

BAB II

TINJAUAN LITERATUR

2.1 Penelitian Terkait

Dalam penilaian akreditasi kampus, kelulusan mahasiswa yang tepat waktu selalu menjadi salah satu tolok ukur utama. Masalahnya, pihak program studi sering kali kesulitan mendeteksi potensi keterlambatan lulus ini secara cepat, yang pada akhirnya bisa merugikan nilai akreditasi secara keseluruhan. Karena kendala itulah, riset ini dilakukan untuk merancang sebuah sistem prediksi kelulusan menggunakan teknik klasifikasi berbasis algoritma *Naïve Bayes*. Tujuan besarnya adalah memprediksi peluang mahasiswa untuk lulus sesuai target waktu. Harapannya, informasi yang dihasilkan bisa menjadi semacam *early warning* atau masukan bagi kampus dalam menyusun kebijakan strategis. Hasil pengujian membuktikan bahwa algoritma *Naïve Bayes* bekerja dengan sangat efektif untuk tugas ini. Kunci akurasi prediksi ini sangat bergantung pada riwayat nilai IPK dan lama studi dari mahasiswa yang bersangkutan. Secara statistik, kinerja model ini sangat solid dengan mencatatkan nilai presisi 90%, akurasi 90%, dan angka *recall* sempurna di 100% (Yovi, 2021).

Dalam penelitian ini, beberapa studi terdahulu serta materi yang relevan digunakan sebagai referensi untuk memperkuat landasan teori dan mendukung penyusunan penelitian. Salah satu referensi yang digunakan berasal dari penelitian (Muchtar, 2024). Berdasarkan penelitian tersebut, penerapan metode Naive Bayes untuk mengklasifikasikan tingkat kesegaran ikan melalui analisis

warna pada citra area mata menunjukkan hasil yang sangat baik. Sistem yang dikembangkan mampu mencapai tingkat akurasi sebesar 97,5%, dengan nilai presisi 100% dan recall 95%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa metode Naive Bayes memiliki potensi yang besar dalam membedakan tingkat kesegaran ikan secara efektif. Penelitian ini juga menjadi bukti bahwa sistem klasifikasi otomatis berbasis citra dapat dimanfaatkan sebagai solusi praktis untuk mendeteksi ikan segar maupun tidak segar.

Penelitian ini memanfaatkan public dataset yang terdiri atas citra sayur segar dan sayur busuk. Tahap awal pengolahan data dilakukan dengan mengubah ukuran seluruh citra menjadi 300×300 piksel agar memiliki dimensi yang seragam. Setelah itu, proses dilanjutkan dengan ekstraksi fitur Local Binary Pattern (LBP), kemudian dikombinasikan dengan ekstraksi fitur warna HSV. Hasil dari kedua proses ekstraksi fitur tersebut selanjutnya digunakan sebagai data masukan dalam tahap klasifikasi menggunakan algoritma Support Vector Machine (SVM) dengan beberapa variasi parameter, yaitu $n_estimator$ 500, 1000, 1500, dan 2000. Berdasarkan hasil pengujian, algoritma Support Vector Machine mampu menghasilkan tingkat akurasi tertinggi sebesar 65,02% pada nilai $\gamma = 0,04$ (Pattern, 2020).

Penelitian ini melakukan klasifikasi buah belimbing berdasarkan tingkat kemanisannya dengan memanfaatkan teknik pemrosesan citra digital. Fitur yang digunakan dalam proses ekstraksi adalah nilai warna Red, Green, dan Blue (RGB) untuk memperoleh karakteristik warna dari citra buah. Selanjutnya, hasil ekstraksi fitur tersebut dijadikan masukan pada proses

klasifikasi menggunakan metode Naive Bayes. Jumlah data citra belimbing yang digunakan sebanyak 120 gambar, yang terdiri dari 90 data latih dan 30 data uji. Berdasarkan hasil pengujian, sistem klasifikasi mampu mencapai tingkat akurasi sebesar 80% dengan menggunakan fitur warna RGB. Namun, penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa penggunaan RGB sebagai representasi warna belum sepenuhnya optimal untuk dijadikan satu-satunya fitur dalam klasifikasi citra buah belimbing (Manik, 2020).

Menurut penelitian (Joni, 2024), klasifikasi buah Pisang Raja dilakukan berdasarkan karakteristik warna RGB melalui beberapa tahapan, yaitu pengumpulan data citra Pisang Raja, proses ekstraksi fitur RGB, pembagian dataset menggunakan metode k-fold cross-validation, serta penerapan model klasifikasi dengan algoritma Naive Bayes. Pendekatan tersebut memanfaatkan informasi warna yang diperoleh dari citra Pisang Raja sebagai data masukan untuk menentukan kelas atau kategori buah yang sesuai. Berdasarkan hasil pengujian, tingkat akurasi pada kategori rasa manis mencapai 100%, sedangkan kategori sepat dan hambar masing-masing memperoleh akurasi sebesar 80%. Secara keseluruhan, rata-rata akurasi metode klasifikasi Naive Bayes mencapai 86,66%. Hasil ini menunjukkan bahwa model yang digunakan cukup berhasil dalam mengelompokkan berbagai karakteristik warna pada buah Pisang Raja.

Dalam penelitian tersebut, hasil pengujian accuracy menunjukkan nilai yang sama antara perhitungan menggunakan RapidMiner dan perhitungan manual metode Naive Bayes, yaitu sebesar 94,52% untuk kelas positif Nabati. Hal ini

menunjukkan adanya konsistensi hasil pada kedua metode perhitungan tersebut. Pada pengujian precision, ditemukan perbedaan nilai antara RapidMiner dan perhitungan manual. RapidMiner menghasilkan nilai precision yang lebih tinggi, yaitu 93,22% untuk kelas positif Nabati, sedangkan perhitungan manual Naive Bayes memperoleh nilai sebesar 78%. Sementara itu, pada pengujian recall, kedua metode kembali menunjukkan hasil yang sama, yaitu 100% untuk kelas positif Nabati. Nilai yang serupa juga diperoleh pada pengujian F1-Score, di mana RapidMiner maupun perhitungan manual sama-sama menghasilkan nilai 100%. Selain itu, pengujian Area Under the Curve (AUC) menggunakan RapidMiner memperoleh nilai 0,973 untuk kelas positif Nabati. Nilai tersebut menunjukkan kategori Excellent Classification, yang berarti model memiliki performa klasifikasi sangat baik. Berdasarkan hasil tersebut, penelitian ini menyimpulkan bahwa penggunaan bahan pangan nabati lebih dominan dibandingkan bahan pangan hewani (Oktaviyani, 2024).

Metode Naive Bayes berhasil diterapkan dalam proses klasifikasi cacat pada biji kopi dengan memanfaatkan ciri warna dan tekstur sebagai parameter utama. Fitur warna diekstraksi menggunakan ruang warna HSV, sedangkan karakteristik tekstur diperoleh melalui metode Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM). Berdasarkan hasil pengujian, sistem klasifikasi mampu mencapai tingkat akurasi sebesar 94,44%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa dari 36 data uji, terdapat 2 data yang mengalami kesalahan klasifikasi. Jika diasumsikan menggunakan 100 data uji, maka model diperkirakan akan salah mengklasifikasikan sekitar 5 hingga 6 biji kopi (Putra, 2023).

2.2 Pengolahan Citra Digital

Pengolahan citra digital (digital image processing) merupakan salah satu cabang ilmu di bidang komputer yang berfokus pada proses pengolahan, manipulasi, serta analisis gambar dengan bantuan sistem komputer agar menghasilkan informasi yang lebih bermakna. Teknologi ini memungkinkan gambar tidak hanya ditampilkan, tetapi juga diproses untuk berbagai kebutuhan analisis dan pengambilan keputusan. Dalam sistem komputer, citra digital direpresentasikan sebagai kumpulan piksel yang tersusun dalam bentuk matriks dua dimensi. Setiap piksel memiliki nilai intensitas tertentu yang menunjukkan tingkat kecerahan atau warna pada posisi tertentu di dalam gambar. Berdasarkan nilai-nilai piksel tersebut, komputer dapat melakukan berbagai proses, seperti meningkatkan kualitas citra, mengenali pola, maupun mengekstraksi informasi penting dari gambar yang dianalisis (Rohman Dijaya, 2023).

Secara umum, tujuan utama pengolahan citra digital adalah meningkatkan kualitas gambar agar lebih mudah dipahami, baik oleh manusia maupun oleh sistem komputer. Dengan kualitas citra yang lebih baik, proses interpretasi dan analisis dapat dilakukan secara lebih akurat dan efisien. Dalam pelaksanaannya, pengolahan citra digital mencakup berbagai teknik, seperti image enhancement untuk memperjelas kualitas gambar, image restoration untuk memperbaiki citra yang mengalami gangguan, segmentasi citra untuk memisahkan objek tertentu, serta ekstraksi fitur yang digunakan pada tahap

analisis lanjutan. Melalui rangkaian proses tersebut, citra yang semula hanya berupa data visual dapat diubah menjadi informasi yang memiliki nilai analitis dan dapat dimanfaatkan dalam berbagai sistem otomatis (Aisyiyah, 2022).

Proses pengolahan citra digital umumnya melalui beberapa tahapan utama yang saling berkaitan. Tahap pertama adalah akuisisi citra, yaitu proses pengambilan gambar menggunakan perangkat seperti kamera digital atau sensor citra sebagai sumber data awal. Setelah itu, citra masuk ke tahap pre-processing yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas gambar. Pada tahap ini biasanya dilakukan pengurangan noise, penyesuaian kontras, maupun perbaikan pencahayaan agar citra lebih jelas dan siap dianalisis. Tahapan berikutnya adalah segmentasi citra, yaitu proses memisahkan objek utama dari latar belakang sehingga area yang akan dianalisis dapat dikenali dengan lebih fokus. Selanjutnya dilakukan ekstraksi fitur, yaitu pengambilan karakteristik penting dari objek, seperti warna, bentuk, atau tekstur, yang nantinya digunakan sebagai data masukan dalam proses klasifikasi. Tahap terakhir adalah interpretasi atau klasifikasi, yaitu proses mengenali, menentukan kategori, atau mengelompokkan objek berdasarkan karakteristik yang telah diperoleh dari citra tersebut. (Ashillah, 2025).

2.3 Segmentasi Objek

Segmentasi objek merupakan salah satu tahap penting dalam pengolahan citra digital yang bertujuan untuk memisahkan objek utama dari latar belakang pada sebuah gambar. Tahap ini dilakukan agar objek yang menjadi fokus analisis dapat terlihat lebih jelas, sehingga proses lanjutan dapat dilakukan dengan lebih akurat. Melalui segmentasi, citra dibagi ke dalam beberapa bagian atau wilayah berdasarkan karakteristik tertentu, seperti intensitas warna, tekstur, maupun bentuk objek yang terdapat pada gambar. Dengan cara ini, sistem dapat membedakan area objek dari area yang tidak relevan. Adanya proses segmentasi membuat sistem lebih terarah dalam menganalisis citra, karena perhatian difokuskan hanya pada bagian yang memuat objek penting. Hal tersebut sangat membantu pada tahap berikutnya, seperti ekstraksi fitur dan proses klasifikasi (Riwanto, 2021).

2.4 Binerisasi

Binerisasi citra merupakan salah satu proses penting dalam pengolahan citra digital yang bertujuan untuk memisahkan objek utama dari latar belakang, sehingga informasi pada gambar dapat dianalisis dengan lebih efektif. Pada tahap ini, citra diubah menjadi dua nilai utama, yaitu objek dan latar belakang, agar proses identifikasi menjadi lebih sederhana. Proses segmentasi dilakukan menggunakan teknik thresholding dengan metode Otsu, yaitu metode yang secara otomatis menentukan nilai ambang terbaik untuk memisahkan objek dari background. Setelah tahap segmentasi selesai, proses dilanjutkan dengan

penentuan Region of Interest (RoI), yaitu area tertentu yang menjadi fokus analisis. Hasil dari tahap ini berupa area piksel objek yang telah dipisahkan dan siap digunakan pada proses pengolahan selanjutnya. (INFORMASI, 2021).

Binerisasi adalah proses mengubah citra menjadi citra biner yang hanya memiliki dua nilai piksel, yaitu 0 dan 1, atau umumnya ditampilkan sebagai warna hitam dan putih. Dalam citra biner, nilai 1 biasanya merepresentasikan area objek, sedangkan nilai 0 menunjukkan bagian latar belakang. Tujuan utama proses ini adalah menyederhanakan struktur citra agar objek dapat dikenali dengan lebih jelas pada tahap analisis berikutnya, terutama saat ekstraksi fitur. Dengan bentuk citra yang lebih sederhana, sistem dapat lebih mudah membedakan objek utama dari area yang tidak diperlukan. Pada beberapa penelitian klasifikasi citra berbasis Naive Bayes, gambar yang telah melalui tahap grayscale selanjutnya dibinerisasi menggunakan metode thresholding, seperti Otsu thresholding, untuk menghasilkan segmentasi objek yang lebih optimal sebelum proses ekstraksi fitur dilakukan.

2.5 Klasifikasi

Menilai tingkat kematangan buah nanas secara manual dengan mata telanjang sering kali menemui kendala. Cara konvensional ini cenderung tidak konsisten dan sangat dipengaruhi oleh subjektivitas penilai, sehingga berdampak pada rendahnya akurasi klasifikasi. Sebagai solusi untuk menekan bias manusia sekaligus mendongkrak ketepatan deteksi, penelitian ini menguji penerapan algoritma *K-Nearest Neighbor* (KNN) yang bekerja dengan

mengekstraksi fitur warna kulit buah. Pengujian dilakukan pada citra beresolusi 300x300 piksel dengan mengukur jarak *Euclidean* pada beberapa variasi nilai tetangga ($k=1, 3, 5, 7$, dan 9). Hasil eksperimen membuktikan bahwa analisis fitur warna yang diproses dengan parameter $k=5$ dan $k=9$ mampu menghasilkan akurasi tertinggi, yakni sebesar 73%. Oleh karena itu, kedua nilai k tersebut dinilai sebagai konfigurasi paling optimal untuk mengenali fase kematangan nanas (Witriyono, 2024).

Penelitian yang dilakukan oleh (Widyastuti, 2025) menerapkan metode Naive Bayes untuk mengklasifikasikan varietas tomat berdasarkan fitur warna RGB. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendekatan probabilistik tersebut mampu mengenali tujuh varietas tomat dengan tingkat akurasi yang cukup baik ketika fitur warna dijadikan parameter utama dalam proses klasifikasi. Temuan ini memperlihatkan bahwa metode Naive Bayes mampu memodelkan hubungan antara nilai kanal warna Red, Green, dan Blue dengan kelas varietas tomat. Meskipun antar varietas memiliki kemiripan visual yang cukup tinggi, sistem tetap dapat melakukan pengelompokan secara efektif.

Salah satu metode klasifikasi yang cukup banyak digunakan dalam penelitian pengolahan citra adalah Naive Bayes. Metode ini merupakan algoritma klasifikasi berbasis probabilitas yang mengacu pada Teorema Bayes, dengan asumsi bahwa setiap fitur saling independen terhadap fitur lainnya. Keunggulan utama Naive Bayes terletak pada prosesnya yang sederhana, cepat, dan efisien, namun tetap mampu memberikan performa yang baik meskipun jumlah data pelatihan yang digunakan relatif terbatas. Karena alasan tersebut,

algoritma ini banyak diterapkan dalam berbagai penelitian yang berhubungan dengan klasifikasi objek berbasis citra digital. Salah satu contohnya ditunjukkan dalam penelitian (Muchtar, 2024) di mana metode klasifikasi yang diusulkan berhasil mencapai tingkat akurasi sebesar 97,5%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kombinasi analisis warna dan fitur entropi memiliki potensi yang sangat baik dalam membedakan tingkat kesegaran ikan.

2.6 Ekstraksi Fitur

Keunikan Batik Besurek asal Bengkulu terletak pada ragam coraknya yang ikonis, seperti Rafflesia, Kaligrafi, Relung Paku, Rembulan, Burung Kuau, dan Melati. Kompleksitas dari setiap pola kain ini mendorong perlunya sebuah pengklasifikasian secara digital guna mempercepat proses identifikasi dan melestarikan warisan budaya tersebut. Riset ini mengaplikasikan analisis tekstur berbasis *Grey Level Co-Occurrence Matrix* (GLCM) sebagai metode ekstraksi ciri, yang dipadukan dengan model klasifikasi *K-Nearest Neighbor* (KNN). Berdasarkan uji coba yang dilakukan pada citra motif Besurek, algoritma klasifikasi ini menunjukkan akurasi identifikasi yang tinggi. Performa paling menonjol ditemukan pada parameter sudut GLCM 135 derajat, di mana model sukses mencatatkan nilai akurasi 0,93333, *recall* 0,93333, presisi 0,94444, dengan rata-rata evaluasi berada di angka 0,93885. (Reswan, 2023).

Ekstraksi fitur merupakan salah satu tahapan penting dalam pengolahan citra digital yang bertujuan untuk mengambil karakteristik utama dari suatu

objek agar dapat digunakan pada proses analisis maupun klasifikasi. Pada citra digital, fitur yang umum dimanfaatkan meliputi warna, tekstur, dan bentuk (shape). Salah satu penelitian dilakukan untuk mengidentifikasi beberapa varian biji-bijian, seperti padi, jagung, kacang tanah, dan kedelai, dengan menggunakan ekstraksi fitur warna berbasis RGB dan HSV. Berdasarkan hasil pengujian, sistem tersebut mampu mencapai tingkat akurasi sebesar 99,8% (Alwi, 2020). Dalam berbagai penelitian pengolahan citra, fitur warna sering digunakan untuk mengenali objek di bidang pertanian, misalnya pada klasifikasi buah maupun sayuran. Hal ini karena warna merupakan indikator visual yang paling mudah diamati dan umumnya memiliki perbedaan yang cukup jelas antarobjek. Nilai warna biasanya diambil dari beberapa model ruang warna (color space) seperti RGB dan HSV, kemudian diolah menjadi fitur numerik yang dapat digunakan dalam proses klasifikasi menggunakan metode machine learning, salah satunya Naive Bayes

2.6.1 Fitur Warna RGB

Ruang warna RGB merupakan representasi dasar pada citra digital, di mana setiap piksel dijelaskan melalui tiga komponen warna utama, yaitu merah (Red), hijau (Green), dan biru (Blue). Model warna ini banyak digunakan dalam proses ekstraksi fitur karena perhitungannya relatif sederhana serta memiliki hubungan langsung dengan karakteristik visual objek. Penelitian yang dilakukan oleh (Widyastuti, 2025) memanfaatkan fitur warna RGB untuk mengklasifikasikan varietas tomat menggunakan algoritma Naive Bayes. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai rata-rata intensitas pada kanal R, G, dan B mampu membedakan varietas tomat berdasarkan distribusi warnanya, dengan tingkat akurasi klasifikasi mencapai 78,57%. Penelitian serupa juga dilakukan pada buah Pisang Raja, di mana fitur RGB digunakan untuk mengklasifikasikan karakteristik rasa buah menggunakan metode Naive Bayes. Dari pengujian yang dilakukan, sistem memperoleh performa klasifikasi keseluruhan sebesar 86,66% (Joni, 2024).

Penelitian ini menerapkan metode machine learning untuk mengklasifikasikan kualitas air berdasarkan analisis fitur warna digital pada ruang warna RGB. Dataset yang digunakan terdiri dari 647 citra air yang dibagi ke dalam dua kategori, yaitu air jernih dan air kotor. Fitur yang diekstraksi dalam penelitian tersebut berupa nilai rata-rata kanal warna R (Red), G (Green), dan B (Blue). Nilai-nilai ini kemudian digunakan sebagai data masukan dalam proses klasifikasi. Berdasarkan

hasil pengujian, algoritma Decision Tree memberikan performa terbaik dengan tingkat akurasi mencapai 100%. Selanjutnya diikuti oleh Random Forest sebesar 99,23%, Support Vector Machine (SVM) sebesar 98,46%, dan K-Nearest Neighbor (KNN) sebesar 96,92% (Manzis, 2026).

2.6.2 Fitur Warna HSV

Model warna HSV (Hue, Saturation, Value) merupakan salah satu representasi warna yang banyak digunakan dalam proses ekstraksi fitur citra. Pada metode ini, nilai Hue, Saturation, dan Value dihitung dari setiap piksel pada gambar, kemudian diolah menggunakan perhitungan statistik, seperti nilai rata-rata atau distribusi histogram, sehingga menghasilkan vektor fitur warna. Fitur-fitur tersebut selanjutnya digunakan sebagai parameter dalam proses klasifikasi citra, misalnya untuk mendeteksi tingkat kematangan buah atau membedakan objek berdasarkan karakteristik warnanya. Dibandingkan model warna lain, HSV sering dipilih karena mampu merepresentasikan warna lebih dekat dengan persepsi visual manusia. Berdasarkan penelitian (Paliling, 2025), sistem klasifikasi yang menggunakan fitur HSV memperoleh tingkat akurasi rata-rata sebesar 91,94%. Sistem mampu mengklasifikasikan kategori buah matang dan mentah dengan baik, namun akurasi pada kelas setengah matang masih lebih rendah karena adanya gradasi warna yang lebih kompleks.

Pencarian citra berbasis konten merupakan teknik untuk menemukan gambar yang memiliki karakteristik piksel sama atau mendekati sekumpulan citra tertentu. Metode ini bekerja dengan membandingkan fitur visual dari suatu gambar, sehingga proses pencarian tidak hanya bergantung pada nama file atau teks deskripsi, tetapi berdasarkan isi citra itu sendiri. Dalam penelitian ini, fitur yang digunakan sebagai dasar pencarian adalah warna dan tekstur. Untuk fitur warna, salah satu pendekatan yang digunakan adalah model warna HSV (Hue, Saturation, Value). Model HSV terdiri dari tiga komponen utama, yaitu Hue yang merepresentasikan jenis warna, Saturation yang menunjukkan tingkat kejenuhan atau kemurnian warna, serta Value yang menggambarkan tingkat kecerahan atau intensitas cahaya pada citra (Muhammad Dendy Agaputra, 2023).

2.6.3 Fitur Shape

Fitur shape atau bentuk merupakan salah satu jenis fitur dalam pengolahan citra digital yang digunakan untuk menggambarkan karakteristik geometris suatu objek. Berbeda dengan fitur warna yang berfokus pada komposisi spektral, fitur bentuk lebih menitikberatkan pada struktur fisik objek, seperti kontur, ukuran, serta proporsi. Dalam sistem pengenalan pola, fitur bentuk memiliki peranan penting karena mampu membedakan objek yang memiliki warna serupa, tetapi bentuk yang berbeda. Dengan demikian, informasi bentuk sering digunakan

untuk meningkatkan ketepatan proses identifikasi dan klasifikasi objek. Proses ekstraksi fitur bentuk umumnya dilakukan setelah tahap segmentasi, yaitu ketika objek telah dipisahkan dari latar belakang sehingga batas objek dapat terlihat lebih jelas. Salah satu metode yang sering digunakan adalah pendekatan berbasis kontur (boundary-based), yaitu dengan mendeteksi tepi objek menggunakan teknik seperti deteksi tepi Prewitt atau Sobel. Melalui pendekatan tersebut, sistem dapat memperoleh informasi bentuk objek secara lebih akurat melalui analisis garis batas atau tepi objek (Oktavian, 2024).

Dalam konteks penelitian ini, fitur shape digunakan sebagai fitur tambahan untuk mendukung proses klasifikasi sayuran. Setiap jenis sayuran memiliki karakteristik bentuk yang berbeda-beda, misalnya kol yang cenderung bulat, wortel yang memanjang, serta terong yang berbentuk lonjong. Dengan memanfaatkan informasi bentuk tersebut, sistem diharapkan mampu mengenali dan membedakan objek sayuran secara lebih akurat, terutama ketika warna antarobjek memiliki tingkat kemiripan yang tinggi. Fitur bentuk menjadi pelengkap penting agar proses klasifikasi tidak hanya bergantung pada warna, tetapi juga mempertimbangkan karakteristik fisik objek.

2.7 Matlab

MATLAB (Matrix Laboratory) merupakan salah satu perangkat lunak komputasi numerik yang banyak digunakan di bidang teknik dan sains, terutama untuk pengolahan citra digital, analisis data, serta pengembangan algoritma. MATLAB menyediakan lingkungan pemrograman yang terintegrasi dengan berbagai toolbox, sehingga memudahkan pengguna dalam melakukan perhitungan, analisis, dan visualisasi data secara efisien. Berbagai toolbox yang tersedia mendukung beragam kebutuhan, seperti pemrosesan sinyal, pengolahan citra, hingga machine learning. Khusus pada bidang pengolahan citra digital, MATLAB memiliki Image Processing Toolbox yang menyediakan banyak fungsi untuk melakukan manipulasi citra, mulai dari peningkatan kualitas gambar (image enhancement), segmentasi, ekstraksi fitur, sampai proses klasifikasi. Salah satu keunggulan utama MATLAB terletak pada kemampuannya mengolah data berbasis matriks serta tersedianya fungsi bawaan yang lengkap. Dengan dukungan tersebut, proses pengembangan sistem dapat dilakukan dengan lebih cepat, terstruktur, dan mudah diterapkan dalam berbagai penelitian (Eviyanti, 2024).

Penggunaan MATLAB dalam penelitian pengolahan citra telah banyak diterapkan, terutama pada sistem klasifikasi dan sortasi objek berbasis citra digital. MATLAB memungkinkan integrasi berbagai tahapan pengolahan citra dalam satu lingkungan kerja, mulai dari akuisisi data, preprocessing, segmentasi, hingga analisis fitur seperti warna dan ukuran objek. Hal ini menjadikan MATLAB sebagai perangkat yang efektif untuk membangun