BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

2.1.1 *Artificial Intelligence* (AI)

Kecerdasan buatan atau *Artificial Intelligence* (AI) merupakan suatu teknik dalam bidang komputer yang digunakan untuk meniru kemampuan kecerdasan, baik yang dimiliki oleh manusia maupun sistem buatan dalam menyelesaikan suatu permasalahan [4].

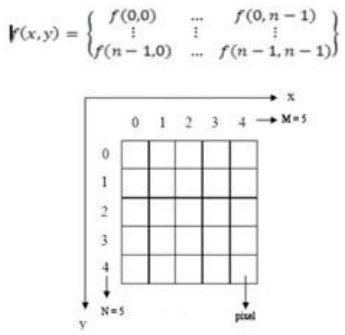
2.1.2 Pengolahan Citra Digital

Pengolahan citra digital merupakan suatu bidang ilmu yang mempelajari teknik untuk mengolah dan mengalisis citra, citra yang dimaksud dapat berupa gambar diam (foto) maupun gambar bergerak (video). Tujuan utama dari pengolahan citra digital adalah memproses dan memanipulasi citra digital untuk berbagai keperluan [5].

2.1.3 Citra Digital

Citra digital merupakan representasi visual objek nyata yang disajikan dalam bentuk digital sehingga dapat diproses oleh komputer, citra ini tersusun atas elemen-elemen kecil yang disebut piksel, yang diatur dalam baris dan kolom, setiap piksel memiliki nilai numerik yang menunjukkan tingkat intensitas cahaya atau warna pada titik tertentu dalam citra [5].

UNIVERSITAS NUSA MANDIRI



Sumber: [6]

Gambar II.1 Koordinat Citra Digital

Suatu citra dapat didefinisikan sebagai fungsi ***f (x, y)*** yang berukuran M baris dan N kolom, dimana ***x*** dan ***y*** merupakan koordinat spasial. Nilai fungsi ***f*** pada koordinat ***(x, y***) menunjukkan intensitas atau tingkat keabuan citra pada titik tersebut. Apabila nilai ***x***, ***y***, serta amplitudo ***f*** bersifat terbatas (finite) dan berbentuk diskrit, maka citra tersebut dapat dikategorikan sebagai citra digital.

2.1.4 Jenis-Jenis Citra Digital

Ada 3 jenis citra digital adalah sebagai berikut:

a) Citra RGB

RGB adalah citra digital yang direpresentasikan menggunakan tiga komponen warna utama, yaitu *Red* (merah), *Green* (hijau), dan *Blue* (biru). Setiap piksel pada citra RGB memiliki tiga nilai intensitas yang menunjukkan tingkat warna merah, hijau, dan biru, yang kemudian dikombinasikan untuk menghasilkan berbagai macam warna.

UNIVERSITAS NUSA MANDIRI



Sumber: [6]

Gambar II.2 Representasi Warna pada RGB

Dalam citra RGB, masing-masing komponen warna biasanya memiliki rentang nilai dari 0 hingga 255. Kombinasi dari ketiga nilai tersebut akan membentuk warna tertentu pada setiap piksel, sehingga citra dapat ditampilkan secara berwarna pada perangkat digital.

b) Citra Grayscale (Black and White)

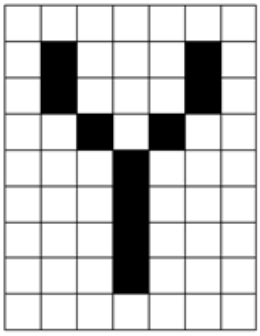
Citra digital *black and white* atau *grayscale* merupakan citra yang setiap pikselnya memiliki tingkat keabuan dengan gradasi warna mulai dari hitam hingga putih. Pada citra grayscale, setiap piksel umumnya direpresentasikan menggunakan 8 bit atau 1 byte data. Tingkat keabuan tersebut digunakan sebagai representasi nilai intensitas warna pada citra.

Rentang nilai intensitas pada citra *grayscale* ditentukan oleh jumlah bit yang digunakan, di mana semakin besar jumlah bit maka semakin tinggi pula resolusi tingkat keabuannya *(gray level resolution)*. Sebagai contoh, penggunaan 1 bit menghasilkan 2 tingkat warna dengan rentang nilai [0–1], 4 bit menghasilkan 16 tingkat warna dengan rentang [0–15], sedangkan 8 bit menghasilkan 256 tingkat keabuan dengan rentang nilai [0–255] [7].

c) Citra Biner

UNIVERSITAS NUSA MANDIRI

Citra biner merupakan salah satu bentuk representasi citra digital yang hanya menggunakan dua jenis warna, yaitu hitam dan putih. Kedua warna tersebut direpresentasikan menggunakan nilai biner, yakni 0 dan 1 [8]. Dalam penerapannya, representasi nilai biner pada citra biner dapat dibedakan menjadi dua model, yaitu model citra cahaya dan model citra tinta atau cat. Pada model citra cahaya, nilai 1 merepresentasikan warna putih yang menunjukkan adanya cahaya, sedangkan nilai 0 merepresentasikan warn□hitam yang menunjukkan tidak adanya cahaya. Sementara itu, pada model citra tinta atau cat, nilai 1 digunakan untuk merepresentasikan warna hitam yang menandakan adanya tinta atau cat, sedangkan nilai 0 merepresentasikan warna putih yang menunjukkan tidak adanya tinta atau cat.



1	1	1	1	1	1	1
1	0	1	1	1	0	1
1	0	1	1	1	0	1
1	1	0	1	0	1	1
1	1	1	0	1	1	1
1	1	1	0	1	1	1
1	1	1	0	1	1	1
1	1	1	0	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1

Sumber: [8]

Gambar II.3 Representasi Citra Biner

2.1.5 Ikan Koi

Ikan koi (*Cyprinus Rubrofuscus*) merupakan salah satu jenis ikan hias air tawar yang memiliki nilai ekonomi tinggi, baik di pasar lokal maupun internasional, budidaya ikan koi khususnya pada tahap pembenihan, menjadi salah satu peluang usaha yang cukup menjanjikan dan banyak diminati [9]. Koi sering dianggap sebagai raja ikan hias yang tidak hanya menarik dari warnanya yang beragam, melainkan

harganya yang menjanjikan jika menjadi bisnis, serta koi banyak dipelihara karena mudah beradaptasi dan bisa dijadikan teman sepanjang hidup [10].

Namun demikian, di balik popularitas teresebut, masih banyak masyarakat awam yang belum memiki pemahaman yang memadai mengenai karakteristik ikan koi, keterbatasatan pegetahuan ini menyebabkan sebagian masyarakat mengalami kesulitan dalam mebedakan jenis-jenis ikan koi secara tepat. Pada ikan koi, proses klasifikasi dapat dilakukan untuk membedakan berbagai jenis berdasarakan karakteristik visualnya. Klasifikasi ini dapat dilakukan dengan menggunakan metode *Gray Level Co-Occurrence Matrix* (GLCM) untuk ekstraksi fitur dan algoritma *K-Nearest Neighbor* (KNN) sebagai metode pengelompokan. Dalam penelitian ini digunakan 15 jenis ikan koi sebagai objek klasifikasi, peneliti akan menampilkan 7 contoh jenis ikan koi yang digunakan dalam penelitian, yaitu sebagai berikut:

a) Asagi

Asagi merupakan salah satu jenis ikan koi yang memiliki ciri khas berupa warna punggung abu-abu kebiruan, serta warna merah pada bagian sirip dan tutup insang [10].



Sumber: [11]

Gambar II.4 Koi Asagi

UNIVERSITAS NUSA MANDIRI

b) Kohaku

Kohaku merupakan salah satu varietas ikan koi yang memiliki ciri khas berupa warna dasar putih dengan pola bercak merah pada tubuhnya. Jenis koi ini termasuk varietas yang paling populer dan banyak diminati karena kombinasi warnanya yang sederhana namun menarik. Corak warna pada Kohaku sering dikaitkan dengan warna bendera nasional Jepang, sehingga menjadikan varietas ini sebagai salah satu ikon ikan koi yang terkenal [10].



Sumber: [11]

Gambar II.5 Koi Kohaku

c) Sanke

Taisho Sanshoku atau biasa disebut Sanke adalah ikan hias koi hidup yang memiliki warna dasar putih dengan bercak merah dan hitam, pola dasarnya merah pada bagian kepalanya dan garis lebar hitam pada bagian dadanya [10].



Sumber: [11]

Gambar II.6 Koi Sanke

UNIVERSITAS NUSA MANDIRI

d) Showa

Showa merupakan salah satu jenis ikan koi hias yang memiliki warna dasar hitam dengan kombinasi pola merah dan putih pada tubuhnya. Varietas ini memiliki beberapa jenis berdasarkan dominasi warnanya. Apabila warna merah lebih menonjol pada bagian tubuh atau punggung, maka disebut Hi Showa. Sementara itu, jika warna putih terlihat lebih dominan dibandingkan warna lainnya, maka varietas tersebut dikenal dengan nama Kindai Showa [10].



Sumber: [11]

Gambar II.7 Koi Showa

e) Utsurimono

Utsurimono adalah ikan hias koi yang memiliki sisik dengan satu warna dasar hitam [10].



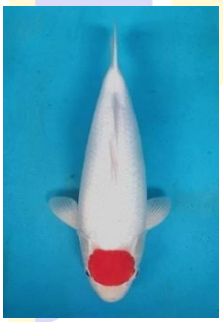
Sumber: [11]

Gambar II.8 Koi Utsurimono

UNIVERSITAS NUSA MANDIRI

f) Tancho

Tancho merupakan salah satu varietas ikan koi yang memiliki ciri khas berupa warna dasar putih dengan pola bulat berwarna merah pada bagian kepala, pola merah tersebut menjadi karakteristik utama dari ikan koi tancho, apabila pola merah melewati area mata atau mulut, maka ikan koi tersebut tidak lagi dikategorikan sebagai tancho [10].



Sumber: [11]

Gambar II.9 Koi Tancho

g) Bekko

Bekko merupakan salah satu varietas ikan koi yang memiliki ciri khas berupa pola bercak hitam pada permukaan tubuhnya, jenis koi bekko dibedakan berdasarkan warna dasar tubuhnya, seperti aka bekko yang memiliki warna dasar merah dengan corak hitam, serta ki bekko yang memiliki warna dasar kuning dengan pola hitam di atasnya, kombinasi warna tersebut menjadi karakteristik utama yang membedakan bekko dari varietas koi lainnya [12].



Sumber: [11]

Gambar II.10 Koi Bekko

UNIVERSITAS NUSA MANDIRI

2.1.6 *Gray Level Co-Occurrence* (GLCM)

Gray Level Co-Occurrence Matrix (GLCM) merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menganalisis hubungan antara piksel pada citra digital berdasarkan tingkat keabuan yang sering muncul, menghitung frekuensi kemunculan pasangan nilai piksel pada jarak dan sudut tertentu sehingga dapat digunakan untuk menganalisis tekstur citra berdasarkan intensitas piksel, GLCM termasuk metode ekstraksi fitur berbasis statistik yang di mana informasi fitur diperoleh dari matriks hubungan antar piksel yang membentuk pola tertentu pada suatu citra [13].

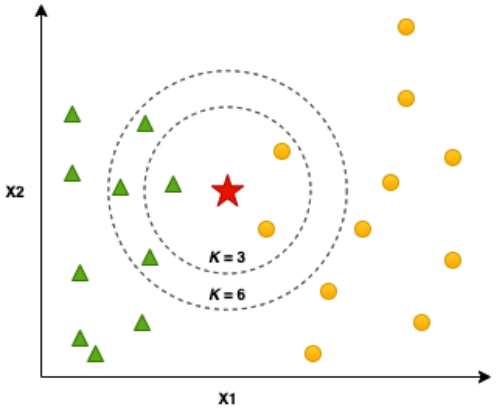
2.1.7 Ekstraksi Fitur

Ekstraksi fitur merupakan proses mengambil karakteristik penting dari citra ikan koi yang dapat digunakan untuk membedakan setiap jenis. Pada penelitian ini, fitur yang digunakan terdiri dari fitur tekstur menggunakan GLCM dan fitur warna menggunakan HSV dan RGB. GLCM menghasilkan enam fitur tekstur, yaitu *contrast, dissimilarity, homogeneity, correlation, energy*, dan ASM, sedangkan fitur warna dihitung berdasarkan nilai mean dan standar deviasi pada kanal HSV dan RGB. Fitur-fitur tersebut kemudian digabungkan menjadi satu data fitur yang digunakan sebagai masukan untuk proses klasifikasi menggunakan KNN.

2.1.8 *K-Nearest Neighbor* (KNN)

Algoritma *K-Nearest Neighbor* (KNN) merupakan salah satu metode klasifikasi objek berdasarkan data latih (*training data*), KNN termasuk ke dalam algoritma *supervised learning* pada pembelajaran mesin yang memiliki konsep sederhana, mudah diterapkan, dan sering digunakan untuk menyesaikan permasalahan klasifikasi data [14]. Contoh ilustrasi algoritma *K-Nearest Neighbor* (KNN) dapat dilihat pada Gambar 2.11.

UNIVERSITAS NUSA MANDIRI



Sumber: [15]

Gambar II. 11 Ilustrasi KNN Pada Nilai K Terdekat

Pada algoritma *K-Nearest Neighbor* (KNN), nilai *k* digunakan untuk menentukan jumlah tetangga terdekat yang dijadikan acuan dalam proses klasifikasi. Misalnya pada nilai *k* = 3, data uji akan diklasifikasikan berdasarkan tiga tetangga terdekat. Jika mayoritas tetangga termasuk kelas positif, maka data akan diklasifikasikan sebagai kelas positif. Sementara itu, pada *k* = 6, klasifikasi ditentukan berdasarkan enam tetangga terdekat sehingga hasil klasifikasi dapat berbeda. Oleh karena itu, pemilihan nilai *k* sangat berpengaruh terhadap tingkat akurasi algoritma KNN [15]. Menurut penelitian yang dilakukan oleh [15] secara umum, alur kerja KNN adalah sebagai berikut:

1. Tentukan jumlah tetangga terdekat *(K)* yang akan dipilih

   Sebelum menggunakan algoritma *K-Nearest Neighbor* (KNN), nilai K perlu ditentukan terlebih dahulu sebagai jumlah tetangga terdekat yang digunakan dalam proses klasifikasi. Pemilihan nilai K tidak memiliki aturan pasti, namun umumnya disesuaikan dengan jumlah kelas yang digunakan. Nilai K yang berbeda dapat menghasilkan klasifikasi yang berbeda, sehingga pemilihan nilai K yang tepat sangat berpengaruh terhadap hasil dan akurasi klasifikasi.

UNIVERSITAS NUSA MANDIRI

2. Hitung jarak antara data uji dengan semua data latih

   Setelah nilai K ditentukan, langkah berikutnya pada algoritma *K-Nearest Neighbor* (KNN) adalah menghitung jarak antara data uji dan seluruh data latih. Perhitungan jarak dapat dilakukan menggunakan beberapa metode, seperti *Euclidean Distance, Manhattan Distance,* atau metode lainnya. Nilai jarak diperoleh dari perbandingan setiap fitur pada kedua data, di mana semakin kecil nilai jarak yang dihasilkan maka semakin tinggi tingkat kemiripan antar data. Proses ini dilakukan terhadap seluruh data latih yang tersedia sebelum menentukan hasil klasifikasi.

3. Urutkan data latih berdasarkan jarak dari yang terdekat ke yang terjauh dengan data uji

   Setelah proses perhitungan jarak dilakukan, data latih kemudian diurutkan berdasarkan nilai jarak dari yang paling dekat hingga paling jauh terhadap data uji. Data dengan jarak terdekat akan berada pada urutan teratas dan digunakan sebagai tetangga terdekat dalam proses klasifikasi. Pengurutan ini bertujuan untuk memastikan bahwa pemilihan KNN benar-benar berdasarkan tingkat kedekatan data terhadap data uji.

4. Pilih K data dengan jarak terdekat dari data uji

   Setelah data latih diurutkan berdasarkan jarak terdekat dengan data uji, selanjutnya pilih K data dengan jarak terkecil. Banyaknya K di sini berdasarkan jumlah K yang telah ditentukan di awal.

5. Hitung frekuensi masing-masing kategori pada K data yang telah dipilih

   Pada tahap ini, setiap kategori pada data tetangga terdekat akan dihitung jumlah kemunculannya. Kategori yang memiliki frekuensi terbanyak kemudian akan digunakan sebagai hasil prediksi atau kelas dari data uji yang diklasifikasikan.

UNIVERSITAS NUSA MANDIRI

2.1.9 *Confusion Matrix*

Confusion Matrix merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengukur kinerja suatu sistem klasifikasi. Pengukuran ini penting dilakukan untuk mengetahui seberapa baik sistem dalam mengelompokkan data secara tepat. *Confusion Matrix* disajikan dalam bentuk tabel yang berisi informasi hasil klasifikasi dari model yang diusulkan, sehingga dapat digunakan untuk mengevaluasi tingkat performa sistem secara menyeluruh [16]. Tabel di bawah ini mengilustrasikan salah satu contoh *Confusion Matrix.*

Tabel II.1 *Confusion Matrix*

	Nilai Sebenarnya	
Nilai Prediksi	***TRUE***	***FALSE***
TRUE	*TP: True Positive*	*FP: False Positive*
FALSE	*FN: False Negative*	*TN: True Negative*

Sumber: [16]

Keterangan:

True Negative (TN) : Jumlah dataset positif yang diklasifikasikan sebagai positif juga.

True Negative (TN) : Jumlah dataset positif yang diklasifikasikan sebagai negatif.

False Positive (FP) : Jumlah dataset negatif yang diklasifikasikan sebagai positif.

False Negative (FN) : Jumlah dataset negatif yang diklasifikasikan sebagai negatif juga.

Proses pengukuran evaluasi di confusion matrix pada sistem klasifikasi dibagi tiga sebagai berikut:

a. *Accurracy*

UNIVERSITAS NUSA MANDIRI

Nilai akurasi digunakan untuk mengetahui seberapa baik performa model dalam mengklasifikasikan data secara keseluruhan. Persamaan untuk menghitung *accuracy* adalah sebagai berikut.

$$Accurracy = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN}$$

b. *Precision*

Presisi merupakan ukuran yang digunakan untuk mengetahui tingkat ketepatan sistem dalam memberikan prediksi positif. Nilai presisi diperoleh dengan membandingkan jumlah data positif yang berhasil diklasifikasikan dengan benar terhadap seluruh data yang diprediksi positif oleh sistem. Persamaan untuk menghitung precision adalah sebagai berikut.

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP}$$

UNIVERSITAS NUSA MANDIRI

c. *Recall*

Recall yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja suatu model klasifikasi. Nilai *recall* menunjukkan kemampuan sistem dalam mengenali dan mengklasifikasikan data positif dengan benar dari seluruh data positif yang tersedia. Persamaan untuk menghitung *recall* adalah sebagai berikut.

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN}$$

Confusion Matrix memberikan gambaran menyeluruh mengenai performa model klasifikasi, baik pada dataset yang seimbang maupun tidak seimbang. Oleh karena itu, metode ini sering digunakan sebagai teknik evaluasi dalam pengujian sistem klasifikasi [16].

2.2 Penelitian Terkait

Penyusunan penelitian ini dilakukan dengan meninjau beberapa penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan topik yang dibahas. Penelitian-penelitian tersebut digunakan sebagai referensi, bahan perbandingan, serta pendukung dalam menentukan arah dan pengembangan penelitian.

Penelitian [3] dengan pengujian 4 jenis ikan koi yang berjumlah total 80 data citra yang dibagi menjadi data pengujian berjumlah 20 data citra per jenis. Jenis ikan koi Ki Utsuri memiliki nilai akurasi tertinggi sebesar 65%, sedangkan ikan koi Taisho Sanke memiliki akurasi yang terendah sebesar 50% menggunakan metode *Content Based Image Retrieval* (CBIR) dan algoritma *Convolutional Neural Network* (CNN).

Penelitian [2] bertujuan mengembangkan perangkat lunak berbasis mobile yang dapat digunakan oleh penjual maupun penghobi ikan koi untuk mengenali jenis ikan koi secara cepat melalui unggahan gambar. Dataset yang digunakan diperoleh dari Kaggle dengan total 1700 citra dan pembagian data training, validasi, serta testing sebesar 8:2:2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model CNN mampu menghasilkan tingkat akurasi tertinggi sebesar 99,12% pada jenis ikan koi Bekko, sedangkan akurasi terendah sebesar 94,11% diperoleh pada jenis ikan koi Ghosiki.

Penelitian [17] diawali dengan pengambilan 4 jenis sampel ikan cupang, kemudian dilakukan proses cropping citra sebelum memasuki tahap ekstraksi fitur. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa metode GLCM dan KNN mampu menghasilkan tingkat akurasi sebesar 80%.

Penelitian [13] meliputi *resize* citra, konversi citra ke grayscale, penerapan median filter, ekstraksi fitur menggunakan GLCM, serta klasifikasi menggunakan KNN. Dataset yang digunakan berasal dari Kaggle dengan judul "*Mushrooms*

Classification" yang terdiri dari 579 citra dan 5 jenis jamur. Pembagian data dilakukan dengan 80% sebagai data training dan 20% sebagai data pengujian. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan sebanyak 10 kali, penelitian tersebut memperoleh tingkat akurasi tertinggi sebesar 77%.

Penelitian [18] menunjukkan bahwa klasifikasi citra menggunakan ekstraksi ciri *Gray Level Co-Occurrence Matrix* (GLCM) dengan empat arah menghasilkan nilai rata-rata akurasi sebesar 55,99% pada fitur *Energy*. Selain itu, penerapan algoritma *K-Nearest Neighbor* (KNN) dinilai mampu memberikan hasil klasifikasi yang cukup baik sesuai dengan tingkat akurasi yang diharapkan pada sistem klasifikasi citra.

Penelitian [19] menggunakan dua jenis citra ikan, yaitu ikan mujair dan ikan tamban, sebagai objek klasifikasi. Berdasarkan hasil pengujian, sistem mampu menghasilkan tingkat akurasi sebesar 100% pada citra ikan mujair dan 61% pada citra ikan tamban. Selain itu, penelitian tersebut memperoleh nilai *precision* sebesar 0,63, *recall* sebesar 0,63, dan *F1-Score* sebesar 0,61.

Penelitian [14] menggunakan *metode K-Nearest Neighbor* (KNN) berhasil mengelompokkan tiga kategori daging, yaitu daging segar, daging inap, dan daging busuk. Evaluasi performa sistem dilakukan menggunakan *Confusion Matrix* dengan hasil nilai *accuracy* sebesar 0,82, *precision* sebesar 0,83, *recall* sebesar 0,82, dan *F-Measure* sebesar 0,82. Hasil tersebut menunjukkan bahwa parameter tekstur citra daging sapi yang diekstraksi menggunakan metode *Gray Level Co-Occurrence Matrix* (GLCM) dapat diklasifikasikan dengan baik menggunakan algoritma KNN.

Penelitian [20] menggunakan algoritma *K-Nearest Neighbor* (KNN) dan metode *Gray Level Co-Occurrence Matrix* (GLCM) serta HSV sebagai ekstraksi fitur

UNIVERSITAS NUSA MANDIRI

citra. Fitur yang digunakan berupa tekstur dari GLCM dan warna dari HSV yang kemudian dijadikan parameter dalam proses klasifikasi menggunakan KNN berdasarkan perhitungan *Euclidean Distance*. Dataset yang digunakan terdiri dari 100 data latih dan 25 data uji. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat akurasi tertinggi diperoleh pada nilai *K* = 3 dengan akurasi sebesar 96%.

Penelitian [21] menggunakan tahapan metodologi yang sistematis untuk memperoleh hasil penelitian yang valid dan reliabel. Proses penelitian meliputi tahap pengumpulan data, pengolahan data, serta pengujian sistem. Pada tahap pengujian, penelitian menggunakan dua versi metode YOLO, yaitu YOLO5 dan YOLO8, untuk membandingkan performa dalam proses deteksi dan klasifikasi data.

Penelitian [22] menghasilkan empat kategori kematangan buah, yaitu mentah, setengah matang, matang, dan busuk. Berdasarkan hasil pengujian, tingkat akurasi tertinggi diperoleh pada nilai K = 1 sebesar 98,75%, sedangkan akurasi terendah diperoleh pada nilai K = 7 dan K = 9 sebesar 92,5%.

2.3 Tinjauan Objek Penelitian

Objek penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah citra ikan koi yang terdiri dari 15 jenis, dengan jumlah keseluruhan 1.500 citra. Dataset diperoleh dari platform Kaggle dan digunakan sebagai data penelitian untuk proses klasifikasi jenis ikan koi. Sumber dataset dapat diakses melalui https://www.kaggle.com/datasets/rayhannnn/koi-image-dataset, lalu digunakan sebagai sumber data penelitian pada tahun 2026. Penelitian ini menerapkan metode *Gray Level Co-Occurrence Matrix* (GLCM) untuk ekstraksi fitur tekstur dan warna dengan algoritma *K-Nearest Neighbor* (KNN) untuk mengklasifikasikan jenis ikan koi dengan akurasi yang lebih baik.

UNIVERSITAS NUSA MANDIRI