

PENERAPAN CONVOLUTION NEURAL NETWORK (CNN) UNTUK DETEKSI MEGALITIKUM DI SULAWESI TENGAH BERBASIS MOBILE

Moh. Fahmi^{*1)}, Rahma Laila²⁾, Mohammad Yazdi Pusadan³⁾, Syahrullah⁴⁾, Ryfial Azhar⁵⁾, Ilham Abdillah Sani⁶⁾, Magfirah⁷⁾,

1. Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako, Indonesia
2. Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako, Indonesia
3. Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako, Indonesia
4. Sistem Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako, Indonesia
5. Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako, Indonesia
6. Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako, Indonesia
7. Ilmu Administrasi Publik, Fakultas Ilmu Sosial Dan Politik, Universitas Tadulako, Indonesia

Article Info

Kata Kunci: Android; CNN; Deteksi Objek; Megalitikum; *Teachable Machine*

Keywords: *Android; CNN; Megalithic; Object Detection; Teachable Machine*

Article history:

Received 16 August 2024

Revised 12 September 2024

Accepted 6 October 2024

Available online 1 September 2025

DOI :

<https://doi.org/10.29100/jipi.v10i3.6458>

* Corresponding author.

Moh. Fahmi

E-mail address:

mohammadfahmi.009@gmail.com

ABSTRAK

Taman Nasional Lore Lindu di Sulawesi Tengah, Indonesia, memiliki berbagai objek megalitikum, termasuk arca, kalamba, lumpang, dan batu dulang. Kawasan ini memiliki potensi untuk secara resmi diakui sebagai Situs Warisan Dunia, namun pengguna masih menghadapi tantangan dalam mengidentifikasi dan memahami artefak megalitikum ini. Sebagai tanggapan atas masalah ini, penelitian ini telah menciptakan sistem atau aplikasi yang menggunakan algoritma CNN (Convolutional Neural Network) dengan platform Teachable Machine untuk meningkatkan kemampuan pengguna dalam mengidentifikasi objek megalitikum. Program ini akan menawarkan informasi yang lebih luas untuk setiap objek megalitikum, termasuk penggunaan yang dimaksudkan dan konteks sejarahnya. Temuan uji menunjukkan bahwa program ini memiliki kemampuan untuk mengidentifikasi objek megalitikum dengan tingkat akurasi hingga 98%. Selain itu, pengguna dapat dengan mudah mengakses informasi yang lebih komprehensif tentang artefak-artefak ini. Program ini memungkinkan pengguna untuk dengan mudah mengidentifikasi dan memahami objek megalitikum, sambil juga memberikan mereka informasi yang lebih mendalam tentang artefak-artefak tersebut.

ABSTRACT

The Lore Lindu National Park in Central Sulawesi, Indonesia, has a range of megalithic objects, including sculptures, kalambas, mortars, and stone basins. This region possesses the capacity to be officially recognized as a World Heritage Site, but users still have challenges in identifying and comprehending these megalithic artifacts. In response to this issue, the study has created a system or application that employs Convolutional Neural Network (CNN) algorithms and the Teachable Machine platform to enhance users' capacity to identify megalithic objects. This program will offer a more extensive range of information for each megalithic item, encompassing its intended use and historical context. The test findings indicate that this program has the capability to accurately identify megalithic items with a precision rate of up to 98%. Additionally, users may conveniently retrieve more comprehensive information on these artifacts. This program enables users to effortlessly identify and comprehend megalithic items, while also providing them with further comprehensive information on these artifacts.

I. PENDAHULUAN

MEGALIT merupakan batu besar yang dimanfaatkan untuk membuat monumen atau bangunan. Kata megalit adalah bahasa dari Yunani, yaitu (megas) diartikan sebagai besar, serta (lithos) diartikan sebagai batu. Peradaban megalitik merupakan produk budaya yang berasal dari periode Neolitikum dan dengan cepat berkembang selama Zaman Logam. Ada beberapa jenis artefak megalitik dapat ditemukan di Lore Lindu empat diantaranya adalah Arca, kalamba, Lumpang, dan batu Dulang yang berbentuk tidak beraturan[1].

Kawasan Taman Nasional Lore Lindu, yang meliputi Lembah Bada, Lembah Besoa, Lembah Napu, Danau Lindu, Gimpu, dan Kulawi, adalah rumah bagi sebagian besar peninggalan megalitik di Sulawesi Tengah. Kawasan ini berada di wilayah Kabupaten Donggala dan Kabupaten Poso. Area Taman Nasional Lore Lindu ditetapkan sebagai kawasan lindung untuk konservasi keanekaragaman hayati endemik dan pelestarian benda-benda warisan budaya[2].

Sesuai dengan peraturan yang diatur dalam Undang-Undang No. 11 Tahun 2010 tentang Cagar Budaya. Kawasan Megalitikum Lore Lindu harus diklasifikasikan sebagai Cagar Budaya Nasional agar dapat dipertimbangkan untuk status Warisan Dunia[3]. Salah satu faktor dalam usulan untuk menetapkan kawasan ini sebagai situs warisan budaya dunia adalah kemungkinan adanya harta karun budaya megalitik di daerah ini. Oleh karena itu, penting untuk memastikan apakah warisan budaya di daerah ini merupakan situs atau kawasan[4]. Situs dan benda megalitik diatur sesuai dengan persyaratan khusus dari area tempat mereka ditemukan. Situs megalitik yang berada di atas tanah dapat langsung dilihat dengan menganalisis bentuk dan fungsinya, kemudian menghubungkan titik-titik dengan pola penempatannya[5].

Arca, Kalamba, Lumpang dan Batu Dulang adalah batu-batu kuno dari era prasejarah (megalitik) yang terletak di kawasan lore lindu. Arca, juga dikenal sebagai patung, memiliki bentuk menyerupai manusia ataupun binatang, yang digunakan sebagai tempat untuk persembahan kepada roh/arwah leluhur. Kalamba mirip dengan kubangan air atau wadah air, yang digunakan untuk tempat pemakan ataupun wadah untuk air suci. Lumpang adalah struktur batu menyerupai wadah yang digunakan untuk menghaluskan biji bijian rempah. Sedangkan Dulang mempunyai bentuk seperti wadah yang dimanfaatkan untuk tempat meletakkan sesajian yang diberikan kepada roh/arwah nenek moyang mereka. Untuk menjaga karakteristik asli keempat batu tersebut, mereka dilestarikan, dirawat, dan dilindungi[6].

Masalah umum yang sering dihadapi pengguna saat mencoba mengidentifikasi objek megalitik adalah bahwa kebanyakan pengguna hanya mempelajari objek tersebut melalui buku atau referensi yang hanya menampilkan gambar dari berbagai jenis objek megalitik. Akibatnya, pembaca hanya dapat mengenali objek megalitik berdasarkan nama atau gambar dalam buku, tanpa mendapatkan detail tambahan seperti tujuan objek atau latar belakang sejarahnya. Masalah ini melahirkan gagasan untuk membuat sistem atau aplikasi yang menggunakan teknologi pembelajaran mesin untuk membantu dalam pengenalan artefak megalitik. Aplikasi ini akan menggunakan Algoritma CNN (Convolutional Neural Network) dengan Teachable Machine untuk meningkatkan pemahaman dan pengenalan objek megalitik serta memberikan informasi yang lebih komprehensif tentang setiap objek[7].

Penelitian ini memberikan kontribusi yang signifikan dalam dua aspek utama, yaitu pelestarian artefak megalitik dan pengembangan teknologi pembelajaran mesin di bidang arkeologi. Pertama, dari segi pelestarian, aplikasi yang dikembangkan akan memungkinkan identifikasi yang lebih mudah dan akurat terhadap artefak megalitik. Hal ini sangat penting dalam menjaga karakteristik asli dan makna historis dari artefak tersebut. Dengan teknologi ini, masyarakat umum, peneliti, dan pemerintah dapat lebih memahami dan melestarikan artefak megalitik, sehingga warisan budaya ini tetap terjaga untuk generasi mendatang.

Kedua, dari perspektif teknologi pembelajaran mesin, penelitian ini memperkenalkan penggunaan CNN dan Teachable Machine dalam konteks yang relatif baru, yaitu arkeologi. Penggunaan teknologi ini tidak hanya memungkinkan pengenalan objek secara otomatis, tetapi juga dapat diintegrasikan dengan data historis untuk memberikan informasi tambahan tentang fungsi dan latar belakang artefak tersebut. Dengan demikian, penelitian ini membantu memperluas penerapan teknologi pembelajaran mesin ke dalam bidang arkeologi, yang sebelumnya lebih banyak terfokus pada pengembangan di bidang lain seperti kesehatan atau transportasi. Penelitian ini dapat menjadi langkah awal dalam mengembangkan aplikasi serupa di masa depan, sehingga memperkuat kolaborasi antara teknologi dan pelestarian warisan budaya.

Salah satu area yang paling menarik dalam penglihatan komputer dan kecerdasan buatan (AI) saat ini adalah deteksi objek. Tujuan deteksi objek adalah mengidentifikasi item dalam gambar digital, yang bisa berupa warna atau bentuk objek, dan merupakan teknologi komputer yang terkait dengan penglihatan komputer dan pemrosesan gambar. Karena teknologi identifikasi objek ini berfungsi mirip dengan sistem visual manusia, ia dapat digunakan dalam berbagai konteks untuk membantu navigasi. Dimulai dengan deteksi, pendekatan deteksi objek akan diterapkan pada tampilan[8].

Metode dalam deep learning salah satunya adalah CNN yang merupakan turunan dari MLP (Multilayer Perceptron), bertujuan untuk menganalisis input data dua dimensi, seperti gambar atau suara. CNN menggunakan pendekatan pembelajaran terawasi (supervised learning) untuk mengkategorikan data yang sudah memiliki label. Pendekatan ini bertujuan untuk mengelompokkan data ke dalam kategori yang telah ditentukan sebelumnya dengan memanfaatkan data pelatihan dan variabel target.[9].

Umumnya, ada dua kategori lapisan dalam CNN. Lapisan ekstraksi fitur adalah lapisan pertama dalam arsitektur dan terdiri dari banyak lapisan, dengan masing-masing lapisan berisi neuron yang terhubung ke area tertentu dari

lapisan sebelumnya. Lapisan konvolusi adalah lapisan pertama, diikuti oleh lapisan pooling. Setiap lapisan menerapkan fungsi aktivasi yang bergantian antara kedua jenis ini. Gambar input diterima langsung oleh lapisan-lapisan ini, yang kemudian memprosesnya dan menghasilkan output dalam bentuk vektor. Vektor-vektor ini diproses lebih lanjut oleh lapisan-lapisan di atasnya. Lapisan kategorisasi terdiri dari banyak lapisan yang sepenuhnya terhubung dan mengandung neuron. Lapisan ini menambahkan beberapa lapisan tersembunyi (hidden layers) dan dimodifikasi mirip dengan jaringan saraf multilayer berdasarkan input yang diterimanya sebagai vektor dari output lapisan ekstraksi fitur gambar. Hasil akhirnya adalah akurasi klasifikasi kelas[9].

Google mengembangkan sebuah situs web bernama Teachable Machine yang membuat model pembelajaran mesin dapat diakses oleh semua pengguna dan dapat dibuat dengan cepat dan mudah. Tanpa perlu mengembangkan kode pembelajaran mesin, Teachable Machine mengajarkan komputer untuk mengenali gambar, postur, dan suara. Teachable Machine memanfaatkan strategi transfer learning di mana sebuah jaringan saraf telah dilatih sebelumnya[10].

Pendekatan machine learning yang disebut transfer learning memungkinkan sebuah model dilatih pada satu tugas dan kemudian diterapkan pada tugas lain. Ini adalah ide dasar yang mendasari sejumlah aplikasi machine learning terkenal, termasuk natural language processing (NLP), object detection, dan voice recognition. Transfer learning adalah proses di mana sebuah model yang telah belajar dari satu tugas menerapkan pengetahuannya pada tugas lain untuk memecahkan masalah. Misalnya, seseorang dapat menggunakan model yang dilatih untuk object detection dalam foto untuk mengenali emosi atau mengenali wajah dalam foto.[11].

II. METODOLOGI PENELITIAN

Untuk mencapai tujuan penelitian, tahap pembuatan penelitian membutuhkan kerangka kerja yang terdiri dari tahapan yang jelas. Kerangka kerja menunjukkan bagaimana masalah diselidiki untuk mencapai hasil yang diharapkan[12]. Tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



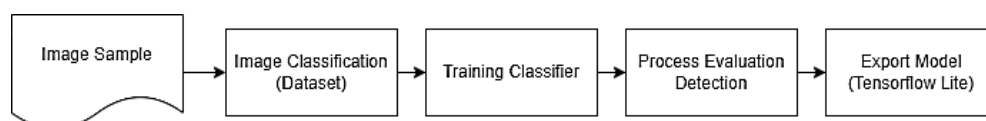
Gambar. 1. Alur Penelitian

A. Pengumpulan Data

Proses pengumpulan data adalah langkah awal penting pada keseluruhan penelitian ini, karena kualitas dataset akan menentukan keberhasilan tahapan-tahapan selanjutnya. Pengumpulan data secara langsung dari sumber yang relevan dilakukan untuk memastikan dataset yang digunakan representatif dan mencakup variasi yang cukup. Gambar yang menjadi dataset pada penelitian ini di ambil dari Museum Sulawesi Tengah dengan total 400 gambar yang terbagi menjadi 4 kategori yaitu Arca, Kalamba, Lumpang, dan Dulang. Persebaran data pada tiap kategori yaitu 100 gambar Arca, 100 gambar kalamba, dan 100 gambar lumpang, dan 100 gambar Dulang. Gambar diambil menggunakan kamera *smartphone* POCO X5 dengan resolusi HD dengan jarak pengambilan gambar 1 sampai dengan 2 meter dengan sudut pengambilan berbeda beda. Pengambilan gambar dilakukan dengan pengaturan cahaya yang di sesuaikan untuk memastikan data gambar yang diambil dengan baik.

B. Processing Data

Pada tahap ini, data dilatih untuk mengenali gambar megalitik[13]. Untuk menggunakan teachable machine, gambar harus diunggah ke dalam kelas gambar yang ada pada website teachable machine. Selanjutnya, Anda dapat memulai pelatihan dengan menekan tombol pelatihan pada mesin pembelajaran. Proses pelatihan akan berlangsung secara otomatis. Setelah pelatihan, akan mengenerate model dan dapat diubah menjadi berbagai bentuk yang ingin digunakan. Penelitian ini, model di generate menjadi Tensorflow Lite. dan akan dilakukan pengujian menemukan jenis megalitikum.[14]. Contoh alur tahapan pada teachable machine ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar. 2. Alur tahapan processing pada teachable machine

1) Pengumpulan Data

Data gambar artefak megalitik dikumpulkan dari berbagai sudut dan kondisi pencahayaan. Gambar-gambar ini kemudian diunggah ke Teachable Machine sebagai dataset[15].

2) Pelabelan Data

Setiap gambar diberi label sesuai dengan jenis artefak yang direpresentasikan. Pelabelan ini penting agar CNN dapat belajar untuk mengklasifikasikan gambar dengan benar berdasarkan fitur-fitur visualnya[15].

3) Proses Konvolusi

Dalam Teachable Machine, CNN memulai dengan proses konvolusi, di mana gambar input melewati beberapa lapisan filter (kernel) yang mengekstraksi fitur-fitur dasar seperti tepi, tekstur, dan pola[15].

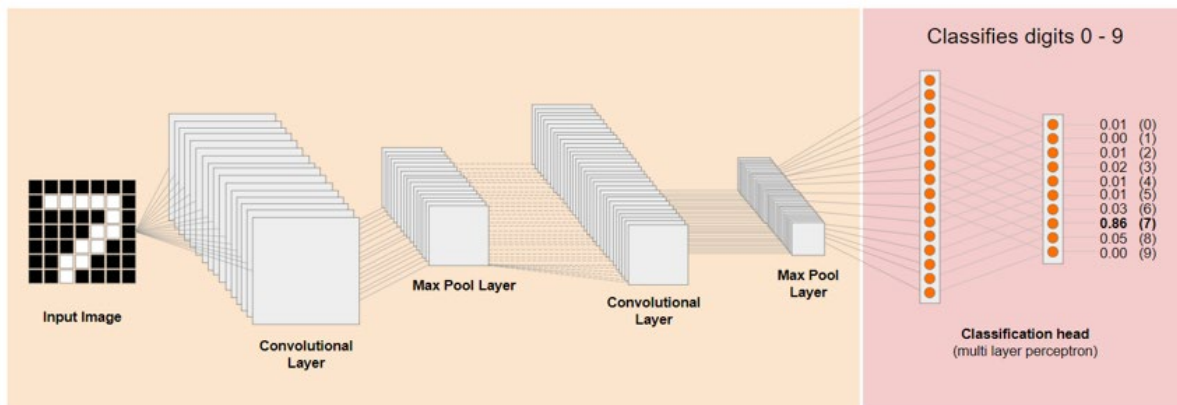
4) Pooling

Setelah konvolusi, lapisan pooling diterapkan untuk mengurangi dimensi gambar, mempertahankan fitur penting sambil mengurangi ukuran data. Ini membantu CNN untuk fokus pada fitur yang paling signifikan dan membuat model lebih efisien[15].

5) Klasifikasi

Hasil dari lapisan konvolusi dan pooling kemudian diproses oleh lapisan fully connected, yang mengklasifikasikan gambar berdasarkan fitur yang telah diekstraksi. Dalam konteks ini, model dilatih untuk mengenali dan membedakan antara berbagai jenis artefak megalitik[15].

CNN dalam Teachable Machine dilatih untuk mengenali fitur unik dari artefak megalitik, seperti bentuk geometris arca atau pola ukiran pada kalamba. Model ini belajar dari variasi kecil dalam fitur-fitur ini untuk meningkatkan akurasi dalam identifikasi. CNN yang digunakan dalam Teachable Machine memanfaatkan transfer learning, di mana model pretrained yang telah dilatih pada dataset besar diadaptasi untuk tugas spesifik ini. Hal ini memungkinkan model untuk cepat beradaptasi dengan tugas identifikasi artefak megalitik tanpa memerlukan dataset yang cukup besar. Proses training data, teachable machine menggunakan algoritma CNN dengan arsitektur tensorflow (transfer learning), Yang dapat di lihat pada Gambar 3.



Gambar. 3. Alur arsitektur CNN

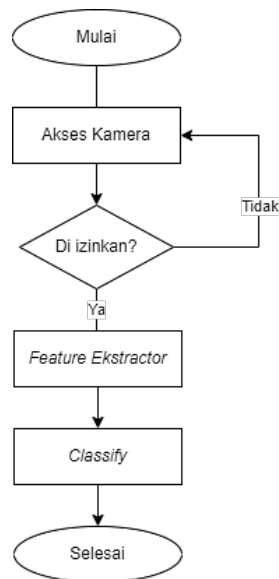
Gambar 3 di atas menunjukkan arsitektur CNN yang sedang dilatih untuk mengenali angka-angka tulisan tangan dari 0-9. Jika dapat memisahkan lapisan-lapisan tingkat rendah yang telah dilatih sebelumnya dari model yang ada, seperti yang ditunjukkan di sebelah kiri, dari lapisan klasifikasi yang berada di dekat bagian atas model, seperti yang ditunjukkan di sebelah kanan, maka lapisan-lapisan tingkat rendah tersebut dapat digunakan untuk menghasilkan fitur keluaran untuk gambar tertentu berdasarkan data asli yang digunakan dalam pelatihan model tersebut[16].

C. Perancangan Sistem

Perancangan adalah langkah penting dalam pengembangan setiap sistem, di mana proses ini berfokus pada pendefinisian apa yang akan dilakukan. Pendekatan ini menggunakan berbagai teknik, termasuk deskripsi arsitektur, rincian komponen, dan mempertimbangkan keterbatasan yang mungkin muncul selama proses pengembangan[17]. Untuk tahap perancangan ini peneliti membuat desain antar muka berdasarkan analisa permasalahan, dengan tujuan memberikan kemudahan dan menyederhanakan proses. Perancangan dijelaskan melalui flowchart sistem[13].

1) Flow chart Sistem

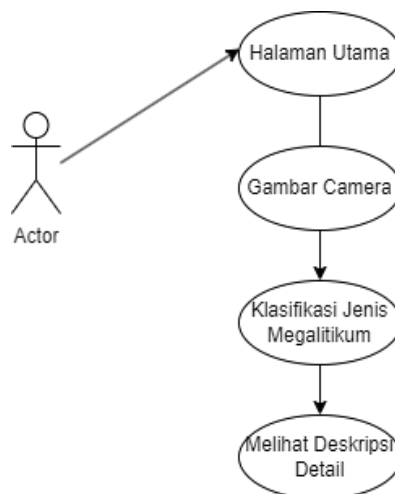
Flowchart adalah diagram yang menggambarkan sebuah sistem atau proses dengan menampilkan tahapan atau urutan operasi yang diperlukan untuk mencapai tujuan tertentu. Berbagai simbol dan panah digunakan dalam flowchart untuk menggambarkan aliran proses dengan sederhana dan jelas, yang memudahkan analisis dan pengembangan.[18]. Flowchart sistem ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar. 4. Flowchart Sistem

2) Use Case Diagram

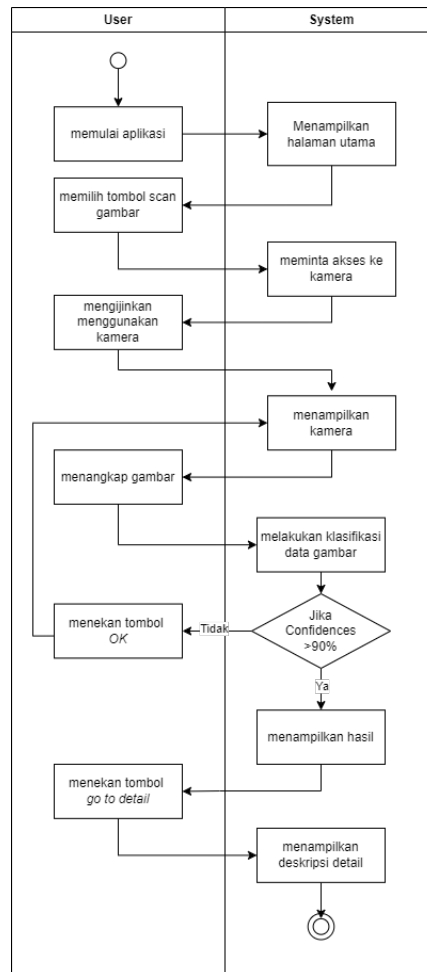
UML (Unified Modeling Language) merupakan metode penggambaran diagram yang merepresentasikan interaksi antara pengguna sebagai aktor dan sistem untuk mencapai tujuan tertentu yang dikenal sebagai use case. Diagram ini menunjukkan fungsionalitas sistem dari sudut pandang pengguna dan menggambarkan berbagai kasus penggunaan (use case) yang merepresentasikan tindakan atau layanan yang disediakan oleh sistem [19]. Seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar. 5. Use Case Diagram Sistem

3) Activity Diagram

Activity diagram merupakan bagan yang menggambarkan alur fungsional sistem atau aktivitas dalam sistem. Pada diagram ini menunjukkan urutan langkah-langkah atau tindakan yang dilakukan oleh sistem, serta bagaimana aliran aktivitas tersebut terjadi. Activity diagram membantu dalam memahami proses bisnis atau sistem, memvisualisasikan aliran kerja, dan mengidentifikasi titik-titik penting dalam alur proses [20]. Activity diagram sistem dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar. 6. Activity Diagram Sistem

4) Implementasi dan pengujian

Implementasi adalah tahapan untuk sistem yang telah dirancang akan diterapkan. Langkah awal melibatkan proses mengunggah gambar untuk setiap kelas pada platform Teachable Machine, kemudian melakukan pelatihan data dan mengeksport model menjadi TensorFlow Lite.[21] Selanjutnya, Untuk implementasinya digunakan IDE Android Studio. Desain antarmuka pengguna akan ditulis menggunakan bahasa XML, sedangkan algoritmanya akan diimplementasikan menggunakan bahasa Kotlin[22]. Tampilan design aplikasi dapat di lihat pada Gambar 6.

Pengujian mengevaluasi kinerja sistem dalam berbagai kondisi, seperti perubahan pencahayaan dan sudut pengambilan gambar, dan membantu menemukan dan mengatasi kesalahan yang mungkin terjadi. Ini memastikan bahwa aplikasi deteksi megalit beroperasi secara optimal dan dapat diandalkan dalam pengenalan objek[23]. Pada tahap pengujian penulis membagi tiga kriteria pengujian diantaranya Pengujian Keakuratan Model pada Teachable Machine, Pengujian Akurasi Model Berdasarkan Kualitas Kamera Handphone dan Pengujian terhadap fungsional sistem secara keseluruhan menggunakan metode blackbox.

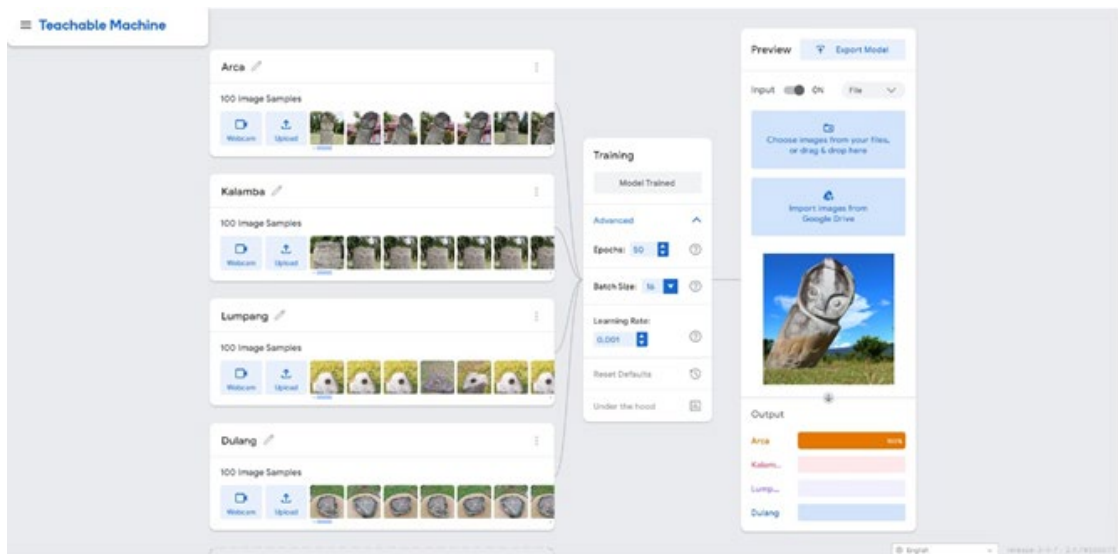
Pengujian model pada Teachable Machine dilakukan melalui platform web Teachable Machine dengan cara mengunggah gambar yang mewakili kategori atau kelas yang ingin diidentifikasi. Sementara itu, pengujian akurasi untuk model yang telah dikonversi menjadi TensorFlow Lite dilakukan dengan menggunakan gambar yang diambil langsung oleh kamera handphone. Untuk menghitung perbandingan akurasi dari Pengujian Model pada Teachable Machine dan Pengujian Model berdasarkan kualitas kamera handphone menggunakan rumus perhitungan pada persamaan (1) dan persamaan (2).

$$\text{Selisih Akurasi} = \text{akurasi teachable machine} - \text{akurasi kamera handphone} \quad (1)$$

$$\text{Rasio Akurasi} = \frac{\text{Akurasi Kamera Handphone}}{\text{Akurasi Teachable Machine}} \times 100 \quad (2)$$

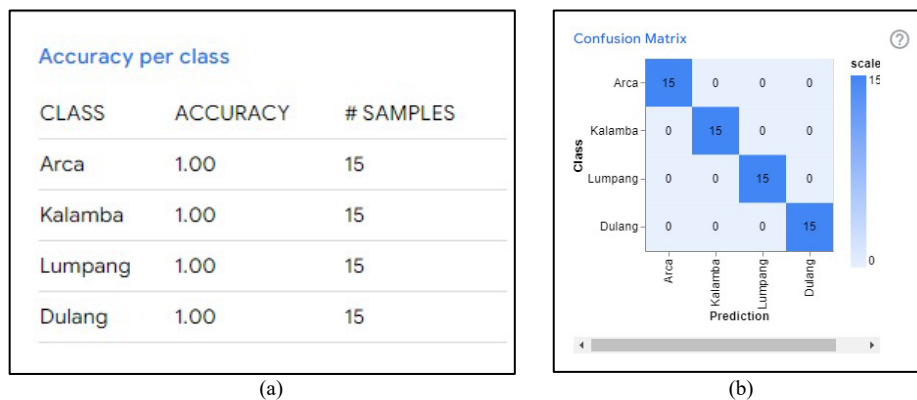
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam proses perancangan sistem deteksi pada android, langkah pertama yang akan dilakukan adalah memasukkan data informasi berupa foto/gambar objek 100 per kelas ke dalam layanan Teachable Machine untuk melatih data sampel terlebih dahulu, yang nantinya akan diolah dan dikenali menggunakan Convolutional Neural Network.



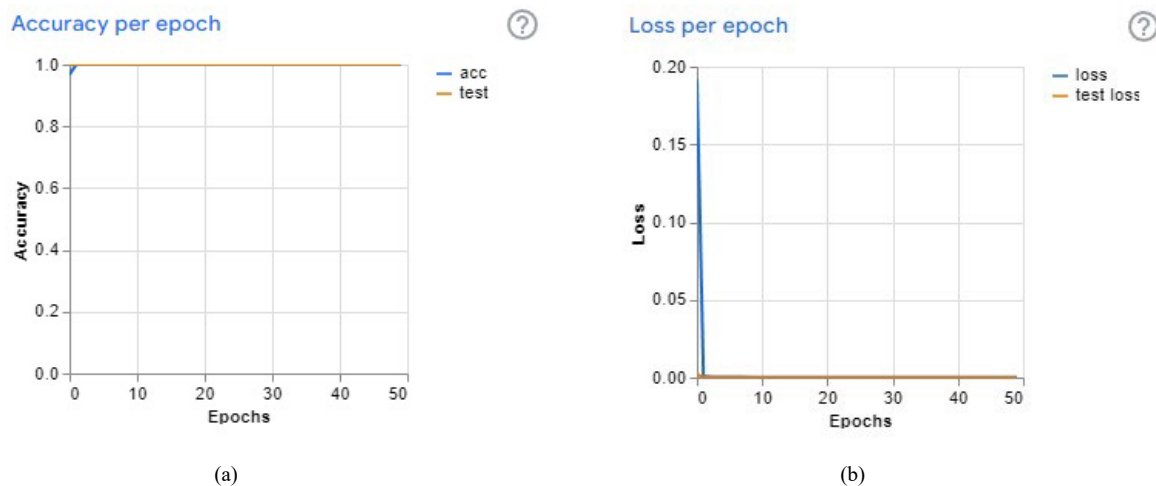
Gambar. 7. Input data sampel dan testing (simulasi)

Berdasarkan gambar 7 peneliti melakukan uji data sampel pada 4 kelas yang di bagi ke masing masing jenis. Setelah data sampel wajah diambil, langkah berikutnya adalah melatih data tersebut menggunakan pengaturan default, termasuk Epoch: 50. Semakin tinggi nilai epoch, semakin baik data sampel akan diuji sebanyak 50 kali. Ukuran Batch: 16, batch adalah sekumpulan sampel yang digunakan dalam satu sesi pelatihan. Misalnya, jika dalam studi kasus digunakan data sampel sebanyak 100 gambar per kelas dan memilih Ukuran Batch 16, maka akan dibagi $100/16 = 6,25$ batch. Setelah semua 6,25 batch melalui model, tepat 6,25 epoch akan diselesaikan (16 adalah angka ideal sehingga disarankan untuk tidak mengubahnya (default) dan Learning Rate: 0,0001 (default). Kemudian hasilnya akan terlihat di kanan atas untuk dilakukan pengujian terlebih dahulu sebelum diekspor ke file Tensorflow lite yang akan digunakan di sistem androis yang akan dirancang untuk mendeteksi objek megalitikum.



Gambar. 8. (a). Akurasi per class (b). Confusion Matrix

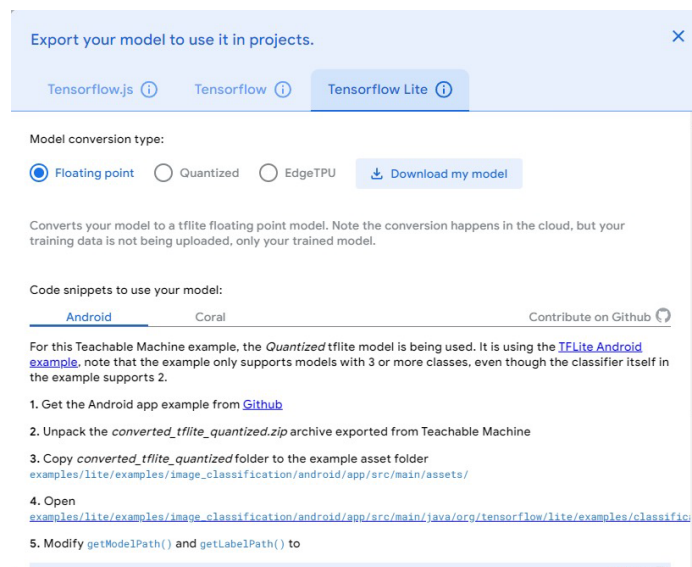
Gambar 8 menunjukkan, setelah melakukan pengujian data sampel pelatihan dari semua kelas, akan dihasilkan nilai akurasi per kelas dan Confusion matrix di mana matriks ini akan membagi setiap sampel kelas ke dalam setiap kolom matriks. Sejauh ini, matriks telah menempatkan setiap sampel foto atau data kelas di setiap kolom matriks dengan benar tanpa ada kesalahan atau kebingungan. Pada Gambar 8(b), di mana sumbu Y adalah sumbu kelas yang dibuat (foto kelas/sampel objek megalit), sedangkan sumbu X adalah prediksi yang mewakili kelas untuk menembak model sampel. Jika cocok dengan nama kelas pada sumbu Y, maka prediksi tersebut benar. Kemudian, sumbu Y dan X dari kolom matriks harus sesuai dan sejajar agar hasilnya benar.



Gambar. 9. (a). Akurasi per epoch (b). loss per epoch

Pada Gambar 7, bagian (a) menunjukkan tingkat akurasi per epoch yang diperoleh oleh model selama sesi pelatihan data sampel. Misalnya, jika model mengklasifikasikan 90 sampel dengan benar dari 100, maka akurasinya adalah $90/100 = 0.9$. Jika prediksinya akurat, nilainya adalah satu (1), tetapi jika tidak, nilainya berada di bawah satu (<1). Berdasarkan hasil uji yang dilakukan pada masing-masing kelas, nilai akurasinya adalah 1. Kemudian pada bagian (b) dari gambar tersebut adalah Loss per epoch (kesalahan), di mana jika nilai prediksi sempurna (akurat), maka nilainya akan menjadi 0. Sebaliknya, jika prediksi tidak akurat, maka nilainya > 0 . Dari hasil pengujian yang telah dilakukan pada 4 kelas yang digunakan, nilai Loss per epoch berada di kisaran 0.2 - 0 dalam penelitian ini.

Setelah semua data dalam kelas dilatih, langkah selanjutnya adalah mengeksport data tersebut. Dalam penelitian ini, penulis akan menggunakan file TensorFlow Lite sebagai format data. Layanan Teachable Machine memungkinkan ekspor model dalam bentuk TensorFlow Lite, yang telah disiapkan dengan kode sumber yang terintegrasi dengan machine learning yang menggunakan pendekatan CNN. TensorFlow Lite dirancang untuk dioperasikan pada perangkat dengan sumber dayanya terbatas, seperti ponsel dan sistem embedded, memastikan model dapat berjalan dengan efisien di berbagai platform dengan keterbatasan sumber daya.

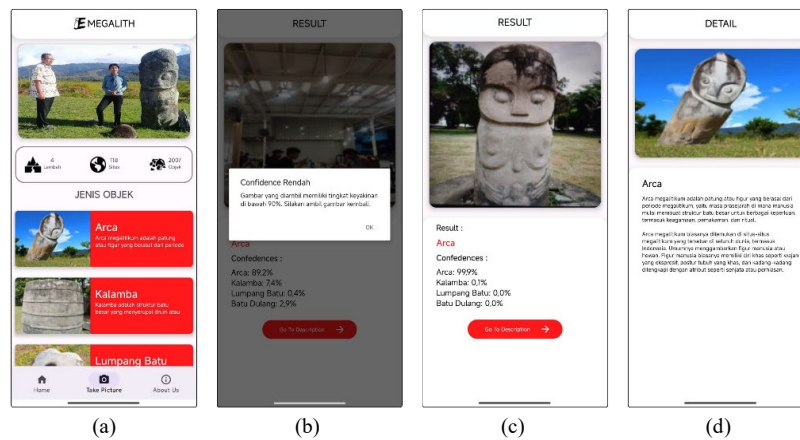


Gambar. 9. Ekport model dan unduh file Tensorflow Lite pada Teachable Machine

Gambar 9 menunjukkan tampilan skrip dari TensorFlow Lite yang memungkinkan pengembang untuk mengimplementasikan model machine learning tanpa memerlukan pengetahuan mendalam tentang kode. Dengan TensorFlow Lite, pengembang dapat menjalankan model yang telah dilatih dengan performa optimal di berbagai perangkat dengan keterbatasan sumber daya.

A. Implementasi Sistem

Pengimplementasian sistem yang dilakukan peneliti berdasarkan analisis kebutuhan yang sudah dirancang dalam metode penelitian, desain antarmuka pengguna sistem dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar. 6. (a). Tampilan Utama (b). Tampilan Akurasi Rendah (c). Tampilan Hasil (d). Tampilan Detail

B. Pengujian Sistem

Terdapat tiga langkah utama yang dilakukan untuk memastikan sistem berfungsi secara optimal dan memenuhi kebutuhan yang diharapkan. Proses pengujian ini melibatkan: pengujian akurasi model pada Teachable Machine, pengujian akurasi model berdasarkan kualitas kamera ponsel, dan pengujian keseluruhan fungsionalitas sistem.

1) Pengujian Keakuratan Model pada Teachable Machine

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi seberapa akurat model yang dilatih menggunakan Teachable Machine dalam mengklasifikasikan gambar. Dataset yang peneliti gunakan sebanyak 100 sample data yang terdiri dari 90 data latih dan 10 data uji. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 1.

TABEL I
PENGUJIAN AKURASI MODEL PADA TEACHABLE MACHINE

Jenis Objek	Data Sampel	Data Uji	Akurasi
Arca	100	10	100%
Kalamba	100	10	100%
Lumpang	100	10	100%
Dulang	100	10	100%
Rata -Rata			100%

Hasil ini menunjukkan bahwa model dapat mengenali semua gambar pada data pelatihan dengan sempurna. Namun, akurasi tinggi pada data pelatihan saja tidak cukup untuk menilai kinerja model secara keseluruhan, karena model perlu diuji dengan data baru untuk mengevaluasi kemampuannya dalam generalisasi.

2) Pengujian Akurasi Model Berdasarkan Kualitas Kamera Handphone

Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi bagaimana kualitas kamera handphone mempengaruhi akurasi model dalam mendeteksi objek. Pengujian ini peneliti melakukan selisih akurasi antara Akurasi model pada Teachable Machine dan Akurasi Model berdasarkan kualitas kamera handphone. Data akurasi pengujian berdasarkan kualitas kamera dapat dilihat pada Tabel II.

TABEL II
PENGUJIAN AKURASI MODEL BERDASARKAN KAMERA HANDPHONE

Jenis Objek	Data Sampel	Data Uji	Akurasi
Arca	100	10	99%
Kalamba	100	10	98,2%
Lumpang	100	10	97,9%
Dulang	100	10	97,5%
Rata -Rata			98%

Berdasarkan Tabel I dan Tabel II menunjukkan perbedaan nilai akurasi pada masing masing pengujian, Selanjutnya mengetahui perbandingan dan rasio akurasi pada model yang telah di buat. Berikut perhitungan selisih akurasi dan rasio akurasi pada model:

$$\begin{aligned} \text{Rasio Akurasi} &= \frac{\text{Akurasi Kamera Handphone}}{\text{Akurasi Teachable Machine}} \times 100 \\ &= \frac{98\%}{100\%} \times 100 \end{aligned}$$

$$\text{Rasio Akurasi} = 98\%$$

$$\begin{aligned} \text{Selisih Akurasi} &= \text{teachable machine} - \text{kamera handphone} \\ &= 100\% - 98\% \end{aligned}$$

$$\text{Selisih Akurasi} = 2\%$$

Dari hasil yang di dapatkan dengan akurasi sedikit lebih rendah dibandingkan dengan data pelatihan, hal ini menunjukkan model masih mempunyai performa yang baik pada kondisi dunia nyata. Penurunan akurasi sebesar 2% bisa disebabkan oleh faktor-faktor seperti variasi pencahayaan, kualitas gambar, atau sudut pengambilan gambar yang berbeda. Selisih akurasi menunjukkan perbedaan kecil antara akurasi di Teachable Machine dan kamera handphone. Rasio akurasi sebesar 98% menunjukkan bahwa model hampir sama baiknya dalam kondisi dunia nyata seperti halnya pada data pelatihan. Hal ini mengindikasikan bahwa model memiliki kinerja yang baik dan dapat diandalkan untuk mendeteksi objek megalitikum menggunakan kamera ponsel.

3) Pengujian Fungsional sistem

Pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa setiap komponen dan fitur dalam sistem berfungsi sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Pengujian ini menggunakan metode blackbox testing. Hasil pengujian fungsional sistem dapat dilihat pada Table I.

TABEL III
PENGUJIAN FUNSIONAL SISTEM

Skenario Pengujian	Langkah Pengujian	Hasil yang diharapkan	Status
Akses Kamera	Buka aplikasi, Izinkan akses kamera jika diminta.	Aplikasi meminta izin akses kamera dengan benar	Sesuai
Buka Kamera	Buka aplikasi, Klik tombol untuk membuka kamera.	Kamera terbuka dan siap untuk mengambil gambar	Sesuai
Pengambilan Gambar	Buka aplikasi, Ambil gambar menggunakan kamera aplikasi.	Gambar diambil dan disimpan dengan benar	Sesuai
Deteksi Gambar	Buka aplikasi, Setelah gambar diambil, aplikasi melakukan deteksi gambar.	Jika akurasi di bawah 90%, pengguna diarahkan untuk mengambil gambar kembali	Sesuai
Halaman Hasil	Setelah deteksi selesai, pindah ke halaman Hasil	Halaman Hasil menampilkan hasil deteksi objek dengan benar	Sesuai
Detail Deskripsi Objek	Buka halaman Hasil, Klik tombol "Detail", dan Periksa deskripsi objek yang ditampilkan	Deskripsi objek yang terdeteksi ditampilkan dengan benar	Sesuai
Pengujian Fungsi Navigasi	Buka aplikasi, Klik tombol "Info", kembali ke Halaman utama	Navigasi antara halaman utama, Info, dan detail berfungsi dengan baik	Sesuai
Pengujian Responsifitas aplikasi	Lakukan beberapa deteksi objek secara berulang	Aplikasi tetap responsif dan tidak mengalami penurunan kinerja	Sesuai

Dari hasil yang diperoleh, penelitian ini menunjukkan bahwa model yang dikembangkan memiliki sejumlah keunggulan dibandingkan dengan model yang digunakan dalam penelitian serupa yang dilakukan oleh [24]. Diantaranya adalah nilai akurasi hasil pelatihan model yang lebih tinggi sebesar 100% di Teachable Machine dan 98% pada pengujian di dunia nyata dengan kamera ponsel. Selisih akurasi hanya sebesar 2%, dibandingkan penelitian sayuran yang menunjukkan penurunan akurasi lebih besar setelah deployment ke Android, dengan akurasi berkisar

antara 53% hingga 82%. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan 400 sampel data uji, jauh lebih sedikit dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang hanya menggunakan 3000 sampel data uji. Hal ini menunjukkan bahwa model yang dikembangkan melalui platform teachable machine dalam penelitian ini memiliki performa yang lebih baik, serta dapat diaplikasikan pada dataset yang lebih besar dengan hasil yang konsisten. Kelemahan penelitian ini dibandingkan dengan penelitian sebelumnya terletak pada jumlah kelas objek klasifikasi yang lebih sedikit.

Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa aplikasi pendeteksi objek megalitik berbasis Android yang dikembangkan memiliki akurasi yang sangat tinggi dan mampu beroperasi dengan baik dalam berbagai kondisi di lapangan. Implikasi praktisnya, aplikasi ini dapat digunakan sebagai alat bantu yang efektif untuk para arkeolog dan peneliti dalam mengidentifikasi dan melestarikan artefak megalitik dengan lebih akurat. Penurunan kinerja yang minimal saat digunakan di lapangan juga menunjukkan potensi aplikasi ini untuk digunakan secara luas, meskipun masih diperlukan pengujian lebih lanjut dan peningkatan pada variasi data untuk memastikan akurasi tetap konsisten di berbagai kondisi. Langkah-langkah berikutnya termasuk memperluas dataset, menguji aplikasi di lebih banyak lokasi, dan menambahkan fitur-fitur baru untuk mendukung deteksi dan analisis yang lebih komprehensif.

IV. KESIMPULAN

Dengan menggunakan model yang dilatih di Teachable Machine dan diekspor sebagai TensorFlow Lite, penelitian ini berhasil membangun aplikasi identifikasi objek megalitikum berbasis Android. Dengan selisih akurasi sebesar 2% dan rasio akurasi 98%, aplikasi menunjukkan akurasi 100% di Teachable Machine dan 98% pada foto yang diambil dengan kamera ponsel. Ini menunjukkan bahwa penurunan kinerja dalam skenario dunia nyata akan kecil dan dapat diterima. Semua fungsi, termasuk pengambilan gambar, identifikasi objek, izin akses kamera, dan navigasi halaman, diuji dalam lingkungan blackbox untuk menjamin operasi yang benar. Program ini menangani berbagai situasi pencahayaan dan sudut, dan tetap responsif bahkan ketika dihadapkan dengan input yang salah. Berdasarkan temuan ini, program ini dapat diandalkan dan cocok untuk digunakan di dunia nyata untuk pengenalan objek megalitikum, memberikan kontribusi yang signifikan dalam pelestarian dan pengenalan objek-objek megalitikum.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. M. Soro *et al.*, "Identifikasi Batuan Megalit Terpendam Menggunakan Metode Geomagnet di Situs Megalitik Tadulako Kecamatan Lore Tengah Kabupaten Poso Identification of Undersurface Megalite Rock Using Geomagnet Method in Megalitic Site of Tadulako in Central Lore District Poso Regency," *Natural Science: Journal of Science and Technology ISSN*, vol. 8, no. 1, pp. 8–19, 2019.
- [2] S. Srifridayanti, "Model Kebijakan Pengelolaan dan Pemanfaatan Cagar Budaya Sebagai Potensi Wisata Di Sulawesi Tengah," *PARADIGMA : Jurnal Administrasi Publik*, vol. 3, no. 1, pp. 73–83, Mar. 2024, doi: 10.55100/paradigma.v3i1.65.
- [3] B. P. Perancang *et al.*, "Efektifitas Pelestarian Cagar Budaya Dalam ... (Bagus Prasetyo) EFEKTIFITAS PELESTARIAN CAGAR BUDAYA DALAM UNDANG-UNDANG NOMOR 11 TAHUN 2010 TENTANG CAGAR BUDAYA." [Online]. Available: <https://kebudayaan.kemdikbud>.
- [4] BALAI PELESTARIAN CAGAR BUDAYA GORONTALO, "K A J I A N D E L I N E A S I," 2018.
- [5] A. Irawati, S. Supriyadi, and N. Priyanti, "Eksplorasi Artefak Zaman Megalitikum Berdasarkan Citra Bawah Permukaan Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas di Dusun Kendal Desa Kamal Kec.Arjasa Kab. Jember," *Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat*, vol. 17, no. 1, p. 44, Feb. 2020, doi: 10.20527/flux.v17i1.6595.
- [6] G. Ajeng Hamindhani, D. Junita Koesoemawati, D. Quinta Revana, M. Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota, and P. Daya Tarik Wisata Megalitikum Melalui Konservasi dan Preservasi Situs Duplang Berbasis Masyarakat di Kabupaten Jember, "Increasing Megalithic Tourist Attractions Through Community-Based Conservation and Preservation of Duplang Sites in Jember Regency", [Online]. Available: <https://jurnal.unej.ac.id/index.php/MATRAPOLIS/index>
- [7] Y. Pratama, U. Lestari, and A. Hamzah, "PEMANFAATAN APLIKASI TEACHABLE MACHINE UNTUK PENGENALAN BINATANG MENGGUNAKAN KONSEP CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK (CNN)," vol. 10, no. 1, 2022.
- [8] M. Kualitas Dari Biji Kopi Berbasis Android Fadli Kamil, "Pengolahan Citra Digital Menggunakan Metode Yolo Untuk," 2023. [Online]. Available: <https://jurnalmahasiswa.com/index.php/aidanspk>
- [9] S. Ilahiyah and A. Nilogiri, "Implementasi Deep Learning Pada Identifikasi Jenis Tumbuhan Berdasarkan Citra Daun Menggunakan Convolutional Neural Network".
- [10] Google, "teachable machine." Accessed: Aug. 02, 2024. [Online]. Available: <https://teachablemachine.withgoogle.com/>
- [11] "Mengenal Transfer Learning di Tipe Machine Learning," Google. Accessed: Aug. 02, 2024. [Online]. Available: <https://dqlab.id/mengenal-transfer-learning-di-tipe-machine-learning>
- [12] R. A. Tilasefana and R. E. Putra, "Penerapan Metode Deep Learning Menggunakan Algoritma CNN Dengan Arsitektur VGG NET Untuk Pengenalan Cuaca," *Journal of Informatics and Computer Science*, vol. 05, 2023.
- [13] M. Bagus Baihaqi, Y. Litanianda, and A. Triyanto, "url : <http://studentjournal.umpo.ac.id/index.php/komputek> IMPLEMENTASI TENSOR FLOW LITE PADA TEACHABLE UNTUK IDENTIFIKASI TANAMAN AGLONEMA BERBASIS ANDROID," 2022. [Online]. Available: <http://studentjournal.umpo.ac.id/index.php/komputek>
- [14] D. Immanuel Salintohe, I. Alwiah Musdar, T. Informatika, and S. Kharisma Makassar, "IMPLEMENTASI MACHINE LEARNING UNTUK MENGIDENTIFIKASI TANAMAN HIAS PADA APLIKASI TIERRA," *JTRISTE*, vol. 9, no. 1, pp. 1–15, 2022.
- [15] T. A. Bowo, H. Syaputra, and M. Akbar, "Penerapan Algoritma Convolutional Neural Network Untuk Klasifikasi Motif Citra Batik Solo," 2020. [Online]. Available: <https://journal-computing.org/index.php/journal-sea/index>

- [16] E. A. U. Malahina, R. P. Hadjon, and F. Y. Bisilisin, "Teachable Machine: Real-Time Attendance of Students Based on Open Source System," *The IJICS (International Journal of Informatics and Computer Science)*, vol. 6, no. 3, p. 140, Nov. 2022, doi: 10.30865/ijics.v6i3.4928.
- [17] Purwanto and Sumardi, "Perancangan Klasifikasi Tanaman Herbal Menggunakan Transfer Learning pada Algoritma Convolutional Neural Network (CNN)," *JURNAL INFOKAM*, vol. 18, no. 2, pp. 1–17, 2022.
- [18] "Analisis Sistem Informasi Akuntansi Siklus Pendapatan Menggunakan DFD Dan Flowchart Pada Bisnis Porobico."
- [19] I. Rahmawati and D. P. Sari, "APLIKASI BERBASIS ANDROID MENGGUNAKAN FLUTTER FRAMEWORK UNTUK KEPERLUAN PERIZINAN TUGAS KELUAR PADA PT. XYZ," *JUPI (Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Informatika)*, vol. 9, no. 2, pp. 979–993, May 2024, doi: 10.29100/jupi.v9i2.5489.
- [20] N. Kristanto and F. Masya, "Analisa Dan Perancangan Sistem Informasi E-Booking Property Berbasis Android," 2020. [Online]. Available: <https://jurnal.ikhafi.or.id/index.php/jusibi/540>
- [21] R. Andriani *et al.*, "Penggunaan Algoritma CNN untuk Mengidentifikasi Jenis Anjing Menggunakan Metode Supervised Learning," *Jurnal Penelitian dan Karya Ilmiah*, vol. 1, no. 6, pp. 393–403, 2023, doi: 10.59059/mutiara.v1i6.741.
- [22] F. Setyo Efendi, L. Fanani, and A. Afif Supianto, "Rancang Bangun Aplikasi Pendukung untuk Observasi Kelas berbasis Mobile," 2020. [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- [23] A. Farid, L. Ardiantoro, and Y. Diah Rosita, "IMPLEMENTASI TEACHABLE MACHINE PADA APLIKASI ABSENSI SISWA," *APPLIED SCIENCE, ENGINEERING, AND TECHNOLOGY*, vol. 2, no. 1, 2023.
- [24] R. S. Budiawan and B. Hartono, "Pengembangan Sistem Pendeteksi Jenis Sayuran dengan Metode CNN Berbasis Android," *Jurnal Informatika dan Rekayasa Perangkat Lunak*, vol. 5, no. 1, p. 62, Mar. 2023, doi: 10.36499/jinrpl.v5i1.7833.