

Implementasi CNN dan MediaPipe dalam Peningkatan Efektivitas Stretching pada Olahraga Futsal

Implementation of CNN and MediaPipe in Increasing the Effectiveness of Stretching in Futsal Sports

Vito Jericho¹ , Theresia Herlina Rochadiani^{2*} 

^{1,2}Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Pradita, Indonesia

¹vito.jericho@student.pradita.ac.id, ²theresia.herlina@pradita.ac.id

*Penulis Korespondensi

Artikel Info

Riwayat Artikel:

Penyerahan Juni 10, 2024

Revisi Januari 8, 2025

Diterima Februari 19, 2025

Diterbitkan Februari 23, 2025

Kata Kunci:

Jaringan Syaraf Tiruan

Konvolusional

Futsal

Pemanfaatan Lahan

MediaPipe

Peregangan

Keywords:

Convolutional Neural Network

Futsal

Land Use

MediaPipe

Stretching



ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model *Convolutional Neural Network (CNN)* yang efektif dalam mengenali gerakan *stretching* yang sering dilakukan oleh pemain futsal, dengan tujuan untuk mengurangi risiko cedera. **Dataset yang digunakan terdiri dari 3000 gambar** yang mencakup lima jenis gerakan: *High Knees*, *Jumping Jacks*, *Lunge*, *Side Lunge*, dan *Butt Kicks*. Data diambil dari video YouTube dan diproses untuk menghasilkan *landmark* melalui teknologi *MediaPipe*. **Model CNN** dilatih dengan menggunakan *optimizer "Adam"*, dengan *epochs* sebanyak 50, *batch size* 8, dan *learning rate* 0.001. **Hasil pelatihan** menunjukkan akurasi sebesar 94%, dengan performa terbaik pada gerakan *Lunge* dan *Jumping Jack*, serta performa yang memadai pada gerakan lainnya. Implementasi model ini memungkinkan pemantauan gerakan *stretching* secara *real-time*, memberikan umpan balik langsung kepada pengguna, dan membantu pemain futsal dalam melakukan *stretching* dengan teknik yang tepat untuk menghindari cedera. **Penelitian ini** menunjukkan bahwa pendekatan berbasis *CNN* untuk pengenalan gerakan *stretching* dalam olahraga futsal efektif dan dapat diandalkan. Penelitian selanjutnya disarankan untuk meningkatkan jumlah data pelatihan dan mengeksplorasi arsitektur model yang berbeda untuk memperkuat generalisasi model.

Ini adalah artikel akses terbuka di bawah [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) license.



ABSTRACT

This study aims to develop an effective *Convolutional Neural Network (CNN)* model in recognizing stretching movements that are often performed by futsal players, with the aim of reducing the risk of injury. **The dataset used consists of 3000 images** covering five types of movements: *High Knees*, *Jumping Jacks*, *Lunge*, *Side Lunge*, and *Butt Kicks*. The data was taken from YouTube videos and processed to produce landmarks through *MediaPipe* technology. **The CNN model** was trained using the *"Adam"* optimizer, with 50 epochs, a batch size of 8, and a learning rate of 0.001. **The training results** showed an accuracy of 94%, with the best performance on the *Lunge* and *Jumping Jack* movements, and adequate performance on other movements. The implementation of this model allows *real-time* monitoring of stretching movements, provides direct feedback to users, and helps futsal players in stretching with the right technique to avoid injury.

This study shows that the CNN-based approach for stretching motion recognition in futsal is effective and reliable. Further research is suggested to increase the amount of training data and explore different model architectures to strengthen the model's generalization.

Ini adalah artikel akses terbuka di bawah [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) license.



DOI: <https://doi.org/10.33050/tmj.v9i3.2294>

Ini adalah artikel akses terbuka di bawah CC-BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

©Penulis memegang semua hak cipta

1. PENDAHULUAN

Olahraga merupakan salah satu aspek terpenting untuk meningkatkan kebugaran fisik manusia. Hasil aktivitas olahraga atau latihan fisik seseorang dapat berfluktuasi tergantung pada jadwal dan konsistensi latihan yang dijalani. Semakin sering dan teratur seseorang berlatih, maka tingkat produktivitas dan kebugaran tubuhnya akan meningkat secara signifikan [1]. Olahraga membantu dalam meningkatkan kekuatan fisik, daya tahan tubuh, kepadatan mineral tulang, dan kebugaran *neuromuskuloskeletal* [2]. Selain untuk meningkatkan kekuatan fisik, olahraga juga digunakan untuk pembentukan jiwa sportif [3, 4].

Futsal merupakan kegiatan olahraga yang terdiri dari dua tim dan masing-masing tim beranggotakan lima pemain. Tujuan utama dalam olahraga futsal adalah mencetak gol ke gawang lawan serta melindungi gawang sendiri agar lawan tidak mencetak gol [5]. Asal kata futsal sendiri dari Bahasa Spanyol yaitu "Futbol" yang artinya adalah sepak bola dan kata "Sala" yang artinya adalah ruangan. Jika digabungkan, kata futsal artinya adalah sepak bola yang dilakukan dalam ruangan [6]. Olahraga futsal tidak hanya meningkatkan kebugaran, tetapi juga meningkatkan kecepatan berfikir, kelincahan, koordinasi, dan lain-lain.

Akan tetapi sebelum melakukan olahraga disarankan untuk melakukan kegiatan *stretching* terlebih dahulu. Banyak orang yang masih meremehkan kegiatan *stretching* dalam berolahraga. Oleh karena itu, olahraga dapat menimbulkan kerusakan pada otot yang dapat dibuktikan dengan rasa nyeri dan pembengkakan pada permukaan otot. Nyeri otot disebabkan oleh rangsangan yang terjadi pada jaringan otot, kapiler darah, serta tendon otot yang cedera [7, 8]. Maka dari itu diperlukan kegiatan *stretching* sebelum memulai kegiatan olahraga.

Terdapat dua jenis *stretching*, yaitu *dynamic stretching* dan *static stretching*. Dua jenis peregangan ini adalah modal umum yang digunakan sebelum dilakukannya olahraga. *Static stretching* ditandai dengan gerakan yang statis dengan menahan selama lebih dari 10 detik. Sedangkan *dynamic stretching* adalah gerakan otot yang berirama dan berulang tanpa menahan regangan [9]. Gerakan *dynamic stretching* lebih ditujukan untuk fleksibilitas dinamis, sedangkan gerakan *static stretching* lebih ditujukan untuk fleksibilitas statis [10]. *Static stretching* melibatkan gerakan otot yang perlahan hingga otot terasa tegang, sedangkan *dynamic stretching* terdiri dari gerakan ritmis tanpa menahan posisi peregangan, yang membuatnya lebih efektif untuk meningkatkan ekstensi dan fleksibilitas sendi [10]. Dalam olahraga, penggunaan teknologi kerap digunakan untuk mempermudah pelatihan [11]. Dengan adanya teknologi, maka dapat membantu memaksimalkan *monitoring* pada saat melakukan *stretching*. Penelitian ini menggunakan teknologi *MediaPipe* yang digabungkan dengan model *Convolutional Neural Network*. *MediaPipe* adalah sebuah *framework* yang memungkinkan untuk mendeteksi *landmark* pada tubuh manusia baik dalam gambar maupun video [12]. *MediaPipe* akan melakukan *pose estimation* agar mendapatkan *landmark* untuk setiap inputan gambar, kemudian *landmark* akan diklasifikasi dengan model *Convolutional Neural Network* [13].

Dalam rentang waktu yang berbeda, beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengidentifikasi dan mengklasifikasikan pose yoga serta gerakan teknis dalam olahraga seperti badminton menggunakan teknik *deep learning*. Pada penelitian oleh Deepak Kumar dan Anurag Sinha pada tahun 2020 dengan judul "*Yoga Pose Detection and Classification Using Deep Learning*", model *Artificial Neural Network (ANN)* berhasil mencapai akurasi sebesar 98.1%, tetapi tidak ada metrik evaluasi lain yang dilaporkan [14]. Sementara pada tahun 2023, Reiner Anggriawan Jasina, Vincent Leonard Santoso, Evan Tanuwijaya, dan Nehemia Sugianto berhasil mengembangkan model *Convolutional Neural Network (CNN)* dengan arsitektur *VGG16* yang dimodifikasi dalam penelitian yang berjudul "Pengembangan Arsitektur VGG16 dan DCNN7 pada *Convolutional Neural*

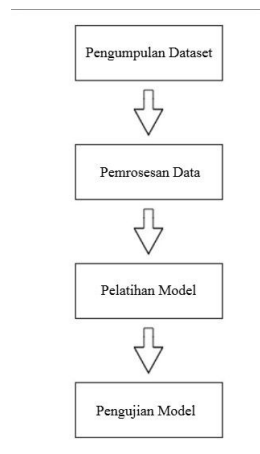
Network dalam Melakukan Klasifikasi *Pose Yoga*”, mempunyai hasil *precision* sebesar 0.8576, *recall* sebesar 0.8373, dan *F1-Score* sebesar 0.8473, serta akurasi 0.8373. Namun, pada penelitian tersebut tidak melaporkan metrik evaluasi lain seperti *loss* [15]. Selanjutnya, pada tahun 2024, Tukino, Mutiana Pratiwi, dan Sarjon Defit memperkenalkan model *CNN* dengan algoritma *Random Forest* untuk mengklasifikasikan pose dalam olahraga badminton dalam penelitian yang berjudul “*Deep Learning Based Technical Classification of Badminton Pose with Convolutional Neural Networks*”, mencapai akurasi sebesar 0.988, namun, seperti penelitian sebelumnya, tidak melaporkan metrik evaluasi lain [16]. Meskipun demikian, meskipun ada banyak penelitian yang telah dilakukan menggunakan *CNN*, penelitian yang fokus pada gerakan *stretching* dalam konteks olahraga futsal masih jarang dilakukan. Oleh karena itu, dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam membantu pemain futsal melakukan *stretching* secara lebih efektif, sehingga dapat mengurangi risiko cedera.

2. PERMASALAHAN

Meskipun *stretching* adalah kegiatan yang rutin dilakukan oleh pemain sebelum melakukan olahraga futsal, namun tetap diperlukan pengawasan ketika pemain melakukan *stretching*. Ketika melakukan *stretching*, dibutuhkan teknik yang tepat agar otot-otot dalam tubuh terutama di bagian kaki menjadi lebih fleksibel dan terhindar dari cedera yang fatal. Ketika kontraksi otot yang dilakukan lebih besar dari 20% akan menyebabkan kurangnya aliran oksigen yang mengalir dari otot, yang menyebabkan terjadinya sakit pada otot [17]. Oleh karena itu, dibutuhkan pendekatan yang lebih inovatif untuk memaksimalkan *stretching*. Maka dari itu, diciptakanlah sebuah sistem yang dapat memonitoring gerakan *stretching* yang tepat untuk menghindari terjadinya cedera.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang diterapkan dalam penelitian ini diantaranya pengumpulan *dataset*, pemrosesan data, pelatihan model, dan pengujian model. Gambar 1 menunjukkan tahapan-tahapan dalam metodologi penelitian yang diterapkan pada penelitian ini. Proses dimulai dengan Pengumpulan dataset, di mana data gambar diambil dari video untuk mendapatkan representasi gerakan yang akan dianalisis. Selanjutnya, data yang terkumpul akan melalui tahap pemrosesan data, yang mencakup pembersihan dan penyusunan data agar siap digunakan dalam pelatihan model. Setelah data diproses, tahap berikutnya adalah pelatihan model, di mana model *Convolutional Neural Network (CNN)* dilatih untuk mengenali pola dalam gerakan tersebut. Terakhir, pengujian model dilakukan untuk mengevaluasi kinerja model menggunakan data yang belum pernah dilihat sebelumnya, untuk memastikan efektivitasnya dalam tugas klasifikasi gerakan yang akurat..

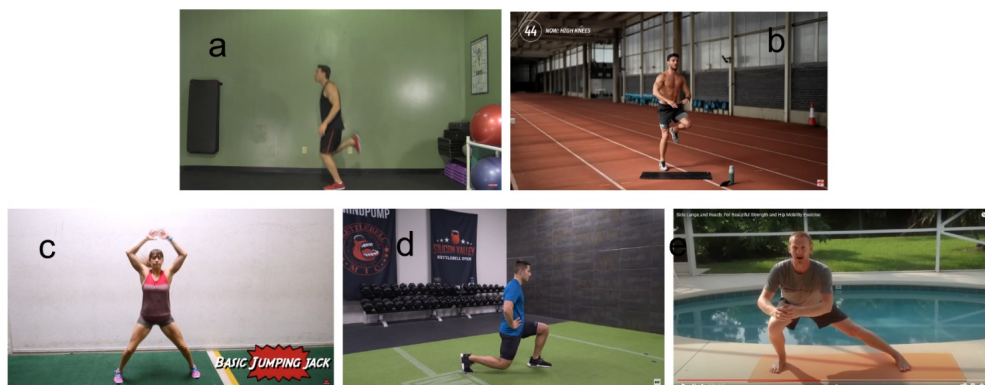


Gambar 1. Langkah-langkah metode penelitian pada penelitian

3.1. Pengumpulan Dataset

Pengumpulan Dataset adalah sebuah metode yang digunakan untuk mengumpulkan data yang diperlukan guna mendukung penelitian tersebut, yang kemudian diolah dan disusun secara sistematis [18]. Dalam

penelitian ini, *dataset* berupa gambar diambil dari video YouTube dengan cara melakukan *screenshot* pada setiap video untuk mendapatkan 30 gambar per gerakan pada video tersebut. Terdapat lima gerakan yang ada pada penelitian ini, di antaranya *high knees*, *jumping jack*, *butt kicks*, *lunge*, dan *side lunge*. Lima gerakan yang terdapat pada *dataset* ini dapat dilihat pada Gambar 2. *Dataset* ini mempunyai 600 gambar pada masing-masing gerakan atau jika dijumlahkan sebanyak 3000 gambar.



Gambar 2. Gerakan-gerakan *stretching* yang digunakan dalam penelitian

- (a) *Butt Kicks*
Gerakan ini melibatkan pengangkatan kaki ke belakang dengan menendang pantat, yang bertujuan untuk meregangkan otot paha depan dan meningkatkan fleksibilitas kaki.
- (b) *High knees*
Gerakan ini dilakukan dengan mengangkat lutut setinggi mungkin ke arah dada, yang berfungsi untuk meningkatkan kelenturan pinggul dan otot paha, serta memperbaiki koordinasi dan keseimbangan.
- (c) *Jumping jacks*
Gerakan ini adalah gerakan aerobik yang dilakukan dengan melompat sambil membuka kaki dan tangan secara bersamaan, yang bertujuan untuk meningkatkan stamina dan kelenturan tubuh.
- (d) *Side lunge*
Gerakan ini melibatkan langkah menyamping dengan posisi tubuh yang ditekuk, bertujuan untuk meregangkan otot paha, pinggul, dan kaki bagian dalam serta meningkatkan fleksibilitas.

Tabel 1. Banyaknya *dataset* yang digunakan dalam penelitian

No	Pose	Banyak Data
1	<i>High Knees</i>	600
2	<i>Jumping Jack</i>	600
3	<i>Butt Kicks</i>	600
4	<i>Lunge</i>	600
5	<i>Side Lunge</i>	600

Tabel 1 menunjukkan jumlah data yang digunakan dalam penelitian ini, yang terdiri dari lima pose gerakan *stretching*. Masing-masing gerakan memiliki 600 gambar, dengan total 3000 gambar yang digunakan dalam penelitian. Pose pertama adalah *High Knees*, diikuti oleh *Jumping Jack*, *Butt Kicks*, *Lunge*, dan terakhir *Side Lunge*. Setiap gerakan dalam *dataset* ini memiliki jumlah data yang sama, yaitu 600 gambar, yang menunjukkan keberagaman gerakan yang dianalisis dalam penelitian ini.

3.2. Pemrosesan Data

Pemrosesan Data adalah proses pembersihan data *training* dan *testing* dengan melakukan penghapusan data kosong, data duplikat, dan lain-lain [19]. Pada penelitian ini, *preprocessing* dilakukan dengan pelabelan pada gerakan-gerakan dengan mengubah *string* menjadi *integer*, yaitu mengubah label gerakan seperti

High Knees, *Butt Kicks*, *Lunge*, *Side Lunge*, dan *Jumping Jacks* menjadi '*Lunge*': 0, '*Jumping Jacks*': 1, '*Side Lunge*': 2, '*Butt Kicks*': 3, '*High Knees*': 4. Selain itu, penelitian ini juga melibatkan penghapusan baris yang memiliki *missing value* pada *dataset*, konversi data gambar menjadi *landmark*, menentukan titik sudut dari tiga *landmark* (lutut kiri dari *landmark left hip*, *left knee*, dan *left ankle*), serta pembuatan file CSV yang berisi titik sudut yang sudah ditentukan sebelumnya. *Dataset* yang tersedia akan dibagi dua, yaitu *data training* dan *data testing*. *Data training* ditujukan untuk melatih model, sedangkan *data testing* ditujukan untuk menguji model [20]. Data dibagi dengan perbandingan 70:30, yaitu 70% *data training* dan 30% *data testing*. Dalam penelitian ini, *MediaPipe* digunakan untuk mendeteksi *landmark* pada *Pose Detection* yang akan digunakan untuk perhitungan sudut. Berikut merupakan rumus untuk menghitung sudut melalui 3 titik *landmark*.

1. Menghitung vektor dari titik a ke titik b

$$\vec{AB} = (x_b - x_a, y_b - y_a)$$

2. Menghitung vektor dari titik b ke titik c

$$\vec{BC} = (x_c - x_b, y_c - y_b)$$

3. Menghitung produk titik dari kedua vektor tersebut

$$\vec{AB} \cdot \vec{BC} = (x_b - x_a)(x_c - x_b) + (y_b - y_a)(y_c - y_b)$$

4. Menghitung panjang masing masing vektor

$$|\vec{AB}| = \sqrt{(x_b - x_a)^2 + (y_b - y_a)^2}$$

$$|\vec{BC}| = \sqrt{(x_c - x_b)^2 + (y_c - y_b)^2}$$

5. Hitung cosinus sudut antara kedua vector

$$\cos(\theta) = \frac{\vec{AB} \cdot \vec{BC}}{|\vec{AB}| |\vec{BC}|}$$

6. Hitung sudut dalam radian dan konversi ke derajat

$$\cos(\theta) = \arccos(\cos(\theta))$$

$$\text{Angle} = \theta \times \frac{180}{\pi}$$

Setelah dilakukan perhitungan sudut melalui 3 titik *landmark* hasil perhitungan akan dikonversi menjadi file CSV. Pada file tersebut terdapat 3000 baris dan 9 kolom. Hasil CSV dapat dilihat pada Tabel 2.

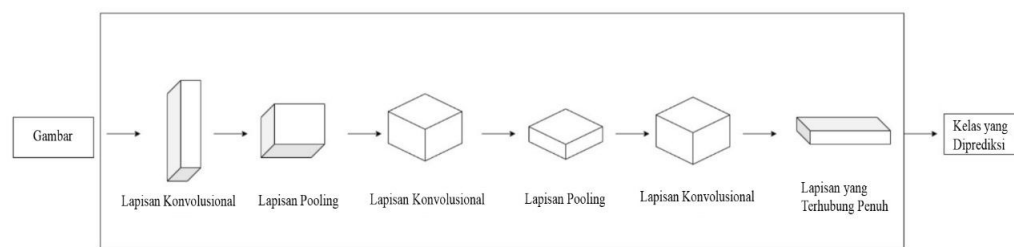
3.3. Pelatihan Model

Model yang diterapkan pada penelitian ini adalah *Convolutional Neural Network (CNN)*. Pelatihan ini dilakukan dengan *epochs* sebanyak 50, *batch size* 8, dan *learning rate* 0.001 menggunakan *optimizer* "Adam", karena mudah diterapkan, efisien secara komputasi, dan cocok untuk *gradient* dengan *noise* yang tinggi [21]. *CNN* adalah algoritma yang mengekstrak fitur dari gambar lalu mengubah gambar menjadi dimensi yang lebih kecil tanpa mengubah karakteristik gambar [22]. Gambar 4 adalah arsitektur dari model *CNN*. Pada penelitian ini menggunakan tiga *convolutional layer* dan dua *pooling layer*. Model ini bekerja melalui serangkaian *convolutional layer* dan *pooling layer* untuk mengekstraksi data input kemudian diikuti oleh lapisan yang terhubung penuh sehingga menjadi hasil akhir yang diinginkan. *Convolutional layer* berfungsi sebagai *filter* pada gambar dengan *pixel* yang lebih kecil untuk memperkecil gambar tanpa kehilangan hubungan antar *pixel*, sedangkan untuk *pooling layer* berfungsi untuk mengurangi ukuran spasial dengan mengurangi kompleksitas dalam komputasi. Selain itu, *pooling layer* juga dapat membantu dengan masalah *overfitting* [23]. *Max pooling* adalah

Tabel 2. Hasil konversi dataset menjadi CSV pada penelitian

<i>class</i>	Pinggang_kiri	Pinggang_kanan	Bahu_kiri	Bahu_kanan	Lutut_kanan	Lutut_kiri	Pergelangan_kaki_kiri	Pergelangan_kaki_kanan
<i>Jumping Jaks</i>	96.777892 61356115	88.999118 97232397	10.9111304 43010073	14.4676555 89725808	179.420122 03619322	179.44607 356744578	164.739429 48570428	168.02092 615696446
<i>Jumping Jaks</i>	93.943803 89499536	96.599033 84544765	0.25071185 403563523	2.4627393 211085873	177.503939 94264797	177.081865 55793156	172.244174 54514776	168.26295 588698372
<i>Jumping Jaks</i>	94.547973 01898655	92.348009 18309297	15.8854828 19896174	17.431332 92717896	179.18571 547397426	179.84628 24244816	160.70283 794003205	160.186832 43674178
<i>Jumping Jaks</i>	92.729042 07103353	97.327647 83049973	3.70774530 41538124	3.0360109 147015737	175.906917 23749688	177.38936 536701502	168.91242 258472852	167.343084 43198873
...
<i>High Knees</i>	116.668222 69909954	71.443775 13100788	1.28697115 72204297	7460403 7068032	167.022941 05459526	179.84384 44235933	178.37144 49514922	170.45448 962050992

jenis *pooling* yang digunakan dalam penelitian ini yang berfungsi untuk memilih nilai maksimum untuk setiap *value (pixel)* dan mengabaikan informasi lainnya [24–26].

Gambar 3. Arsitektur *Convolutional Neural Network*

Gambar 3 menunjukkan arsitektur dari *Convolutional Neural Network (CNN)*, yang terdiri dari beberapa lapisan untuk ekstraksi fitur dan klasifikasi. Dimulai dengan lapisan konvolusional yang pertama untuk mendeteksi fitur dasar pada gambar, diikuti dengan lapisan *pooling* yang berfungsi untuk mengurangi dimensi dan mempercepat komputasi. Setelah itu, lapisan konvolusional kedua digunakan untuk mengekstraksi fitur yang lebih kompleks, disusul dengan lapisan *pooling* kedua untuk mengurangi dimensi lebih lanjut. Kemudian, lapisan yang terhubung penuh digunakan untuk menghubungkan semua fitur yang telah diekstraksi, sebelum akhirnya memprediksi kelas yang sesuai dengan *output* model.

Berikut adalah perbandingan model CNN dengan beberapa model lain yang umum digunakan dalam klasifikasi gerakan, seperti *Support Vector Machine (SVM)*, *Random Forest*, dan *Multi-Layer Perceptron (MLP)*.

Tabel 3. Perbandingan model *CNN* dengan model lainnya

Model	<i>Precision</i>	<i>Recall</i>	<i>F1-Score</i>	Waktu Inferensi(ms)
<i>CNN</i>	92.5%	91.8%	92.1%	35 ms
SVM	85.3%	84.1%	84.7%	120 ms
<i>Random Forest</i>	82.7%	81.9%	82.3%	95 ms
MLP	88.2%	87.5%	87.8%	50 ms

Pada Tabel 3, terlihat bahwa model *CNN* memiliki performa terbaik dibandingkan dengan model lainnya dalam hal *precision*, *recall*, dan *F1-score*. Model *CNN* mampu menangkap pola spasial yang lebih kompleks dalam gambar dengan menggunakan fitur ekstraksi otomatis melalui konvolusi, sehingga lebih akurat dalam mengklasifikasikan gerakan. Sementara itu, model SVM dan *Random Forest* memiliki akurasi lebih rendah karena keterbatasan mereka dalam mengenali fitur spasial yang kompleks. Meskipun MLP memiliki performa yang cukup baik, model ini masih kalah dibandingkan *CNN* karena tidak dapat menangkap pola lokal dalam gambar sebaik *CNN*.

Dari sisi waktu inferensi, *CNN* juga memiliki keunggulan dibandingkan dengan SVM dan *Random Forest*, meskipun sedikit lebih lambat dibandingkan MLP. Hal ini disebabkan oleh kebutuhan komputasi yang lebih tinggi dalam proses konvolusi. Namun, dengan optimalisasi perangkat keras, seperti penggunaan GPU,

CNN tetap menjadi pilihan terbaik karena keseimbangan antara akurasi dan efisiensi komputasi. Oleh karena itu, model *CNN* lebih unggul dibandingkan model lainnya untuk tugas klasifikasi gerakan dalam sistem *real-time*.

3.4. Pengujian Model

Pengujian model adalah sebuah proses melakukan *testing* kepada model yang sudah di *training* dengan maksimal [27, 28]. Dalam tahap model *testing* terdapat beberapa evaluasi metrik yang dilakukan diantaranya akurasi, *precision*, *recall*, dan *f1 score*.

1. Akurasi adalah presentasi dari seberapa tingkat akurat model dalam melakukan klasifikasi dengan benar [29]. Namun, akurasi tidak selalu menunjukkan gambaran yang selengkap terutama pada saat berhadapan dengan data yang tidak seimbang.

$$\text{Accuracy} = \frac{\text{True Positive} + \text{True Negative}}{\text{True Negative} + \text{False Positive} + \text{False Positive} + \text{True Negative}} \quad (1)$$

2. *Precision* adalah jumlah prediksi positif dibagi dengan total jumlah dari total positif (*True Positive* dan *False Positive*) [30]. *Precision* sendiri digunakan untuk menghitung seberapa banyak data yang benar benar menghasilkan hasil positif.

$$\text{precision} = \frac{\text{True Positive}}{\text{True Positive} + \text{False Positive}} \quad (2)$$

3. *Recall* adalah sebuah metrik yang akan mengevaluasi seberapa baik model dalam mengidentifikasi hasil positif [31, 32].

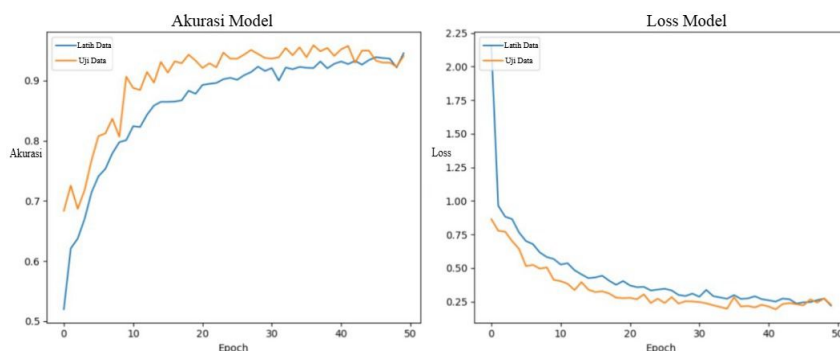
$$\text{Recall} = \frac{\text{True Positive}}{\text{True Positive} + \text{False Negative}} \quad (3)$$

4. *F1 score* adalah perhitungan evaluasi dari *Precision* dan *Recall* [33–35]. *F1 score* berguna untuk mempertimbangkan *False Positive* dan *False Negative* secara bersamaan.

$$\text{F1 Score} = \frac{2 \times \text{Precision} \times \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} \quad (4)$$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Gambar 5 terlihat grafik *accuracy* dan *loss* selama proses pelatihan menunjukkan peningkatan yang konsisten dalam akurasi pada data *training* dari *epoch* pertama sebesar 0.4206 hingga *epoch* terakhir yaitu 0.9422. Penurunan *loss* yang signifikan dari *epoch* pertama sebesar 4.7981, lalu pada *epoch* kedua 0.9908, kemudian stabil hingga 0.8934 menunjukkan bahwa model berhasil belajar dengan baik tanpa *overfitting*. Pada data *testing* mempunyai *accuracy* pada *epoch* pertama sebesar 0.6833 hingga *epoch* terakhir sebesar 0.9411. Penurunan *loss* dari *epoch* pertama sebesar 0.8646 hingga *epoch* terakhir 0.2264. Secara keseluruhan, hasil menunjukkan bahwa model yang digunakan mempunyai kinerja yang sangat kuat dalam mengenali gerakan-gerakan yang dilatih. Hal ini mengindikasikan potensi penggunaan model ini sangat baik untuk pengenalan gerakan dengan presisi yang tinggi.



Gambar 4. Grafik model akurasi dan model *loss* pada penelitian

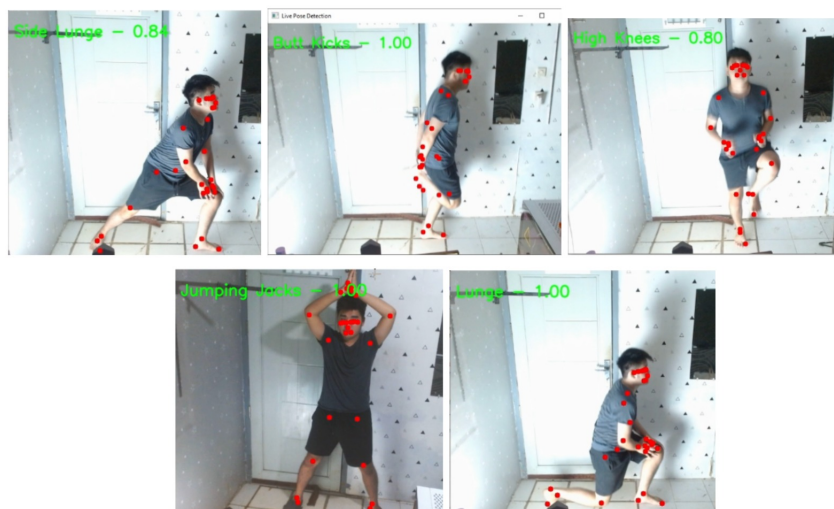
Dari hasil proses *training* didapatkan akurasi sebesar 94% yang menunjukkan bahwa model ini memiliki kemampuan baik dalam mengenali gerakan yang telah dilatih. pada Tabel 2, model ini menunjukkan performa yang sangat baik pada gerakan *Lunge* dengan *precision* 1.00, *recall* 1.00, dan *F1-Score* 1.00. Gerakan *Jumping Jack* juga memiliki performa yang sempurna dengan *precision* 0.93, *recall* 1.00, dan *F1-Score* 0.96. Gerakan *Butt Kicks* menunjukkan *precision* 0.99, *recall* 0.80, dan *F1-Score* 0.88. Pada gerakan *High Knees* model menunjukkan *precision* 0.88, *recall* 0.92, dan *F1-Score* 0.90. Untuk gerakan *Side Lunge* model menunjukkan *precision* 0.93, *recall* 1.00, dan *F1-Score* 0.96 yang menunjukkan bahwa semua gerakan memiliki nilai *precision*, *recall*, dan *F1-Score* yang hampir sama.

Tabel 4. Hasil *Evaluation Matrix*

Gerakan	<i>Precision</i>	<i>Recall</i>	<i>F1-Score</i>
<i>Lunge</i>	1.00	1.00	1.00
<i>Side Lunge</i>	0.93	1.00	0.96
<i>Jumping Jack</i>	0.93	1.00	0.96
<i>Butt Kicks</i>	0.99	0.80	0.88
<i>High Knees</i>	0.88	0.92	0.90

Tabel 4 berikut adalah hasil dari pembacaan model yang dilakukan secara *realtime* :

1. Gerakan *Lunge*
Gerakan ini mempunyai *accuracy* hingga 1.00 sehingga menunjukkan prediksi yang sangat baik dan hampir tidak ada gerakan *Lunge* yang terlewatkan.
2. Gerakan *Side Lunge*
Gerakan ini mempunyai *accuracy* hingga 0.84, namun dengan gerakan yang lebih spesifik seperti badan yang tegap tetap membuat model ini terbaca dengan baik.
3. Gerakan *Jumping Jack*
Gerakan ini mempunyai *accuracy* hingga 0.68, walaupun *accuracy* gerakan ini lebih rendah dari gerakan lain namun gerakan ini tetap terbaca dengan baik tanpa kesalahan.
4. Gerakan *Butt Kicks*
Gerakan ini menunjukkan performa yang hampir sempurna *accuracy* 1.00 yang membuat gerakan ini juga terbaca dengan sangat baik tanpa adanya kesalahan.
5. Gerakan *High Knees*
Gerakan ini mempunyai *accuracy* hingga 0.80, model ini dapat membaca dengan sangat baik walaupun terkadang terdapat variasi dalam klasifikasi.

Gambar 5. Hasil percobaan gerakan menggunakan kamera secara *realtime*

Hasil dari analisis sistem berupa visualisasi data yang dapat dilihat pada Gambar 5 di atas. Gambar 5 menunjukkan hasil analisis dari sistem pengenalan gerakan berbasis visi komputer. Sistem mendeteksi bahwa individu sedang melakukan gerakan *Jumping Jacks* dan gerakan lainnya dengan tingkat akurasi atau kepercayaan sebesar 100%. Ini ditampilkan dalam teks berwarna hijau di bagian atas gambar. Titik-titik merah yang tersebar di berbagai sendi tubuh menunjukkan bahwa sistem telah melakukan pelacakan pose untuk mengidentifikasi posisi tangan, kaki, dan kepala pengguna. Dengan pendekatan ini, sistem dapat mengenali gerakan secara *real-time* dan memberikan umpan balik langsung kepada pengguna mengenai keakuratan atau kualitas gerakan mereka. Selama melakukan gerakan, tidak ada kesalahan klasifikasi yang signifikan. Namun, sebelum gerakan dimulai, model terkadang membaca posisi diam secara acak. Misalnya, saat melakukan *jumping jack*, ada momen ketika kaki kembali ke posisi diam sebelum melanjutkan gerakan berikutnya. Pada saat ini, model sesekali salah mengklasifikasikannya sebagai *high knees* ketika kaki diturunkan.

Dalam implementasi sistem pengenalan gerakan berbasis visi komputer, performa model sangat dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti pencahayaan, sudut pengambilan gambar, dan kondisi lingkungan. Variasi pencahayaan yang ekstrem, baik terlalu terang maupun terlalu gelap, dapat menyebabkan kesulitan dalam mendeteksi fitur tubuh karena model bergantung pada kontras antara tubuh dan latar belakang. Dalam kondisi pencahayaan rendah, model mungkin gagal mengenali titik-titik kunci (*keypoints*) dengan akurat, sedangkan pencahayaan berlebihan dapat menyebabkan pantulan atau bayangan yang mengganggu deteksi pose. Selain itu, sudut pengambilan gambar yang tidak sesuai atau berbeda dari data latih dapat membuat model kesulitan dalam mengenali gerakan dengan benar. Misalnya, jika model hanya dilatih dengan gambar dari sudut frontal, maka saat pengguna melakukan gerakan dari sudut samping, akurasi prediksi bisa menurun karena perbedaan perspektif.

Waktu inferensi model dalam sistem *real-time* merupakan faktor krusial, terutama jika sistem ini diterapkan dalam lingkungan olahraga yang membutuhkan umpan balik langsung. Inferensi yang terlalu lambat dapat menghambat pengalaman pengguna dan mengurangi efektivitas sistem dalam memberikan koreksi atau analisis performa secara langsung. Untuk memastikan kecepatan inferensi yang optimal, beberapa aspek dapat diperhatikan, seperti optimasi arsitektur model, penggunaan *hardware* yang mumpuni (misalnya GPU atau TPU untuk akselerasi komputasi), serta teknik kompresi model seperti *quantization* atau *pruning*. Selain itu, pemilihan *framework* yang dioptimalkan untuk kecepatan, seperti *TensorRT* untuk model berbasis TensorFlow atau *PyTorch Lightning*, dapat membantu meningkatkan efisiensi proses inferensi dalam aplikasi *real-time*.

Selain arsitektur yang lebih paralel, *GPU* dan *TPU* juga memberikan kecepatan inferensi yang jauh lebih tinggi dibandingkan *CPU*. *GPU* mampu memproses jutaan operasi per detik, sedangkan inferensi model *deep learning* pada *GPU* bisa 5–20 kali lebih cepat dibandingkan *CPU*, tergantung pada optimasi dan arsitektur model yang digunakan. Selain itu, *GPU* dan *TPU* lebih efisien dalam konsumsi daya, terutama dalam skala besar, di mana *TPU* bahkan mengonsumsi daya lebih rendah dibandingkan *GPU* dengan performa sebanding. Dalam aplikasi *real-time* seperti pelacakan gerakan atlet, banyak data harus diproses dalam waktu singkat, dan *GPU/TPU* memungkinkan eksekusi model dalam batch besar tanpa kehilangan kecepatan.

5. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan model *Convolutional Neural Network* yang efektif dalam mengenali gerakan stretching yang sering dilakukan oleh pemain futsal. Dengan dataset yang terdiri dari 3000 gambar yang mencakup 5 gerakan yaitu *High Knees*, *Jumping Jacks*, *Lunge*, *Side Lunge*, *Butt Kicks*. Dalam melakukan pelatihan model, model ini mencapai akurasi sebesar 94%. Hasil ini menunjukkan bahwa model ini memiliki performa yang sangat baik dengan mengenali gerakan-gerakan stretching yang telah dilatih.

Implementasi teknologi seperti *MediaPipe* yang dipadukan dengan model *Convolutional Neural Network* menunjukkan potensi besar dalam membantu pemain futsal dalam melakukan stretching untuk mengurangi risiko cedera. Dengan teknologi ini, gerakan stretching dapat dimonitoring secara *real-time* dan memberikan umpan balik langsung kepada pengguna. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan model *Convolutional Neural Network* untuk pengenalan gerakan stretching dalam konteks olahraga futsal merupakan pendekatan yang efektif dan dapat diandalkan.

6. SARAN

Saran untuk penelitian selanjutnya sebaiknya untuk meningkatkan jumlah data pelatihan dengan cara mengumpulkan lebih banyak sampel gerakan dari berbagai sumber yang ada. Dapat juga dilakukan penam-

bahan sampel jenis-jenis gerakan stretching untuk memperkuat generalisasi model. Peneliti selanjutnya juga dapat mencoba pada dataset ini arsitektur model lain seperti yang sudah dilakukan oleh penelitian sebelumnya yaitu *Artificial Neural Network*, model *Convolutional Neural Network* dengan arsitektur *VGG16*, model *Convolutional Neural Network* dengan arsitektur *Random Forest*. Fine-tuning lebih lanjut pada *learning rate*, *batch size*, dan jumlah epoch. Tidak hanya itu peneliti selanjutnya direkomendasikan untuk membuat aplikasi atau antarmuka yang memudahkan pengguna akhir dalam menggunakan sistem dikarenakan saat ini, implementasi sistem yang ada hanya sebatas membagikan *code* yang dapat dijalankan sendiri oleh pengguna yang ingin memanfaatkan sistem tersebut.

7. DEKLARASI

7.1. Tentang Penulis

Vito Jericho (VJ)  <https://orcid.org/0009-0007-0314-7293>

Theresia Herlina Rochadiani (TH)  <https://orcid.org/0009-0007-3466-6977>

7.2. Kontribusi Penulis

Konseptualisasi: VJ dan TH; Metodologi: VJ dan TH; Perangkat Lunak: VJ dan TH; Validasi: VJ dan TH; Analisis Formal: VJ dan TH; Investigasi: VJ dan TH; Sumber Daya: VJ dan TH; Kurasi Data: VJ dan TH; Penulisan Draf Asli Persiapan: VJ dan TH; Penulisan Tinjauan dan Penyuntingan: VJ dan TH; Visualisasi: VJ dan TH; Semua penulis, VJ dan TH, telah membaca dan menyetujui versi naskah yang diterbitkan.

7.3. Pernyataan Ketersediaan Data

Data yang disajikan dalam studi ini tersedia atas permintaan dari penulis terkait.

7.4. Pendanaan

Penulis tidak menerima dukungan finansial untuk penelitian, kepenulisan, dan/atau penerbitan artikel ini.

7.5. Deklarasi Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan bahwa mereka tidak memiliki konflik kepentingan, konflik kepentingan finansial yang diketahui, atau hubungan pribadi yang dapat memengaruhi pekerjaan yang dilaporkan dalam makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Pranata and N. Kumaat, "Pengaruh olahraga dan model latihan fisik terhadap kebugaran jasmani remaja: Literature review," *Jurnal Kesehatan Olahraga*, vol. 10, no. 02, pp. 107–116, 2022.
- [2] A. Mahindru, P. Patil, and V. Agrawal, "Role of physical activity on mental health and well-being: A review," *Cureus*, vol. 15, no. 1, 2023.
- [3] M. A. Syafruddin and A. Asri, "Pendidikan jasmani dan olahraga dalam membangun sdm di era revolusi industri 4.0," *Gelora: Jurnal Pendidikan Olahraga Dan Kesehatan IKIP Mataram*, vol. 9, no. 2, pp. 61–67, 2022.
- [4] R. A. Wismashanti, "Komunikasi dalam platform online crowdfunding: Tinjauan literatur sistematis," *Technomedia Journal*, vol. 8, no. 3, pp. 50–63, 2024.
- [5] A. Mulyadiono, "Pentingnya manajemen olahraga terhadap perkembangan prestasi dan pembinaan tim futsal sumur waru," *Jurnal Edukasimu*, vol. 1, no. 3, 2021.
- [6] D. Widyono, S. Azhariyah *et al.*, "Sistem informasi akademik sekolah futsal perboti menggunakan metode profile matching untuk rekomendasi pemain," *ARITO Journal: Academic Research in Informatics and Technology Operations*, vol. 1, no. 1, pp. 1–11, 2024.
- [7] M. P. Azhar, A. Krisyanto, and S. Riyadi, "Pengaruh telerehabilitation self stretching terhadap doms pada peminat latihan beban di fitness center uns," in *PROSIDING SEMINAR NASIONAL KEGURUAN DAN PENDIDIKAN (SNKP)*, vol. 2, no. 1, 2024, pp. 231–233.
- [8] M. H. R. Chakim, R. T. Utami, T. W. Sitanggang, A. Tanjung, A. Rizky, and E. A. Beldiq, "Innovation behavior research: Global trends and emerging themes in entrepreneurial business practices," *Aptisi Transactions on Technopreneurship (ATT)*, vol. 6, no. 3, pp. 574–585, 2024.

- [9] S. Montalvo, D. Conde, M. Sanchez, P. Martinez, R. Trevizo, and G. Ibarra-Mejia, "Dynamic stretching improves muscle activation and pain pressure threshold but not isometric hand strength when compared to static stretching," *Journal of Physical Education and Sport*, vol. 23, no. 2, pp. 293–300, 2023.
- [10] S. Purnama, "Perbandingan model latihan static stretching dan dynamic stretching dalam meningkatkan fleksibilitas dan kebugaran," *Jurnal Edukasimu*, vol. 4, no. 2, 2024.
- [11] T. A. P. SURYA, "Perancangan sistem pendeteksi pose berjalan dan berlari sebagai pengenalan gerakan olahraga pada video menggunakan mediapipe," 2023.
- [12] S. Dill, A. Ahmadi, M. Grimmer, D. Haufe, M. Rohr, Y. Zhao, M. Sharbafi, and C. H. Antink, "Accuracy evaluation of 3d pose reconstruction algorithms through stereo camera information fusion for physical exercises with mediapipe pose," *Sensors*, vol. 24, no. 23, p. 7772, 2024.
- [13] A. B. Rizki and E. Zuliarso, "Klasifikasi teknik bulutangkis berdasarkan pose dengan convolutional neural network," *JURNAL ILMIAH INFORMATIKA*, vol. 10, no. 02, pp. 96–101, 2022.
- [14] M. JH and C. HK, "Ensemble analysis for yoga poses." *Library of Progress-Library Science, Information Technology & Computer*, vol. 44, no. 3, 2024.
- [15] R. A. Jasina, V. L. Santosoa, E. Tanuwijayaa, and N. Sugianto, "Pengembangan arsitektur vgg16 dan dcnn7 pada convolutional neural network dalam melakukan klasifikasi pose yoga," 2023.
- [16] T. Tukino, M. Pratiwi, and S. Defit, "Deep learning based technical classification of badminton pose with convolutional neural networks," *ILKOM Jurnal Ilmiah*, vol. 16, no. 1, pp. 76–86, 2024.
- [17] M. A. Harahap, D. Situngkir, A. Irfandi, I. M. Ayu, and C. A. K. Muda, "The difference of musculoskeletal disorders before and after workplace stretching exercise," *Journal of Vocational Health Studies*, vol. 5, no. 2, pp. 126–132, 2021.
- [18] S. Sukmawati *et al.*, "Development of quality instruments and data collection techniques," *Jurnal Pendidikan Dan Pengajaran Guru Sekolah Dasar (JPPGuseda)*, vol. 6, no. 1, pp. 119–124, 2023.
- [19] P. Atandoh, F. Zhang, D. Adu-Gyamfi, P. H. Atandoh, and R. E. Nuhoho, "Integrated deep learning paradigm for document-based sentiment analysis," *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, vol. 35, no. 7, p. 101578, 2023.
- [20] K. A. Tanjaya, M. F. Naufal, and H. Arwoko, "Pilates pose classification using mediapipe and convolutional neural networks with transfer learning," *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer dan Informatika*, vol. 9, no. 2, pp. 212–222, 2023.
- [21] F. D. Tanugraha, "Ta: Sistem pengenalan aktivitas manusia menggunakan long short-term memory dan mediapipe," Ph.D. dissertation, Universitas Dinamika, 2022.
- [22] N. D. Girsang, "Literature study of convolutional neural network algorithm for batik classification," *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, vol. 1, no. 1, pp. 1–7, 2021.
- [23] Z. Abidin, R. I. Borman, F. B. Ananda, P. Prasetyawan, F. Rossi, and Y. Jusman, "Classification of indonesian traditional snacks based on image using convolutional neural network (cnn) algorithm," in *2021 1st International Conference on Electronic and Electrical Engineering and Intelligent System (ICE3IS)*. IEEE, 2021, pp. 18–23.
- [24] L. Zhao and Z. Zhang, "A improved pooling method for convolutional neural networks," *Scientific Reports*, vol. 14, no. 1, p. 1589, 2024.
- [25] Y. Li, M. Zhao, J. Mao, Y. Chen, L. Zheng, and L. Yan, "Detection and recognition of chinese porcelain inlay images of traditional lingnan architectural decoration based on yolov4 technology," *Heritage Science*, vol. 12, no. 1, p. 137, 2024.
- [26] U. Rahardja and Q. Aini, "Evaluating the effectiveness of digital marketing campaigns through conversion rates and engagement levels using anova and chi-square tests," *Journal of Digital Market and Digital Currency*, vol. 2, no. 1, pp. 26–45, 2025.
- [27] M. S. Hossain, R. C. Ho, and G. Trajkovski, *Handbook of Research on AI and Machine Learning Applications in Customer Support and Analytics*. IGI Global, 2023.
- [28] L. A. Riyadi, "Implementasi model arsitektur vgg-19 dalam mengklasifikasi kanker serviks melalui citra pemeriksaan pap smear," Ph.D. dissertation, Universitas Muhammadiyah Malang, 2024.
- [29] A. B. Prakosa, "Implementasi model deep learning convolutional neural network (cnn) pada citra penyakit daun jagung untuk klasifikasi penyakit tanaman," *Jurnal Pendidikan Teknologi Informasi (JUKANTI)*, vol. 6, no. 1, pp. 107–116, 2023.
- [30] A. Alsayed, A. Alsabei, and M. Arif, "Classification of apple tree leaves diseases using deep learning methods," *International Journal of Computer Science & Network Security*, vol. 21, no. 7, pp. 324–330,

- 2021.
- [31] M. L. Bangun Permadi and R. Gumilang, "Penerapan algoritma cnn (convolutional neural network) untuk deteksi dan klasifikasi target militer berdasarkan citra satelit." *Journal of Social & Technology/Jurnal Sosial dan Teknologi (SOSTECH)*, vol. 4, no. 2, 2024.
 - [32] L. A. S. I. Akbar, B. Kanata *et al.*, "Klasifikasi genus tanaman anggrek menggunakan convolutional neural network (cnn) dengan menggunakan arsitektur vgg 16," *Jurnal Informatika Teknologi dan Sains (Jinteks)*, vol. 6, no. 4, pp. 820–829, 2024.
 - [33] F. M. Fajar *et al.*, "Analisis sentimen kurikulum merdeka dengan penerapan convolutional neural network," *Journal Automation Computer Information System*, vol. 4, no. 1, pp. 1–11, 2024.
 - [34] P. Y. Andrean, F. Bimantoro, and R. P. Rassy, "Informatics engineering."
 - [35] A. Felix, S. J. Salim, J. M. Karsten *et al.*, "Pemanfaatan teknologi layanan fine dining untuk meningkatkan customer experience dan influence satisfaction: Utilization of fine dining service technology to improve customer experience and influence satisfaction," *Technomedia Journal*, vol. 8, no. 3, pp. 420–433, 2024.
-