangkan sistem otomatis. Data yang diperoleh dari eksperimen dianalisis untuk mengukur efektivitas dan akurasi sistem. Selain itu, studi literatur dan penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan proses roasting kopi, kecerdasan buatan, dan *Internet of Things* digunakan sebagai dasar untuk mengembangkan dan menguji model yang diusulkan. Melalui pendekatan ini, penelitian berupaya untuk memanfaatkan pengetahuan yang ada dan inovasi terbaru dalam teknologi untuk meningkatkan kualitas dan konsistensi hasil roasting kopi.

2.5 Diagram Alur Penelitian

Diagram alur penelitian merupakan diagram yang menjelaskan proses penelitian yang menggunakan metode eksperimen. Dalam diagram pada Gambar 12 dapat kita lihat penelitian ini berawal dari identifikasi masalah dan literatur dan berakhir di dokumentasi dan publikasi.



Gambar 12. Diagram Alur Penelitian

Adapun deskripsi dari alur penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

Penelitian ini dimulai dengan identifikasi masalah dan motivasi, di mana masalah yang ingin diselesaikan serta kebutuhan akan sistem otomatis untuk proses roasting kopi dapat diandalkan. Langkah berikutnya adalah melakukan studi literatur yang mencakup mesin roasting kopi, teori kecerdasan buatan (AI), dan teori *Internet of Things* (IoT). Studi literatur ini bertujuan untuk mengkaji teori dan teknologi yang relevan dengan penelitian, termasuk proses roasting kopi, mesin roasting kopi, algoritma AI, dan sistem IoT.

Setelah studi literatur, penelitian berlanjut dengan perancangan rangkaian mesin roasting kopi serta pengembangan algoritma YOLOv8 dan RNN-GRU. Ini melibatkan penentuan variabel eksperimen, desain mesin roasting kopi, serta perancangan kedua algoritma. Kemudian, pengumpulan data awal dilakukan untuk mendapatkan

informasi mengenai suhu, waktu, dan citra visual biji kopi, yang akan dianalisis lebih lanjut.

Tahap berikutnya adalah pengembangan algoritma dan sistem, di mana algoritma YOLOv8 dan RNN-GRU serta sistem otomatis untuk mesin *roasting* kopi dikembangkan. Setelah pengembangan algoritma, integrasi sistem IoT ke mesin *roasting* kopi dilakukan dengan menghubungkan sensor dan modul IoT untuk pemantauan dan pengendalian. Eksperimen utama kemudian dilaksanakan dengan variasi parameter untuk mengumpulkan data yang diperlukan.

Analisis dan evaluasi hasil mencakup analisis akurasi algoritma, uji keakuratan pendeteksian tingkat kematangan kopi, dan analisis statistik. Berdasarkan hasil analisis ini, kesimpulan ditarik dan rekomendasi penelitian yang relevan diberikan. Akhirnya, seluruh proses penelitian didokumentasikan dan dipublikasikan, termasuk penyusunan laporan akhir dan publikasi hasil penelitian dalam jurnal ilmiah.

2.6 Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini melibatkan teknik observasi dan studi pustaka. Metode observasi dilakukan dengan memanfaatkan sensor untuk mencatat data suhu, waktu, dan citra visual biji kopi selama proses *roasting*. Penggunaan sensor ini memungkinkan pengumpulan data secara *real-time* yang akurat dan relevan untuk analisis lebih lanjut. Selain itu, observasi langsung ini memberikan wawasan mendalam mengenai variabel-variabel kunci dalam eksperimen, seperti perubahan suhu dan tingkat kematangan biji kopi.

Selain observasi, untuk menambahkan landasan teoritis penelitian ini, penulis juga memanfaatkan studi pustaka sebagai metode pengumpulan data tambahan. Penulis melakukan penelitian kepustakaan dengan membaca berbagai jurnal ilmiah yang membahas proses *roasting* kopi, serta jurnal yang mengulas algoritma YOLOv8 dan RNN-GRU. Selain itu, literatur lain yang berkaitan dengan topik penelitian juga dianalisis. Studi pustaka ini bertujuan untuk memahami teori-teori dan teknologi terbaru yang dapat diterapkan dalam penelitian, serta untuk memastikan bahwa penelitian ini didasarkan pada landasan ilmiah yang kuat dan relevan.

2.7 Indikator Penelitian

Indikator adalah variabel atau parameter yang digunakan untuk mengukur dan mengevaluasi kinerja penelitian. Indikator ini akan membantu dalam mengumpulkan data yang relevan, menganalisis hasil serta menilai efektivitas solusi yang telah dikembangkan. Dalam penelitian ini, beberapa parameter kunci digunakan untuk menilai efektivitas sistem otomatis dalam proses *roasting* kopi.

Suhu *roasting* diukur pada berbagai tahap selama proses pemanggangan menggunakan sensor suhu yang terhubung ke sistem IoT. Pengendalian suhu yang tepat sangat penting karena suhu mempengaruhi perkembangan rasa, aroma, dan warna biji kopi. Dengan memantau dan mengatur suhu secara akurat, diharapkan dapat mencapai tingkat kematangan biji kopi yang diinginkan dan menghasilkan kualitas kopi yang konsisten.

Waktu *roasting* yang mengacu pada durasi pemanggangan biji kopi dari awal hingga akhir proses, dicatat secara otomatis melalui sistem IoT. Durasi yang tepat sangat penting karena durasi yang terlalu pendek atau terlalu lama dapat mempengaruhi rasa dan aroma kopi secara signifikan. Dengan mengatur waktu *roasting* yang optimal, diharapkan dapat dihasilkan kopi dengan profil rasa yang sesuai. Selain itu, kualitas biji kopi setelah proses *roasting* diukur berdasarkan tingkat kematangan, warna, dan keseragaman biji kopi, dengan algoritma YOLOv8 digunakan untuk mendeteksi kualitas visual biji secara otomatis. Kualitas biji kopi yang baik menunjukkan keberhasilan proses *roasting* dan merupakan indikator penting dalam menilai kinerja sistem.

Akurasi deteksi visual dari algoritma YOLOv8 diukur untuk menilai keberhasilan dalam mengidentifikasi tingkat kematangan biji kopi. Akurasi tinggi menunjukkan bahwa algoritma tersebut dapat diandalkan untuk sistem otomatis dalam mengidentifikasi tingkat kematangan biji kopi.

Akurasi prediksi parameter *roasting*, yang mengacu pada kemampuan algoritma RNN-GRU dalam memprediksi suhu dan waktu *roasting* yang optimal, juga dievaluasi. Algoritma ini dilatih dengan data eksperimen untuk memastikan prediksi yang akurat. Keandalan sistem IoT mengukur seberapa baik perangkat keras dan perangkat lunak IoT berfungsi dalam mengumpulkan dan mengirim data secara real-time tanpa gangguan, memastikan data yang akurat dan tersedia untuk analisis.

Responsibilitas sistem otomatisasi diukur dengan melihat kecepatan sistem dalam menyesuaikan parameter *roasting* berdasarkan data yang dikumpulkan. Waktu respons yang cepat menunjukkan bahwa sistem dapat segera mengoreksi atau menyesuaikan proses *roasting* untuk mencapai hasil yang diinginkan.

2.8 Teknik Analisis Data

Penelitian ini menggunakan dua teknik analisis data utama untuk mengevaluasi dan mengukur performa sistem yang dikembangkan. Teknik pertama adalah analisis hasil pelatihan model YOLOv8, yang bertujuan untuk menilai sejauh mana model tersebut dapat mendeteksi objek dengan akurat berdasarkan data pelatihan yang telah diberikan. Hasil dari analisis ini akan menunjukkan efektivitas model dalam mengenali objek dalam berbagai kondisi dan membantu dalam memperbaiki akurasi deteksi.

Teknik kedua adalah evaluasi prediksi menggunakan algoritma RNN-GRU. Algoritma ini digunakan untuk memprediksi tingkat kematangan kopi berdasarkan data yang dikumpulkan selama proses pemanggangan, seperti suhu dan kelembaban pada berbagai waktu. Analisis prediksi ini penting untuk mengevaluasi seberapa baik model dapat memproyeksikan kematangan kopi di masa depan berdasarkan pola yang ada dalam data. Kedua teknik ini saling melengkapi dalam mengukur kinerja sistem secara keseluruhan, dengan mempertimbangkan baik hasil deteksi objek maupun prediksi kematangan kopi.

2.8.1 Analisis Hasil Pelatihan YOLOv8

Teknik analisis yang pertama digunakan dalam penelitian ini adalah untuk mengevaluasi performa model YOLOv8 dalam mendeteksi tingkat kematangan biji kopi. Model YOLOv8 yang dilatih menggunakan dataset citra biji kopi yang bervariasi dalam tingkat kematangan. Setelah pelatihan selesai, model tersebut akan dievaluasi menggunakan beberapa metrik seperti *precision*, *recall*, dan *F1-Score*.

Precision digunakan untuk mengukur seberapa tepat prediksi model dalam mendeteksi kematangan biji kopi, yaitu proporsi dari prediksi yang benar terhadap total prediksi positif. *Recall* menghitung seberapa baik model mendeteksi biji kopi matang yang sebenarnya ada, yaitu proporsi dari prediksi yang benar terhadap total kondisi positif yang sebenarnya. Sementara itu, *F1-score* adalah gabungan dari *precision* dan *recall* yang memberikan nilai rata-rata harmonis, digunakan ketika keseimbangan antara keduanya diperlukan.

		Actual Values	
		Positive (1)	Negative (0)
Predicted Values	Positive (1)	TP	FP
	Negative (0)	FN	TN

Gambar 13. *Confusion Matrix*
(Sumber : <https://rey1024.medium.com>)

Evaluasi performa dilakukan dengan menampilkan confusion matrix, yang menunjukkan hasil deteksi positif benar, negatif benar, positif salah, dan negatif salah dari prediksi YOLOv8. Metrik ini membantu menentukan tingkat akurasi model dalam memisahkan kelas biji kopi yang matang dan tidak matang.

Seperti contoh pada gambar 13 menampilkan confusion matrix yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja model klasifikasi dalam membedakan antara kucing dan anjing. Matriks ini terdiri dari empat komponen utama: True Positive (TP) mencatat 6 kasus di mana model berhasil mengidentifikasi kucing sebagai kucing, menunjukkan kemampuan model dalam mengenali ciri-ciri kucing. Namun, terdapat 1 False Negative (FN) di mana model salah mengklasifikasikan kucing sebagai anjing, yang

dikenal sebagai Type II error, di mana model gagal mendeteksi kucing. Selain itu, ada 2 False Positive (FP) di mana model keliru mengidentifikasi anjing sebagai kucing, yang merupakan contoh Type I error. Di sisi lain, True Negative (TN) menunjukkan bahwa model berhasil mengenali 11 anjing dengan benar sebagai anjing. Secara keseluruhan, confusion matrix ini memberikan gambaran yang jelas mengenai performa model, termasuk jumlah prediksi yang benar dan salah, serta membantu dalam memahami kesalahan yang mungkin terjadi dalam klasifikasi. Dengan informasi ini, analisis dan perbaikan model dapat dilakukan untuk meningkatkan akurasi prediksi.

		PREDICTED VALUES	
		Positive (CAT)	Negative (DOG)
ACTUAL VALUES	Positive (CAT)	 TRUE POSITIVE 6 YOU ARE A CAT	 FALSE NEGATIVE 1 TYPE II ERROR YOU ARE A DOG
	Negative (DOG)	 FALSE POSITIVE 2 TYPE I ERROR YOU ARE A CAT	 TRUE NEGATIVE 11 YOU ARE NOT A CAT

Gambar 14. Convution Matrix : Evaluasi Kinerja Model Klasifikasi Kucing dan Anjing

(Sumber : <https://esairina.medium.com>)

Selain itu, label correlation plot juga digunakan untuk mengevaluasi hubungan antar kelas dalam dataset. Plot ini memberikan gambaran tentang korelasi antara kelas biji kopi yang berbeda dan menunjukkan seberapa sering model salah dalam mendeteksi kelas-kelas yang berbeda. Korelasi yang lebih tinggi antara dua kelas menunjukkan bahwa model sering membuat kesalahan dalam membedakan antara kedua kelas tersebut, yang mengindikasikan perlunya perbaikan pada bagian tertentu dari dataset atau arsitektur model.

2.8.2 Analisis Prediksi RNN-GRU

Analisis prediksi menggunakan model RNN-GRU (*Recurrent Neural Network - Gated Recurrent Unit*) merupakan langkah penting dalam mengevaluasi kinerja sistem prediksi yang telah dikembangkan. Model ini dirancang khusus untuk menangani data sekuensial, sehingga sangat cocok untuk aplikasi yang memerlukan pemrosesan urutan data, seperti dalam analisis waktu atau pengenalan pola dalam data historis.

Pada tahap analisis ini, hasil prediksi dari model RNN-GRU dibandingkan dengan data aktual untuk menilai akurasi dan efektivitas model. Grafik yang menampilkan hasil prediksi dibandingkan dengan nilai sebenarnya digunakan untuk memberikan gambaran visual tentang seberapa baik model melakukan prediksi. Dengan memperhatikan pola dalam grafik, peneliti dapat mengevaluasi apakah model berhasil menangkap tren atau fluktuasi yang ada dalam data.

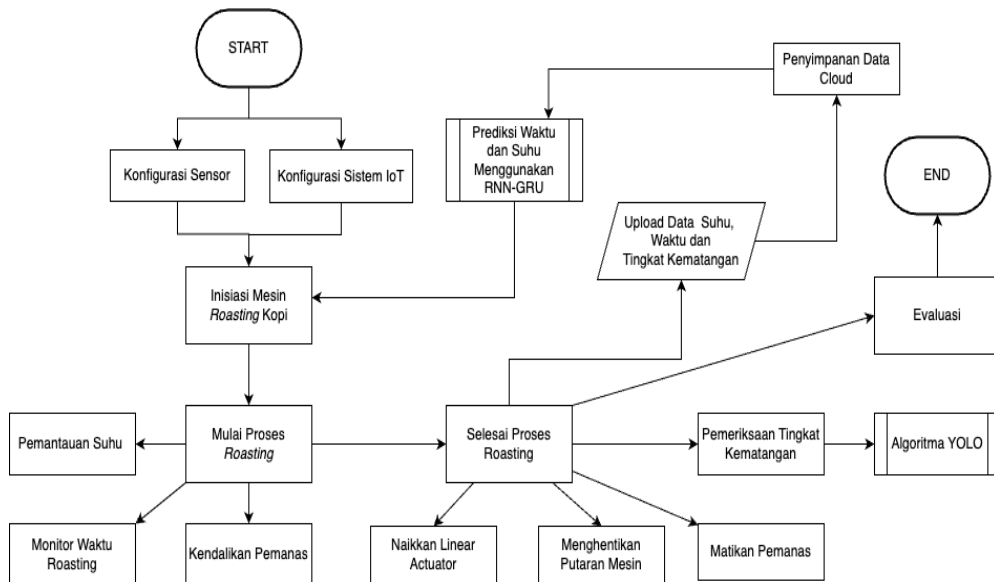
Dalam analisis ini, beberapa metrik evaluasi juga dapat dihitung, seperti Mean Absolute Error (MAE), Mean Squared Error (MSE), dan Root Mean Squared Error (RMSE). Metrik-metrik ini memberikan informasi lebih mendalam tentang seberapa besar kesalahan prediksi yang dilakukan oleh model. Penelitian ini akan menyoroti seberapa baik model RNN-GRU dapat beradaptasi dengan variasi dalam data dan sejauh mana model tersebut dapat diandalkan untuk aplikasi praktis.

Dengan melakukan analisis prediksi RNN-GRU secara menyeluruh, penelitian ini bertujuan untuk memberikan pemahaman yang lebih baik tentang kemampuan model dalam melakukan prediksi yang akurat dan relevan dalam konteks proses roasting kopi. Hasil dari analisis ini diharapkan dapat menginformasikan pengembangan lebih lanjut dan optimalisasi algoritma untuk mencapai hasil yang lebih baik.

2.9 Desain dan Perancangan Alat Roasting Kopi Otomatis

2.9.1 Flowchart Sistem

Flowchart pada Gambar 15 menunjukkan alur kerja pengembangan algoritma kecerdasan buatan (AI) dalam pengembangan sistem roasting kopi otomatis berbasis Internet of Things (IoT). Proses dimulai dengan konfigurasi IoT dan sensor, di mana modul IoT diatur untuk konektivitas dan pengumpulan data, serta sensor disiapkan untuk memantau parameter seperti suhu, dan tingkat panggang. Selanjutnya, algoritma RNN-GRU memprediksi waktu dan suhu yang optimal berdasarkan data hasil roasting sebelumnya yang disimpan di *cloud*.



Gambar 15. Flowchart Sistem Roasting Kopi Otomatis berbasis AI dan IoT

Proses roasting akan dimulai dengan memakai data suhu dan waktu yang sudah ditetapkan oleh algoritma RNN GRU. Dalam proses roasting ini, sistem IoT akan memantau suhu menggunakan sensor, memonitoring waktu roasting, dan juga mengendalikan pemanas agar suhu tetap stabil dan sesuai dengan hasil yang diprediksi oleh algoritma RNN-GRU.

Setelah proses roasting selesai, sistem akan melakukan pengangkatan linear actuator, mematikan pemanas dan juga memberhentikan putaran mesin roasting kopi. Tingkat kematangan biji kopi akan dideteksi menggunakan algoritma YOLOv8 yang telah di hubungkan ke kamera. Selanjutnya data suhu, waktu, dan tingkat kematangan yang didapatkan akan dikirimkan ke cloud untuk digunakan pada proses roasting selanjutnya untuk mengoptimalkan proses roasting selanjutnya. Setelah semua proses selesai akan dilakukan evaluasi untuk mengetahui apa saja kekurangan dari sistem yang telah dibuat.

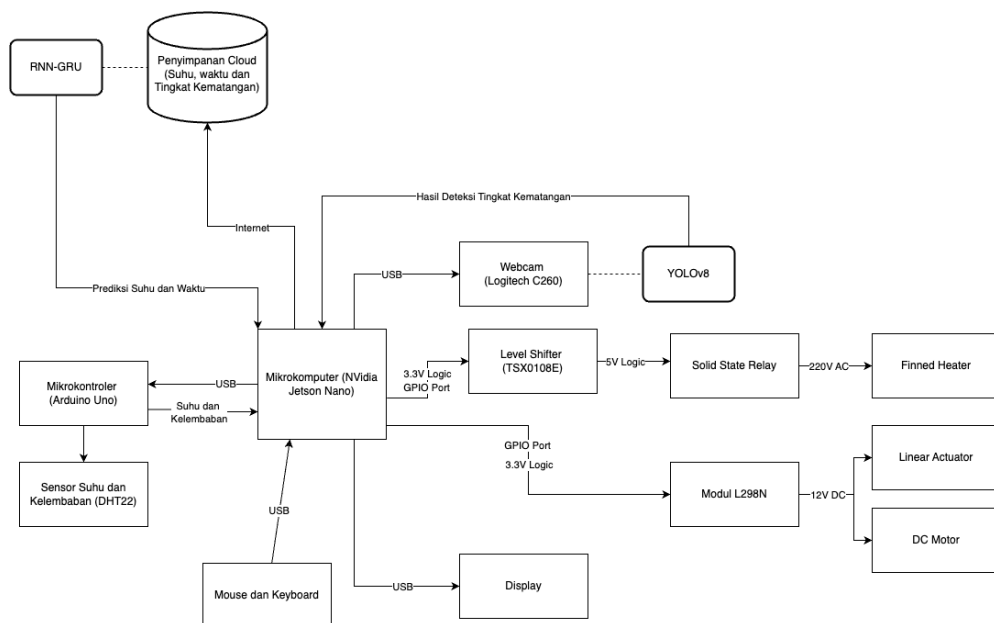
2.9.2 Diagram Interaksi Antar Komponen

Diagram Diagram koneksi antar komponen menjelaskan interaksi antar komponen dalam sistem roasting kopi otomatis yang dikembangkan oleh penulis. Mikrokomputer Nvidia Jetson Nano berfungsi sebagai pusat kendali utama, yang menerima input jenis kopi dan tingkat kematangan yang diinginkan melalui keyboard dan mouse. Setelah itu, mikrokomputer menjalankan komputasi menggunakan algoritma RNN-GRU berdasarkan data yang tersimpan di cloud.

Prediksi hasil komputasi dikirimkan melalui port GPIO ke level shifter, yang mengubah sinyal dari logika 3.3V menjadi logika 5V. Sinyal tersebut kemudian diteruskan ke Solid State Relay (SSR) untuk mengontrol finned heater serta modul L298N untuk menggerakkan linear actuator dan motor DC. Sensor suhu, yaitu DHT

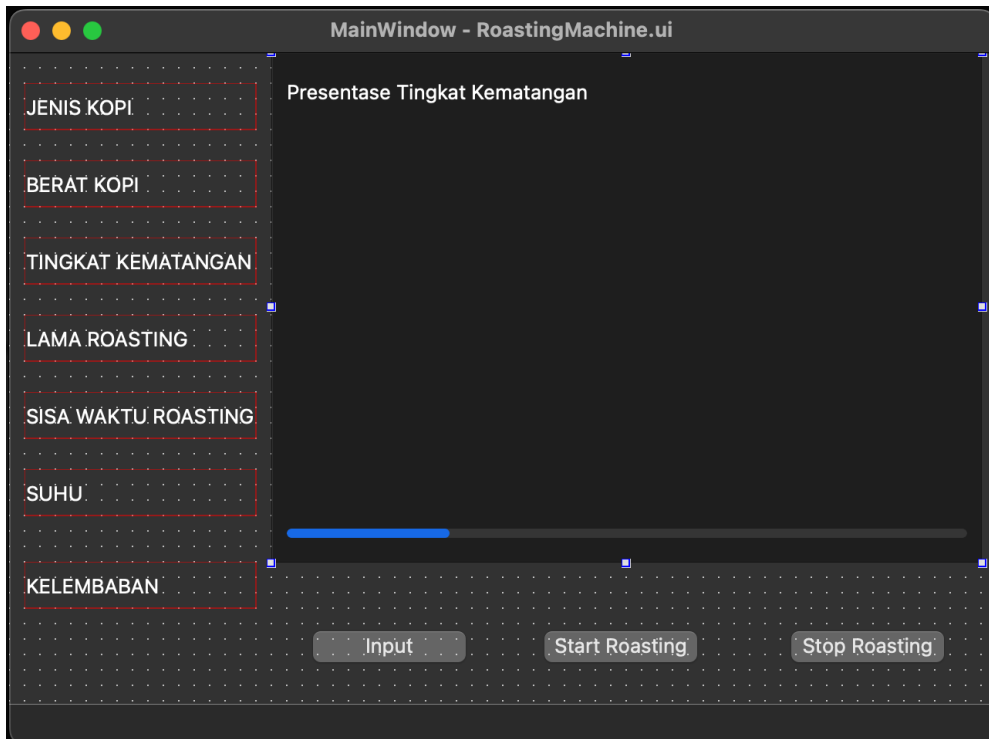
22 yang terhubung ke Jetson Nano melalui Arduino Uno, mengirimkan data suhu secara real-time selama proses roasting berlangsung. Data ini digunakan oleh mikrokomputer untuk mengontrol finned heater, memastikan suhu optimal selama proses roasting.

Setelah proses roasting selesai, mikrokomputer akan mengirimkan sinyal ke linear actuator untuk menaikkan mesin roasting kopi sehingga biji kopi yang telah di-roasting dapat keluar dari tabung. Kamera Logitech C270 kemudian mengambil citra biji kopi dan menggunakan algoritma YOLOv8 untuk mendeteksi tingkat kematangan biji kopi, memberikan persentase akurasi berdasarkan tingkat kematangan yang diinginkan. Seluruh data suhu, waktu, dan persentase tingkat kematangan disimpan di cloud, yang berfungsi sebagai pedoman untuk memprediksi proses roasting kopi berikutnya. Data ini akan terus diperbarui dan dianalisis untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi sistem roasting kopi otomatis yang dikembangkan.



Gambar 16. Diagram Interaksi Antar Komponen.

2.9.3 Desain *User Interface*



Gambar 17. Desain User Interface

Gambar di atas menunjukkan desain antarmuka pengguna (UI/UX) untuk aplikasi kontrol proses roasting kopi yang dibuat menggunakan PyQt Designer. Pada sisi kiri, terdapat beberapa elemen informasi penting yang meliputi data suhu dan kelembaban yang diambil secara real-time dari sensor selama proses roasting. Selain itu, terdapat juga informasi input yang dapat diisi oleh pengguna (roaster), seperti waktu roasting, jenis kopi, dan berat kopi, yang diperlukan untuk menyesuaikan proses roasting sesuai dengan preferensi.

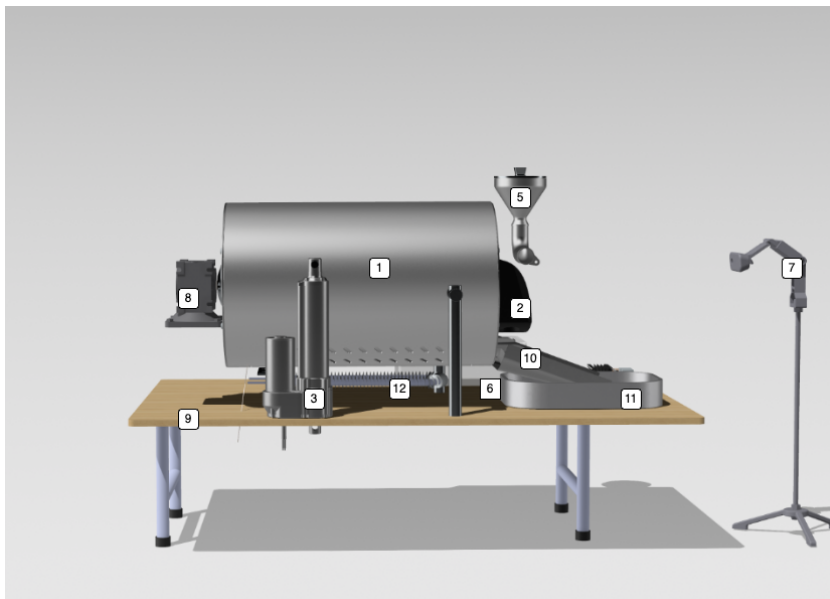
Bagian tengah dari antarmuka ini menampilkan "Layar Deteksi YOLO," yang akan menunjukkan hasil deteksi visual dari model YOLOv8. Ini berguna untuk memantau kematangan biji kopi secara langsung selama ketika .Yang dimana hasilnya akan ditampilkan di bagian kiri atas berupa presentase keakuratan hasil roasting biji kopi berdasarkan tingkat kematangan yang telah diisi oleh pengguna(roaster).

Di bagian bawah, terdapat tiga tombol utama. Tombol "Mulai Roasting" digunakan untuk memulai proses roasting berdasarkan parameter yang sudah diatur, sementara tombol "Akhir Proses" berfungsi untuk menghentikan proses roasting kapan saja jika diperlukan dan tombol "Input" digunakan untuk memasukkan inputan yang dibutuhkan. Desain ini dirancang untuk memudahkan pengguna dalam memantau dan mengontrol proses roasting dengan efisien, serta memberikan visualisasi yang intuitif

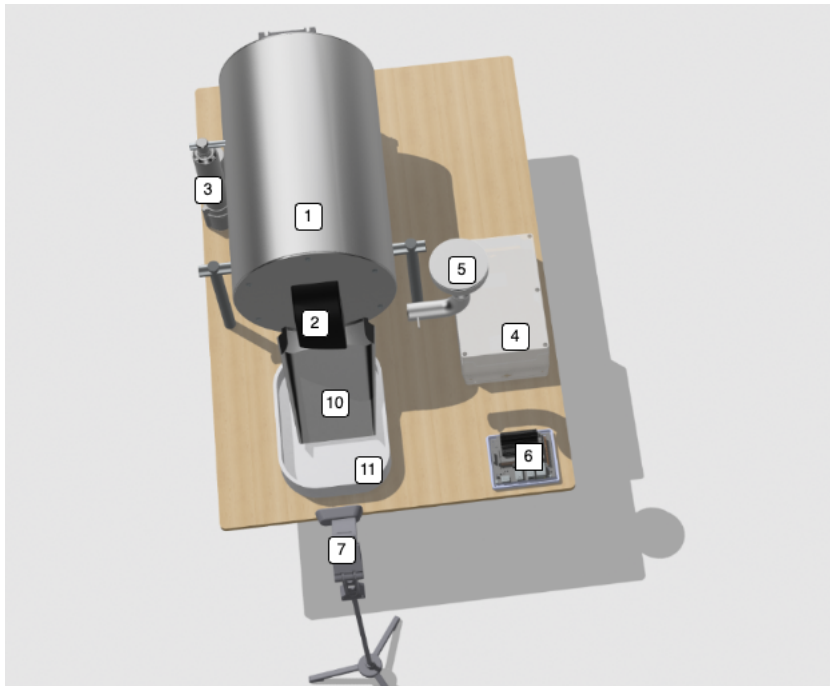
2.9.4 Desain Mesin Roasting Kopi

Desain 3D memegang peranan krusial dalam penelitian ini karena tidak hanya sebagai visualisasi mesin roasting kopi secara menyeluruh, tetapi juga memberikan gambaran yang akurat mengenai dimensi, proporsi, dan hubungan antar komponen. Dengan adanya desain ini, peneliti dapat lebih mudah menganalisis dan memvalidasi rancangan sebelum memasuki tahap pembuatan mesin roasting kopi, sehingga dapat menghemat waktu, biaya, dan juga sumber daya.

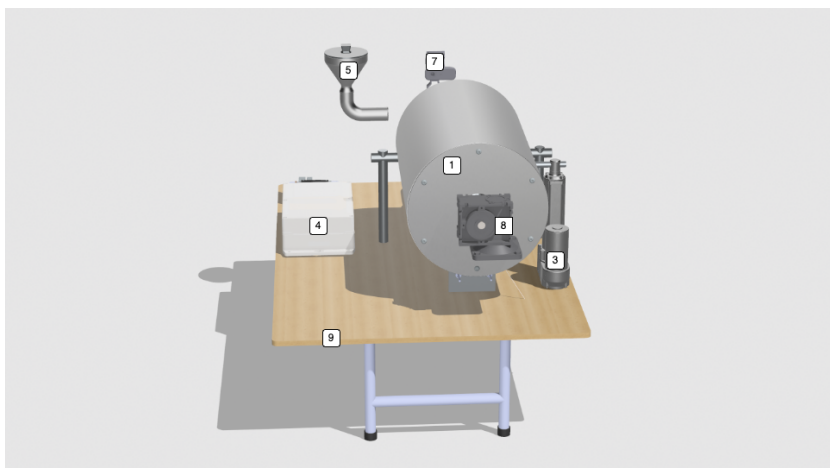
Desain ini juga berfungsi sebagai pedoman yang jelas dalam proses produksi, guna memastikan setiap bahwa setiap bagian mesin dapat direalisasikan sesuai dengan spesifikasi teknis yang diinginkan. Hal ini sangat penting untuk meminimalisir resiko kesalahan pada saat perakitan, sehingga dapat menjamin kualitas mesin sesuai dengan kebutuhan penelitian. Selain itu, desain ini memungkinkan tim untuk melakukan simulasi atau prediksi mengenai kinerja mesin, sehingga penyesuaian atau perbaikan dapat dilakukan secara tepat sebelum melakukan implementasi.



Gambar 18. Desain Mesin Roasting Kopi (Dari Samping)



Gambar 19. Desain Mesin Roasting Kopi (Dari Atas)



Gambar 20. Desain Mesin Roasting Kopi (Dari Belakang)

Berdasarkan gambar 14, gambar 15, dan gambar 16 maka dapat dilihat bahwa mesin roasting kopi memiliki beberapa komponen utama yang ditandai dengan nomor. Adapun komponen-komponennya adalah sebagai berikut :

1. *Barrel*
2. *Funnel*
3. *Linear Actuator*

4. *Project Box*
5. *Hopper*
6. *Microcomputer*(Nvidia Jetson Nano)
7. *Camera* (*Webcam* Logitech C270)
8. *DC Motor*
9. *Platform*
10. *Confeyor Belt*
11. *Cooling Plate*
12. *Heater*

Mesin roasting kopi Anda terdiri dari berbagai komponen yang berfungsi secara sinergis untuk menghasilkan biji kopi yang dipanggang dengan sempurna. *Barrel* berfungsi sebagai ruang utama tempat biji kopi dipanggang, di mana pemanasan terjadi. *Funnel* memudahkan proses memasukkan biji kopi ke dalam *barrel* serta mengarahkan biji kopi yang sudah dipanggang menuju Discharge Port untuk dikeluarkan. *Linear Actuator* digunakan untuk menggerakkan bagian tertentu dari mesin, seperti penutupan atau pembukaan saluran biji kopi. *Project Box* berfungsi sebagai wadah untuk menyimpan komponen elektronik dan sistem kontrol. *Hopper* berfungsi untuk menampung biji kopi sebelum pemanggangan, sementara *Microcomputer* (Nvidia Jetson Nano) berperan dalam mengontrol proses pemanggangan dan menganalisis data dari Kamera (*Webcam* Logitech C270) yang digunakan untuk memantau kematangan biji kopi. *DC Motor* menggerakkan bagian mesin yang memerlukan rotasi, seperti barrel selama proses roasting. *Platform* adalah alas yang menstabilkan mesin, dan *Cooling Plate* digunakan untuk mendinginkan biji kopi yang baru dipanggang agar proses pemanggangan dapat dihentikan secara cepat. Terakhir, *Heater* adalah sumber panas yang memanaskan barrel untuk memanggang biji kopi hingga mencapai tingkat kematangan yang diinginkan.