
PENGGUNAAN MOBILENET UNTUK INTELLIGENT CHARACTER RECOGNITION (ICR) PENILAIAN OTOMATIS OPERASI MATEMATIKA DASAR

Sunaryo Winardi¹⁾, Gunawan²⁾, Frans Mikael Sinaga³⁾, Farrell Rio Fa⁴⁾, Cindy Sintiya⁵⁾, Jikky⁶⁾

Jurusan Teknik Informatika

Universitas Mikroskil, Medan, Indonesia

Jl. M.H Thamrin No.140

email: sunaryo.winardi@mikroskil.ac.id¹⁾, gunawan@mikroskil.ac.id²⁾, frans.sinaga@mikroskil.ac.id³⁾,
21111610@students.mikroskil.ac.id⁴⁾, 211110347@students.mikroskil.ac.id⁵⁾,
211110217@students.mikroskil.ac.id⁶⁾

Abstrak

Matematika sering dikenal sebagai mata pelajaran yang sulit dan rumit, sehingga dibutuhkan media pembelajaran yang dapat memotivasi dan membantu siswa. Pembelajaran matematika yang terkesan membosankan dan kurang variasi dapat mengurangi daya tarik bagi siswa untuk belajar matematika. Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan purwarupa awal berbasis ponsel dengan sistem operasi Android yang dapat mengenali ekspresi matematika dalam tulisan tangan dan dapat secara otomatis memberikan nilai (*grading*) terhadap ekspresi matematika yang dihasilkan dengan memanfaatkan *intelligent character recognition* (ICR). ICR adalah teknologi pengenalan karsakter yang dapat digunakan untuk mengonversi tulisan tangan atau tulisan digital menjadi teks digital yang dapat diproses oleh komputer dan dapat memperbaiki kesalahan pengenalan secara otomatis. Sistem Android dibangun menggunakan Teachable Machine yang disediakan oleh Google untuk pembuatan model dan pendukung pembelajaran mesin TensorFlow sebagai pendeteksi tulisan tangan pada perangkat mobile. Proses pengenalan tulisan akan menggunakan MobileNet yang merupakan arsitektur jaringan saraf tiruan yang disediakan oleh *flutter_tflite*. Hasil deteksi kemudian akan dilakukan kalkulasi untuk menentukan penulisan aritmatika yang dideteksi benar atau salah. Dari hasil pengujian terhadap 100 tulisan tangan siswa SD kelas 3 didapatkan hasil pengujian penilaian otomatis dengan akurasi sebesar 46%. Rendahnya hasil akurasi ini dikarenakan tulisan tangan siswa yang memiliki variasi tinggi dan tidak ada dua karakter tulisan tangan yang identik. Pada Penelitian ini ditemukan masih banyak simbol sama dengan (=) diklasifikasikan sistem sebagai tanda kurang (-) dan angka 8 yang diklasifikasi sebagai angka 3.

Kata Kunci: *Intelligent Character Recognition* (ICR), Pengenalan Tulisan Tangan, Matematika, MobileNet, Penilaian Otomatis

1. Pendahuluan

Setiap aspek kehidupan saat ini tidak dapat terlepas dari pengaruh Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK), terutama dalam dunia Pendidikan[1]. Pendidikan dalam konteks pembelajaran abad 21 terutama pada kurikulum 2013 yaitu peserta didik belajar materi melalui contoh-contoh, penerapan, dan pengalaman dunia nyata baik di dalam maupun luar sekolah. Agar tuntutan tersebut dapat dilaksanakan sebagai bagian dari implementasi kurikulum 2013, maka perlu melibatkan penggunaan Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK) secara tepat, berkelanjutan, dan terjangkau [2]. Perkembangan TIK saat ini telah memungkinkan siswa untuk memperoleh pengetahuan dengan cepat dan mudah melalui sumber-sumber yang tersedia. Oleh karena itu, guru dan dosen juga harus memiliki kemampuan untuk mengintegrasikan TIK ke dalam proses pembelajaran mereka, agar siswa dapat terus beradaptasi dengan lingkungan belajar yang terus berkembang. Sudah seharusnya aktivitas pembelajaran siswa dapat dilakukan dengan baik walaupun para siswa berada di rumah. Solusinya adalah untuk menciptakan media belajar mengajar sebagai suatu inovasi dengan menggunakan media sosial ataupun media yang berbasis elektronik [3] dalam mencapai proses pembelajaran yang berkualitas [4].

Media pembelajaran merupakan segala sesuatu yang digunakan untuk membantu menyampaikan hal-hal yang berkaitan dengan proses belajar mengajar [5], [6]. Pandemi covid-19 telah mendorong inovasi dalam media pembelajaran, salah satunya pada model pembelajaran mobile learning. Mobile learning merupakan pembelajaran tidak akan dibatasi oleh ruang dan waktu karena fleksibilitas dan perangkat yang digunakan sehingga siswa lebih antusias dan memiliki kesempatan belajar dengan ruang pembelajaran yang baru, mudah, bermanfaat, dan menyenangkan [7], [8], [9]. Banyak penelitian yang telah menghasilkan aplikasi mobile learning [10], [11], [12], [13], [14]. Penelitian [15] kelayakan memanfaatkan media pembelajaran berbasis elektronik dalam menunjang proses kegiatan - belajar yang efektif serta menyenangkan bagi anak memperoleh kelayakan dengan rata - rata 83,67 %.

Dengar perkembangan ini, sudah waktunya bagi sekolah untuk menggunakan dan memanfaatkan teknologi-teknologi terbaru untuk menyederhanakan tugas-tugas guru dan siswa [3]. Salah satu teknologi yang dimungkinkan adalah teknologi kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence/AI*) yang merupakan bagian penting dalam pertumbuhan dan perkembangan teknologi Pendidikan [16]. AI juga dapat memberikan pengalaman pembelajaran yang personal, menarik, dan dapat memaksimalkan potensi belajar masing-masing siswa. Pengembangan konten pembelajaran interaktif dan menarik dapat berupa simulasi, permainan pembelajaran, dan tutor virtual[16]. AI merujuk pada kemampuan mesin atau sistem komputer untuk meniru dan melaksanakan tugas-tugas yang biasanya membutuhkan kecerdasan manusia. Beberapa tugas yang dapat dijalankan oleh AI termasuk pemrosesan bahasa alami, pengambilan keputusan, dan pembelajaran. Dalam konteks pendidikan, AI memiliki potensi untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi pembelajaran[17], [18], seperti menganalisis data pembelajaran siswa atau memberikan umpan balik. Hal ini dapat membantu guru memahami kebutuhan individu siswa dan merancang strategi pembelajaran yang sesuai.

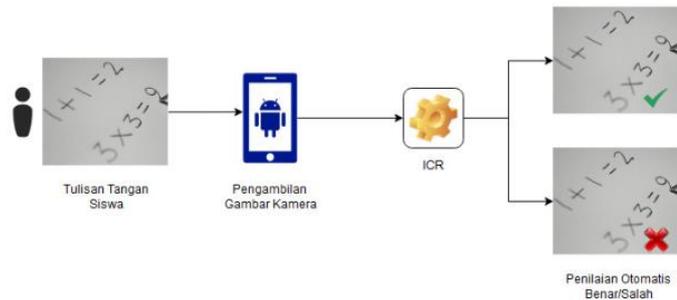
Salah satu teknologi yang dimungkinkan dalam penerapan teknologi adalah pemanfaatan *Intelligent Character Recognition* (ICR) sebagai inovasi pembelajaran berbasis kecerdasan buatan. ICR merupakan teknologi yang digunakan untuk mengidentifikasi dan mengonversi teks tulis tangan menjadi teks digital yang dapat diolah oleh komputer [19]. Penelitian ini berfokus pada pengembangan berbasis ponsel sebagai media pembelajaran dengan melakukan pengenalan tulisan tangan pada ekspresi matematika sebagai inovasi pembelajaran berbasis kecerdasan buatan. Pengenalan tulisan tangan selalu menjadi area penelitian yang aktif dan menantang. Penelitian pengenalan tulisan tangan sangat berguna pada berbagai kehidupan sehari-hari. Beberapa contohnya adalah alat bacaan untuk orang buta, membaca cek bank, dan sebagainya. Tulisan tangan dapat diubah menjadi teks yang terstruktur dengan baik dapat dengan mudah dideteksi oleh algoritma yang dirancang. Proses ini biasa dikenal sebagai proses *Intelligent Character Recognition* (ICR). Meskipun memiliki kemiripan dengan *Optical Character Recognition* (OCR) yaitu proses pemindaian menggunakan optik dan memecahkan teks yang dibuat mesin atau manusia, banyak peneliti yang merujuk bahwa OCR merupakan proses yang hanya mengonversi gambar yang dibuat mesin menjadi teks. Dengan menggunakan definisi yang terbatas dari OCR, ICR jauh lebih sulit daripada OCR karena ada banyak cara orang untuk menulis dan tulisan tangan seseorang berbeda dari orang lain [20].

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan purwarupa awal berbasis ponsel dengan sistem operasi Android sebagai media pembelajaran inovatif, yang memanfaatkan teknologi kecerdasan buatan (AI) dan khususnya *Intelligent Character Recognition* (ICR), untuk mengenali dan menilai ekspresi matematika tulisan tangan. Dalam konteks pendidikan yang tengah bertransformasi oleh perkembangan Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK), serta pandemi COVID-19 yang mendorong inovasi pembelajaran, penelitian ini menjawab kebutuhan akan media pembelajaran yang dapat diakses dengan fleksibilitas tanpa terbatas oleh ruang dan waktu yang berfokus pada pengenalan ekspresi matematika melalui tulisan tangan.s

Sebagai tahapan awal pendekatan penyelesaian masalah pengembangan ini, maka penelitian ini dilakukan dengan mengembangkan purwarupa berbasis android sebagai inovasi media pembelajaran baru bagi siswa dengan menerapkan Auto Grading ICR (*Intelligent Character Recognition*). Pengembangan purwarupa memfokuskan pada pembuatan model atau versi awal dari pengenalan dan penilaian matematika. TensorFlow (TF) akan digunakan sebagai kecerdasan buatan yang digunakan untuk mendeteksi tulisan tangan siswa. TensorFlow (TF) adalah sistem pembelajaran mesin berskala besar yang dapat diimplementasikan dalam berbagai konteks dan situasi. Dikembangkan oleh Google, TensorFlow menjadi salah satu pilihan utama dalam pengembangan kecerdasan buatan, mendukung berbagai tugas dalam bidang pengenalan pola, pemrosesan bahasa alami, visi komputer, dan banyak lagi. Keunggulan TensorFlow terletak pada kemampuannya untuk mengelola model pembelajaran mesin yang kompleks, mendukung pengembangan model jaringan saraf tiruan (*neural networks*), serta memungkinkan integrasi dengan perangkat keras berkecepatan tinggi untuk pelatihan dan inferensi yang efisien. Dengan fleksibilitasnya, TensorFlow telah menjadi alat yang sangat berharga dalam pengembangan solusi kecerdasan buatan di berbagai industri dan aplikasi.[21], [22].

Akan tetapi, dengan batasan-batasan seperti kebutuhan akan adaptasi model yang cepat menjadi tantangan sehingga penggunaan TensorFlow tidak sesuai untuk sejumlah perangkat mobile. Oleh karena itu, dalam menghadapi kendala ini, model TensorFlow Lite digunakan sebagai solusi yang lebih tepat untuk diterapkan pada smartphone Android. TensorFlow Lite merupakan versi ringan dari TensorFlow yang dirancang khusus untuk lingkungan perangkat mobile. Dengan berfokus pada efisiensi dan pengoptimalan, TensorFlow Lite memungkinkan pelaksanaan model machine learning yang cepat dan efisien di perangkat dengan sumber daya terbatas, seperti smartphone. Kelebihan adaptasi yang cepat dan kemampuan untuk bekerja dalam situasi terbatas menjadikan TensorFlow Lite sebagai pilihan yang ideal untuk aplikasi-aplikasi yang memerlukan pemrosesan model *machine learning* secara *real-time* di perangkat Android [23], [24]. Pengembang ini akan dapat memanfaatkan TensorFlow Lite untuk memenuhi kebutuhan komputasi yang efisien dan efektif dalam konteks perangkat mobile.

Setelah berhasil mendeteksi tulisan tangan dengan menggunakan TensorFlow Lite, langkah berikutnya akan melibatkan proses menerjemahkan dan mengevaluasi ekspresi matematika. Evaluasi ekspresi matematika ini melibatkan operasi aritmetika seperti penjumlahan, pengurangan, perkalian, dan pembagian. Setiap kata atau string yang terdeteksi oleh TensorFlow Lite akan diubah menjadi ekspresi matematika yang sesuai, kemudian dievaluasi kebenarannya. Proses evaluasi ini digunakan untuk mendapatkan hasil numerik dari ekspresi matematika yang dimasukkan dan menentukan apakah ekspresi tersebut benar atau salah. Ada pun gambaran dari purwarupa awal yang direncanakan dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Gambaran Sistem ICR yang diharapkan

2. Landasan Teori

Auto Grading ICR (Intelligent Character Recognition) bertujuan untuk mengatasi sejumlah tantangan dalam proses penilaian tugas siswa secara efisien dan akurat. Untuk mencapai hal tersebut, tahap awal Penelitian ini adalah membangun purwarupa berbasis android.

3. Metode Penelitian

Pengumpulan Data

Pengumpulan data pada pengembangan purwarupa penelitian ini, difokuskan pada pembuatan model pengenalan yang akan digunakan dalam membangun sistem penilaian otomatis tulisan tangan siswa. Untuk itu, penelitian ini akan menggunakan data dari sejumlah citra tulisan tangan yang dilakukan pada siswa tingkat Sekolah Dasar (SD) dari salah satu sekolah seperti yang terlihat pada Gambar 2. Proses pengambilan data tulisan tangan akan dibagi menjadi dua tahap, yaitu untuk membangun model klasifikasi dan untuk menguji sistem yang telah dibangun.

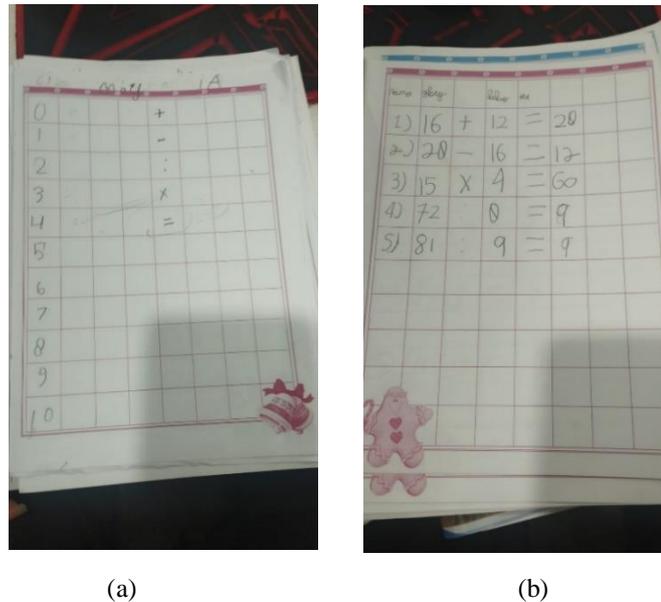


Gambar 2. Pengumpulan Tulisan Tangan Siswa SD

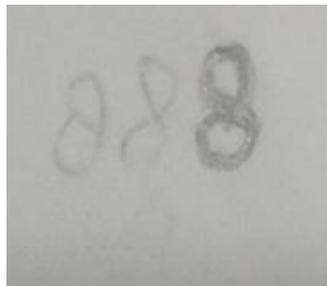
Dalam membangun model klasifikasi, tulisan tangan yang digunakan merupakan tulisan tangan siswa yang didapatkan dari pelatihan menulis angka 0 sampai 10, dan beberapa simbol matematika dasar, yaitu tambah (+), kurang (-), kali (x), dan bagi (:) seperti pada Gambar 3 (a). Akan tetapi, angka 10 akan diabaikan dalam Penelitian ini karena merupakan gabungan antara angka 1 dan 0. Tulisan tangan siswa tersebut akan dijadikan sebagai citra digital melalui alat pemindaian atau *scanner*, sebuah perangkat elektronik yang berfungsi untuk mengubah dokumen fisik atau foto menjadi format digital. Selanjutnya, proses pengambilan data untuk pengujian dilakukan dengan menggunakan kamera dari perangkat mobile untuk menghasilkan citra gambar. Proses ini akan memperoleh citra dari tulisan tangan yang dikondisikan sebagai keadaan sesungguhnya ketika mengambil gambar dari lembar jawaban yang ditulis tangan siswa.

Dari semua tulisan tangan yang dikumpulkan, hanya 100 sampel tulisan tangan yang mengandung ekspresi matematika dasar untuk membangun model yang digunakan dan 20 lembar jawaban matematika yang mencakup 5 soal, digunakan sebagai uji keberhasilan sistem. Adapun soal yang diberikan merupakan soal matematika

sederhana seperti yang dapat dilihat seperti pada Gambar 3 (b). Tulisan tangan yang digunakan adalah tulisan tangan yang dapat merepresentasikan objek dengan baik dan tidak memiliki noise/gangguan pada tulisan tangan siswa. Kehadiran data noise/gangguan dalam kumpulan data dapat secara signifikan mempengaruhi prediksi informasi [25] yang dapat mengakibatkan berkurangnya akurasi dalam pendeteksian. Ada pun noise yang dimaksud pada penelitian ini adalah tulisan tangan siswa yang ditulis berulang kali pada tempat yang sama, sehingga meninggalkan bekas tulisan lama, dan dapat mengakibatkan angka yang ditulis tidak jelas seperti pada Gambar 4.



Gambar 3. Contoh Tulisan Tangan Siswa SD (a) untuk Model dan lembar jawaban (b) untuk pengujian



Gambar 4. Contoh Gambar yang tidak digunakan karena mengandung noise

Setiap ekspresi matematika direkam dalam bentuk gambar akan diproses menggunakan model yang telah dirancang. Penelitian ini memanfaatkan metode pengambilan data yang terstruktur untuk mengembangkan model dan menguji keberhasilan sistem dalam mengenali tulisan tangan matematika dasar. Setelah berhasil mengumpulkan data yang tersebut, langkah berikutnya dalam penelitian ini adalah pembuatan model. Proses ini melibatkan pemanfaatan *Teachable Machine* sebagai alat utama untuk melatih model klasifikasi.

Pembuatan Model

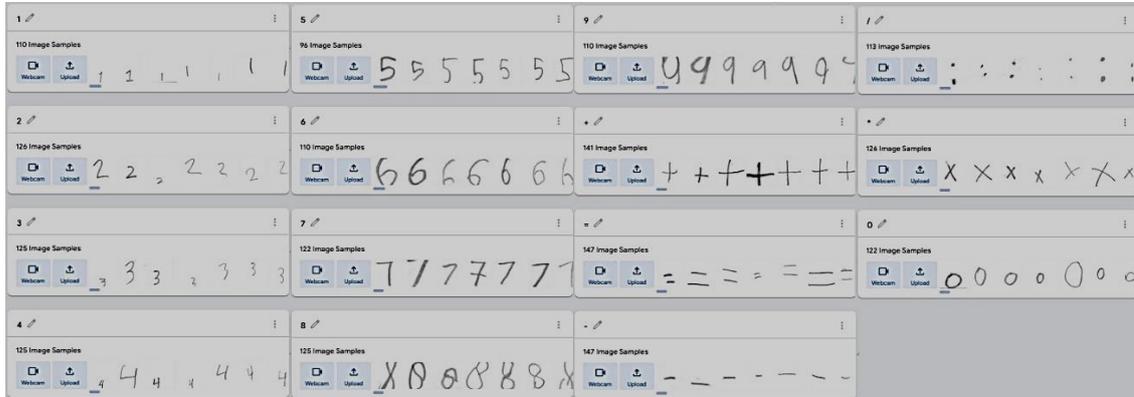
Dari 100 sampel tulisan tangan yang disimpan sebagai format gambar akan diklasifikasikan berdasarkan angka dan ekspresi matematika dasar yang terkandung di dalamnya sebagai proses pembuatan model. Proses ini melibatkan segmentasi manual yang dilakukan peneliti secara langsung untuk melakukan pemisahan dan penentuan batasan objek dalam citra. Segmentasi manual ini mencakup identifikasi lokasi tulisan tangan serta pemotongan bagian visual yang signifikan, seperti angka atau simbol matematika, untuk memastikan ketepatan dan relevansi segmentasi terhadap analisis atau pengolahan data yang dilakukan.

Segmentasi manual dapat mencakup pemilihan piksel tertentu, penentuan tepi objek, atau pembatasan area dari tulisan tangan siswa dalam citra yang digunakan dalam pembuatan model. Segmentasi citra yang dilakukan secara manual, memastikan bahwa fokus pada area yang signifikan, seperti angka dan simbol matematika, tetap terjaga. Meskipun memerlukan upaya dan waktu, segmentasi manual sering menghasilkan hasil yang lebih akurat dan sesuai dengan kebutuhan penggunaan spesifik. Pendekatan ini memastikan bahwa citra yang dihasilkan benar-benar mencerminkan elemen-elemen kunci yang relevan untuk analisis selanjutnya. Langkah-langkah tersebut menciptakan kerangka kerja yang terstruktur dalam pengembangan model klasifikasi.

Hasil citra yang telah melalui proses segmentasi menjadi input utama dalam penggunaan *Teachable Machine* pada tahap pembuatan model. Alat ini dipilih sebagai metode utama karena kemudahannya dan

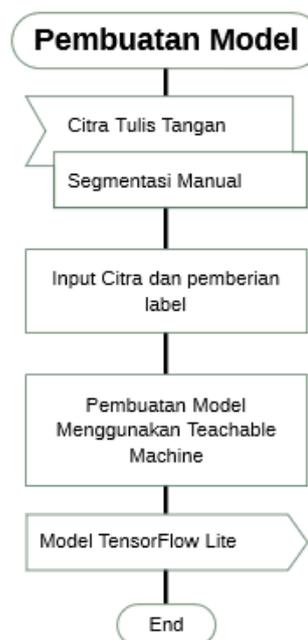
kemampuannya dalam melatih model klasifikasi dengan memanfaatkan citra sebagai data input. Salah satu kemudahan yang diberikan adalah dalam memberikan label pada data pelatihan secara sederhana dan efektif.

Pemberian label dilakukan pada citra sesuai dengan representasinya sebagai angka atau simbol matematika yang ada dalam citra. Sebagai contoh, pada gambar yang menampilkan angka 1, citra tersebut akan diberi label "1," dengan mengekspresikan angka sebagai karakter, bukan sebagai kata "satu." Hal ini dilakukan untuk memastikan konsistensi dan representasi yang akurat dalam proses pelabelan, sehingga model dapat mengenali dan memahami perbedaan antara berbagai ekspresi matematika dasar. Data tulisan tangan siswa yang didapatkan dibagi menjadi 15 kelas dengan 100 citra sebagai data latih sesuai representasi dari citra tulisan tangan. Setelah pemberian label dilakukan, maka proses pembuatan model dapat di proses pada *Teachable Machine* seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Kelas dalam proses pembuatan model pada *Teachable Machine*

Salah satu model *machine learning* yang telah di-training dalam *Teachable Machine* merupakan model TensorFlow Lite yang di simpan dalam format file yang disebut "tflite," singkatan dari TensorFlow Lite. TensorFlow Lite ini dapat diintegrasikan dengan baik untuk penggunaan pada perangkat mobile. Dengan pendekatan ini, diharapkan model yang dihasilkan dapat memberikan hasil yang optimal dalam mengidentifikasi dan mengklasifikasikan berbagai ekspresi matematika dasar dari tulisan tangan siswa. Secara keseluruhan, proses pembuatan model dapat digambarkan menggunakan alat daring untuk pengembangan *flowchart* Drakonhub[26] seperti pada Gambar 5 berikut.



Gambar 6. Flowchart pembuatan Model

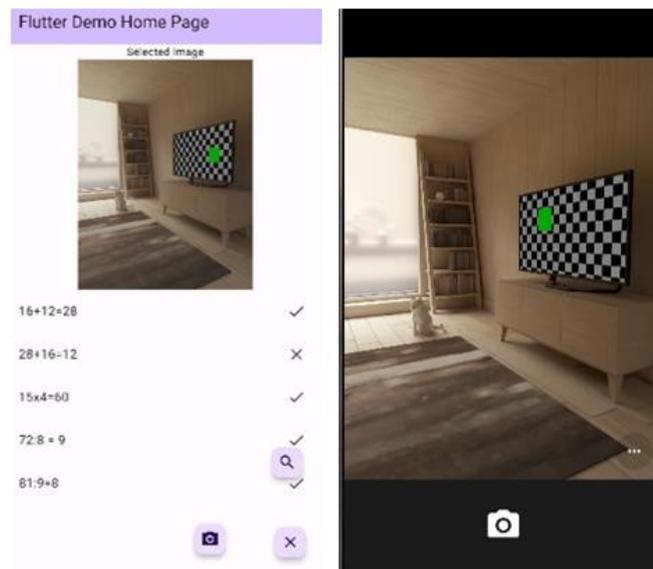
Pendekatan ini akan membantu dalam membangun *dataset* pelatihan yang tepat dan sesuai dengan kebutuhan pengembangan yang ringan dalam pengenalan pola dalam konteks tulisan tangan ekspresi matematika dasar penelitian ini.

Proses Perancangan

Model yang dibangun akan diterapkan pada sebuah purwarupa berbasis mobile yang dirancang dengan menggunakan *framework Flutter* yang menggunakan Bahasa Pemrograman Darts. Tahapan perancangan

melibatkan beberapa kegiatan kunci untuk mencapai fungsionalitas yang diinginkan. Pertama, untuk aktivitas pengambilan gambar akan menggunakan paket `image_picker` dalam Flutter. Paket ini memungkinkan pengguna untuk memilih gambar dari galeri perangkat mereka atau mengambil gambar langsung dari kamera. Kedua, dalam merancang tombol, diterapkan paket `flutter_expandable_fab`. Komponen ini memberikan kemampuan untuk membuat tombol mengambang (*floating action button*) yang dapat diperluas, menyediakan lebih banyak opsi ketika ditekan. Penggunaan tombol mengambang ini digunakan untuk meningkatkan kemudahan antarmuka pengguna dengan memberikan fungsionalitas yang mudah diakses. Terakhir, untuk pendeteksian, akan digunakan paket `flutter_tflite`. Paket ini memungkinkan integrasi model *machine learning* yang telah di-*training* dengan sebagai TensorFlow Lite melalui *Teachable Machine*. Dengan demikian, purwarupa yang akan dirancang ini dapat melakukan pendeteksian berbasis *machine learning* untuk memproses dengan melakukan penilaian terhadap gambar yang diambil oleh pengguna.

Dengan menggunakan kombinasi dari ketiga paket tersebut, diharapkan rancangan dapat memberikan pengalaman yang interaktif dan fungsional bagi pengguna, terutama dalam konteks pengambilan gambar dan pendeteksian menggunakan model *machine learning*. Purwarupa yang sudah berhasil dirancang pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 7. Purwarupa yang dirancang mencakup elemen-elemen antarmuka pengguna seperti tampilan kamera, gambar hasil dari kamera, teks, dan tampilan hasil penilaian otomatis dalam bentuk daftar.



Gambar 7. Hasil Purwarupa Awal

Pengujian Model

Setelah berhasil membangun purwarupa dan mengimplementasikan model di dalamnya, langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian, dengan fokus pada evaluasi akurasi model. Proses pengujian ini mencakup pengambilan gambar, pendeteksian menggunakan model, dan evaluasi akurasi berdasarkan data set pengujian yang terdiri dari 20 lembar jawaban siswa. Sebelum dilakukan pendeteksian, setiap lembar jawaban siswa akan dinilai secara manual untuk membentuk dasar perbandingan.

Tahap evaluasi oleh sistem akan melibatkan pengamatan manual untuk memastikan bahwa setiap deteksi yang dilakukan oleh model dalam sistem adalah benar. Pendekatan ini dilakukan untuk mencegah kesalahan evaluasi dan penilaian sistem yang dapat menyebabkan hasil yang tidak akurat. Pengecekan ini perlu dilakukan karena penilaian evaluasi tidak hanya terbatas pada jawaban siswa, melainkan juga mencakup soal yang ditulis oleh siswa. Tujuan utama dari pengujian ini adalah memastikan bahwa model mampu mengenali objek dengan tingkat akurasi yang optimal, sehingga jika ditemukan kesalahan pendeteksian/klasifikasi oleh sistem, maka sistem akan dianggap gagal dalam melakukan evaluasi jawaban yang diberikan siswa.

Kriteria Akurasi

Metode yang digunakan untuk menghitung akurasi adalah benar atau salah purwarupa yang dirancang dalam melakukan penilaian. Akurasi dihitung dengan perbandingan antara hasil deteksi ekspresi matematika yang dilakukan dengan jawaban yang seharusnya. Ketika berhasil mendeteksi dan menilai ekspresi matematika dengan benar sesuai dengan jawaban yang diharapkan, maka dihitung sebagai hasil yang benar. Sebaliknya, jika ada ketidaksesuaian antara hasil deteksi dengan ekspresi matematika yang seharusnya, itu dianggap sebagai hasil yang gagal.

Dalam menghitung akurasi, jumlah ekspresi matematika yang terdeteksi dengan benar dibagi dengan total jumlah ekspresi matematika yang diuji, kemudian hasilnya dikalikan dengan 100 untuk mendapatkan persentase akurasi. Metode ini memberikan gambaran tentang sejauh mana pengenalan dan penilaian ekspresi matematika siswa dengan tepat, sehingga memberikan informasi yang berharga untuk peningkatan kualitas pembelajaran matematika. Secara matematis, akurasi dihitung menggunakan rumus berikut:

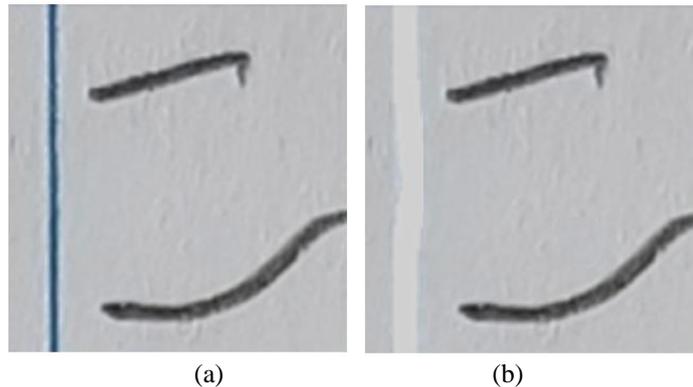
$$\text{Akurasi} = \frac{\text{Jumlah ekspresi matematika yang terdeteksi dengan benar}}{\text{Total jumlah ekspresi matematika yang diuji}} \times 100\% \quad (1)$$

Dengan menggunakan rumus ini, pengembangan dapat mengukur kinerja sistem dan mengevaluasi sejauh mana akurasi purwarupa yang didapatkan. Rumus ini sangat penting untuk menilai kehandalan purwarupa yang dikembangkan dalam konteks pengenalan tulisan tangan dan penilaian otomatis dalam pembelajaran matematika ini.

4. Hasil

Pengujian model dilakukan dengan mengambil gambar pada 20 lembar jawaban siswa menggunakan purwarupa yang dibangun dan dilakukan hasil deteksi. Pada saat pengujian awal ditemukan banyaknya kesalahan dalam pendeteksian yang dapat mengakibatkan rendahnya hasil akurasi dari penilaian sistem yang dirancang. Untuk menangani masalah tersebut, maka sebelum proses deteksi dilakukan, pre-processing image dilakukan untuk memastikan hasil deteksi yang lebih akurat. Adapun langkah-langkahnya adalah

1. Menghapus kotak dengan warna biru/pink citra manual dengan cara mengakses nilai piksel satu per satu dan mengubah piksel yang memiliki warna spesifik (warna range mendekati warna merah/biru) ke warna putih
2. Mendapatkan Region of Interest (RoI) dari menggunakan fungsi `img.findContours` dari paket `image`, sehingga proses deteksi akan berfokus pada tulisan tangan dan mengurangi waktu untuk mendeteksi semua bagian citra gambar



Gambar 8. contoh kesalahan Deteksi (a) terdeteksi sebagai 1 dengan keyakinan 53% dan (b) hasil setelah *pre-processing* terdeteksi sebagai = dengan keyakinan 100%

Setiap hasil RoI yang ditemukan, akan diproses menggunakan `flutter_tflite` dengan mengabaikan nomor soal, yaitu (RoI) pertama pada setiap baris citra. `tflite_flutter` adalah sebuah paket atau plugin Flutter yang memfasilitasi integrasi dan implementasi model pembelajaran mesin berbasis TensorFlow Lite di dalam aplikasi Flutter [27]. TensorFlow Lite adalah versi dari framework TensorFlow yang dioptimalkan khusus untuk perangkat bergerak dan lingkungan sumber daya terbatas. `Tflite_flutter` menyediakan pengembangan Flutter yang dapat dengan mudah menyematkan model-machine learning yang sudah diubah ke format TensorFlow Lite (`tflite`). Plugin ini menyediakan API yang sederhana untuk memuat, menjalankan, dan mengolah hasil dari model TensorFlow Lite di lingkungan Flutter. `Tflite_flutter` dirancang dengan memanfaatkan MobileNet untuk menyematkan kemampuan pengenalan dan pemrosesan model-machine learning dengan efisien di dalam aplikasi Flutter[28]. MobileNet sendiri adalah sebuah arsitektur jaringan saraf tiruan dirancang khusus untuk perangkat bergerak dengan sumber daya terbatas yang terbukti dapat bekerja dengan baik [29], [30], [31]. Dengan memanfaatkan `tflite_flutter`, model MobileNet yang sudah dioptimalkan untuk TensorFlow Lite dapat diintegrasikan dan memberikan keunggulan dalam hal kinerja dan efisiensi untuk perangkat mobile tanpa ketergantungan pada sumber daya eksternal atau konektivitas jaringan. Sehingga, penggunaan `tflite_flutter` menjadi jembatan yang efektif antara TensorFlow Lite, MobileNet, dan purwarupa yang dirancang dan menghadirkan solusi kecerdasan buatan yang optimal di lingkungan mobile. Setelah dilakukan perbaikan, didapatkan hasil dari pengujian sistem seperti pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Hasil Penilaian Sistem

Nama	Nomor Soal	jawa ban	sistem	keterangan gagal	Nama	Nomor Soal	jawa ban	sistem	keterangan gagal
Philia	1	benar	berhasil		Arsen	1	benar	gagal	6 terbaca sebagai 0
	2	benar	berhasil			2	benar	berhasil	

Nama	Nomor Soal	jawa ban	siste m	keterangan gagal	Nama	Nomor Soal	jawa ban	siste m	keterangan gagal
	3	benar	gagal	4 terbaca sebagai 1 = terbaca sebagai -		3	benar	gagal	1 terbaca sebagai 7 5 terbaca sebagai 3 6 terbaca sebagai 0
	4	benar	gagal	7 terbaca sebagai x = terbaca sebagai - 9 terbaca sebagai 0		4	benar	gagal	8 terbaca sebagai 9
	5	benar	berhasil			5	benar	berhasil	
Glory	1	benar	gagal	6 terbaca sebagai 0 = terbaca sebagai - 2 terbaca sebagai 9 8 terbaca sebagai 4	Marga ret	1	benar	gagal	1 terbaca sebagai 7 2 terbaca sebagai 5 8 terbaca sebagai 4
	2	benar	gagal	2 terbaca sebagai 3 6 terbaca sebagai 0 = terbaca sebagai -		2	benar	gagal	2 terbaca sebagai 5 6 terbaca sebagai 3
	3	benar	gagal	4 terbaca sebagai 1 = terbaca sebagai - 6 terbaca sebagai 0		3	benar	berhasil	
	4	benar	gagal	2 terbaca sebagai : 8 terbaca sebagai 4		4	benar	gagal	7 terbaca sebagai + 8 terbaca sebagai 3 = terbaca sebagai -
	5	benar	berhasil			5	benar	berhasil	
Zevanya	1	benar	gagal	2 terbaca sebagai 1, 6	Kirani	1	Benar	Berhasil	
	2	benar	gagal	2 terbaca sebagai 9, 5 6 terbaca sebagai : = terbaca sebagai -		2	Benar	Gagal	= terbaca sebagai -
	3	benar	berhasil			3	Benar	Gagal	= terbaca sebagai -
	4	benar	gagal	= terbaca sebagai : 9 terbaca sebagai 0		4	Benar	Gagal	= terbaca sebagai -
	5	benar	berhasil			5	Benar	Berhasil	
Lesky	1	Benar	Berhasil		Finel	1	Benar	Gagal	2 terbaca sebagai 1

Nama	Nomor Soal	jawa ban	siste m	keterangan gagal	Nama	Nomor Soal	jawa ban	siste m	keterangan gagal
	2	Benar	Berhasil			2	Benar	Gagal	= terbaca sebagai -
	3	Benar	Gagal	5 terbaca sebagai 4		3	Salah	Berhasil	
	4	Benar	Berhasil			4	Benar	Berhasil	
	5	Benar	Berhasil			5	Benar	Berhasil	
Emiliana	1	Benar	Gagal	4 terbaca sebagai 6	Ernest	1	Benar	Berhasil	
	2	Benar	Gagal	6 terbaca sebagai 8		2	Benar	Berhasil	
	3	Benar	Berhasil			3	Benar	Gagal	= terbaca sebagai -
	4	Benar	Berhasil			4	Benar	Gagal	2 terbaca sebagai 9
	5	Benar	Berhasil			5	Benar	Gagal	= terbaca sebagai -
agler	1	benar	berhasil		septu	1	salah	berhasil	
	2	benar	gagal	- terbaca sebagai 4		2	benar	gagal	8 terbaca sebagai 0
	3	salah	berhasil			3	salah	berhasil	
	4	benar	berhasil			4	salah	gagal	7 terbaca sebagai 3
	5	benar	berhasil			5	salah	gagal	8 terbaca sebagai 3
rahel	1	benar	gagal	6 terbaca sebagai 2	marcelo	1	benar	gagal	+ terbaca sebagai 4
	2	benar	gagal	8 terbaca sebagai 3		2	benar	berhasil	
	3	salah	berhasil			3	salah	gagal	1 terbaca sebagai 4
	4	salah	gagal	= terbaca sebagai x		4	benar	berhasil	7 terbaca sebagai 4
	5	salah	berhasil			5	benar	gagal	bagi terbaca sebagai 3
dina	1	salah	gagal	+ terbaca sebagai 4	Pranya	1	Benar	gagal	2 terbaca sebagai 8
	2	benar	berhasil			2	Benar	berhasil	
	3	benar	gagal	6 terbaca sebagai 0		3	Benar	gagal	2 terbaca sebagai 5
	4	benar	berhasil			4	Benar	gagal	8 terbaca sebagai 0
	5	benar	berhasil			5	Benar	gagal	= terbaca sebagai /
penger	1	benar	gagal	6 terbaca sebagai 5	rygersa	1	benar	berhasil	
	2	benar	gagal	8 terbaca sebagai 3		2	benar	gagal	6 terbaca sebagai 3
	3	salah	berhasil			3	salah	gagal	5 terbaca sebagai 3
	4	salah	gagal	7 terbaca sebagai 1		4	salah	berhasil	
	5	salah	berhasil			5	salah	gagal	8 terbaca sebagai 0

Nama	Nomor Soal	jawa ban	siste m	keterangan gagal	Nama	Nomor Soal	jawa ban	siste m	keterangan gagal
stefan	1	benar	gagal	6 terbaca sebagai 0	Alesandra	1	benar	gagal	= terbaca sebagai - 2 terbaca sebagai 1
	2	benar	gagal	6 terbaca sebagai 3		2	benar	berhasi	
	3	salah	berhasi			3	benar	berhasi	
	4	salah	berhasi			4	salah	gagal	7 terbaca sebagai + 8 terbaca sebagai 3 = terbaca sebagai -
	5	salah	gagal	9 terbaca sebagai 3		5	salah	gagal	8 terbaca sebagai 3 9 terbaca sebagai 4 = terbaca sebagai -

Berdasarkan hasil temuan Tabel 1 Hasil Penilaian Sistem, terlihat bahwa terdapat beberapa kesalahan dalam proses penilaian otomatis. Beberapa angka dan simbol tidak terbaca dengan benar, dan terdapat kebingungan dalam mengenali karakter tertentu, seperti 8 yang terbaca sebagai 3, dan sebagainya. Kesalahan juga terjadi dalam mengenali operasi matematika, seperti tanda sama dengan (=) yang terbaca sebagai tanda kurang (-). Dari tabel 1 juga ditemukan penilaian benar sebanyak 46 dari 100 soal yang ada, sehingga dengan menggunakan rumus (1) didapatkan akurasi:

$$\begin{aligned} \text{Akurasi} &= \frac{46}{100} \times 100\% \\ &= 46\% \end{aligned}$$

Tingginya variasi tulisan tangan siswa dan kelemahan sistem yang dirancang dalam mengenali karakter menyebabkan rendahnya tingkat akurasi sebesar 46%. Hasil akurasi yang relatif rendah ini dapat didistribusikan kepada tingginya variasi dalam tulisan tangan siswa. Secara khusus, tidak terdapat dua karakter tulisan tangan yang identik, sehingga membuat tantangan lebih besar dalam proses deteksi dan klasifikasi. Meskipun demikian, penelitian ini memberikan wawasan berharga terkait kompleksitas dalam mengenali variasi tulisan tangan di lingkungan pendidikan Sekolah Dasar (SD). Langkah-langkah selanjutnya mungkin mencakup pengembangan model yang lebih *robust* dan adaptif terhadap variasi tulisan tangan yang lebih luas. Perbaikan pada model deteksi dan klasifikasi, serta penanganan khusus untuk karakter yang sering keliru, mungkin diperlukan untuk meningkatkan performa purwarupa yang dirancang.

5. Kesimpulan

Dalam penelitian ini, sebuah purwarupa Android dikembangkan menggunakan teknologi *Intelligent Character Recognition (ICR)* untuk mengenali dan menilai ekspresi matematika dari tulisan tangan siswa. Metode penelitian meliputi pengumpulan data tulisan tangan, pembuatan model klasifikasi dengan *Teachable Machine*, pengembangan purwarupa menggunakan framework Flutter, dan pengujian *tflite_flutter* dengan MobileNet dengan fokus pada evaluasi akurasi. Hasil pengujian awal terhadap 20 lembar jawaban dengan masing-masing lembar soal berisikan 5 soal yang dikerjakan siswa mengungkapkan bahwa model mengalami kesalahan dalam deteksi dan klasifikasi ekspresi matematika. Penelitian ini kemudian diperbaiki melalui proses dengan menambahkan *pre-processing* gambar dan berhasil meningkatkan performa namun masih mencapai akurasi 46% dari 100 tulisan tangan siswa yang diuji. Tantangan utamanya meliputi variasi besar dalam gaya tulisan tangan siswa dan kesalahan klasifikasi simbol (=) sebagai (-), serta angka 8 teridentifikasi sebagai angka 3. Sementara purwarupa awal menunjukkan potensi dalam memberikan penilaian otomatis, peningkatan akurasi model akan memerlukan pengembangan lebih lanjut dengan memperluas *dataset*, meningkatkan *pre-processing* gambar, dan menyesuaikan model klasifikasi untuk peningkatan yang lebih luas.

6. Daftar Pustaka

- [1] D. H. Pertiwi *et al.*, *Literasi TIK dan Media Pembelajaran*. Pradina Pustaka, 2022. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=zxJoEAAAQBAJ>

- [2] R. Rahayu, S. Iskandar, and Y. Abidin, "Inovasi Pembelajaran Abad 21 dan Penerapannya di Indonesia," *Jurnal Basicedu*, vol. 6, no. 2, pp. 2099–2104, Feb. 2022, doi: 10.31004/basicedu.v6i2.2082.
- [3] H. Rusyada and M. Nasir, "Efektivitas Penerapan Hybrid Learning Pasca Pandemi Covid-19 di Sekolah Dasar," *Jurnal Basicedu*, vol. 6, no. 2, pp. 1714–1723, Feb. 2022, doi: 10.31004/basicedu.v6i2.2275.
- [4] M. R. Affandi, M. Widyawati, and Y. B. Bhakti, "ANALISIS EFEKTIVITAS MEDIA PEMBELAJARAN E-LEARNING DALAM MENINGKATKAN HASIL BELAJAR SISWA SMA PADA PELAJARAN FISIKA," *Jurnal Pendidikan Fisika*, vol. 8, no. 2, p. 150, Sep. 2020, doi: 10.24127/jpf.v8i2.2910.
- [5] M. P. Dr. Mohamad Miftah, *Studi kelayakan media pembelajaran TIK sebagai alat bantu mengajar guru*. Publica Indonesia Utama, 2022. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=ITfTEAAAQBAJ>
- [6] M. Miftah, *PERAN, FUNGSI, DAN PEMANFAATAN MEDIA PEMBELAJARAN*. Feniks Muda Sejahtera, 2022. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=hsldEAAAQBAJ>
- [7] L. Efriyanti and F. Annas, "Aplikasi Mobile Learning Sebagai Sarana Pembelajaran Abad 21 bagi Pendidik dan Peserta Didik di era Revolusi Industri 4.0," *Journal Educative : Journal of Educational Studies*, vol. 5, no. 1, p. 29, Jun. 2020, doi: 10.30983/educative.v5i1.3132.
- [8] I. A. Mastan, D. I. Sensuse, R. R. Suryono, and K. Kautsarina, "EVALUATION OF DISTANCE LEARNING SYSTEM (E-LEARNING): A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW," *Jurnal Teknoinfo*, vol. 16, no. 1, p. 132, Jan. 2022, doi: 10.33365/jti.v16i1.1736.
- [9] L. Dias and A. Victor, "Teaching and Learning with Mobile Devices in the 21st Century Digital World: Benefits and Challenges," *European Journal of Multidisciplinary Studies*, vol. 5, no. 1, p. 339, May 2017, doi: 10.26417/ejms.v5i1.p339-344.
- [10] S. Kurniasih, D. Darwan, and A. Muchyidin, "Menumbuhkan Kemandirian Belajar Matematika Siswa Melalui Mobile Learning Berbasis Android," *Jurnal Edukasi Matematika dan Sains*, vol. 8, no. 2, p. 140, Sep. 2020, doi: 10.25273/jems.v8i2.7041.
- [11] M. T. Apriyanto and R. A. Hilmi, "MEDIA PEMBELAJARAN MATEMATIKA (MOBILE LEARNING) BERBASIS ANDROID," in *Seminar & Conference Proceedings of UMT*, Tangerang: Universitas Muhammadiyah Tangerang, Apr. 2019.
- [12] A. Wahyudi, R. D. Agustin, and M. Ambarawati, "PENGEMBANGAN MEDIA APLIKASI GEOTRI PADA MATERI GEOMETRI BERBASIS MOBILE LEARNING," *Jurnal Ilmiah Matematika Realistik*, vol. 2, no. 3, pp. 62–70, Dec. 2022.
- [13] A. Mewengkang, J. R. Batmetan, and H. Mosey, "PERANCANGAN APLIKASI PEMBELAJARAN MOBILE ANATOMI TUBUH MANUSIA UNTUK ANAK SEKOLAH DASAR," *Eduetik : Jurnal Pendidikan Teknologi Informasi dan Komunikasi*, vol. 1, no. 6, pp. 675–687, Dec. 2021, doi: 10.53682/edutik.v1i6.3293.
- [14] T. Rahardjo, N. Degeng, and Y. Soepriyanto, "PENGEMBANGAN MULTIMEDIA INTERAKTIF MOBILE LEARNING BERBASIS ANRDROID AKSARA JAWA KELAS X SMK NEGERI 5 MALANG," *Jurnal Kajian Teknologi Pendidikan*, pp. 195–202, Aug. 2019, doi: 10.17977/um038v2i32019p195.
- [15] R. Kurnia, "Analisis Kelayakan Media Pembelajaran Berbasis Elektronik Untuk Pembelajaran Anak Usia Dini," in *Prosiding Seminar Nasional PGPAUD UPI Kampus Purwakarta*, 2022, pp. 288–292.
- [16] J. Afrita, "Peran Artificial Intelligence dalam Meningkatkan Efisiensi dan Efektifitas Sistem Pendidikan," *COMSERVA : Jurnal Penelitian dan Pengabdian Masyarakat*, vol. 2, no. 12, pp. 3181–3187, Apr. 2023, doi: 10.59141/comserva.v2i12.731.
- [17] L. Hakim, "Peranan Kecerdasan buatan (artificial intelligence) Dalam Pendidikan," <https://ppg.kemdikbud.go.id/news/peranan-kecerdasan-buatan-artificial-intelligence-dalam-pendidikan> .
- [18] Z. Zakaria, T. Sukomardojo, S. Sugiyem, G. Razali, and I. Iskandar, "Menyiapkan Siswa untuk Karir Masa Depan Melalui Pendidikan Berbasis Teknologi: Meninjau Peran Penting Kecerdasan Buatan," *Journal on Education*, vol. 5, no. 4, pp. 14141–14155, 2023.
- [19] V. E. Balas, G. R. Sinha, B. Agarwal, T. K. Sharma, P. Dadheech, and M. Mahrishi, "Emerging Technologies in Computer Engineering: Cognitive Computing and Intelligent IoT: 5th International Conference, ICETCE 2022, Jaipur, India, February 4–5, 2022, Revised Selected Papers," 2022.
- [20] R. Ptucha, F. Petroski Such, S. Pillai, F. Brockler, V. Singh, and P. Hutkowski, "Intelligent character recognition using fully convolutional neural networks," *Pattern Recognit*, vol. 88, pp. 604–613, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.patcog.2018.12.017.
- [21] B. Pang, E. Nijkamp, and Y. N. Wu, "Deep Learning With TensorFlow: A Review," *Journal of Educational and Behavioral Statistics*, vol. 45, no. 2, pp. 227–248, Apr. 2020, doi: 10.3102/1076998619872761.

- [22] M. Ramchandani *et al.*, “Survey: Tensorflow in Machine Learning,” *J Phys Conf Ser*, vol. 2273, no. 1, p. 012008, May 2022, doi: 10.1088/1742-6596/2273/1/012008.
- [23] M. Rashidi, “Application of TensorFlow lite on embedded devices: A hands-on practice of TensorFlow model conversion to TensorFlow Lite model and its deployment on Smartphone to compare model’s performance.” 2022.
- [24] G. Demosthenous and V. Vassiliades, “Continual learning on the edge with tensorflow lite,” *arXiv preprint arXiv:2105.01946*, 2021.
- [25] S. Gupta and A. Gupta, “Dealing with Noise Problem in Machine Learning Data-sets: A Systematic Review,” *Procedia Comput Sci*, vol. 161, pp. 466–474, 2019, doi: 10.1016/j.procs.2019.11.146.
- [26] D. Bhattacharya and R. Mohalik, “Digital Mind Mapping Software: A New Horizon in the Modern Teaching-Learning Strategy,” *Journal of Advances in Education and Philosophy*, vol. 4, no. 10, pp. 400–406, Oct. 2020, doi: 10.36348/jaep.2020.v04i10.001.
- [27] A. Garg, “tflite_flutter 0.10.4.” Accessed: Jan. 25, 2024. [Online]. Available: https://pub.dev/packages/tflite_flutter
- [28] E. Yalcin and D. Yiltas-Kaplan, “Classification and Irrigation of Different Kinds of Plants with Mobile Application,” in *2021 6th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK)*, IEEE, Sep. 2021, pp. 233–238. doi: 10.1109/UBMK52708.2021.9559029.
- [29] Y. Zhou, “The Efficient Implementation of Face Mask Detection Using MobileNet,” *J Phys Conf Ser*, vol. 2181, no. 1, p. 012022, Jan. 2022, doi: 10.1088/1742-6596/2181/1/012022.
- [30] A. Tulasi, M. Subramani, and M. D. Pappu, *A Review on MobileNet, ResNet and SqueezeNet for iOS & iPadOS for on Device Training and Prediction using CoreML*. 2021. doi: 10.13140/RG.2.2.14059.67365.
- [31] A. Michele, V. Colin, and D. D. Santika, “MobileNet Convolutional Neural Networks and Support Vector Machines for Palmprint Recognition,” *Procedia Comput Sci*, vol. 157, pp. 110–117, 2019, doi: 10.1016/j.procs.2019.08.147.