

TESIS

**KLASIFIKASI TINGKAT KEMATANGAN BUAH KOPI
DENGAN *CASCADE WIENER FILTER* DAN *CONTRAST
LIMITED ADAPTIVE HISTOGRAM EQUALIZATION***

***CLASSIFICATION OF COFFEE FRUIT MATURITY LEVELS USING
CASCADE WIENER FILTER AND CONTRAST LIMITED ADAPTIVE
HISTOGRAM EQUALIZATION***

**CLARA DIVA
D082222015**



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK INFORMATIKA
DEPARTEMEN TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

PENGAJUAN TESIS

KLASIFIKASI TINGKAT KEMATANGAN BUAH KOPI DENGAN *CASCADE WIENER FILTER* DAN *CONTRAST LIMITED ADAPTIVE HISTOGRAM EQUALIZATION*

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister
Program Studi Teknik Informatika

Disusun dan diajukan oleh

CLARA DIVA

D082222015

Kepada

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

TESIS

KLASIFIKASI TINGKAT KEMATANGAN BUAH KOPI DENGAN *CASCADE WIENER FILTER* DAN *CONTRAST LIMITED ADAPTIVE HISTOGRAM EQUALIZATION*

**CLARA DIVA
D082222015**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Tesis yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi pada Program Magister Teknik Informatika Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 22 Agustus 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Prof. Dr. Ir. Indrabayu, S.T., M.T., M.Bus.Sys., IPM, ASEAN.Eng.
NIP. 19750716 200212 1 004

Pembimbing Pendamping



Dr. Ir. Ingrid Nurtanio, M.T.
NIP. 19610813 198811 2 001

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr.Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, M.T. IPM., ASEAN.Eng.
NIP. 19730926 200012 1 002

Ketua Program Studi
S2 Teknik Informatika



Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc.
NIP. 19640427 198910 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Clara Diva
Nomor mahasiswa : D082222015
Program studi : Magister Teknik Informatika

Dengan ini menyatakan bahwa, tesis yang berjudul “KLASIFIKASI TINGKAT KEMATANGAN BUAH KOPI DENGAN *CASCADE WIENER FILTER* DAN *CONTRAST LIMITED ADAPTIVE HISTOGRAM EQUALIZATION*” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing Prof. Dr. Ir. Indrabayu, ST., MT., M.Bus.Sys., IPM, ASEAN, Eng. dan Dr. Ir. Ingrid Nurtanio, M.T. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi manapun. 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 tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah dipublikasikan di konferensi International (The IEEE International Conference on Industry 4.0, Artificial Intelligence, and Communications Technology 2024). Sebagai artikel dengan judul “Classification of Ripeness of Coffee Fruits using Support Vector Machine Based on Computer Vision”.

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

Gowa, 23 Agustus 2024

Yang menyatakan



Clara Diva

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT karena berkat Rahmat dan Karunia-Nya sehingga Tesis yang berjudul “KLASIFIKASI TINGKAT KEMATANGAN BUAH KOPI DENGAN CASCADE *WIENER FILTER* DAN CONTRAST LIMITED ADAPTIVE HISTOGRAM EQUALIZATION” ini dapat diselesaikan sebagai salah satu syarat dalam menyelesaikan jenjang Strata-2 pada Departemen Teknik Informatika Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan dan penulisan tesis ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai dengan masa penyusunan tesis sangatlah sulit untuk menyelesaikan tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis dengan senang hati menyampaikan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa atas semua berkat, karunia, kesehatan serta pertolonganNya yang telah diberikan kepada penulis di setiap langkah dalam pembuatan program hingga penulisan laporan thesis ini.
2. Orang tua penulis Bapak Matius Ambalinggi' dan Ibu Debora Sajoangin yang tidak pernah lelah dalam memberikan dukungan, doa, dan semangat kepada penulis.
3. Prof. Dr. Ir. Indrabayu, S. T., M. T., M. Bus. Sys., IPM. ASEAN. Eng., selaku pembimbing utama yang telah memberikan bimbingan, saran, dan motivasi selama proses penyusunan thesis ini.
4. Dr. Ir. Ingrid Nurtanio, M. T., selaku pembimbing pendamping yang telah memberikan bimbingan, waktu, saran, dan motivasi yang sangat berharga.
5. Bapak Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M. Sc., selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Informatika atas segala bimbingan dan dukungan selama masa perkuliahan.
6. Bapak/Ibu dosen Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, yang telah memberikan ilmu dan pengalaman berharga selama masa studi.

7. Keluarga besar PT Sulotco Jaya Abadi yang diwakili oleh Bapak Donny Batara sebagai Manajer yang telah mengizinkan saya untuk melaksanakan penelitian di perkebunan kopi yang terletak di Bolokan, Tiroan, Kec. Bittuang Tana Toraja.
8. Saudara-saudara saya yang telah memberikan dukungan selama masa perkuliahan dan semua rumpun keluarga besar yang telah memberikan dukungan dan motivasi selama perkuliahan.
9. Teman-teman AIMP research group Unhas yang telah memberikan begitu banyak bantuan selama penelitian, pengambilan data dan diskusi progress penyusunan tesis.
10. Teman-teman Mahasiswa S2 Angkatan 7 atas dukungan, bantuan, semangat yang diberikan selama ini.

Penulis menyadari bahwa thesis ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan untuk perbaikan di masa mendatang. Semoga thesis ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya dalam bidang klasifikasi tingkat kematangan buah kopi.

Gowa, 22 Agustus 2024

Penulis

ABSTRAK

CLARA DIVA. *Klasifikasi Tingkat Kematangan Buah Kopi Dengan Cascade Wiener filter Dan Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (dibimbing oleh **Indrabayu dan Ingrid Nurtanio**)

Kopi adalah komoditas pertanian yang memiliki peran penting dalam industri ekonomi, baik di tingkat global maupun lokal. Secara tradisional, proses pemilahan buah kopi dilakukan secara manual oleh petani, sehingga proses ini dapat ditingkatkan dengan teknologi visi komputer. Dalam konteks pemilahan buah kopi matang dan tidak matang, konveyor lebih efektif digunakan untuk proses pemilahan. Namun, pergerakan yang cepat pada konveyor menyebabkan efek *blur* pada citra, sehingga menghambat deteksi kematangan buah kopi secara efektif. Sistem yang dikembangkan bertujuan untuk memberikan hasil yang akurat dalam menentukan tingkat kematangan buah kopi dan meningkatkan efisiensi proses pemilahan. Dalam penelitian ini, *YOLOv4* digunakan untuk deteksi objek, diikuti dengan perbaikan citra menggunakan *Wiener filter* dan *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* untuk mengurangi efek *blur*. Ekstraksi fitur menggunakan RGB, dan klasifikasi menggunakan *Support Vector Machine*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kecepatan konveyor 0,093 m/s, akurasi *Wiener filter* mencapai 82.43%, akurasi *CLAHE* lebih rendah, yaitu 54.18% sedangkan akurasi kombinasi *Wiener filter* dan *CLAHE* meningkat menjadi 85% dan untuk *Non Wiener Filter CLAHE* sebesar 52.81%. Pada kecepatan 0.175 m/s, akurasi *Wiener filter* menurun menjadi 51.08%, *Non Wiener Filter CLAHE* 50.26%, akurasi *CLAHE* 46.11% sedangkan akurasi kombinasi *Wiener filter* dan *CLAHE* meningkat 53.81%. Pada kecepatan 0,28 m/s, *Wiener filter* menunjukkan akurasi 46.42%, akurasi *CLAHE* 44.77%, akurasi *Non Wiener Filter CLAHE* 49.67% sedangkan kombinasi *Wiener filter* dan *CLAHE* meningkat 52.22%. Pada kecepatan 0,35 m/s, akurasi *Wiener filter* adalah 41.09%, akurasi *CLAHE* menurun menjadi 34.88%, akurasi *Non Wiener Filter CLAHE* 48.59% sedangkan akurasi kombinasi *Wiener filter* dan *CLAHE* konsisten sebesar 52.22%.

Kata Kunci—Buah Kopi, *Blur*, *YOLOv4*, *RGB*, *Wiener filter*, *CLAHE*, *SVM*

ABSTRACT

CLARA DIVA. Classification of Coffee Fruit Maturity Levels Using Cascade Wiener filter and Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (Supervised by **Indrabayu** and **Ingrid Nurtanio**)

Coffee is an agricultural commodity that has an important role in the economic industry, both at the global and local levels. Traditionally, the process of sorting coffee fruits is done manually by farmers, so this process can be improved with computer vision technology. In the context of sorting ripe and unripe coffee fruits, conveyors are more effectively used for the sorting process. However, the rapid movement of the conveyor causes a blurring effect on the image, hindering effective detection of coffee fruit ripeness. The developed system aims to provide accurate results in determining the ripeness level of coffee fruits and improve the efficiency of the sorting process. In this study, YOLOv4 is used for object detection, followed by image enhancement using Wiener filter and Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization to reduce the blur effect. Feature extraction uses RGB, and classification uses Support Vector Machine. The results showed that at a conveyor speed of 0.093 m/s, Wiener filter accuracy reached 82.43%, CLAHE accuracy was lower, namely 54.18% while the accuracy of the combination of Wiener filter and CLAHE increased to 85% and for Non Wiener Filter CLAHE was 52.81%. At a speed of 0.175 m/s, Wiener filter accuracy decreased to 51.08%, Non Wiener Filter CLAHE 50.26%, CLAHE accuracy 46.11% while the accuracy of the combination of Wiener filter and CLAHE increased to 53.81%. At a speed of 0.28 m/s, Wiener filter shows an accuracy of 46.42%, CLAHE accuracy of 44.77%, Non Wiener Filter CLAHE accuracy of 49.67% while the combination of Wiener filter and CLAHE increases to 52.22%. At 0.35 m/s, the Wiener filter accuracy is 41.09%, CLAHE accuracy decreases to 34.88%, Non Wiener Filter CLAHE accuracy is 48.59% while the Wiener filter and CLAHE combination accuracy is consistent at 52.22%.

Keywords—Coffee Fruit, *Blur*, *YOLOv4*, RGB, *Wiener filter*, *CLAHE*, SVM

DAFTAR ISI

| | |
|--|-------------------------------------|
| LEMBAR PENGESAHAN TESIS | Error! Bookmark not defined. |
| KATA PENGANTAR | i |
| ABSTRAK | iii |
| ABSTRACT | iv |
| DAFTAR ISI | v |
| DAFTAR TABEL | v |
| DAFTAR GAMBAR | vi |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.4 Batasan Masalah | 3 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 3 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Kajian Pustaka | 5 |
| 2.1.1 Kopi | 5 |
| 2.2.1 Kematangan Buah Kopi Arabica | 5 |
| 2.2.2 Konveyor | 6 |
| 2.2.3 Pengenalan Citra | 7 |
| 2.2.4 Pengolahan Citra | 8 |
| 2.2.5 Ruang Warna RGB | 8 |
| 2.2.6 Segmentasi Gambar | 9 |
| 2.2.7 Ekstraksi Fitur | 10 |
| 2.2.8 Deteksi Objek | 10 |
| 2.2 Metode Penyelesaian | 10 |
| 2.2.1 State of The Art | 10 |
| 2.2.2 Metode yang digunakan | 18 |
| 2.2.3 Hipotesis Penelitian | 19 |
| 2.2.4 Kerangka Pikir Penelitian | 19 |

| | |
|---------------------------------------|----|
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN..... | 20 |
| 3.1 Jenis Penelitian | 20 |
| 3.2 Tahapan Penelitian..... | 20 |
| 3.3 Sumber Data | 21 |
| 3.4 Skenario Sistem | 22 |
| 3.5 Evaluasi Citra..... | 31 |
| 3.6 Pengujian Sistem..... | 31 |
| 3.7 Waktu Dan Lokasi Penelitian | 32 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 33 |
| 4.1 Hasil | 33 |
| 4.1.1 Training..... | 33 |
| 4.1.2 Testing | 38 |
| 4.2 Hasil Pengujian Sistem | 40 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN..... | 58 |
| 5.1 Kesimpulan | 58 |
| 5.2 Saran | 59 |
| DAFTAR PUSTAKA | 60 |
| LAMPIRAN..... | 62 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 1 <i>State of the art</i> | 11 |
| Tabel 2 Nilai Minimal dan Maxsimal Setiap <i>Channel</i> RGB..... | 37 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 1 Buah kopi..... | 5 |
| Gambar 2 Tingkat kematangan buah kopi..... | 6 |
| Gambar 3 Konveyor | 7 |
| Gambar 4 Ruang warna rgb..... | 9 |
| Gambar 5 Kerangka pikir | 19 |
| Gambar 6 Tahapan penelitian..... | 20 |
| Gambar 7 Flowchart perancangan sistem..... | 22 |
| Gambar 8 Proses perbaikan Citra <i>Wiener filter</i> | 24 |
| Gambar 9 Konversi Citra rgb ke grayscale | 25 |
| Gambar 10 Proses pembagian Citra dibagi menjadi sub-blok ukuran 8 x 8 | 25 |
| Gambar 11 Penggabungan sub-blok yang telah ditingkatkan | 26 |
| Gambar 12 Proses perbaikan Citra kombinasi <i>Wiener filter</i> dan <i>CLAHE</i> | 26 |
| Gambar 13 Diagram alir sistem..... | 28 |
| Gambar 14 Hasil ekstrak video | 33 |
| Gambar 15 Hasil deteksi buah kopi menggunakan <i>YOLOV4</i> | 34 |
| Gambar 16 Hasil <i>Wiener filter</i> | 35 |
| Gambar 17 Hasil perbaikan Citra <i>CLAHE</i> | 36 |
| Gambar 18 Hasil perbaikan Citra menggunakan kombinasi <i>Wiener filter</i> dan <i>CLAHE</i> | 36 |
| Gambar 19 Frame video | 38 |
| Gambar 20 Hasil deteksi <i>YOLOv4</i> | 39 |
| Gambar 21 Perbaikan Citra | 40 |
| Gambar 22 Frame buah kopi hasil klasifikasi | 40 |
| Gambar 23 Hasil <i>Precision</i> menggunakan <i>Wiener filter</i> pada kecepatan 0,093 m/s, 0,174 m/s, 0,28 m/s dan 0,35 m/s..... | 42 |
| Gambar 24 Hasil <i>Precision</i> menggunakan kombinasi <i>Wiener filter</i> dan <i>CLAHE</i> pada kecepatan 0,093 m/s, 0,174 m/s, 0,28 m/s dan 0,35 m/s | 43 |
| Gambar 25 Hasil <i>Precision</i> menggunakan <i>CLAHE</i> pada kecepatan 0,093 m/s, 0,174 m/s, 0,28 m/s dan 0,35 m/s..... | 44 |
| Gambar 26 Hasil <i>Precision</i> Non <i>Wiener Filter</i> <i>CLAHE</i> pada Kecepatan 0.093m/s, 0.175m/s, 0.28m/s dan 0.35m/s..... | 45 |
| Gambar 27 Hasil <i>Recall</i> menggunakan <i>Wiener filter</i> pada kecepatan 0,093 m/s, 0,174 m/s, 0,28 m/s dan 0,35 m/s..... | 46 |
| Gambar 28 Hasil <i>Recall</i> menggunakan kombinasi <i>Wiener filter</i> dan <i>CLAHE</i> pada kecepatan 0,093 m/s, 0,174 m/s, 0,28 m/s, dan 0,35 m/s..... | 47 |
| Gambar 29 Hasil <i>Recall</i> menggunakan <i>CLAHE</i> pada kecepatan 0,093 m/s, 0,174 m/s, 0,28 m/s, dan 0,35 m/s..... | 48 |
| Gambar 30 <i>Recall</i> Non <i>Wiener Filter</i> <i>CLAHE</i> pada Kecepatan 0.093m/s, 0.175m/s, 0.28m/s dan 0.35m/s..... | 49 |
| Gambar 31 Hasil <i>F1 Score</i> menggunakan <i>Wiener filter</i> pada kecepatan 0,093 m/s, 0,174 m/s, 0,28 m/s dan 0,35 m/s..... | 50 |

| | |
|--|----|
| Gambar 32 Hasil F1 Score menggunakan kombinasi <i>Wiener filter</i> dan <i>CLAHE</i> pada kecepatan 0,093 m/s, 0,174 m/s, 0,28 m/s dan 0,35 m/s | 51 |
| Gambar 33 Hasil F1 Score menggunakan <i>CLAHE</i> pada kecepatan 0,093 m/s, 0,174 m/s, 0,28 m/s dan 0,35 m/s..... | 52 |
| Gambar 34 F1 Score Non Wiener Filter <i>CLAHE</i> pada Kecepatan 0.093m/s, 0.175m/s, 0.28m/s dan 0.35m/s..... | 53 |
| Gambar 35 Perbandingan <i>accuracy</i> menggunakan <i>Wiener filter</i> dan kombinasi <i>Wiener filter</i> dan <i>CLAHE</i> , <i>CLAHE</i> dan Non <i>Wiener Filter CLAHE</i> | 54 |
| Gambar 36 Hasil evaluasi menggunakan PSNR | 55 |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kopi merupakan salah satu komoditas pertanian yang memiliki peran krusial dalam industri dan ekonomi di tingkat global maupun lokal (Bazame et al. 2021). Di industri perkebunan kopi yang luas, petani dengan cermat menjalankan proses pemilahan buah kopi secara manual (Bazame et al. 2021). Namun, dalam proses ini, terdapat beberapa kekurangan yang dapat berpengaruh pada kualitas akhir buah kopi yang dihasilkan. Variabilitas dalam hasil pemilahan menjadi tantangan utama yang perlu diatasi. Setiap petani memiliki pandangan yang berbeda mengenai tingkat kematangan yang diinginkan, yang mengakibatkan variasi dalam pemilahan buah kopi (Bazame et al. 2023). Selain itu, tingkat pengalaman dan keterampilan para petani juga memainkan peran penting. Petani yang lebih berpengalaman mungkin lebih terampil dalam memilah buah kopi yang tepat, sedangkan petani yang kurang berpengalaman bisa mengalami kesulitan dalam mengenali kematangan buah, ini bisa menghasilkan buah kopi dengan tingkat kematangan yang tidak merata, yang akan mempengaruhi cita rasa dari kopi. Kelelahan atau tekanan lingkungan dapat mempengaruhi kemampuan petani dalam pemilahan dengan akurat, mengakibatkan buah kopi yang belum matang atau matang tidak digunakan dari proses pemilahan, sehingga dibutuhkan teknologi yang dapat membantu petani.

Pemanfaatan teknologi visi komputer dalam pemilahan buah kopi matang memberikan banyak keuntungan dalam produksi kopi (Bazame et al. 2021). Teknologi ini akurat dalam mengidentifikasi tingkat kematangan buah kopi melalui algoritma canggih. Akurasi tinggi ini dapat menghindari kesalahan pemilahan manual, sehingga dapat menghasilkan buah kopi yang lebih baik. Konsistensi juga terjaga, karena setiap buah dinilai dengan parameter yang sama, menghasilkan kualitas seragam sesuai standar. Teknologi visi komputer prosesnya cepat dan efisien, meningkatkan produktivitas dan mengurangi biaya tenaga kerja. Meskipun investasi awal diperlukan, penggunaan jangka panjang mengurangi biaya karena

pemilahan lebih baik. Data yang dihasilkan juga berguna untuk pemantauan dan analisis, memberi wawasan penting untuk perbaikan dan keputusan. Skalanya pun cocok untuk perkebunan besar, mengatasi masalah pemilahan manual di skala besar. Secara keseluruhan, penerapan visi komputer dalam pemilahan buah kopi memberikan manfaat ketepatan deteksi, konsistensi, efisiensi waktu dan biaya, serta kualitas buah kopi yang lebih baik. Dalam konteks pemilahan buah kopi matang dan tidak matang, konveyor lebih efektif digunakan untuk proses pemilahan untuk meningkatkan kualitas buah kopi.

Konveyor merupakan sebuah alat otomatis yang dirancang khusus untuk menggerakkan dan memindahkan benda, barang, atau bahan dari satu tempat ke tempat lain secara berkelanjutan (Bazame et al. 2021). Prinsip kerjanya mirip dengan jalur bergerak yang membawa objek melalui perjalanan yang teratur dan terus-menerus. Komponen utama konveyor meliputi belt atau rantai yang bergerak di atas roller atau pulley untuk mengangkat benda, serta motor yang memberikan daya pada pergerakan, juga memiliki rangka atau frame yang memberikan struktur dan dukungan, sementara sensor dan pengendali mengontrol operasi dan arah pergerakan. Namun kecepatan pada konveyor dapat mempengaruhi citra sehingga terdapat *blur*.

Blur merupakan efek yang terjadi pada citra ketika detail-detailnya menjadi kurang jelas dan tajam (Khireddine, Benmahammed, and Puech 2007). Efek *blur* dapat disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk pergerakan objek saat pengambilan citra, ketidakkfokus optik, atau faktor-faktor lain yang mengakibatkan citra menjadi kabur atau tidak tajam (Campos et al. 2019). Dalam konteks deteksi kematangan buah kopi yang mengalami efek *blur* ketika bergerak cepat melalui konveyor, efek *blur* tersebut dapat membuat sulitnya mengidentifikasi detail-detail penting pada buah kopi, seperti tingkat kematangannya (Ford, Welsh, and Roggemann, n.d.). Oleh karena itu, tantangan dalam kasus ini adalah bagaimana mengatasi atau mengurangi efek *blur* agar sistem deteksi dapat bekerja secara akurat dalam mengidentifikasi tingkat kematangan buah kopi yang melewati konveyor.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan yang timbul dari penelitian ini, maka rumusan masalahnya adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana sistem dapat secara akurat mendeteksi tingkat kematangan buah kopi yang mengalami efek *blur* ketika bergerak cepat melalui konveyor?
2. Bagaimana performa sistem dalam mendeteksi tingkat kematangan buah kopi pada konveyor?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, tujuan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Membuat sistem yang dapat mendeteksi tingkat kematangan buah kopi secara akurat yang mengalami efek *blur* ketika bergerak cepat melalui konveyor.
2. Untuk mengetahui performa sistem dalam mendeteksi tingkat kematangan buah kopi pada konveyor.

1.4 Batasan Masalah

Ada beberapa hal yang akan dijadikan batasan dari penelitian ini sebagai berikut

1. Fitur yang digunakan dalam klasifikasi tingkat kematangan adalah berdasarkan warna buah kopi .
2. Penelitian ini akan lebih berfokus pada pengembangan algoritma deteksi dan mengklasifikasikan kematangan buah kopi yang terdeteksi *blur*.
3. Kecepatan konveyor yang digunakan pada penelitian ini yaitu 0,093 m/s, 0,174 m/s, 0,28 m/s dan 0,35 m/s.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Meningkatkan kualitas buah kopi yang dihasilkan dengan kemampuan mengidentifikasi buah kopi secara efektif. Sistem ini akan memberikan hasil yang lebih akurat dalam menentukan tingkat kematangan buah kopi, terutama saat buah bergerak cepat dan mengalami efek *blur*.

2. Meningkatkan keunggulan dari sistem deteksi sehingga dapat digunakan dalam mengidentifikasi tingkat kematangan buah kopi dengan akurasi yang tinggi serta mampu mengevaluasi kinerja sistem, sehingga memungkinkan identifikasi perbaikan dan peningkatan yang dibutuhkan dalam proses pemilahan buah kopi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

2.1.1 Kopi

Buah kopi, juga dikenal sebagai "ceri kopi," adalah buah yang tumbuh pada tanaman kopi (*Coffea spp.*) (Bazame et al. 2023). Tanaman kopi termasuk dalam keluarga rubiaceae dan menghasilkan buah berbentuk bulat atau oval yang berwarna hijau, kuning dan merah ketika matang. Setiap buah kopi biasanya mengandung dua biji kopi yang dikenal sebagai biji kopi hijau (*green coffee beans*). Kopi arabika biasanya dianggap sebagai kopi berkualitas tinggi dengan rasa yang halus dan kompleks, sementara kopi robusta memiliki rasa yang lebih kuat dan pahit. Selain itu, ada juga berbagai varietas kopi lainnya yang tumbuh di berbagai wilayah dengan karakteristik unik masing-masing. Biji kopi yang dihasilkan dari buah kopi merupakan bahan dasar utama pembuatan berbagai jenis minuman kopi, seperti kopi hitam, *espresso*, *cappuccino*, *latte*, dan sebagainya.



Gambar 1 Buah kopi

2.2.1 Kematangan Buah Kopi Arabica

Kematangan buah kopi arabika memiliki peran penting dalam menentukan kualitas akhir biji kopi (Bazame et al. 2023). Buah kopi arabika (*Coffea arabica*) melewati beberapa tahap kematangan sebelum dapat dipanen dan diolah menjadi biji kopi yang siap diseduh (Dr. Ir. Muhammad Rizwan, MP 2022). Berikut adalah tahapan-tahapan kematangan buah kopi arabika:

1. Tahap Hijau : Pada tahap awal pertumbuhan, buah kopi masih berwarna hijau dan belum matang sepenuhnya. Pada tahap ini, biji kopi masih keras dan memiliki kandungan air yang tinggi.
2. Tahap Setengah Matang : Buah kopi mulai mengalami perubahan warna menjadi kuning atau oranye. Biji kopi pada tahap ini masih keras, tetapi beberapa perubahan mulai terjadi dalam komposisi kimia biji.
3. Tahap Matang : Tahap ini adalah saat kematangan penuh, di mana buah kopi arabika mencapai warna merah cerah. Biji kopi pada tahap ini biasanya memiliki kadar gula yang lebih tinggi, memberikan rasa dan aroma yang lebih kompleks.
4. Tahap Matang Tua : Tahap ini adalah saat kematangan buah kopi telah lewat dan mencapai warna merah kehitaman. Biji kopi pada tahap ini aroma sudah berkurang dan timbul cacat cita rasa berupa *stink*.

Tingkat kematangan buah kopi arabika memengaruhi cita rasa, aroma, dan karakteristik biji kopi yang dihasilkan. Buah kopi yang dipanen pada tahap kematangan penuh (tahap matang) cenderung memiliki kualitas rasa yang lebih kompleks dan kaya.

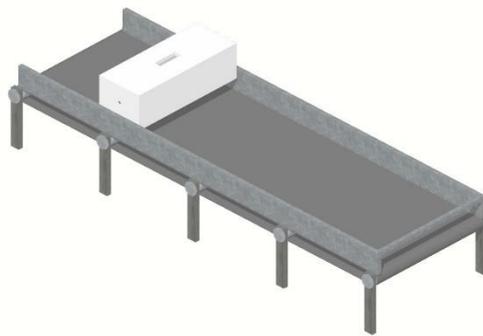


Gambar 2 Tingkat kematangan buah kopi

2.2.2 Konveyor

Konveyor adalah sebuah sistem mekanis yang dirancang khusus untuk menggerakkan dan mengalihkan barang atau bahan dari satu lokasi ke lokasi lain secara terus-menerus dan teratur. Konsepnya mirip dengan jalur bergerak yang secara tetap membawa benda-benda melalui perjalanan yang telah ditetapkan sebelumnya. Sistem konveyor terdiri dari beberapa komponen utama, di antaranya

adalah *belt* atau rantai yang bergerak di atas *roller* atau *pulley* untuk membawa barang, motor yang memberikan tenaga pada pergerakan, serta *frame* atau rangka yang memberikan struktur dan dukungan. Penggunaan sistem konveyor mencakup berbagai sektor industri, mulai dari manufaktur dan pengolahan makanan hingga pertambangan dan logistik. Keuntungan utama dari konveyor meliputi peningkatan efisiensi dalam pemindahan, konsistensi dalam pergerakan benda, kemampuan untuk mengangkut barang dengan kecepatan yang dapat diatur, dan pengurangan biaya tenaga kerja. Dalam industri pertanian, sistem konveyor juga dapat diterapkan untuk membantu dalam pemilahan dan pengolahan hasil pertanian, seperti dalam pemilahan buah kopi matang di perkebunan.



Gambar 3 Konveyor

2.2.3 Pengenalan Citra

Citra adalah salah satu komponen multimedia yang mempunyai peran sangat penting untuk memberikan suatu informasi yang bersifat visual dan mempunyai karakteristik yang tidak dimiliki oleh teks maupun audio (Hermawati, 2013). Citra didefinisikan sebagai fungsi dua dimensi $f(x,y)$, dimana x dan y merupakan koordinat spasial dengan nilai f pada koordinat tersebut yang diberi nama intensitas (intensity) atau *gray level* (Gonzales, et al. 2002), sedangkan citra digital adalah citra dua dimensi yang dapat diolah oleh beberapa perangkat lunak tertentu (Kadir, et al. 2013) yang mempunyai nilai digital yang disebut *pixel* (*picture elements*).

2.2.4 Pengolahan Citra

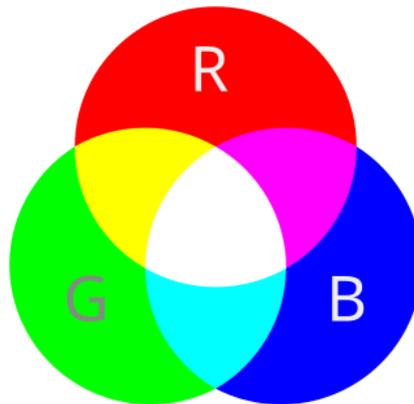
Pengolahan citra digital adalah teknologi yang menerapkan sejumlah algoritma komputer untuk memproses citra digital. Hasil keluaran dari proses tersebut dapat berupa citra atau karakteristik yang merepresentasikan citra. (Zhou, et al. 2010). Menurut (Efford, 2000), pengolahan citra adalah istilah umum untuk berbagai teknik yang keberadaannya untuk memanipulasi dan memodifikasi citra dengan berbagai cara. Citra dua dimensi yang bisa diolah dengan mudah adalah foto, setiap foto dalam bentuk citra digital bisa diolah dengan melalui perangkat lunak tertentu.

Pengolahan citra dilakukan untuk memperbaiki kualitas citra atau citra digital agar menghasilkan citra atau citra yang sesuai dengan keinginan dari pengguna atau menghasilkan citra dengan kualitas yang lebih baik (Nguyen et al. 2020). Pengolahan citra juga dilakukan agar informasi yang terkandung di dalam Citra tersebut dapat tersampaikan dengan baik dan jelas kepada pengguna (user). Sebuah citra dapat mengandung banyak informasi, namun seringkali citra yang kita miliki mengalami penurunan kualitas ataupun penurunan mutu (degradasi), misalnya mengandung cacat (*noise*), warna yang terlalu kontras, kurang tajam, ataupun kabur (*blur*). Hal semacam ini menyebabkan citra menjadi sulit untuk diinterpretasikan karena informasi yang disampaikan oleh citra tersebut menjadi berkurang (Efford, 2000).

2.2.5 Ruang Warna RGB

Ruang warna RGB terdiri atas *Red*, *Green*, dan *Blue*. Ruang warna RGB memiliki sifat additive pada pencahayaan. Nilai pada 3 warna tersebut dinyatakan dalam bilangan bulat 0 sampai dengan 255. Nilai warna RGB diekstraksi secara langsung dari citra digital (Jayashree, 2013). Model ini merupakan dasar untuk berbagai perangkat digital seperti monitor komputer, televisi, kamera digital, dan scanner, di mana setiap warna dihasilkan melalui kombinasi ketiga warna primer tersebut. Dalam ruang warna RGB, setiap komponen warna (R, G, B) dapat memiliki nilai antara 0 hingga 255, sehingga memungkinkan representasi sekitar 16,7 juta warna unik. Contohnya, nilai (0, 0, 0) merepresentasikan hitam, sedangkan (255, 255, 255) merepresentasikan putih. Warna lainnya diperoleh melalui variasi intensitas ketiga komponen ini, seperti merah murni (255, 0, 0) atau hijau murni (0,

255, 0). Model RGB sangat penting dalam teknologi layar dan pemrosesan citra, meskipun memiliki keterbatasan dalam merepresentasikan semua warna yang bisa dilihat oleh mata manusia. Transformasi dari RGB ke ruang warna lain seperti CMYK atau YCbCr sering diperlukan untuk pencetakan atau kompresi video. Ruang warna RGB memungkinkan manipulasi dan representasi warna yang luas dalam dunia digital, meskipun tidak selalu akurat dalam mengcitrakan persepsi warna manusia secara penuh



Gambar 4 Ruang warna rgb

2.2.6 Segmentasi Gambar

Segmentasi merupakan teknik untuk membagi suatu citra menjadi beberapa daerah (*region*) dimana setiap daerah memiliki kemiripan atribut (Sujatha et al. 2018). Pengolahan citra digital merupakan sebuah disiplin ilmu yang mempelajari hal-hal yang berkaitan dengan perbaikan kualitas citra (peningkatan kontras, transformasi warna, restorasi citra), transformasi citra (rotasi, translasi, skala, transformasi geometri), melakukan pemilihan citra ciri (*feature images*) yang optimal untuk tujuan analisis, melakukan proses penarikan informasi atau deskripsi objek atau pengenalan objek yang terkandung pada citra, melakukan kompresi atau reduksi data untuk tujuan penyimpanan data, transmisi data, dan waktu proses data. Input dari pengolahan citra adalah citra, sedangkan outputnya adalah citra hasil pengolahan.

2.2.7 Ekstraksi Fitur

Ekstraksi fitur adalah pengambilan ciri atau fitur pada sebuah citra yang nantinya nilai yang didapatkan akan diproses atau dianalisis untuk mendapatkan suatu informasi yang penting dan berguna (Kadir & Susanto, 2013). Ekstraksi fitur dilakukan dengan cara menghitung jumlah piksel yang ada pada sebuah citra.

2.2.8 Deteksi Objek

Deteksi objek adalah proses identifikasi dan penemuan objek tertentu dalam gambar atau video dengan menggunakan teknik dan algoritma komputer. Tujuan utama dari deteksi objek adalah untuk mengenali dan menandai lokasi serta wilayah objek yang ada dalam citra. Deteksi objek merupakan tugas yang penting dan kompleks dalam bidang computer vision. Kemampuan untuk secara otomatis mengenali dan menemukan objek dalam gambar atau video memiliki berbagai aplikasi, termasuk dalam bidang keamanan, kendaraan otonom, analisis medis, sistem pengenalan wajah, dan banyak lagi.

2.2 Metode Penyelesaian

2.2.1 State of The Art

Blur merupakan efek yang terjadi pada citra atau objek visual ketika detail-detailnya menjadi kurang jelas dan tajam. Efek *blur* dapat disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk pergerakan objek atau kamera saat pengambilan citra, ketidakfokusan optik, atau faktor lain yang mengakibatkan citra menjadi kabur atau tidak tajam. Dalam konteks deteksi kematangan buah kopi yang mengalami efek *blur* ketika bergerak cepat melalui konveyor, efek *blur* tersebut dapat mempengaruhi proses identifikasi detail-detail penting pada buah kopi, seperti tingkat kematangan. Oleh karena itu, tantangan dalam kasus ini adalah bagaimana mengatasi atau mengurangi efek *blur* agar sistem deteksi dapat bekerja secara akurat dalam mengidentifikasi tingkat kematangan buah kopi yang melewati konveyor.

Tabel 1 State of the art

| No | Judul Karya Ilmiah, Nama, Tahun Terbit dan Penerbit | Objek dan Permasalahan | Metode Penyelesaian | Kinerja |
|----|---|--|--|--|
| 1. | Judul : <i>Detection, classification, and mapping of coffee fruits during harvest with computer vision</i> (Bazame et al. 2021). Penulis : Helizani Couto Bazame, dkk Tahun : 2021 | Objek : buah kopi Permasalahan : petani memanen buah kopi dengan cara tradisional | Algoritma YOLOv3 | <i>mAP of 84.0%, F1 Score of 82.0%, the Precision of 82.0%, and Recall of 83%</i> |
| 2. | Judul : <i>Detection of coffee fruits on tree branches using computer vision</i> (Bazame et al. 2023). Penulis : Helizani Couto Bazame, dkk Tahun : 2022 | Objek : Buah kopi Permasalahan : dibutuhkannya pasokan kopi yang berkualitas menurut tingkat kematangan | Algoritma YOLOv3, Algoritma YOLOv4, | Untuk resolusi masukan Citra 320 × 320 piksel, YOLOv4, YOLOv3, mencetak rata-rata <i>Precision</i> rata-rata (mAP) masingmasing sebesar 73% dan 62%. |
| 3. | Judul : <i>Adaptive Contrast Enhancement using Fuzzy Logic</i> (Fernandes et al. 2019). Penulis : Shane Fernandes, dkk Tahun : 2020 | Permasalahan: Citra digital yang diperoleh kabur karena iluminasi, cahaya, dll | teknik peningkatan kontras adaptif menggunakan logika fuzzy. | Nilai PSNR untuk logika <i>fuzzy</i> sebesar 15.6824 dibandingkan dengan nilai HE sebesar 12.0490 |
| 4. | Judul : <i>Fruit Classification using Convolutional Neural Network via Adjust Parameter and Data</i> | Permasalahan: Klasifikasi buah yang dilakukan penjual masih manual | metode klasifikasi buah berdasarkan | Nilai <i>batchsize</i> kelipatan 8 memiliki akurasi klasifikasi |

| | | | | |
|----|---|--|---|---|
| | Enhancement(Wu et al. 2020). Penulis : Liuchen Wu, dkk Tahun : 2020 | | jaringan saraf convolutional | lebih tinggi dan stabilitas yang baik. Pada <i>batch</i> =56, klasifikasi mencapai akurasi tertinggi 99,4%, varians 0,204, efek klasifikasi terbaik. Pada <i>batch</i> =64, akurasi 99,12%, varians 0,0816, fluktuasi rendah. Kesimpulannya, <i>batch</i> =56 dan <i>batch</i> =64 adalah keseimbangan terbaik. |
| 5. | Judul : <i>Image Enhancement Algorithm Based on Background Enhancement Coefficient</i> (Guo and Wan 2018). Penulis : Yafei Guo, dkk Tahun : 2018 | Permasalahan: Kualitas citra menurun yang dipengaruhi oleh lingkungan, perubahan cuaca dan peralatan akuisisi | algoritma peningkatan citra malam hari dengan menyesuaikan data latar belakang komponen nilai (V) pada ruang HSV. | Kualitas citra yang dihasilkan setelah dibandingkan dengan algoritma HE, MSRCR, SIRE, LSCN, dan CDCSA, algoritma yang diusulkan memiliki nilai yang tinggi yaitu sebesar 23.67. |
| 6. | Judul : <i>Image Enhancement with the Application of Local and Global Enhancement Methods for Dark</i> | Permasalahan: Kelemahan peningkatan citra global yang tidak memperhatikan peningkatan citra lokal. | metode peningkatan lokal dan global | Nilai dari citra masukan untuk citra cahaya redup sebesar 0.37 dan nilai keluarannya |

| | | |
|--|--|---|
| <p><i>Images</i>(Singh et al. 2017). Penulis : Kambam Bijen Singh, dkk Tahun : 2017</p> | <p>sebesar 1.75, untuk citra masukan bayangan sore memiliki nilai 0.38 dan nilai keluaran sebesar 3.05, dan untuk citra masukan citra malam sebesar 0.37 dan nilai keluarannya sebesar 2.95 kesimpulan yang didapatkan adalah algoritma yang diusulkan meningkatkan kualitas citra</p> | |
| <p>Judul : <i>Fast Bi-dimensional empirical mode decomposition as an image enhancement technique for fruit defect detection</i>(Lu and Lu 2018). Penulis : Yuzhen Lua, dkk Tahun : 2018</p> | <p>Permasalahan: <i>Noise</i> metode dalam citra peningkatan proses citra baru berdasarkan dekomposisi mode empiris dua dimensi (BEMD)</p> | <p>Menunjukkan nilai Q1 sebesar 0,3560 dimana rekonstruksi yang dilakukan pada citra menunjukkan sangat meningkatkan kualitas citra yang buram.</p> |
| <p>Judul : <i>Realization of the Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) for Real-Time Image Enhancement</i>(Reza 2004). Penulis : Ali M. Reza, dkk Tahun : 2003</p> | <p>Permasalahan: Urutan <i>Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE)</i> yang memiliki kualitas kurang baik dari segi pencahayaan.</p> | <p>Mampu meningkatkan citra secara realtime dengan kecepatan 30 <i>frame/detik</i>.</p> |

| | | | | |
|-----|---|--|---|--|
| 9. | <p>Judul : <i>Improved Method for Enhancing Dark Images based on CLAHE and Morphological Reconstruction</i>(Manju, Koshy, and Simon, 2019).</p> <p>Penulis : Manju R. A., dkk</p> <p>Tahun : 2019</p> | <p>Permasalahan: Citra yang diperoleh ternoda karena banyak cacat yang muncul dari berbagai kondisi yang tidak dapat dikendalikan seperti pencahayaan dalam ruangan, pencahayaan malam hari, cuaca mendung.</p> | <p><i>CLAHE</i> dan rekonstruksi struktural dengan transformasi Top-hat</p> | <p>dan kualitas persepsi citra dari metode yang diusulkan lebih kecil dengan nilai sebesar 3.7758 dibandingkan dengan metode Wencheng Wang et al lebih tinggi dengan nilai sebesar 9.4255.</p> |
| 10. | <p>Judul : <i>Design of an Embedded System with Modified Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization Technique for Real-Time Image Enhancements</i>(Sahani et al. 2015).</p> <p>Penulis : Mrutyunjaya Sahani, dkk</p> <p>Tahun : 2015</p> | <p>Permasalahan: Kurangnya tingkat informasi pada Citra.</p> | <p><i>CLAHEwVED</i></p> | <p>Meningkatkan kualitas citra dari nilai $u=0.8$ menjadi $u=1.0$ dan mampu membatasi peningkatan <i>noise</i>.</p> |
| 11. | <p>Judul : <i>Color Correction and Local Contrast Enhancement for Underwater Image Enhancement</i>(Jin et al. 2022).</p> <p>Penulis : Songlin Jin, dkk</p> <p>Tahun : 2022</p> | <p>Permasalahan: Citra bawah air yang mengalami berbagai masalah seperti penurunan kualitas seperti color cast, low contrast, dan <i>blur</i> detail.</p> | <p>metode peningkatan citra bawah air baru yang dapat memperoleh citra bawah air yang lebih realistis dengan menggabungkan kompensasi warna, piramida diferensial <i>Gaussian</i> dan <i>CLAHE</i>.</p> | <p>Hasil dari metode yang digunakan unggul dibandingkan metode lain, dengan nilai rata-rata sebesar 7,69, nilai AG sebesar 4,36, dan nilai UIQM sebesar 1,16.</p> |

| | | | | |
|-----|--|--|-----------------------------|---|
| 12. | <p>Judul : <i>Digital image restoration by Wiener filter in 2D case</i></p> <p>Penulis : A. Khireddine, dkk</p> <p>Tahun : 2006</p> | <p>Permasalahan: Masalah restorasi berdasarkan hipotesis penggunaan filter linier dan kriteria kesalahan mean-square (atau rms) minimum.</p> | <p><i>Wiener filter</i></p> | <p><i>Wiener filter</i> menghasilkan kesalahan yang lebih rendah dibandingkan prosedur lain yang diperiksa</p> |
| 13. | <p>Judul : <i>Reconstruction of turbulence-degraded images using the vector Wiener filter</i></p> <p>Penulis : Stephen D. Ford, dkk</p> <p>Tahun : 1997</p> | <p>Permasalahan: Bagaimana kinerja <i>Wiener filter</i> pada simulasi citra bintang biner terbatas foton yang terdegradasi oleh turbulensi atmosfer. <i>Noise</i> dalam citra mempengaruhi proses segmentasi citra.</p> | <p><i>Wiener filter</i></p> | <p><i>Wiener filter</i> lebih unggul dibandingkan dengan <i>Wiener filter</i> skalar sehubungan dengan UMK dan MSPE yang dinormalisasi di seluruh kasus yang diperiksa</p> |
| 14. | <p>Judul : <i>Image Restoration via Wiener filtering in the Frequency Domain.</i></p> <p>Penulis : Hiroko Furuya, dkk</p> <p>Tahun : 2009</p> | <p>Permasalahan: Citra terdegradasi oleh derau putih.</p> | <p><i>Wiener filter</i></p> | <p><i>Wiener filter</i> dalam domain frekuensi lebih efektif daripada dalam domain ruang. Untuk menerapkan frekuensi <i>Wiener filter</i> domain frekuensi dalam kasus nyata, kita memerlukan estimasi dari spektrum daya asli dan derau.</p> |
| 15. | <p>Judul : <i>Image Restoration via Improved Wiener filter Applied to Optical Sparse Aperture Systems</i></p> | <p>Permasalahan: Saat ini, teleskop luar angkasa diharapkan bisa digunakan dan kendala yang diakibatkan oleh sistem aperture penuh dapat</p> | <p><i>Wiener filter</i></p> | <p>Citra yang dipulihkan secara optimal memiliki efek cincin dan efek penghalusan yang mampu</p> |

Penulis : Hao Chen.,
dkk
Tahun : 2017

diatasi. Namun berbeda dengan algoritma untuk meningkatkan kualitas citra OSAS. Secara umum, metode membangun a Model matematika digunakan untuk mengembalikan citra yang terdegradasi berdasarkan arah kebalikannya sistem bukaan optik konvensional yang terisi penuh, karena diskritisasi distribusi pupil, OSAS dikembangkan lebih besar dan lebih besar untuk mendapatkan resolusi yang lebih tinggi, menghasilkan volume yang lebih besar, lebih berat bobot, biaya lebih tinggi, dan lebih banyak kesulitan dalam manufaktur, permesinan, dan peluncuran.

mencapai keseimbangan sempurna dapat diperoleh tanpa estimasi tambahan

Helizani Couto Bazame, et.al 2021(Bazame et al. 2021) Penelitian ini mengimplementasikan algoritma dengan model *computer vision* untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan buah kopi serta memetakan tingkat kematangan buah selama panen. Pengambilan data dilakukan pada lahan percobaan 1 dan 2, masing-masing dengan kerapatan 5000 pohon per hektar, dengan jarak tanam 4,0 meter dan antar tanaman 0,5 meter. Kamera distabilkan dengan Gimbal 3 sumbu. Video direkam dengan definisi full HD (1920x1080) dan bit rate 100Mbps (60 fps, 720P, ISO 1600, Shutter 1/800). Algoritma untuk deteksi dan klasifikasi buah kopi diimplementasikan menggunakan struktur jaringan saraf sumber terbuka yang ditulis dalam bahasa C dan dikenal sebagai *Darknet*. Deteksi dan klasifikasi dilakukan dengan menggunakan sistem deteksi objek bernama You Only Look Once (YOLO). Hasil kinerja dari model menunjukkan mAP sebesar 84,0%, F1 Score sebesar 82,0%, *Precision* sebesar 82,0%, dan *Recall* sebesar 83% untuk set validasi. *Precision* rata-rata untuk kelas buah kopi Mentah, matang, dan matang masing-masing adalah 86,0%, 85,2%, dan 80,0%.

Helizani Couto Bazame, et.al 2022(Bazame et al. 2023) Penelitian ini mengusulkan sistem visi komputer untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan buah kopi jenis *Coffea arabica* (L.) pada cabang pohon ke dalam tiga kelas: Mentah (hijau), matang (ceri), dan terlalu matang (kering). Dataset yang digunakan dalam penelitian terdiri dari 387 Citra RGB buah kopi yang diambil dari cabang pohon menggunakan smartphone sebelum panen. Model deteksi objek dilatih dengan mempertimbangkan ukuran jaringan yang berbeda dan mengubah ukuran Citra agar sesuai dengan jaringan yang dipilih. Ukuran jaringan yang digunakan adalah 320x320, 416x416, 512x512, 608x608, 704x704, dan 800x800 piksel. Selama pelatihan, ukuran *batch* diatur ke 32 dalam proses *forward pass*, dengan total iterasi sebanyak 6000. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk resolusi Citra masukan berukuran 320 × 320 piksel, model *YOLOv4*, *YOLOv4-tiny*, *YOLOv3*, dan *YOLOv3-tiny* mencapai mAP rata-rata masing-masing sebesar 73%, 68%, 62%, dan 40%. Namun, untuk jaringan yang lebih besar dengan Citra berukuran 800 × 800 piksel, model ini mencapai mAP rata-rata masing-masing sebesar 81%, 79%, 78%, dan 77%.

Ali M. Reza, et.al 2003(Reza 2004) Penelitian ini melakukan pemerataan histogram sebagai metode yang relatif sederhana untuk meningkatkan citra. Kombinasi pendekatan pembatasan kontras ini dengan penyetaraan histogram adaptif yang telah disebutkan di atas menghasilkan apa yang disebut sebagai Penyamaan Histogram Adaptif Kontras Terbatas (*CLAHE*). Waktu latensi menjadi sekitar setengah dari satu *frame*, yang sesuai dengan sekitar 1/60 detik dalam urutan citra 30 bingkai per detik. Oleh karena itu, implementasi ini layak digunakan untuk meningkatkan citra dalam konteks waktu nyata. Selain itu, diajukan juga realisasi khusus dari algoritma pemerataan histogram adaptif terbatas kontras yang cocok untuk implementasi VLSI atau FPGA. Rincian teknis dari realisasi ini ditinggalkan untuk tujuan umum dan fleksibilitas, serta untuk kejelasan penyajian.

Songlin Jin, et.al 2022(Jin et al. 2022) Penelitian ini memperbaiki citra di bawah air yang mengalami berbagai masalah penurunan kualitas seperti dominasi warna, kontras rendah, dan ketidakjelasan detail. Untuk mengatasi masalah tersebut, telah dikembangkan metode baru untuk meningkatkan citra di bawah air dengan melakukan koreksi warna, penajaman detail, dan peningkatan kontras secara bertahap. Secara khusus, metode yang diusulkan menggabungkan kompensasi warna multisaluran dengan koreksi warna. Pertama, kompensasi warna diterapkan pada citra asli dan kemudian dilakukan koreksi warna menggunakan teknik *Retinex* multi-skala. Kedua, digunakan piramida diferensial Gaussian untuk merekonstruksi dan menggabungkan informasi detail. Terakhir, dilakukan peningkatan kontras citra dengan menggunakan metode *CLAHE* untuk lebih mempertajam detailnya. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa metode ini berhasil meningkatkan kontras, memperbaiki informasi detail, serta melakukan koreksi warna dengan bantuan *Retinex* multi-skala (MSR) berdasarkan tingkat otomatis.

2.2.2 Metode yang digunakan

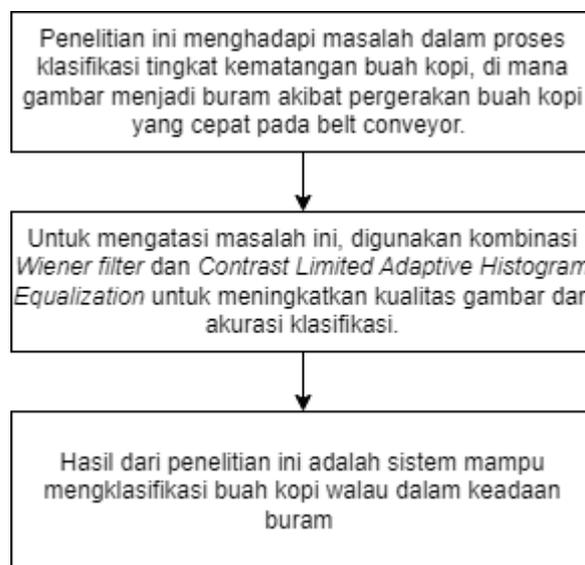
Dalam penelitian ini kami memperbaiki citra yang *blur* dengan kombinasi *Wiener filter* dan *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* agar citra kopi yang *blur* dapat dikenali dan diklasifikasikan.

2.2.3 Hipotesis Penelitian

Hasil dalam penelitian ini adalah penelitian ini mampu mendeteksi dan memperbaiki citra yang *blur* pada tahap *Preprocessing* dan mampu mengklasifikasikan tingkat kematangan buah kopi.

2.2.4 Kerangka Pikir Penelitian

Kerangka pikir dapat dilihat pada Gambar 5 yang menggambarkan keunikan dan posisi dari penelitian yang akan dilakukan.



Gambar 5 Kerangka pikir