

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Terdahulu

Pada bagian ini, akan disajikan tinjauan terhadap penelitian-penelitian terdahulu yang relevan dengan topik penelitian ini. Tinjauan ini mencakup perkembangan teori serta hasil penelitian terbaru yang memberikan landasan yang kuat bagi penelitian yang sedang dilakukan.

**Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu**

| No | Judul                                                                                                | Bahasan                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Pembeda                                                                                                                                           | Hasil Penelitian                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | <i>“Hand-drawn sketch recognition with a double-channel convolutional neural network”</i> , 2021 [6] | Pengenalan sketsa tangan menggunakan jaringan saraf konvolusional dual-channel. Metode ini melibatkan proses preprocessing untuk mendapatkan sketsa yang halus dan kontur sketsa, kemudian menggunakan CNN dua kanal untuk ekstraksi fitur dan klasifikasi. Hasil eksperimen menunjukkan peningkatan tingkat pengenalan sketsa tangan secara efektif. Kerja lanjutan akan difokuskan pada meningkatkan akurasi | Penelitian ini memberikan penekanan yang signifikan pada identifikasi sketsa tangan menggunakan metode <i>Convolutional Neural Network</i> (CNN). | Metode ini secara signifikan meningkatkan tingkat pengenalan dibandingkan dengan metode pengenalan sketsa lainnya, seperti HOG-SVM, <i>SIFT-Fisher</i> , dan <i>AlexNet</i> . Secara khusus, algoritma ini menunjukkan peningkatan akurasi hingga 5,1% dibandingkan dengan <i>AlexNet</i> , serta keunggulan dalam waktu pelatihan dan konsumsi energi |

|    |                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                            |
|----|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                                                                           | pengenalan input tulisan tangan.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                            |
| 2. | "A Review of Neural Network Approac h on Enginee ring Drawin g", 2020 [7] | Membahas tentang Fokus pada pengenalan elemen analisis gambar teknik, jaringan saraf, menggunakan jaringan sedangkan khususnya CNN, saraf. Tinjauan ini penelitian ini menunjukkan hasil fokus pada peran akan yang sangat baik dalam jaringan saraf dalam mengembangk pengenalan elemen meningkatkan deteksi an aplikasi elemen gambar teknik simbol dan pengenalan pembelajaran dibandingkan dengan elemen gambar teknik. AR untuk metode tradisional Hasilnya meningkatkan keterampilan jaringan saraf dapat menggambar. meningkatkan akurasi pengenalan elemen gambar teknik secara efektif. | Penelitian menemukan bahwa penggunaan jaringan saraf, CNN, menunjukkan hasil yang sangat baik dalam pengenalan elemen gambar teknik dibandingkan dengan metode tradisional |
| 3. | "Ar-powered educatio nal applicat ion based upon convolut ional neural    | Membahas tentang pentingnya menggunakan jaringan saraf konvolusional (CNN) dalam aplikasi pendidikan berbasis AR untuk menyediakan proses belajar dengan visualisasi yang impresif. Penelitian ini                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Membahas aplikasi ini mampu meningkatkan keterlibatan siswa dan pemahaman materi pelajaran. Penggunaan AR membuat pembelajaran lebih menarik dan menyenangkan.             |

---

*network* menunjukkan bahwa AR untuk  
*s"*, 2020 CNN dapat meningkatkan  
 [8] meningkatkan akurasi keterampilan  
 lokasi dan menggambar.  
 pengenalan objek  
 dalam sistem AR,  
 sehingga aplikasi ini  
 dapat digunakan untuk  
 analisis data besar dan  
 penelitian *real-time*.  
 Hasil penelitian ini  
 menunjukkan bahwa  
 penggunaan CNN  
 dalam aplikasi AR  
 dapat meningkatkan  
 kualitas belajar dan  
 interaksi siswa secara  
 signifikan.

4. "*Student training program of building drawing and Augmented Reality in SMKN 2*" Membahas tentang Berfokus pada Program pelatihan ini program pelatihan program berhasil meningkatkan siswa yang difokuskan pelatihan pengetahuan dan pada teknik gambar siswa, keterampilan siswa bangunan dan realitas sedangkan dalam bidang gambar tambahan di SMKN 2 penelitian ini teknik dan *Augmented Reality*. *Feedback* dari Program ini bertujuan mengembangk peserta juga untuk meningkatkan an aplikasi menunjukkan respons keterampilan keras pembelajaran positif terhadap siswa dengan AR untuk kegiatan ini, yang SMKN melibatkan pelatihan meningkatkan dianggap bermanfaat 2 teknik gambar untuk pengembangan
-

|    |                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | Pangkal pinang", 2020 [9]                                                               | bangunan untuk keterampilan menggambar. Model Bangunan dan Desain Informasi, serta pelatihan terkait realitas tambahan untuk Departemen Multimedia. Hasilnya adalah produksi karya-karya desain gambar bangunan dan produk realitas tambahan.                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                       | kemampuan mereka di bidang konstruksi dan multimedia                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 5. | "Developing Feedback Literacy Capabilities through an Automated Feedback Tool", 2020[4] | Membahas tentang penggunaan alat umpan balik otomatis berbasis AI untuk meningkatkan kemampuan literasi umpan balik siswa. Penelitian ini akan menunjukkan bahwa alat umpan balik otomatis dapat membantu siswa memahami, menghargai, dan mengambil tindakan atas umpan balik, yang merupakan komponen penting dalam literasi umpan balik. Hasil | Merujuk pada kemampuan pengembangan umpan balik, literasi umpan balik, sedangkan penelitian ini mengembangkan aplikasi pembelajaran AR yang menggunakan CNN dan memanfaatkan umpan balik dari AI untuk membantu siswa | membantu siswa mengakui umpan balik sebagai proses timbal balik, memungkinkan mereka untuk lebih kritis dan reflektif terhadap umpan balik yang diberikan. Dengan menghilangkan nilai penilaian dari interaksi umpan balik, siswa menjadi lebih mampu mengevaluasi umpan balik secara objektif, yang berkontribusi pada pengembangan penilaian evaluatif mereka. |

---

penelitian ini meningkatkan  
menunjukkan bahwa keterampilan  
penggunaan alat menggambar.  
umpan balik otomatis  
dapat meningkatkan  
kemampuan siswa  
dalam  
mengaktualisasikan  
umpan balik dan  
meningkatkan kualitas  
belajar.

---

Berdasarkan temuan-temuan tersebut, penelitian ini menggabungkan keunggulan CNN untuk pengenalan sketsa dan teknologi umpan balik otomatis berbasis AI dalam satu sistem pembelajaran sketsa yang inovatif. Berbeda dengan penelitian sebelumnya, fokus penelitian ini adalah pada pengembangan aplikasi yang tidak hanya mendukung proses pengenalan sketsa secara real-time, tetapi juga memberikan umpan balik otomatis yang dapat meningkatkan keterampilan menggambar siswa. Hal ini bertujuan untuk menciptakan pendekatan pembelajaran yang lebih efektif, personal, dan interaktif, sehingga mendukung tercapainya hasil belajar yang optimal.

## **2.2 Landasan Teori**

### **2.2.1 *Artificial Intelligence Feedback (Umpan Balik AI)***

Umpan Umpan balik AI merupakan salah satu fitur utama dalam sistem pembelajaran berbasis teknologi yang memungkinkan interaksi otomatis antara pengguna dan aplikasi. Dalam konteks aplikasi pembelajaran seni sketsa, AI digunakan untuk menganalisis goresan pensil pengguna dan memberikan umpan balik real-time. Sistem ini dapat mendeteksi ketidaksesuaian antara pola sketsa yang telah ditentukan dengan gambar yang dibuat oleh pengguna, seperti kesalahan pada garis, proporsi, atau bentuk. Dengan demikian, AI membantu pengguna dalam



memperbaiki teknik menggambar mereka tanpa memerlukan instruktur langsung.[4], [10]

Untuk memberikan umpan balik yang tepat dan akurat, AI memanfaatkan berbagai metrik untuk mengevaluasi hasil gambar pengguna. Salah satu metrik utama adalah *Mean Squared Error* (MSE), yang mengukur perbedaan antara gambar yang dihasilkan oleh pengguna dengan pola yang telah ditentukan dalam aplikasi. Selain itu, *accuracy* digunakan untuk menilai sejauh mana hasil prediksi oleh *model* sesuai dengan pola yang diinginkan. Metrik-metrik ini berperan penting dalam memberikan umpan balik yang berguna dan relevan untuk membantu pengguna memperbaiki kesalahan dan meningkatkan keterampilan menggambar mereka.[4] [11]

Berikut adalah rumus *Mean Squared Error* (MSE) digunakan untuk mengukur kesalahan antara output yang diprediksi dan nilai sebenarnya

$$MSE = \frac{1}{n \cdot 3} \sum_{i=1}^n [(R_i - R'_i)^2 + (G_i - G'_i)^2 + (B_i - B'_i)^2] \div 225 \quad (2.1)$$

Keterangan

- a. *MSE*: *Mean Squared Error*, nilai rata-rata kuadrat dari kesalahan prediksi.
- b. *n*: Jumlah piksel (lebar × tinggi gambar)
- c. *R<sub>i</sub>, G<sub>i</sub>, B<sub>i</sub>* : Nilai sebenarnya pada data ke-*i*.
- d. *R'<sub>i</sub>, G'<sub>i</sub>, B'<sub>i</sub>*: Nilai prediksi pada data ke-*i*.
- e. 3: Faktor karena terdapat tiga kanal warna (RGB)
- f. 225: Normalisasi ke rentang 0–1 (karena RGB bernilai 0–255)

Penerapan AI dalam aplikasi pembelajaran seni sketsa menawarkan banyak keuntungan. Salah satunya adalah kemampuan untuk memberikan umpan balik secara otomatis tanpa perlu keterlibatan instruktur, sehingga mempercepat proses pembelajaran. AI akan secara menunjukkan kesalahan-kesalahan dalam gambar pengguna, baik dalam hal proporsi, garis, atau elemen sketsa lainnya, dan memberikan saran perbaikan yang memungkinkan pengguna untuk memperbaiki gambar mereka secara *real-time*. [12]

Selain itu, dengan menggunakan teknik pembelajaran mesin seperti *Convolutional Neural Network* (CNN), sistem AI dapat meningkatkan

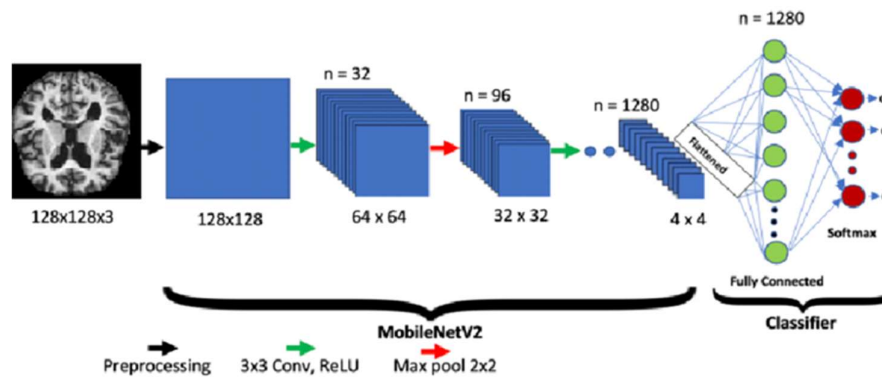
kemampuannya dalam mendeteksi dan memahami pola dalam gambar. CNN berperan untuk memfasilitasi proses pengenalan pola dan kesalahan pada gambar yang dibuat oleh pengguna, yang selanjutnya digunakan untuk memberikan umpan balik yang lebih akurat.

Secara keseluruhan, penerapan umpan balik AI pada aplikasi pembelajaran seni sketsa ini meningkatkan kualitas pengajaran, memungkinkan pengguna untuk lebih cepat mengidentifikasi dan memperbaiki kesalahan mereka, serta mempercepat kemajuan mereka dalam menggambar sketsa.

### **2.2.2 Convolutional Neural Network (CNN)**

Convolutional Neural Network (CNN) adalah jenis jaringan saraf tiruan yang dirancang untuk mengolah data visual seperti gambar. CNN mampu mengenali pola-pola visual seperti garis, bentuk, dan tekstur secara otomatis, menjadikannya sangat efektif digunakan dalam berbagai tugas pengolahan citra, termasuk klasifikasi gambar, deteksi objek, hingga segmentasi area tertentu pada gambar.[34]

Dalam penelitian ini, digunakan arsitektur CNN yang disebut *MobileNetV2*. *MobileNetV2* merupakan salah satu *model* deep learning yang dirancang khusus untuk perangkat mobile. Keunggulan dari *MobileNetV2* terletak pada efisiensinya yang tinggi. *Model* ini memiliki jumlah parameter yang jauh lebih sedikit dibandingkan CNN konvensional, namun tetap mampu memberikan akurasi yang baik dalam pengenalan gambar. Hal ini menjadikannya sangat cocok untuk aplikasi real-time berbasis Android seperti aplikasi pembelajaran seni sketsa. [13]



Gambar 2.1 Cara kerja CNN *MobileNetV2*

*MobileNetV2* merupakan pengembangan dari MobileNet yang memperkenalkan dua komponen utama yakni Inverted Residual Blocks dan Linear Bottlenecks. Secara umum, proses kerja *MobileNetV2* diawali dengan memasukkan citra sketsa berukuran tetap sebagai input dengan tiga kanal warna (RGB). Input ini kemudian melewati serangkaian lapisan konvolusional yang berfungsi mengekstraksi fitur spasial, seperti kontur, orientasi garis, dan struktur lokal lainnya. *MobileNetV2* tidak menggunakan konvolusi standar secara langsung, melainkan mengadopsi pendekatan efisien bernama depthwise separable convolution, yang memisahkan proses konvolusi menjadi dua tahap: depthwise convolution dan pointwise convolution ( $1 \times 1$  convolution).

Pada tahap depthwise convolution, setiap kanal input dikonvolusikan secara terpisah menggunakan satu filter, sehingga proses ini fokus pada spasialitas intra-channel. Kemudian, hasilnya digabung dan diproses oleh pointwise convolution yang bertugas menggabungkan informasi antar kanal (inter-channel) melalui operasi konvolusi  $1 \times 1$ . Pendekatan ini secara drastis mengurangi jumlah parameter dan kompleksitas komputasi tanpa menurunkan performa *model* secara signifikan, menjadikannya sangat sesuai untuk deployment di perangkat mobile dengan sumber daya terbatas.

Setelah tahap ekstraksi fitur selesai, tensor hasil ekstraksi biasanya berdimensi tinggi diringkas melalui proses global average *pooling*, yang meratakan setiap *channel* fitur menjadi satu nilai. Hal ini tidak hanya mereduksi dimensi data, tetapi juga membantu mencegah *overfitting*. Selanjutnya, tensor hasil



pooling diteruskan ke lapisan fully connected (Dense layer) sebagai representasi vektor yang siap untuk proses klasifikasi.

Di bagian output, digunakan fungsi aktivasi softmax yang mengubah vektor logit (output mentah dari Dense layer) menjadi distribusi probabilitas yang ternormalisasi. Softmax memastikan bahwa total skor prediksi pada semua kelas bernilai 1, sehingga memungkinkan pemilihan kelas dengan probabilitas tertinggi sebagai hasil prediksi *model*. Secara sistematis fungsi Softmax dirumuskan sebagai berikut:

$$\sigma(z_i) = \frac{e^{z_i}}{\sum_{j=1}^K e^{z_j}} \quad (2.2)$$

Keterangan:

- a.  $\sigma(z_i)$  : probabilitas prediksi untuk kelas ke-  $i$
- b.  $z_i$  : logit untuk neuron ke-  $i$
- c.  $K$  : jumlah total kelas yang diprediksi *model*.

Nilai probabilitas tertinggi yang dihasilkan oleh fungsi softmax akan dianggap sebagai label prediksi akhir, dan dalam konteks sistem ini, nilai tersebut ditampilkan sebagai confidence score untuk menunjukkan tingkat keyakinan *model* terhadap prediksi yang diberikan.

Dalam konteks aplikasi pembelajaran sketsa, *MobileNetV2* berperan penting dalam menganalisis hasil gambar yang dibuat oleh pengguna. *Model* ini dapat mengenali apakah gambar sketsa sudah sesuai dengan pola yang ditentukan, misalnya apakah proporsinya sudah benar atau apakah garis-garisnya sudah sejajar dan tepat. Jika ditemukan kesalahan, sistem akan memberikan umpan balik otomatis untuk membantu pengguna memperbaiki gambar mereka. Dengan pendekatan ini, pengguna tidak hanya belajar menggambar, tetapi juga mendapatkan arahan yang akurat dan langsung dari sistem berbasis kecerdasan buatan.

Integrasi *MobileNetV2* dalam sistem pembelajaran berbasis AI dan *Augmented Reality* juga memberikan pengalaman belajar yang lebih menarik dan interaktif. Panduan visual yang ditampilkan secara real-time membuat pengguna dapat memahami pola sketsa dengan lebih mudah, sekaligus memperbaiki

kesalahan mereka secara langsung. Hal ini diharapkan mampu meningkatkan efektivitas proses belajar dan membantu pengguna mengembangkan keterampilan menggambar secara lebih cepat dan menyenangkan.

### **2.2.3 *Augmented Reality (AR)***

*Augmented Reality (AR)* adalah teknologi yang memungkinkan integrasi elemen digital dengan dunia nyata melalui perangkat seperti *smartphone* atau gawai. Teknologi AR memanfaatkan kamera untuk mengenali lingkungan sekitar dan menambahkan elemen virtual seperti objek 2D, 3D, animasi atau teks yang seolah-olah hadir di dunia fisik. Manfaat utama AR adalah kemampuannya untuk meningkatkan pengalaman pengguna dengan menyediakan visualisasi yang intuitif dan interaktif.[14], [15]

Salah satu media pembelajaran yang dapat digunakan untuk membuat siswa aktif melalui pengalaman langsung dan menarik minat belajar mereka adalah *Augmented Reality (AR)*. AR merupakan teknologi yang memungkinkan penggabungan antara dunia nyata dan virtual dengan menampilkan objek tiga dimensi (3D) di dunia nyata melalui media kamera. Hal ini menciptakan ilusi bahwa objek 3D tersebut hadir di lingkungan fisik, sehingga AR juga dapat menampilkan ilustrasi yang sulit diwujudkan secara konkret. [14], [15]

Komponen utama dalam AR adalah objek 3D yang muncul ketika marker dipindai oleh aplikasi. Interaksi dengan objek 3D yang dianimasikan ini dapat meningkatkan ketertarikan siswa dalam belajar. Kelebihan AR meliputi efektivitas penggunaannya, aplikasi dalam berbagai bentuk media, kemudahan pengoperasian, biaya pembuatan yang relatif rendah, serta interaktivitas yang lebih tinggi dibandingkan media Pembelajaran lainnya. [16]

Teknologi *Augmented Reality (AR)* memungkinkan aplikasi pembelajaran sketsa untuk menciptakan pengalaman belajar yang interaktif dan imersif, di mana siswa dapat berinteraksi langsung dengan objek virtual yang ditampilkan di lingkungan nyata. Integrasi AR dalam aplikasi pembelajaran sketsa tidak hanya memperkaya pengalaman visual tetapi juga memudahkan pengguna dalam memahami konsep menggambar yang kompleks. Dengan panduan visual yang

jelas, pengguna dapat mengikuti pola sketsa dengan lebih mudah, sehingga meningkatkan keterampilan menggambar mereka.[16]

#### **2.2.4 Sketsa**

Sketsa adalah bentuk seni gambar yang menggunakan garis-garis sederhana untuk menggambarkan objek atau ide secara cepat dan tanpa detail berlebihan. Pada dasarnya, sketsa berfungsi sebagai kerangka kasar atau panduan awal dalam karya seni visual, membantu seniman mengungkapkan komposisi, proporsi, dan bentuk dasar suatu objek sebelum masuk ke tahap lebih detail.[17], [18]

##### **a. Proporsi**

Proporsi adalah teknik untuk memastikan ukuran bagian objek yang digambar saling sesuai. Dalam sketsa, proporsi membantu menciptakan keseimbangan dan realisme. Aplikasi ini akan membantu pengguna memahami proporsi dengan menyediakan panduan atau pola yang dapat diikuti, memungkinkan latihan mengukur dan menyeimbangkan elemen gambar.[18]

##### **b. Perspektif**

Perspektif memberikan efek kedalaman pada gambar dua dimensi, dengan objek dekat terlihat lebih besar dan yang jauh lebih kecil. Aplikasi ini akan mengajarkan perspektif melalui pola atau garis bantu untuk membantu pengguna menciptakan sketsa yang lebih hidup dan realistis.[18], [19]

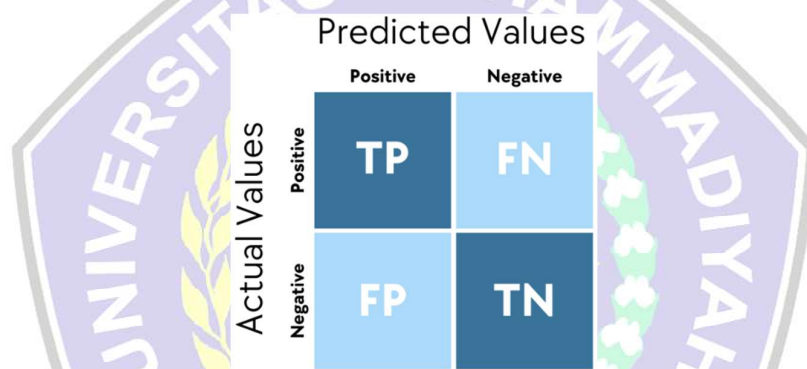
##### **c. Garis**

Garis adalah elemen dasar dalam sketsa yang digunakan untuk membentuk dan mendefinisikan objek. Aplikasi akan mendeteksi ketepatan garis dan memberikan umpan balik otomatis jika garis pengguna tidak sesuai dengan pola, membantu meningkatkan kontrol garis dalam sketsa.[18], [19]

### 2.2.5 Python

*Python* adalah bahasa pemrograman yang menggunakan interpreter untuk menjalankan kodenya. Interpreter ini mampu menerjemahkan kode secara langsung, memungkinkan *Python* untuk dijalankan di berbagai platform seperti *Windows*, *Linux*, dan lainnya. *Python* mengadopsi berbagai paradigma pemrograman dari beberapa bahasa lain, termasuk pemrograman prosedural seperti *C*, pemrograman berorientasi objek seperti *Java*, dan pemrograman fungsional seperti *Lisp*. Kombinasi dari berbagai paradigma ini memudahkan para programmer dalam mengembangkan berbagai proyek menggunakan *Python*. [20]

### 2.2.6 Confusion Matrix



|               |          | Predicted Values |          |
|---------------|----------|------------------|----------|
|               |          | Positive         | Negative |
| Actual Values | Positive | TP               | FN       |
|               | Negative | FP               | TN       |

Gambar 2. 2 *Confusion Matrix*

Empat komponen utama dalam confusion matrix meliputi, True Positive (TP) Prediksi benar untuk kelas yang sesuai. False Positive (FP) Prediksi salah ketika *model* mengklasifikasikan data ke kelas yang salah. False Negative (FN): *Model* gagal mengenali data dari kelas yang seharusnya. True Negative (TN): Prediksi benar bahwa data bukan berasal dari kelas tertentu. Komponen ini menjadi dasar dalam mengevaluasi performa *model* serta memahami jenis kesalahan yang sering terjadi.

Dalam konteks pengembangan aplikasi IMAJI, label dikategorikan berdasarkan jenis objek (anjing, kucing, ikan) dan tahap menggambar (step 1 hingga step 4). Oleh karena itu, confusion matrix yang dihasilkan memuat 12 kelas. Melalui analisis confusion matrix, dapat diketahui kelas-kelas mana yang sering

tertukar. Misalnya, sistem terkadang salah memprediksi gambar “kucing step 2” sebagai “anjing step 2”, yang dapat disebabkan oleh kemiripan bentuk visual antar objek atau kekurangan data pada kelas tertentu

### 2.2.7 *TensorFlow Lite*

*TensorFlow Lite* adalah *framework* pembelajaran mesin yang dirancang untuk membawa kemampuan kecerdasan buatan (AI) ke dalam perangkat dengan proses pemrograman yang terbatas, seperti *Smartphone* atau perangkat digital lainnya. *Framework* ini menawarkan keunggulan dalam hal efisiensi, dengan ukuran *model* yang ringan dan optimalisasi untuk prosesor *ARM*, *GPU*, maupun *Neural Processing Unit* (NPU). Salah satu manfaat utama *TensorFlow Lite* adalah kemampuannya untuk menjalankan inferensi *model* pembelajaran mesin secara lokal tanpa memerlukan koneksi internet, sehingga mengurangi latensi dan meningkatkan privasi data pengguna. [20]

Dalam konteks pengembangan sistem berbasis AI, *framework* ini sangat berguna untuk mendukung pengenalan pola melalui *model Convolutional Neural Network* (CNN) secara real-time pada perangkat seluler. Kemampuannya memungkinkan pemrosesan data gambar langsung dari kamera perangkat untuk memberikan hasil analisis yang cepat dan akurat, menjadikannya pilihan ideal untuk aplikasi yang memadukan teknologi pembelajaran mesin dan interaksi pengguna secara langsung.[20]

### 2.2.8 *Kotlin*

*Kotlin* merupakan bahasa pemrograman modern yang andal dan kini menjadi standar utama dalam pengembangan aplikasi Android. Kotlin dikenal dengan sintaksisnya yang ringkas, aman terhadap *null* (*null safety*), serta mendukung paradigma berorientasi objek dan fungsional. Dibandingkan dengan Java, Kotlin menawarkan efisiensi penulisan kode yang lebih tinggi dan integrasi yang lebih baik dengan berbagai pustaka modern. Salah satu keunggulan Kotlin adalah kemampuannya untuk bekerja mulus dengan *framework* dan API Android, termasuk untuk penerapan fitur berbasis *Augmented Reality* (AR) dan *Artificial*



*Intelligence* (AI). Dalam pengembangan aplikasi Android, Kotlin digunakan untuk mengelola logika inti aplikasi, komunikasi antar-komponen, serta integrasi *model* AI dan fitur antarmuka interaktif berbasis AR. Dengan dukungan komunitas yang kuat dan kompatibilitas penuh dengan ekosistem Android Studio, Kotlin memberikan fondasi yang efisien, stabil, dan modern bagi pengembangan aplikasi seperti IMAJI.[21]

### 2.2.9 *AR Sceneform*

AR Sceneform adalah pustaka (SDK) yang dikembangkan oleh Google untuk mempermudah pembuatan aplikasi *Augmented Reality* (AR) berbasis ARCore pada perangkat Android. Sceneform menyediakan antarmuka yang lebih ramah bagi pengembang dengan memungkinkan visualisasi objek 3D langsung dalam lingkungan Android Studio menggunakan bahasa pemrograman Java atau Kotlin, tanpa memerlukan penguasaan mendalam terhadap OpenGL.

Sceneform menyederhanakan proses pengembangan AR dengan menyediakan fitur-fitur seperti rendering objek 3D, penempatan objek virtual secara real-time, serta interaksi dengan permukaan fisik di dunia nyata melalui kamera perangkat. Dalam implementasinya, Sceneform bekerja di atas ARCore dengan memanfaatkan kemampuan pelacakan gerakan, deteksi permukaan (plane detection), dan estimasi pencahayaan untuk menjaga stabilitas dan akurasi elemen virtual yang ditampilkan.

Dalam konteks pengembangan aplikasi IMAJI, AR *Sceneform* digunakan untuk menampilkan panduan visual berupa overlay gambar atau pola sketsa di atas media gambar fisik (seperti kertas). Dengan bantuan teknologi ini, pengguna dapat melihat dan mengikuti langkah-langkah menggambar secara langsung melalui kamera perangkat, sehingga memberikan pengalaman belajar yang interaktif, presisi tinggi, dan imersif. Penggunaan *Sceneform* juga memungkinkan pengaturan posisi, rotasi, dan skala objek secara dinamis agar sesuai dengan media gambar di dunia nyata.[22]

#### 2.2.10 *Visual Studio Code*

*Visual Studio Code* adalah editor teks yang kaya fitur, dirancang untuk mendukung berbagai bahasa pemrograman dan alat pengembangan. *Editor* ini menyediakan dukungan lintas platform, ekstensi yang dapat disesuaikan, debugging terintegrasi, dan kemampuan untuk mengelola kode dengan efisien. Manfaat utama *Visual Studio Code* adalah fleksibilitas dan kemampuannya untuk meningkatkan produktivitas pengembang melalui fitur seperti *intelliSense*, integrasi *Git*, dan terminal bawaan. Dalam proses pengembangan, alat ini menjadi platform yang kokoh untuk menulis, menguji, dan memelihara kode, serta mendukung pengelolaan proyek yang terorganisasi dengan baik.[23], [24]

#### 2.2.11 *Android Studio*

*Android Studio* adalah *Integrated Development Environment* (IDE) resmi untuk mengembangkan aplikasi *Android*. Dilengkapi dengan fitur seperti editor kode yang canggih, emulator bawaan, dan alat analisis performa, *Android Studio* memungkinkan pengembang untuk merancang, membangun, dan menguji aplikasi dengan efisien. Manfaatnya meliputi kemudahan dalam membangun antarmuka pengguna, kompatibilitas dengan berbagai versi *Android*, dan kemampuannya untuk mendukung pengintegrasian pustaka eksternal. Sebagai alat utama untuk membangun aplikasi berbasis *Android*, IDE ini memberikan lingkungan kerja yang lengkap untuk pengembangan fitur-fitur kompleks.[25]

#### 2.2.12 *Database*

*Database* adalah sistem yang digunakan untuk menyimpan, mengelola, dan mengakses data secara terstruktur. Dengan menggunakan database, data dapat disimpan dengan efisien dan diakses secara *real-time* sesuai kebutuhan. Manfaat utama *database* adalah organisasi data yang rapi, kemampuan untuk memproses kueri dengan cepat, dan skalabilitas yang memungkinkan pengelolaan data dalam jumlah besar. Dalam konteks aplikasi berbasis teknologi, *database* menjadi tulang punggung untuk menyimpan informasi pengguna, data aktivitas, dan berbagai aset digital lainnya dengan aman dan terstruktur.[25]

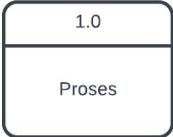
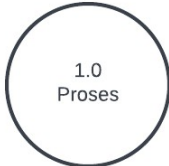
### 2.2.13 Datasets

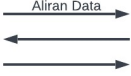
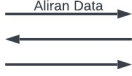
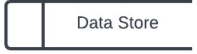
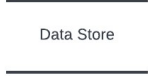
*Datasets* merujuk pada kumpulan data yang digunakan untuk melatih, menguji, atau mengevaluasi *model* dalam sistem berbasis pembelajaran mesin. *Dataset* dapat terdiri dari data numerik, gambar, teks, atau bentuk lainnya, tergantung pada kebutuhan aplikasi. Manfaat *Dataset* adalah kemampuannya untuk menyediakan data yang diperlukan untuk meningkatkan akurasi dan keandalan *model* yang dikembangkan. Dalam penerapan teknologi AI atau pembelajaran mesin, *Dataset* yang relevan memainkan peran krusial untuk membangun *model* yang sesuai dengan tujuan sistem. [13]

### 2.2.14 Data Flow Diagram (DFD)

*Data Flow Diagram* (DFD) adalah representasi grafik dari sebuah sistem. DFD menggambarkan komponen-komponen sebuah sistem, aliran-aliran data diantara komponen-komponen tersebut, asal, tujuan dan penyimpanan dari data tersebut. Gambar dibawah ini menunjukkan simbol yang digunakan dalam DFD baik dalam versi *E.Yourdan* dan *De Marco* maupun versi *Chris Gane* dan *Trish Sarson*. [26]

**Tabel 2. 2 Atribut DFD**

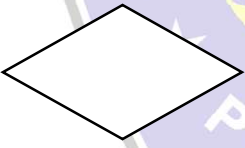
| Gane/Sarson                                                                         | Yourdon/De Marco                                                                    | Keterangan                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  | Entitas eksternal dapat berupa orang/unit terkait yang berinteraksi dengan sistem tetapi diluar sistem |
|  |  | Orang/ unit yang mempergunakan atau melakukan transformasi data. Komponen fisik tidak diidentifikasi.  |

|                                                                                   |                                                                                   |                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
|  |  | Aliran data dengan arah khusus dari sumber ke tujuan.  |
|  |  | Penyimpanan data atau tempat data dilihat oleh proses. |

### 2.2.15 Entity Relationship Diagram (ERD)

*Entity Relationship Diagram* (ERD) adalah diagram berbentuk notasi grafis yang berada dalam pembuatan database yang menghubungkan antara data satu dengan yang lain. Fungsi ERD adalah sebagai alat bantu dalam pembuatan database dan memberikan gambaran bagaimana kerja database yang akan dibuat. Di dalam ERD terdapat 4 elemen dasar, yaitu entitas, atribut, relasi, dan garis.[27], [28]

**Tabel 2. 3 Atribut ERD**

| Simbol                                                                              | Keterangan                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Entitas, yaitu kumpulan dari objek yang dapat diidentifikasi secara unik                                                                    |
|  | Relasi, yaitu hubungan yang terjadi antara salah satu lebih entitas. Jenis hubungan antara lain, one to one, one to many, dan many to many. |
|  | Atribut, yaitu karakteristik dari entitas atau relasi yang merupakan penjelasan detail tentang entitas.                                     |
|  | <i>Connector</i> , Hubungan antara entitas dengan atributnya dan himpunan entitas dengan himpunan relasinya.                                |

a. Entitas

Entitas merupakan objek yang akan menjadi perhatian dalam suatu database. Entitas dapat berupa manusia, tempat, benda, atau kondisi mengenai data yang dibutuhkan. Simbol dari entitas berbentuk persegi panjang.

b. Relasi

Relasi di dalam ERD merupakan hubungan antara dua atau lebih entitas. Simbol dari relasi berbentuk belah ketupat. Relasi yang dapat dimiliki oleh ERD ada beberapa macam, yaitu:

1. *One to One*, Satu anggota entitas dapat berelasi dengan satu anggota entitas lain.
2. *One to Many*, Satu anggota entitas dapat berelasi dengan beberapa anggota entitas lain.
3. *Many to Many*, Beberapa anggota entitas dapat berelasi dengan beberapa anggota entitas lain.

c. Atribut

Atribut merupakan informasi yang terdapat dalam entitas. Sebuah entitas harus memiliki *Primary Key* sebagai ciri khas entitas dan atribut deskriptif. Atribut biasanya terletak dalam tabel entitas atau dapat juga terpisah dari tabel. Simbol dari atribut berbentuk elips.

d. *Connector*

Hubungan antara entitas direpresentasikan dengan garis yang menghubungkan entitas tersebut.

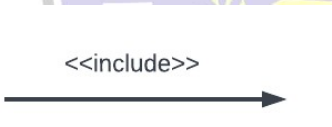
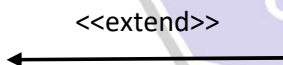
### 2.2.16 Use Case Diagram

*Use case* merupakan deskripsi fungsi dari sebuah sistem dari perspektif atau sudut pandang para pengguna sistem. *Use case* mendefinisikan apa yang akan diproses oleh sistem dan komponen – komponennya. *Use case* bekerja dengan menggunakan scenario yang merupakan deskripsi dari urutan atau langkah –



langkah yang menjelaskan apa yang dilakukan oleh *User* terhadap sistem maupun sebaliknya. Berikut simbol atau atribut untuk *Use Case*:

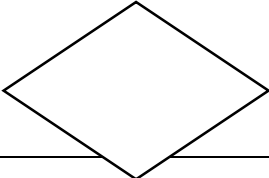
**Tabel 2. 4 Atribut *Use Case Diagram***

| Simbol                                                                              | Keterangan                                                                                                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | Aktor, Mewakili Peran Orang, sistem yang lain, atau alat ketika berkomunikasi dengan <i>Use Case</i> .                                  |
|    | <i>Use Case</i> , Abstraksi dan interaksi antara aktor dengan use case.                                                                 |
|    | <i>Association</i> , Abstraksi dari penghubung antara aktor dengan <i>use case</i> .                                                    |
|    | Generalisasi, spesialisasi aktor untuk dapat berpartisipasi dengan <i>use case</i> .                                                    |
|  | Menunjukkan bahwa suatu <i>use case</i> seluruhnya merupakan fungsionalitas dari <i>use case</i> lainnya.                               |
|  | Menunjukkan bahwa suatu <i>use case</i> seluruhnya merupakan fungsionalitas dari <i>use case</i> lainnya, jika suatu kondisi terpenuhi. |

### 2.2.17 Flowchart

*Flowchart* adalah penggambaran secara grafik dari langkah-langkah dan urutan prosedur dari suatu program. *Flowchart* dapat dengan jelas menunjukkan Algoritma menjelaskan cara melakukan serangkaian operasi secara logis dan sistematis. [29] Berikut Atribut atau symbol-simbol Untuk Flowchart:

**Tabel 2. 5 Atribut *Flowchart***

| Simbol                                                                              | Keterangan                                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | Permulaan/ Akhir program.                                                                     |
|    | Arah aliran Program.                                                                          |
|   | Instalasi Pemberian nilai awal.                                                               |
|  | Proses Penghitungan/ pengolahan data.                                                         |
|  | Input/ output data, parameter, informasi.                                                     |
|  | Permulaan sebuah program/ proses menjalankan sub program.                                     |
|  | Perbandingan pernyataan, penyeleksian data yang memberikan pilihan untuk langkah selanjutnya. |



Penghubung bagian-bagian *flowchart* yang berada di satu halaman.



Penghubung bagian-bagian *flowchart* yang berada pada halaman yang berbeda.

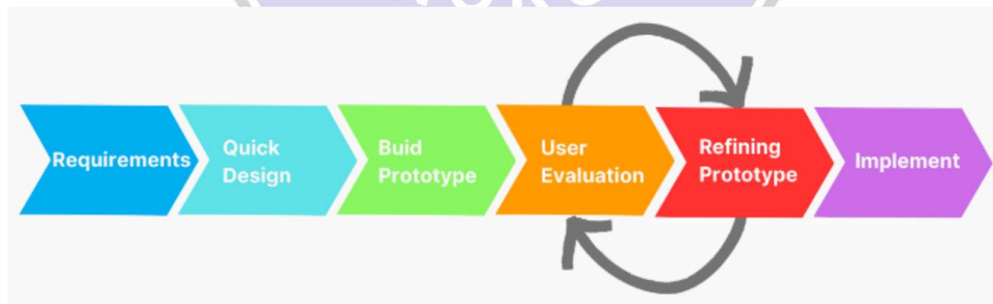
---

### 2.2.18 Perancangan Sistem

Perancangan sistem dimulai dengan proses analisis kebutuhan, yang bertujuan untuk mengidentifikasi kebutuhan fungsional dan nonfungsional sistem. Proses ini menghasilkan dokumen spesifikasi kebutuhan yang menjadi acuan dalam perancangan. Selanjutnya, *model* sistem dirancang menggunakan alat bantu seperti *Data Flow Diagram* (DFD) untuk memvisualisasikan alur data.[30]

DFD membantu memahami bagaimana data mengalir melalui sistem, misalnya dari pengguna, ke server, hingga ke hasil keluaran. Selain itu, *Entity Relationship Diagram* (ERD) digunakan untuk mendefinisikan hubungan antar entitas dalam *database*. Dalam perancangan UI/UX, alat seperti *Figma* dimanfaatkan untuk membuat wireframe dan *prototype* desain. Desain UI/UX harus memperhatikan hirarki visual, aksesibilitas, dan navigasi yang intuitif.[30], [31]

### 2.2.19 Pengembangan Sistem



Gambar 2.3 Alur Metode *Prototype*

Seperti pada gambar 2.2 pengembangan sistem dalam penelitian ini menggunakan metode *prototype* yang dilakukan secara iteratif untuk memastikan

aplikasi memenuhi kebutuhan pengguna secara optimal. Proses dimulai dengan identifikasi masalah, di mana kendala dalam pembelajaran ilustrasi sketsa, seperti kebutuhan akan pola gambar berbasis AR, umpan balik otomatis menggunakan *Artificial Intelligence* (AI) dengan algoritma *Convolutional Neural Network* (CNN), serta antarmuka pengguna yang sederhana, dianalisis secara mendalam.[4], [32]

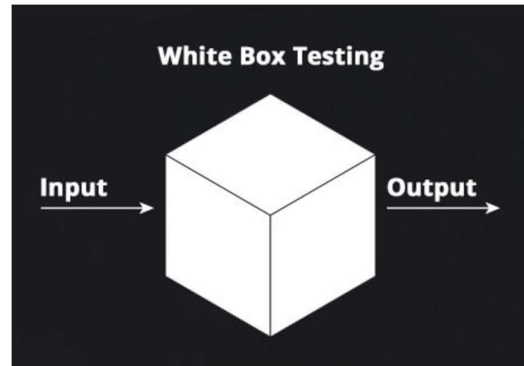
Setelah itu, dilakukan analisis kebutuhan untuk merumuskan spesifikasi sistem yang akan dikembangkan. Langkah ini mencakup identifikasi fitur utama dan pengumpulan *Dataset* gambar sketsa sebagai data pelatihan *model* CNN. Hasil analisis menjadi dasar untuk merancang *prototype* sistem, yang meliputi desain antarmuka pengguna (UI), struktur sistem, dan pembuatan wireframe untuk memvisualisasikan alur kerja aplikasi.[33]

*Prototype* awal kemudian dievaluasi melalui evaluasi *prototype*, melibatkan komunitas pengguna untuk mendapatkan umpan balik. Berdasarkan hasil evaluasi, *prototype* diperbaiki hingga mencapai desain yang sesuai dengan kebutuhan pengguna. Setelah disetujui, sistem mulai dikembangkan melalui pengkodean sistem menggunakan *framework TensorFlow*, Integrasi *ARCore* untuk mendukung fitur AR, dan *Firebase Firestore* sebagai *database*. [32]

Tahap berikutnya adalah evaluasi sistem, di mana kinerja *model* CNN dalam mengenali pola gambar diuji, termasuk keakuratan prediksi dan stabilitas aplikasi. Sistem juga menjalani pengujian untuk memastikan seluruh fungsionalitas berjalan dengan baik pada data uji. Jika sistem telah teruji, dilakukan penggunaan sistem, yaitu implementasi aplikasi secara penuh di lingkungan nyata untuk mendukung pembelajaran ilustrasi sketsa.[34]

Melalui pendekatan metode *prototype* ini, setiap tahapan dilakukan secara bertahap dan iteratif untuk menghasilkan aplikasi yang adaptif, terarah, dan sesuai kebutuhan pengguna, seperti yang digambarkan dalam diagram alur metode *prototype*.

### 2.2.20 Pengujian Sistem



Gambar 2. 4 Pengujian *WhiteBox*

Pengujian sistem dilakukan menggunakan metode *White Box Testing*, yang berfokus pada analisis struktur internal dan alur logika sistem untuk memastikan setiap bagian kode berfungsi sebagaimana mestinya. Metode ini dipilih untuk menguji bagaimana aplikasi dalam penelitian menangani pemrosesan data secara internal, terutama dalam algoritma *Convolutional Neural Network* (CNN), *rendering* AR, serta integrasi dengan database *PostgreSQL*. [25]

Secara umum, pengujian sistem dalam aplikasi ini melibatkan beberapa aspek teknis, yaitu:

- a. Analisis Struktur Kode, Dilakukan pemeriksaan terhadap modul pemrosesan gambar, algoritma CNN, serta fungsi ARCore yang menangani deteksi posisi kertas dan rendering objek secara real-time.
- b. Pembuatan Kasus Uji, Pengujian mencakup skenario seperti uji validasi input sketsa, respons CNN terhadap berbagai jenis gambar, serta akurasi penempatan objek AR di atas kertas.
- c. Pelaksanaan Pengujian, Setiap fungsi diuji dengan berbagai parameter, seperti resolusi gambar input, kontras sketsa, pencahayaan sekitar, dan ketepatan deteksi tanda silang pada kertas untuk memastikan stabilitas aplikasi.
- d. Analisis Hasil, Hasil output dibandingkan dengan ekspektasi sistem untuk menilai akurasi dan konsistensi. Setiap ketidaksesuaian dicatat untuk dianalisis lebih lanjut.



- e. Perbaikan dan Pengujian Ulang, Jika ditemukan kesalahan, seperti prediksi sketsa yang salah atau *overlay* gambar yang meleset, maka perbaikan diterapkan pada *model* AI atau AR Sceneform, lalu diuji ulang untuk memastikan stabilitas.

Akurasi sistem dihitung menggunakan rumus:

$$Akurasi\_Sistem = \frac{Hasil\_Benar}{Total\_Pengujian} \times 100\% \quad (2.3)$$

Keterangan:

1. *Akurasi\_Sistem*: Persentase akurasi sistem.
2. *Hasil\_Benar*: Jumlah hasil prediksi yang sesuai dengan pola sebenarnya.
3.  $\frac{Hasil\_Benar}{Total\_Pengujian}$ : Total jumlah data yang diuji.
4.  $\times 100\%$ : Mengubah hasil menjadi persentase.

Misalnya, jika 45 dari 50 kasus uji berhasil, akurasi sistem adalah 90%. Dengan pendekatan ini, kualitas sistem dapat divalidasi sebelum dirilis kepada pengguna, memastikan setiap komponen berfungsi sesuai dengan spesifikasi kebutuhan.

