

**PENGEMBANGAN APLIKASI IOS UNTUK EVALUASI HASIL
PENYANGRAIAN KOPI ARABIKA
DEVELOPMENT OF IOS APP FOR EVALUATION OF ARABICA COFFEE
ROASTING RESULT**



AYLA AINAYYAH. M

G042221001



PROGRAM STUDI MAGISTER KETEKNIKAN PERTANIAN

FAKULTAS PERTANIAN

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2024

**PENGEMBANGAN APLIKASI IOS UNTUK EVALUASI HASIL
PENYANGRAIAN KOPI ARABIKA**

**AYLA AINAYYAH. M
G042221001**



**PROGRAM STUDI MAGISTER KETEKNIKAN PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**PENGEMBANGAN APLIKASI IOS UNTUK EVALUASI HASIL
PENYANGRAIAN KOPI ARABIKA**

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister

Program Studi Magister Keteknikan Pertanian

Disusun dan diajukan oleh

AYLA AINAYYAH. M
G042221001

kepada

PROGRAM STUDI MAGISTER KETEKNIKAN PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024

TESIS**PENGEMBANGAN APLIKASI IOS UNTUK EVALUASI HASIL PEYANGRAIAN
KOPI ARABIKA****AYLA AINAYYAH, M****G042221001**

telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian Magister pada tanggal 18 Juli 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

pada

Program Studi Magister Keteknikan Pertanian
Fakultas Pertanian
Universitas Hasanuddin
Makassar

Mengesahkan:

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,

Prof. Dr. Ir. Salengke, M.Sc.

NIP. 196312311988111005

Dr. Abdul Azis, STP, M.Si.

NIP. 197812252002121001

Ketua Program Studi
Magister Keteknikan Pertanian,

Dekan Fakultas Pertanian
Universitas Hasanuddin,

Dr. Ir. Iqbal, STP, M.Si., IPM.

NIP. 197812252002121001

**Prof. Dr. Ir. Salengke, M.Sc.**

NIP. 196312311988111005

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, tesis berjudul "Pengembangan Aplikasi iOS untuk Evaluasi Hasil Penyangraian Kopi Arabika" adalah benar karya saya dengan arahan dari tim pembimbing Prof. Dr. Ir. Salengke, M. Sc. sebagai Pembimbing Utama dan Dr. Abdul Azis, STP, M.Si. sebagai Pembimbing Pendamping. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka disertasi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.



Kassar, 18 Juli 2024


Ayla Ainayyah. M
G0422210001

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT., karena atas rahmat dan nikmat-Nya saya dapat menyelesaikan penulisan tesis yang berjudul “Pengembangan Aplikasi iOS untuk Evaluasi Hasil Penyangraian Kopi Arabika”. Penulis menyadari bahwa dengan selesainya penulisan skripsi ini tidak lepas dari doa dan dukungan serta semangat oleh berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Bapak Makkarai, Ibu Hj. Sunarti serta keluarga besarku yang selalu memberikan dukungan, kasih sayang, motivasi dan doanya selama ini sehingga dapat menyelesaikan tesis ini.
2. Prof. Dr. Ir. Salengke, M.Sc. dan Bapak Dr. Abdul Azis, STP, M.Si., selaku dosen pembimbing yang sangat berperan penting dan senantiasa memberikan arahan, masukan, saran dan semangat kepada saya dari awal penelitian hingga penulisan tesis.
3. Prof. Dr. Ir. Mursalim, Bapak Dr. Ir. Abdul Waris, M.Si dan Ibu Dr.rer.nat Olly S. Hutabarat, STP, M.Si, selaku penguji yang senantiasa memberikan masukan dan saran untuk penelitian dan penulisan tesis.
4. Ayu Lestari, Rizky, Wahyu dan Vicky yang telah banyak membantu selama pembuatan program untuk tesis ini.

Semoga Allah SWT, senantiasa membalas kebaikan mereka dengan lebih baik dan semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat untuk semuanya. Aamiin.

Penulis



Ayla Ainayah. M

ABSTRAK

Ayla Ainayyah. M. **Pengembangan aplikasi iOS untuk evaluasi hasil penyangraian kopi arabika** (dibimbing oleh Salengke dan Abdul Azis).

Penentuan level sangrai kopi biasanya dilakukan dengan melihat warna hasil penyangraian yang dapat dilakukan dengan menggunakan instrumen dan metode objektif (visual manusia). Penentuan kualitas hasil penyangraian kopi dengan warna menggunakan metode objektif sangat rentan terhadap kesalahan dan bias, serta perlu dilakukan oleh seorang ahli. Penelitian bertujuan untuk menghasilkan algoritma *machine learning Convolutional Neural Network* (CNN) dengan *framework* CoreML dalam melakukan klasifikasi level penyangraian pada kopi dan mengintegrasikannya ke dalam aplikasi berbasis iOS. Penelitian ini dimulai dengan pembuatan *dataset* kopi, kemudian pembuatan algoritma CNN dengan menggunakan arsitektur LeNet-5, pelatihan dan pengujian model, pembuatan dan pengujian aplikasi, serta *launch* aplikasi. *Dataset* yang dikumpulkan sebanyak 1200 citra yang terbagi atas 3 kelas yaitu *dark*, *medium* dan *light roast*. Dari hasil pelatihan dan pengujian model didapatkan nilai akurasi masing-masing 99,22% dan 99,00%, sedangkan untuk nilai *loss* masing-masing 0,0228 dan 0,0292. Dari kedua nilai tersebut menunjukkan bahwa kinerja model sangat baik dalam klasifikasi level sangrai. Model tersebut kemudian diintegrasikan ke dalam aplikasi yang dibuat menggunakan beberapa *frameworks* dari Swift seperti CoreML, Vision dan UIKit. Aplikasi tersebut kemudian diuji kebeberapa pengguna untuk memastikan fungsi setiap fitur dalam aplikasi berjalan dengan baik. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa implementasi model ke dalam aplikasi tidak mengubah kinerja dari model. Aplikasi ini kemudian dites terhadap dua merek kopi yang lain, dan didapatkan level sangrai yang berbeda dengan merek yang digunakan untuk *dataset*. Hal ini menunjukkan bahwa hasil klasifikasi yang dihasilkan model bergantung pada *dataset* yang digunakan.

Kata kunci: kopi, klasifikasi, LeNet-5, model, aplikasi iOS

ABSTRACT

Ayla Ainayyah. M. **Development of iOS app for evaluation of arabica coffee roasting result** (supervised oleh Salengke dan Abdul Azis).

Determination of the roast level of coffee beans is usually based on the colour of the roasted beans, which can be done using instruments and objective methods (human visual). The use of objective methods in determining the quality of coffee roasting could lead to bias and error, and need to be conducted by experts. This research aimed to produce a Convolutional Neural Network (CNN) machine learning algorithm and the CoreML framework for classifying the roasting level of coffee bean and integrated them into an iOS-based application. This research began with the creation of a coffee bean dataset and a CNN algorithm using the LeNet-5 architecture, following with model training and testing, application creation and testing, and application launch. There were 1200 images collected, which divided into 3 classes, namely dark, medium, and light roast. The accuracy of model training and testing were 99,22% and 99,00%, respectively, while the loss value were 0,0228 and 0,0292, respectively. Based on both values, it can be said that model performance was very good in classified roasting level. The model was then integrated into the Cofi application using several frameworks from Swift, such as CoreML, Vision, and UIKit. The Cofi application was then tested on several users to ensure the function of each feature in the application can ran well. The test results showed that the integration of the model in the application did not change the model performance. The application was tested on two differend coffee brand, and resulted in different roasting level with the brand using in dataset. This showed that the roasting level classification resulted from the model was depend on the dataset

Keywords: coffee, classification, LeNet-5, model, iOS application

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan.....	5
1.4 Kegunaan	5
1.5 Batasan Masalah	5
BAB II. METODE PENELITIAN	6
2.1 Tempat dan Waktu	6
2.2 Alat dan Bahan	6
2.3 Prosedur Penelitian	6
2.4 Diagram Alir Penelitian	13
BAB III. HASIL PENELITIAN	14
3.1 Karakteristik Bubuk Kopi.....	14
3.2 <i>Dataset</i> Kopi	14
3.3 Model <i>Convolutional Neural Network</i> (CNN)	15
3.4 Hasil Pelatihan dan Pengujian Model	17
3.5 Implementasi Model pada Aplikasi iOS	18
3.6 Pengujian Aplikasi	22
3.7 Hasil Evaluasi Level Sangrai Kopi	23
3.8 <i>Launch</i> Aplikasi.....	24
BAB IV. PEMBAHASAN	25

4.1 Nilai Akurasi dan <i>Loss</i> pada Model	25
4.2 Pengujian Aplikasi	25
4.3 Evaluasi Level Sangrai Kopi	26
BAB V. KESIMPULAN.....	27
5.1 Kesimpulan	27
DAFTAR PUSTAKA	28
LAMPIRAN	31

DAFTAR TABEL

Nomor Urut	Halaman
1. <i>Hyperparameter</i> arsitektur CNN yang digunakan	8
2. Keterangan pemrosesan data yang digunakan	9
3. Nilai R, G, B kopi yang digunakan	14
4. Visualisasi <i>dataset</i> kopi yang digunakan	14
5. Hasil pengujian aplikasi	22
6. Hasil evaluasi level sangrai kopi.....	23

DAFTAR GAMBAR

Nomor Urut	Halaman
1. Arsitektur Model CNN	7
2. Proses kerja model	10
3. <i>High Fidelity</i> (Hi-Fid) dari aplikasi	12
4. Diagram alir penelitian	13
5. Tampilan program untuk memuat <i>dataset</i>	15
6. Tampilan program model LeNet-5	16
7. Tampilan program untuk menghitung koefisien korelasi	16
8. Grafik nilai akurasi model	17
9. Grafik nilai <i>loss</i> model.....	17
10. Grafik nilai akurasi dan <i>loss</i> pada <i>train</i> model	18
11. Grafik nilai akurasi dan <i>loss</i> pada <i>test</i> model	18
12. Tampilan aplikasi di <i>platform</i> Testflight.....	19
13. <i>Onboarding screen</i>	19
14. <i>Home screen</i>	19
15. <i>Article screen</i> dan <i>History screen</i>	20
16. <i>Classification screen</i>	20
17. Tampilan program dari aplikasi Xcode	21
18. Tampilan program konversi model di VSCode	21
19. Tampilan program integrasi model di Xcode	22
20. Logo aplikasi	54
21. Dokumentasi pengambilan <i>dataset</i>	54
22. Dokumentasi pengambilan <i>dataset</i>	54
23. Merek kopi yang digunakan untuk <i>dataset</i>	55
24. Toarco Toraja Coffee untuk evaluasi aplikasi.....	55
25. The Cold Crafters untuk evaluasi aplikasi	55

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor Urut	Halaman
1. <i>Source Code</i> Python.....	31
2. <i>Source Code</i> Swift.....	33
3. <i>Asset</i> Penelitian.....	54
4. Dokumentasi Penelitian.....	54
5. Daftar Riwayat Hidup.....	56

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kopi sebagai salah satu hasil komoditi perkebunan yang memiliki nilai ekonomis yang cukup tinggi di antara hasil perkebunan lainnya karenanya menjadi sumber pendapatan bagi sebagian masyarakat di Indonesia. Indonesia menjadi salah satu penghasil kopi terbesar di dunia dengan produksi sebesar 11,95 juta karung kopi (60 kg/karung) pada tahun 2020 (International Coffee Organization, 2021). Namun, tingginya produksi kopi tersebut tidak membuat nilai ekspor kopi meningkat. Hal ini berdasarkan data Badan Pusat Statistik (2021), bahwa posisi Indonesia sebagai negara pengekspor kopi turun dari posisi empat ke posisi 5. Penurunan nilai ekspor tersebut tidak lepas dari mutu biji kopi yang dihasilkan.

Mutu biji kopi sangat bergantung pada proses penanganan pasca panennya. Penanganan pasca panen yang tidak tepat dapat menurunkan kualitas biji kopi dan berdampak pada harga biji kopi tersebut. Salah satu proses pasca panen yang sangat penting dalam rantai produksi biji kopi yaitu proses penyangraian biji kopi.

Proses penyangraian biji kopi mempengaruhi aroma dan rasa biji kopi yang dihasilkan. Dalam proses ini, biji kopi mengalami serangkaian reaksi yang mengarah pada perubahan sifat fisik dan komposisi kimia yang diinginkan. Namun demikian, proses ini menjadi sangat kompleks karena jumlah panas yang ditransfer ke biji kopi sangat mempengaruhi. Dalam penyangraian kopi, biji kopi dipanaskan hingga suhu tinggi untuk waktu yang berbeda tergantung pada karakteristik yang diinginkan dari produk akhir biji kopi (Suud dkk., 2021).

Biji kopi yang disangrai mengalami perubahan dalam hal berat, warna, bentuk, pH, rasa dan aroma. Cara yang paling umum untuk menggambarkan level sangrai kopi adalah dengan melihat hasil akhir warna biji kopi yang telah disangrai, mulai dari level penyangraian terendah yaitu *light roast* (warna terang) sampai dengan *dark roast*/warna gelap. Warna biji kopi hasil penyangraian menjadi salah satu faktor yang digunakan untuk menilai mutu biji kopi (Agustina dkk., 2019).

Pada level penyangraian *light roast*, biji kopi memiliki tingkat kematangan paling rendah dari semua level dan masih memiliki ciri khas seperti aslinya (*green bean*) sehingga rasa kopi masih original. Pada level ini, aroma yang dihasilkan tidak terlalu tajam dan mempunyai rasa biji kopi yang masih segar dan terasa seperti buah. Biji kopi yang dihasilkan berwarna coklat muda terang dan belum terdapat lapisan minyak dipermukaannya (Bahrumi dkk., 2022).

Pada level penyangraian *medium roast*, biji kopi menghasilkan aroma yang sangat jelas tercium. Selain itu kandungan gula alami pada biji kopi mulai berkarbonasi dan terkaramelisasi sehingga menghasilkan rasa yang sedikit manis pada biji kopi. Hal itu juga mengakibatkan warna pada biji kopi semakin gelap dibandingkan *light roast*. Pada level ini biji kopi kaya akan rasa dengan aroma dan tingkat keasaman yang seimbang. Sedangkan pada level penyangraian *dark roast*, warna biji kopi yang dihasilkan coklat agak kehitaman. Selain itu, rasa pada level ini lebih dominan pahit dan sedikit bau asap (*smoky*) yang dapat menutupi rasa khas

dari biji kopi. Pada level *dark roast* ini akan mengeluarkan lapisan minyak yang pekat pada permukaan biji kopi (Bahrumi dkk., 2022).

Suhu dan lama penyangraian biji kopi berbeda-beda untuk setiap level penyangraian. Pada level *light roast*, rata-rata waktu yang dibutuhkan 10 menit dengan suhu penyangraian 190°C. Untuk level *medium roast* membutuhkan waktu 11 menit dengan suhu penyangraian 200°C. Sedangkan untuk level *dark roast*, waktu yang dibutuhkan sekitar 12 menit dengan suhu penyangraian 210°C (Dalimunthe dkk., 2023).

Warna dari level penyangraian sendiri dapat ditentukan oleh 2 metode yaitu metode kualitatif dengan instrumen dan metode objektif melalui visual manusia. Penentuan kualitas biji kopi dengan warna menggunakan metode objektif sangat rentan terhadap kesalahan dan bias, terutama dalam produksi yang besar. Selain itu, metode objektif perlu dilakukan oleh seorang ahli.

Salah satu standar yang dapat digunakan untuk menentukan level penyangraian biji kopi berdasarkan warnanya yaitu nilai L. Standar nilai L yang dapat digunakan berdasarkan penelitian Mulato dkk. (2006) yaitu 44 – 45 untuk level *light roast*, 38 – 40 untuk level *medium roast*, dan 34 – 35 untuk level *dark roast*. Nilai L atau tingkat kecerahan pada biji kopi akan semakin turun dari *light roast* hingga *dark roast* (Sutarsi dkk., 2016).

Dengan berkembangnya teknologi, banyak industri telah berubah, termasuk pertanian. Pendekatan berbasis teknologi menjadi semakin penting dalam upaya meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam klasifikasi hasil penyangraian biji kopi. Penggunaan teknologi membuka peluang baru untuk mengatasi masalah ini karena penggunaan teknologi sensor dan pemrosesan citra yang dapat memberikan penilaian akurat tentang level penyangraian biji kopi.

Pengolahan citra digital bertujuan untuk mengelompokkan citra ke dalam kelas tertentu berdasarkan fitur-fitur yang terdapat pada citra tersebut. Pengolahan citra digital sebelumnya telah banyak digunakan untuk klasifikasi pada bidang pertanian. Salah satunya yaitu Riska dkk. (2016) yang menggunakan algoritma *Support Vector Machine* (SVM) untuk klasifikasi kematangan pada buah tomat. Selain itu Maulana dkk. (2019) menggunakan *Convolutional Neural Network* (CNN) untuk klasifikasi buah-buahan dan sayuran. Serta Prakosa dkk (2023) melakukan klasifikasi penyakit tanaman pada daun jagung menggunakan *Convolutional Neural Network* (CNN).

Pengolahan citra digital (*image processing*) memungkinkan untuk menentukan hasil penyangraian biji kopi yang tepat berdasarkan warna yang dilakukan secara *computing* (berbasis teknologi). Salah satu indikator untuk menentukan hasil penyangraian biji kopi yang tepat yaitu dengan menggunakan level penyangraian kopi. Ada 3 level penyangraian kopi yang dapat digunakan yaitu *light roast*, *medium roast* dan *dark roast*. Untuk mendeteksi ciri-ciri ketiga jenis level penyangraian tersebut, dapat dilakukan dengan pengolahan citra digital dengan *feature extraction* yang bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik atau fitur dari suatu objek. Metode ini digunakan untuk mengidentifikasi fitur-fitur yang dimiliki oleh *roast beans* (biji kopi yang sudah disangrai) agar sistem yang dibuat dapat mengenali level

penyangraian kopi. Ekstraksi fitur citra bisa dilakukan dengan ekstraksi fitur warna, tekstur dan bentuk. Ekstraksi ciri warna digunakan apabila objek-objek yang akan dikenali mempunyai warna yang berbeda, parameter-parameter warna didapat dengan cara menormalisasi setiap komponen RGB (*Red, Green, Blue*) pada citra (Prastyaningsih dan Wiwik, 2021).

Salah satu bagian penting dalam pengolahan citra digital adalah warna dari citra, karena warna merupakan sesuatu yang terlihat secara visual pertama kali saat objek berhasil dipotret oleh kamera. Selain itu warna memiliki informasi yang penting untuk merepresentasikan kualitas dari suatu citra. Sehingga, warna dari biji kopi menjadi indikator yang penting dalam menentukan tingkat kematangan dan kualitas dari biji kopi tersebut.

Namun, Wang dkk. (2012) melakukan klasifikasi level berdasarkan warna pada buah-buahan dan masalah yang muncul yaitu adanya variasi pencahayaan pada permukaan buah yang mengakibatkan munculnya kesalahan saat menentukan tingkat warna. Untuk mengatasi kondisi tersebut, dapat digunakan kamera dengan mode *flash-on*. Sehingga, variasi pencahayaan seragam. Akurasi yang dapat dicapai lebih dari 85% (Riska dan Puji, 2016).

Pengolahan citra digital sendiri merupakan salah satu pemanfaatan dari teknologi *machine learning*. *Machine learning* adalah bagian dari kecerdasan buatan (*artificial intelligence*) yang dikenal sebagai memiliki kemampuan untuk belajar dari data dan membuat prediksi berdasarkan pola yang telah diidentifikasi. *Machine learning* dapat membantu dalam klasifikasi level penyangraian kopi. Ada banyak algoritma dalam *machine learning* yang bisa digunakan, salah satunya *Convolutional Neural Network* (CNN). CNN merupakan pengembangan dari model *Multilayer Perceptron* (MPL) dari *neural network* yang bekerja seperti jaringan saraf pada otak manusia yang mengolah data 2 dimensi, seperti gambar atau suara. Pada *Multilayer Perceptron* (MPL) terdapat 3 lapisan utama yaitu *input layer*, *hidden layer* dan *output layer*. Sedangkan pada CNN, terdapat beberapa lapisan tambahan untuk mengoptimalkan kinerja dari model seperti *convolutional layer*. Metode CNN ini memiliki hasil yang paling signifikan dalam pengenalan citra digital. Hal tersebut dikarenakan CNN diimplementasikan berdasarkan sistem pengenalan citra pada *visual cortex* manusia atau sesuai dengan cara kerja visual manusia (Maulana dan Naim, 2019). Metode CNN sangat populer dalam hal *image classification*. Hal ini dikarenakan metode tersebut memungkinkan untuk belajar dan generalisasi masalah layaknya otak manusia (Khasanah dkk., 2023).

Dalam pengolahan citra, CNN memiliki fitur pembelajaran melalui serangkaian proses pada lapisan-lapisan konvolusi. Untuk itu, CNN tidak memerlukan proses ekstraksi fungsi khusus dan biasanya hanya membutuhkan *preprocessing* dasar untuk menormalisasi data. Dengan kata lain, CNN mengekstrak fitur dari gambar yang dimasukkan dan mengubah dimensi gambar tersebut menjadi lebih kecil tanpa merubah karakteristik gambar tersebut. Konvolusi sendiri adalah suatu istilah matematis yang berarti mengaplikasikan sebuah fungsi pada *output* fungsi lain secara berulang. Dalam pengolahan citra, konvolusi berarti mengaplikasikan sebuah

kernel (kotak kuning) pada citra disemua *offset* yang memungkinkan pada citra tersebut (Suartika dkk., 2016).

Ada banyak arsitektur CNN yang dapat digunakan, salah satunya yaitu arsitektur LeNet-5. LeNet-5 merupakan pengembangan dari arsitektur LeNet sebelumnya yang diperkenalkan oleh Yann Lecun pada tahun 1998 dan menjadi pionir pengembangan arsitektur CNN modern. LeNet-5 dari CNN memiliki perhitungan yang lebih unggul dan lebih cepat dibanding algoritma lain seperti *Support Vector Machine* (SVM) dan dapat bekerja secara eksponensial. LeNet-5 menerima *input* berupa gambar dengan ukuran 32×32 pixel. Cara kerja arsitektur ini yaitu *output* pada lapisan pertama akan dijadikan sebagai *input* pada lapisan selanjutnya hingga lapisan terakhir yang menjadi tahap klasifikasi. Output dari lapisan terakhir tersebut kemudian diuji dengan beberapa parameter performansi, seperti akurasi, *loss* maupun dari segi presisi (Ibrahim dkk., 2022). Dari hasil penelitian Harahap dkk. (2021), model LeNet-5 menghasilkan nilai akurasi yang lebih baik dibandingkan dengan model lainnya.

Pada arsitektur LeNet-5, terdapat 7 lapisan yang dibagi menjadi 2 bagian utama yaitu ekstraksi fitur (*feature extraction layer*) dan klasifikasi (*fully connected layer*). Pada bagian *feature extraction*, terdapat lapisan yang berguna menerima *input* berupa gambar secara langsung diawal dan memprosesnya sampai menghasilkan *output* data berupa angka yang merepresentasikan gambar. Terdapat beberapa lapisan didalam *feature extraction* yaitu lapisan konvolusi (*convolution layer*) dan lapisan *down sampling* (*pooling layer*) yang dilakukan sebanyak 2 kali dengan menggunakan fungsi aktivasi ReLU saat konvolusi dan operasi *max pooling* saat proses *pooling*. *Output* dari bagian *feature extraction* kemudian diproses pada bagian klasifikasi hingga menghasilkan *output* berupa akurasi klasifikasi dari setiap kelas. Pada bagian klasifikasi, terdapat beberapa lapisan seperti *flatten layer*, *hidden layer* dan *output layer* dengan fungsi aktivasi yang biasa digunakan yaitu *SoftMax*. Fungsi aktivasi *SoftMax* akan menentukan hasil klasifikasi berdasarkan nilai probabilitas tertinggi dari setiap kelas pada model (Intyanto, 2021).

Klasifikasi level penyangraian menggunakan CNN merupakan suatu hal yang sangat kompleks. Maka dari itu, untuk memudahkan masyarakat, pedagang maupun industri dalam deteksi level penyangraian, maka perlu dilakukan pengembangan sebuah aplikasi. Salah satu sistem operasi (OS) yang bisa digunakan dalam pengembangan aplikasi *mobile* adalah iOS. iOS merupakan sistem operasi yang dikembangkan oleh Apple Inc. yang mendukung perangkat iPhone, iPad maupun Apple TV.

Aplikasi tersebut akan mempermudah akses untuk klasifikasi level penyangraian pada kopi secara *real-time* dan berguna untuk evaluasi hasil penyangraian kopi. Algoritma CNN akan diintegrasikan dengan *framework machine learning* dari Apple Inc. yaitu CoreML. CoreML digunakan untuk pembuatan model, *data training* dan melakukan *testing* pada model. Karenanya pembuatan aplikasi ini menggunakan bahasa pemrograman Swift yang mendukung *framework* tersebut dan dibangun menggunakan sistem operasi iOS.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana kinerja algoritma *machine learning Convolutional Neural Network* (CNN) dan *framework* CoreML untuk klasifikasi level penyangraian pada kopi?
2. Bagaimana membangun aplikasi untuk evaluasi hasil penyangraian kopi berbasis iOS?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menghasilkan algoritma *machine learning Convolutional Neural Network* (CNN) dengan *framework* CoreML dalam melakukan klasifikasi level penyangraian pada kopi. Serta menghasilkan aplikasi berbasis iOS untuk evaluasi hasil penyangraian kopi dengan *machine learning*.

1.4 Kegunaan

Kegunaan penelitian ini yaitu membantu industri maupun UMKM dibidang kopi untuk melakukan evaluasi hasil penyangraian pada mesin sangrai kopi dengan mudah, efisien dan akurat dibandingkan dengan metode konvensional. Serta menjadi model penerapan *machine learning* terutama dalam hal klasifikasi di bidang pertanian.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu penelitian ini menggunakan arsitektur LeNet-5 dengan algoritma *Convolutional Neural Network* (CNN). Sistem operasi (OS) yang digunakan yaitu iOS sehingga aplikasi yang dihasilkan nantinya hanya dapat digunakan pada *handphone* iPhone minimal iOS 16. Pengambilan gambar untuk proses klasifikasi level penyangraian kopi harus memastikan bahwa tidak ada benda lain di sekitar kopi dan tidak dilakukan pada ruangan dengan keadaan remang atau gelap. Kopi yang digunakan pada aplikasi ini dalam bentuk bubuk, sehingga klasifikasinya hanya dapat dilakukan pada kopi yang sudah berbentuk bubuk. Selain itu, penelitian ini hanya menggunakan 3 level penyangraian yaitu *light roast*, *medium roast* dan *dark roast*.

BAB II. METODE PENELITIAN

2.1 Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan April - Mei 2024 bertempat di Laboratorium *Processing*, Program Studi Keteknikan Pertanian, Departemen Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin, Makassar.

2.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu kamera *smartphone*, *smartphone*, Macbook, tripod, *grinder*, alat pengayak 30 mesh dan timbangan digital. Sedangkan *software* yang digunakan yaitu Visual Studio Code versi 1.83.1 (bahasa program Python), Xcode versi 15.0 (bahasa program Swift), App Store Connect, Testflight, Roboflow dan Figma versi 116.14.4. Adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu bubuk kopi Arabika.

2.3 Prosedur Penelitian

2.3.1 Penyiapan Bahan

Kopi yang digunakan pada penelitian ini yaitu kopi Arabika yang telah disangrai sebanyak 400 gram untuk setiap kategori (*light roast*, *medium roast*, *dark roast*). Kopi tersebut kemudian dihaluskan menggunakan *grinder* dan diayak menggunakan alat pengayak ukuran 30 *mesh*. Pengayakan pada bubuk kopi bertujuan agar ukuran bubuk kopi seragam dan tidak mempengaruhi warna ketika bubuk kopi tersebut difoto. Bubuk kopi ini digunakan sebagai standar untuk level sangrai bubuk kopi pada aplikasi yang dibuat.

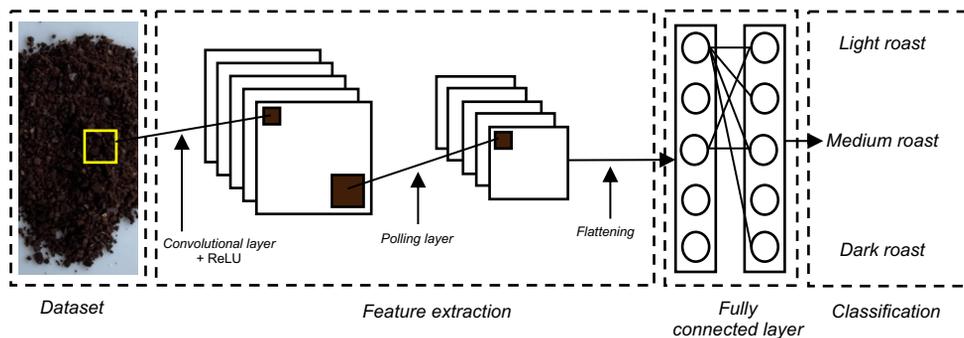
2.3.2 Pengumpulan dan Praproses Data

Pengumpulan data berupa *dataset* bubuk kopi hasil penyangraian dengan 3 kategori yaitu *light roast*, *medium roast* dan *dark roast*. Pengumpulan *dataset* ini dilakukan dengan pengambilan gambar bubuk kopi secara langsung dengan beberapa ketentuan yaitu:

- Jumlah gambar bubuk kopi yang diambil untuk masing-masing kategori tingkat level sangrai yaitu 400 gambar yang terdiri dari 320 data latih (*train*) dan 80 data uji (*test*).
- Jumlah bubuk kopi untuk setiap gambar yang diambil yaitu 10 gram.
- Pengambilan gambar dilakukan pada jarak dan sudut yang sama namun dengan posisi bubuk kopi yang beragam untuk mendapatkan gambar yang bervariasi.
- Pengambilan gambar menggunakan *background* yang sama (warna putih).

Praproses data dilakukan dengan mengubah format gambar yang telah diambil dari format HEIC ke format JPEG/PNG. Selain itu, ukuran gambar perlu diubah ke ukuran yang seragam menggunakan *platform* Roboflow. Semua gambar yang telah diubah format dan ukurannya, diberi label sesuai dengan kategorinya untuk memudahkan dalam pelatihan model.

2.3.3 Pembuatan dan Pelatihan Model



Gambar 1. Arsitektur model CNN.

Pembuatan model dilakukan menggunakan algoritma *machine learning Convolutional Neural Network* (CNN). Adapun arsitektur CNN yang digunakan yaitu arsitektur LeNet-5 yang terdiri dari *input layer*, *convolutional layer*, *pooling layer*, *flatten layer* dan *fully connected layer*. *Input layer* bertugas untuk menampung nilai *pixel* dari dataset yang digunakan. *Convolutional layer* bertugas untuk mendeteksi pola dan fitur pada *input* yaitu *dataset* bubuk kopi. *Pooling layer* bertugas untuk mengurangi jumlah parameter yang digunakan pada *layer* selanjutnya agar proses komputasi lebih cepat. *Flatten layer* berfungsi untuk konversi data yang dihasilkan dari *pooling layer* yang dalam bentuk 3 dimensi ke data 1 dimensi. *Fully connected layer* bertugas untuk menggabungkan informasi yang diperoleh dari *convolutional layer* dan *pooling layer* sebelumnya dan menyusunnya untuk menghasilkan *output* berupa klasifikasi level penyangraian kopi (Ambarwati dkk., 2019).

Arsitektur yang digunakan untuk klasifikasi pada penelitian ini memiliki 7 lapisan yaitu *convolutional layer 1*, *pooling layer 1*, *convolutional layer 2*, *pooling layer 2*, *flatten layer*, *hidden layer* dan *output layer*. Setiap lapisan masing-masing memiliki *hyperparameter* atau parameter-parameter yang harus diatur sebelum pelatihan model dilakukan. Terdapat beberapa *hyperparameter* pada arsitektur CNN yang digunakan pada penelitian ini, diantaranya jumlah filter, ukuran filter, *stride*, *padding*, fungsi aktivasi, jenis *pooling*, jumlah *batch size* dan jumlah *epochs* atau iterasi.

Jumlah filter. Jumlah filter yang digunakan akan menentukan jumlah *feature* yang akan diekstraksi dari *input dataset*. **Ukuran filter.** Ukuran filter merupakan ukuran setiap filter yang berupa matriks berbentuk persegi. **Stride.** *Stride* adalah parameter yang akan menentukan jarak pergeseran filter pada saat proses konvolusi atau *pooling*. Semakin kecil *stride* maka semakin detail informasi yang didapat, namun memerlukan sumber daya komputasi yang besar. **Padding.** *Padding* merupakan parameter yang ditambahkan disetiap sisi gambar dan akan membantu mempertahankan informasi dibagian tepi gambar. Maka dari itu *zero padding* atau *padding* bernilai 0 seringkali digunakan. **Fungsi aktivasi.** Fungsi aktivasi adalah sebuah fungsi yang bertujuan untuk menentukan sebuah neuron akan diaktifkan atau tidak. Fungsi ini berperan penting karena memungkinkan sebuah model belajar pola pada data yang kompleks karena tidak hanya menggambarkan hubungan yang

linear tapi juga *non-linear*. **Jenis pooling.** Ukuran *pooling* akan menentukan seberapa besar data yang akan disimpan atau diabaikan. Terdapat 2 ukuran *pooling* yaitu *max pooling* (mengambil nilai maksimum disetiap area) dan *average pooling* (mengambil nilai rata-rata disetiap area). **Batch size.** *Batch size* adalah parameter untuk menentukan seberapa banyak gambar yang akan diproses untuk setiap iterasi. **Epochs.** *Epochs* adalah jumlah iterasi yang akan dialami model sampai selesai pelatihan. Jumlah *epochs* bergantung pada seberapa besar akurasi yang diinginkan, semakin besar nilai *epochs* maka semakin besar juga akurasi modelnya. Namun, hal itu akan membutuhkan waktu yang lebih banyak untuk proses komputasi dari model yang dibuat (Qudsi dkk., 2020).

Pada penelitian ini, *padding* yang digunakan yaitu 0 (*zero padding*) yang bertujuan agar model dapat menangkap informasi diseluruh bagian gambar bahkan bagian tepi dari gambar. Jenis *pooling* yang akan digunakan yaitu *max pooling*, dan untuk jumlah iterasi atau *epochs* yang digunakan yaitu 20. Sedangkan *batch size* akan digunakan 32 jadi untuk setiap iterasi akan dimuat 32 gambar. Menurut Rochmawati dkk. (2021), jumlah *batch size* yang besar akan menghasilkan kinerja model yang kurang optimal namun dapat mempercepat proses komputasi. Begitupun sebaliknya, jika jumlah *batch size* yang kecil menghasilkan kinerja model yang bagus namun proses komputasi akan berlangsung lama dan membutuhkan sumberdaya komputasi yang lebih banyak. Sehingga jumlah *batch size* perlu memerhatikan sumber daya dan waktu yang akan digunakan.

Adapun *hyperparameter* lain yang digunakan pada setiap lapisan dijelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1. *Hyperparameter* arsitektur CNN yang digunakan

Urutan Layer	Nama Layer	Jenis Layer	Hyperparameter
1	<i>Convolutional layer 1</i>	<i>Convolutional layer</i>	Jumlah filter : 6 Ukuran filter : 5×5 pixel Stride : 1
2	ReLU 1	Fungsi aktivasi	-
3	<i>Pooling layer 1</i>	<i>Pooling layer</i>	Jumlah filter : 6 Ukuran filter : 2×2 pixel Stride : 2
4	<i>Convolutional layer 2</i>	<i>Convolutional layer</i>	Jumlah filter : 16 Ukuran filter : 5×5 pixel Stride : 1
5	ReLU 2	Fungsi aktivasi	-
6	<i>Pooling layer 2</i>	<i>Pooling layer</i>	Jumlah filter : 16 Ukuran filter : 2×2 pixel Stride : 2 Jumlah nodes : 400
7	<i>Flatten layer</i>	<i>Fully connected layer</i>	Jumlah filter : 120 Jumlah nodes yang terhubung: 48120

8	<i>Hidden layer</i>	<i>Fully connected layer</i>	Jumlah <i>nodes</i> : 84 Jumlah <i>nodes</i> yang terhubung: 10164
9	<i>Output layer</i>	<i>Output layer</i>	Output kelas : 3
10	<i>SoftMax</i>	Fungsi aktivasi	<i>Output</i> label level sangrai

Tabel 2. Keterangan pemrosesan data yang digunakan

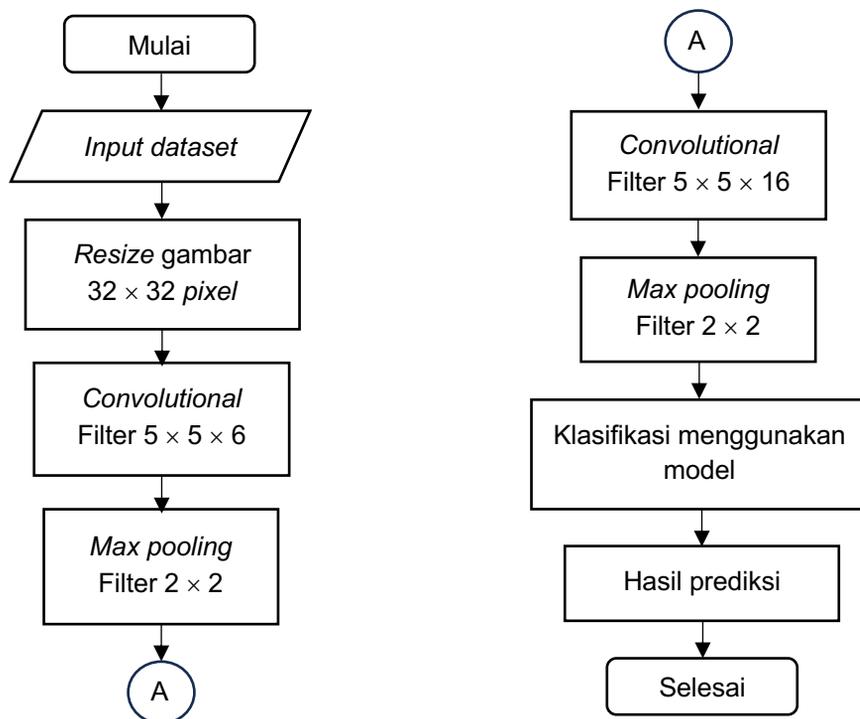
	Urutan Layer	Feature maps	Output Size	Filter Size	Stride
<i>Input</i>	<i>Dataset kopi</i>	1	$32 \times 32 \text{ pixel}$	-	-
1	<i>Convolutional layer</i>	6	$28 \times 28 \text{ pixel}$	$5 \times 5 \text{ pixel}$	1
2	<i>Max pooling</i>	6	$27 \times 27 \text{ pixel}$	$2 \times 2 \text{ pixel}$	2
3	<i>Convolutional layer</i>	16	$23 \times 23 \text{ pixel}$	$5 \times 5 \text{ pixel}$	1
4	<i>Max pooling</i>	16	$22 \times 22 \text{ pixel}$	$2 \times 2 \text{ pixel}$	2
5	<i>Fully connected layer (flatten)</i>	120	48120 <i>nodes</i>	-	-
6	<i>Fully connected layer (hidden)</i>	-	10164 <i>nodes</i>	-	-
7	<i>Fully connected layer (output)</i>	-	3 kelas	-	-

Algoritma *Convolutional Neural Network* (CNN) pada penelitian ini dimaksudkan untuk mengklasifikasi citra pada level penyangraian kopi. Algoritma klasifikasi biasanya melakukan proses ekstraksi fitur dan klasifikasi citra dengan proses yang berbeda. Namun berbeda dengan CNN, ekstraksi fitur dan klasifikasi citra dilakukan dalam satu proses. Jadi fitur pada citra sebelumnya diekstraksi kemudian dilakukan klasifikasi. Dengan kata lain, ekstraksi fitur pada algoritma CNN juga ikut *me-learning* (Maulana dan Naim, 2019).

Setelah model selesai dibuat, model kemudian dilatih menggunakan *dataset* latih yang telah didapat. Proses *learning* (pembelajaran) atau sering disebut juga dengan *training* (latih) dimaksudkan untuk melatih model CNN yang telah dirancang agar dapat memahami dan membedakan citra bubuk kopi yang telah diberikan indeks atau label sesuai dengan kelasnya (Maulana dan Naim, 2019). Metode pembelajaran yang digunakan yaitu pembelajaran terbimbing atau *supervised learning* dengan tujuan agar model dapat memetakan *input* ke *output* yang sesuai berdasarkan label yang diberikan.

Adapun tahapan dari proses *training* pada model dapat dilihat pada gambar 2. Proses *training* dimulai dari *input dataset* berupa gambar atau citra bubuk kopi yang telah dibagi berdasarkan kategorinya. *Dataset* tersebut kemudian akan di-*resize* oleh program menjadi $32 \times 32 \text{ pixel}$ dan dilakukan konvolusi pertama dengan filter ukuran 5×5 yang berjumlah 6. *Output* dari proses konvolusi pertama selanjutnya akan diproses pada *pooling layer* pertama dengan ukuran filter 2×2 . *Output* dari proses *pooling layer* pertama selanjutnya akan dilakukan konvolusi lagi atau konvolusi

kedua dengan filter ukuran 5×5 yang berjumlah 16. *Output* dari proses konvolusi kedua selanjutnya akan diproses pada *pooling layer* kedua dengan ukuran filter 2×2 . Tahap terakhir yaitu proses klasifikasi, data yang telah diproses pada *layer* sebelumnya akan diproses pada *fully connected layer* untuk menghasilkan prediksi.



Gambar 2. Proses kerja model.

Proses *training* dilakukan menggunakan *dataset* yang berjumlah 320 gambar untuk masing-masing kategori level penyangraian. Pembuatan model dan *training* model dilakukan menggunakan bahasa program Python dengan *framework* Pytorch di aplikasi Visual Studio Code.

2.3.4 Validasi dan Evaluasi Model

Setelah pembuatan dan pelatihan model selesai, kemudian dilakukan validasi model dengan tujuan untuk menguji model yang telah dibuat benar-benar sesuai dengan kriteria yang diinginkan. Validasi model menggunakan *dataset* uji yang telah didapat sebelumnya. *Dataset* yang digunakan berjumlah 240 gambar yang dibagi menjadi 3 kategori sehingga untuk masing-masing kategori terdapat 80 gambar atau citra.

Evaluasi model dilakukan untuk mengukur seberapa akurat hasil klasifikasi model yang telah dibuat dengan melihat nilai akurasi dan *loss*. Evaluasi model pada penelitian ini menggunakan *confusion matrix* untuk menghitung nilai akurasi dan *hamming loss* untuk menghitung nilai *loss*. *Confusion matrix* digunakan untuk memberikan informasi perbandingan dari hasil klasifikasi yang dilakukan oleh algoritma yang digunakan dengan hasil klasifikasi sebenarnya. Sedangkan metode

hamming loss digunakan untuk memberikan informasi banyaknya kesalahan prediksi atau klasifikasi pada algoritma yang diuji.

Confusion matrix dalam *machine learning* merupakan sebuah metode untuk mengukur akurat atau tidaknya sebuah model. Nilai dalam *confusion matrix* digunakan untuk menampilkan data prediksi dari sebuah data yang terbagi dari beberapa kelas. Ada empat nilai yang ditampilkan dalam *confusion matrix* antara lain *True Positive* (TP), *True Negative* (TN), *False Positive* (FP), dan *False Negative* (FN). *True Positive* (TP) merupakan hasil prediksi model yang bernilai positif dan itu benar. *True Negative* (TN) merupakan hasil prediksi model yang bernilai negatif dan itu benar. *False Positive* (FP) merupakan hasil prediksi model yang bernilai positif dan itu salah. *False Negative* (FN) merupakan hasil prediksi model yang bernilai negatif dan itu salah. *Confusion matrix* juga digunakan untuk mengevaluasi kinerja dan kualitas suatu model *machine learning* terutama untuk klasifikasi gambar dari suatu studi kasus. Selain empat nilai sebelumnya, *confusion matrix* dapat digunakan untuk melakukan perhitungan selanjutnya, seperti mencari nilai akurasi, presisi dan *recall* (Prakosa dkk., 2023).

Adapun rumus *confusion matrix* yang digunakan sebagai berikut:

$$\text{Akurasi} = \frac{\text{TP} + \text{TN}}{\text{TP} + \text{TN} + \text{FP} + \text{FN}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{Akurasi} = \frac{\text{Jumlah prediksi benar}}{\text{Jumlah total prediksi}} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

TP = *True Positive/correct result*

TN = *True Negative/correct absence of result*

FP = *False Positive/Unexpected result*

FN = *False Negative/Missing result*

Adapun rumus *hamming loss* yang digunakan sebagai berikut:

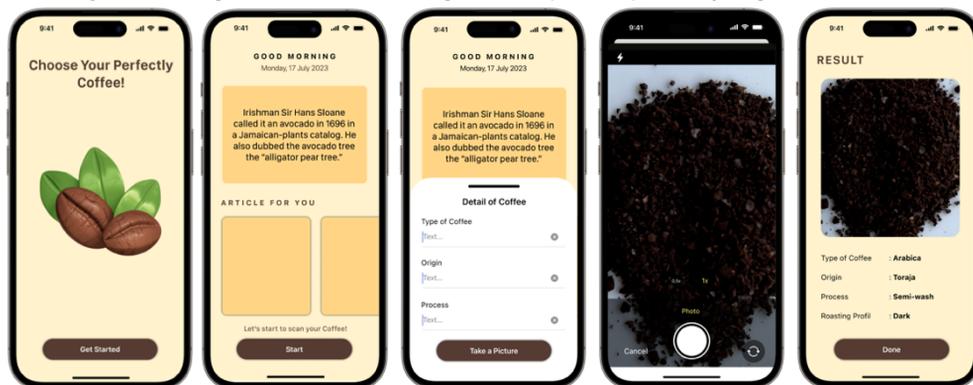
$$\text{Loss} = \frac{\text{Total prediksi benar}}{\text{Jumlah data}} \quad (3)$$

Untuk mendapatkan nilai akurasi dan *loss* yang diinginkan, proses pembelajaran dan validasi model dilakukan sebanyak 20 iterasi atau *epoch*. Jumlah tersebut bergantung pada seberapa besar nilai akurasi yang diinginkan. Namun iterasi yang berlebih akan membuat model mengalami *overfitting* yang berpengaruh terhadap kinerja model. Nilai akurasi dalam *machine learning* sendiri merupakan hal yang bersifat subjektif. Namun beberapa sumber menuliskan bahwa nilai akurasi di atas 70% berarti model yang dibuat sudah memiliki performa yang baik.

2.3.5 Pembuatan Aplikasi

Pembuatan aplikasi bertujuan untuk memudahkan dalam penggunaan model untuk melakukan klasifikasi level penyangraian kopi. Pembuatan aplikasi meliputi pembuatan desain atau *User Interface* (UI) dan pembuatan program untuk UI-nya. Pembuatan desain dilakukan di aplikasi Figma dengan desain yang memudahkan penggunaan aplikasi nantinya. Sedangkan pembuatan program dilakukan di aplikasi XCode dengan menggunakan bahasa program Swift UI. Selain itu, model yang telah

dibuat diintegrasikan dengan *frameworks* CoreML sebagai *frameworks machine learning*. Hal ini agar model di bisa digunakan pada aplikasi yang dibuat.



Gambar 3. *High Fidelity* (Hi-Fid) dari aplikasi.

Penggunaan aplikasi dimulai dengan mengisi detail kopi yaitu tipe kopi (*type of coffee*), daerah asal kopi (*origin*) dan proses (*process*). Setelah itu, aplikasi akan mengarahkan untuk mengambil gambar. Hasil klasifikasi level sangrai kopi akan otomatis ditampilkan pada halaman '*Result*' beserta dengan detail kopi yang telah diisi sebelumnya.

2.3.6 Uji Kinerja Aplikasi

Uji kinerja aplikasi meliputi validasi aplikasi yang telah dibuat dan evaluasi hasil penyangraian kopi. Validasi aplikasi dilakukan dengan mengambil gambar secara langsung pada kopi yang telah disangrai sebanyak 50 sampel dan menguji beberapa hal seperti:

- Persentase jumlah sampel yg sesuai dan tidak sesuai yang dihitung menggunakan rumus *confusion matrix*
- Bug testing*
- Kemudahan dalam penggunaan aplikasi (*user experience*)

Evaluasi hasil penyangraian kopi bertujuan untuk mengetahui hasil penyangraian sesuai dengan standar level sangrai yang telah dilakukan. Evaluasi ini dilakukan dengan mengambil gambar bubuk kopi yang telah disangrai dari beberapa merek kopi di pasaran maupun cafe. Bubuk kopi tersebut kemudian dibandingkan dengan standar level sangrai kopi yang telah ditentukan menggunakan aplikasi yang telah dibuat. Jumlah bubuk kopi yang digunakan sebanyak masing-masing 10 sampel dari 2 merek yang berbeda. Setiap sampel terdiri dari 10 gram bubuk kopi.

2.3.7 Launch Aplikasi

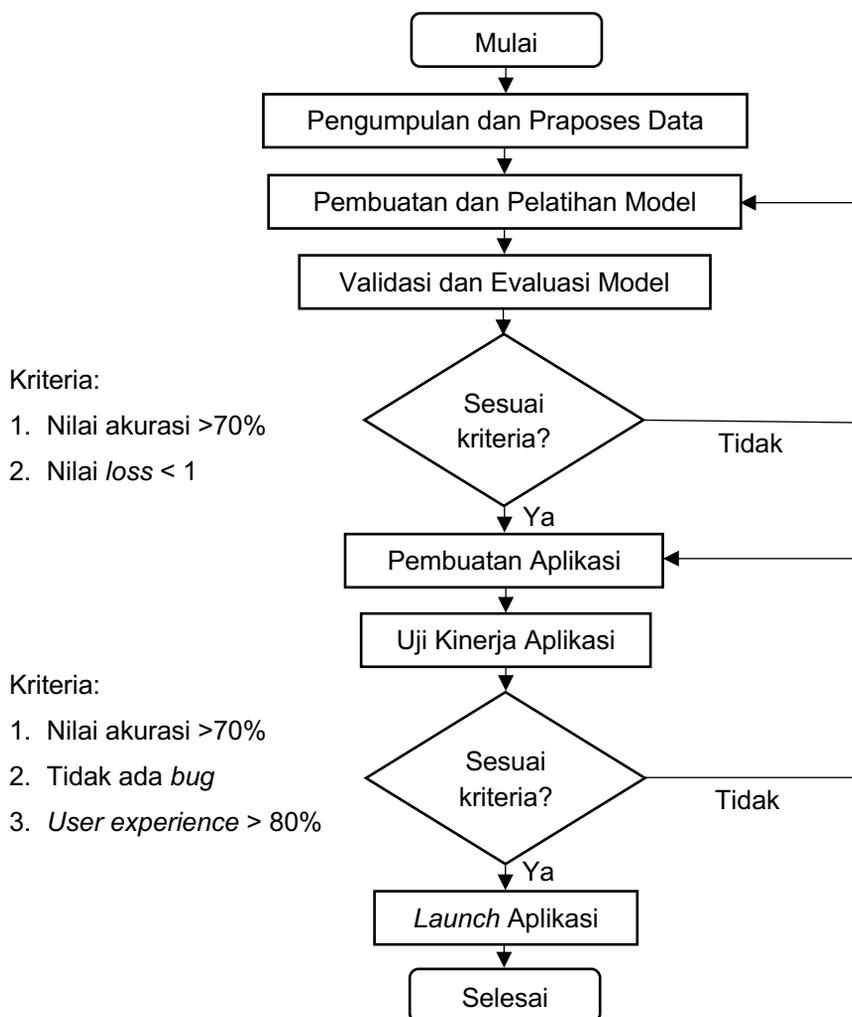
Tahap terakhir yaitu *launch* aplikasi yang telah jadi di Testflight, sebelum *launch* ke App Store. Hal ini bertujuan agar semua orang bisa menggunakan aplikasi klasifikasi level penyangraian kopi dimanapun dan kapanpun. Proses *launch* aplikasi terbagi menjadi beberapa tahap yaitu:

- File program aplikasi yang dibuat di XCode diunggah melalui *website* <https://appstoreconnect.apple.com/>. Namun, sebelumnya harus mendaftar

Apple Developer Program dengan membayar biaya keanggotaan sebesar USD 99 per tahun.

2. Setelah file diunggah, aplikasi akan melalui proses *review* dari pihak Apple sebelum *launch*.
3. Aplikasi yang telah *launch* di Testflight dapat diinstal di *handphone* pengguna menggunakan aplikasi Testflight. Namun aplikasi ini hanya bertahan 90 hari. Untuk membuat aplikasi permanen perlu untuk diunggah di App Store.
4. Untuk *launch* di App Store, aplikasi perlu melalui proses *review* lagi dari pihak Apple. Aplikasi yang telah *launch* bisa langsung digunakan dengan mengunduhnya di App Store.

2.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar 4. Diagram alir penelitian.