

Klasifikasi Citra Gerakan Takbir Berdasarkan Fikih Syaikh Al-Albani Menggunakan Model Hibrida CNN-SVM

Miftahuddin Fahmi^{*1}, Eko Prasetyo Widhi², Aldi Bastiatul Fawait³, Ahmad Syaifullah⁴

^{1,2}Saintek, Program Studi Informatika, Universitas Darussalam Gontor,
Ponorogo 63471, Indonesia

³Fakultas Teknik Informatika, Program Studi Ilmu Komputer, Universitas Widya Gama
Mahakam Samarinda, Samarinda 75243, Indonesia

⁴Yüksek Lisans İlahiyat Fakültesi, Karabük Üniversitesi, Kılavuzlar, 413. Sokak No: 10,78050
Kılavuzlar/Merkez/Karabük, Turki

e-mail: ^{*1}miftahuddinmahmi@unida.gontor.ac.id, ²ekoprasetyowidhi@unida.gontor.ac.id,

³aldi.bas.fawait@uwgm.ac.id, ⁴ilahiyat@karabuk.edu.tr

Abstrak

Penelitian ini mengklasifikasikan kebenaran gerakan takbir dalam salat berdasarkan parameter fikih Syaikh Al-Albani menggunakan pendekatan hibrida CNN dan SVM. Alur kerja mencakup prapemrosesan citra melalui deteksi tepi operator Prewitt dan operasi morfologi untuk pemurnian kontur, diikuti normalisasi. Fitur mendalam diekstraksi dengan VGG16 melalui transfer learning, sedangkan klasifikasi dilakukan menggunakan Support Vector Machine dengan penalaan hiperparameter serta mekanisme ambang (threshold) untuk penetapan keputusan. Dataset terdiri atas 184 citra beranotasi (146 benar, 38 tidak benar) dengan pembagian 80:20 untuk pelatihan dan pengujian. Evaluasi menggunakan akurasi, precision, recall, F1-score, dan confusion matrix. Model mencapai akurasi 95% pada data uji, menunjukkan bahwa kombinasi prapemrosesan berbasis tepi, ekstraksi fitur konvolusional, dan klasifikasi margin-maksimum efektif membedakan variasi halus pada postur takbir. Temuan ini berimplikasi pada pengembangan alat bantu pembelajaran dan koreksi gerakan salat, termasuk skenario umpan balik real-time. Keterbatasan meliputi ukuran serta ketidakseimbangan dataset dan rujukan fikih tunggal; penelitian lanjutan diarahkan pada perluasan data, validasi eksternal, dan pengujian pada perangkat nyata.

Kata kunci— CNN-SVM, feature extraction, Prewitt edge detection, takbir posture, machine learning

1. PENDAHULUAN

Tantangan dalam menganalisis gerakan salat secara akurat, khususnya gerakan takbir, telah menjadi persoalan yang terus-menerus dihadapi oleh umat Muslim awam. Para ulama Islam, seperti Syaikh Al-Albani, telah menulis kitab yang menjelaskan secara rinci gerakan-gerakan dalam salat. Salah satu gerakan tersebut adalah takbir, yaitu mengangkat kedua tangan sambil mengucapkan "Allahu Akbar." Dalam ajaran Islam, umat Muslim selalu merujuk kepada teladan Nabi Muhammad ﷺ dalam menjalankan ibadah, namun umat Muslim masa kini tidak memiliki kesempatan untuk hidup berdampingan langsung dengan beliau. Oleh karena itu, pembelajaran tentang Islam, termasuk salat, dilakukan melalui jalur periwayatan yang bersumber dari Nabi Muhammad ﷺ [1].

Keputusan untuk menggunakan pendekatan fikih Syaikh Al-Albani dalam penelitian ini didasarkan pada pengaruh besar karya-karya beliau dalam bidang fikih, khususnya praktik yang bersumber dari hadis [2]. Syaikh Al-Albani dikenal sebagai otoritas utama dalam gerakan pemurnian hadis di lingkungan Salafi. Analisis beliau yang mendalam terhadap tata cara ibadah, termasuk salat, telah diadopsi oleh jutaan Muslim yang berusaha mengikuti Sunnah Nabi secara otentik. Pendekatan fikih Syaikh Al-Albani berpusat pada gerakan Nabi dalam salat sebagaimana ditetapkan dalam hadis-hadis yang sahih. Hal ini menjadikan metodologinya sangat relevan untuk penelitian yang bertujuan mengklasifikasikan gerakan salat antara yang benar dan yang keliru [3].

Berbeda dengan pendekatan fikih lainnya yang mungkin menekankan tradisi lokal atau tafsir yang beragam, metode Syaikh Al-Albani menitikberatkan pada kembalinya kepada praktik Sunnah yang otentik, sehingga menjamin bahwa gerakan salat sesuai dengan apa yang dicontohkan oleh Nabi Muhammad ﷺ. Penelitian gerakan salat berdasarkan pendekatan ini memberikan peluang untuk membangun model yang berakar pada praktik yang sahih dan diakui secara luas dalam sejarah keilmuan Islam. Hal ini sejalan dengan tujuan yang lebih luas, yaitu memanfaatkan teknologi untuk membantu umat Muslim menyempurnakan salatnya, yang merupakan salah satu rukun Islam [4].

Penelitian-penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa variasi dalam postur dan gerakan manusia menyulitkan proses klasifikasi secara akurat. Sebagai contoh, Ahmed et al. (2021) menggunakan teknik deteksi tepi sederhana namun mengalami kendala dengan citra yang bising dan tidak konsisten, sehingga menurunkan akurasi [5]. Penelitian ini hanya menggunakan kategori biner, yaitu benar atau salah, berdasarkan parameter yang diturunkan dari kitab karya Syaikh Al-Albani. Adapun parameter gerakan takbir yang dianggap benar antara lain:

1. Jarak antar jari tidak terlalu renggang maupun terlalu rapat.
2. Kedua tangan sejajar dengan bahu atau telinga.
3. Tangan tidak terlalu dekat dengan bahu maupun telinga.

Dataset dibagi dengan rasio 80% untuk data latih dan 20% untuk data uji, yang merupakan rasio optimal untuk dataset berukuran besar. Masalah ini penting untuk diteliti lebih lanjut karena salat merupakan ibadah yang memiliki ketelitian tinggi dan membutuhkan identifikasi gerakan yang akurat, khususnya dalam konteks pendidikan dan koreksi dalam pengajaran Islam. Peningkatan akurasi deteksi gerakan salat akan sangat membantu dalam pengembangan sistem pembelajaran dan koreksi otomatis gerakan salat [6].

State-of-the-art dalam bidang ini mencakup berbagai pendekatan dalam pengenalan gerakan dan klasifikasi citra. Qureshi et al. (2022) mengembangkan pendekatan berbasis CNN untuk deteksi posisi tangan manusia dengan hasil yang cukup baik dalam aktivitas umum [7]. Chaplot et al. (2024) menggunakan model SVM untuk klasifikasi gestur, namun masih menghadapi kendala dalam menangkap nuansa gerakan [8]. Zhou et al. (2021) menggabungkan operasi morfologi dengan CNN dalam citra medis dan berhasil mendeteksi fitur halus [9]. Penelitian oleh Ogundokun et al. (2022) menerapkan VGG16 untuk transfer learning dalam estimasi postur [10], sedangkan Sunardi et al. (2023) memanfaatkan operasi morfologi untuk memperbaiki hasil klasifikasi melalui perbaikan tepi citra [11]. Fahmi et al. (2023) menggunakan pengolahan citra morfologi dengan metode SVM [12]. Fahmi et al. (2023) juga menggabungkan CNN dengan SVM tanpa tambahan pengolahan citra untuk keperluan perbandingan hasil [13]. Sementara itu, Nurdin et al. (2021) meneliti teknik thresholding untuk mengoptimalkan kinerja pembelajaran mesin [14], dan Zhuang et al. (2021) menerapkan transfer learning serta thresholding dalam berbagai domain klasifikasi [15].

Perbedaan utama antara penelitian ini dengan penelitian-penelitian sebelumnya terletak pada integrasi teknik deteksi tepi, operasi morfologi, dan transfer learning menggunakan arsitektur VGG16 yang dikombinasikan dengan model hibrida CNN-SVM. Pendekatan ini secara unik menggabungkan teknik-teknik tersebut dengan klasifikasi berbasis ambang batas (threshold)

guna mengoptimalkan akurasi pengenalan gerakan salat. Sementara studi sebelumnya umumnya memisahkan antara tahap deteksi postur dan klasifikasi, penelitian ini memperkenalkan alur kerja terpadu yang menekankan pada ekstraksi fitur dan akurasi klasifikasi. Selain itu, penelitian terdahulu kerap mengabaikan detail-detail kecil dalam gerakan salat, yang berdampak pada performa rendah dalam aplikasi nyata. Studi ini mengatasi keterbatasan tersebut dengan memanfaatkan teknik pengolahan citra tingkat lanjut dan model hibrida untuk membangun sistem pengenalan gerakan yang kontekstual dan tangguh.

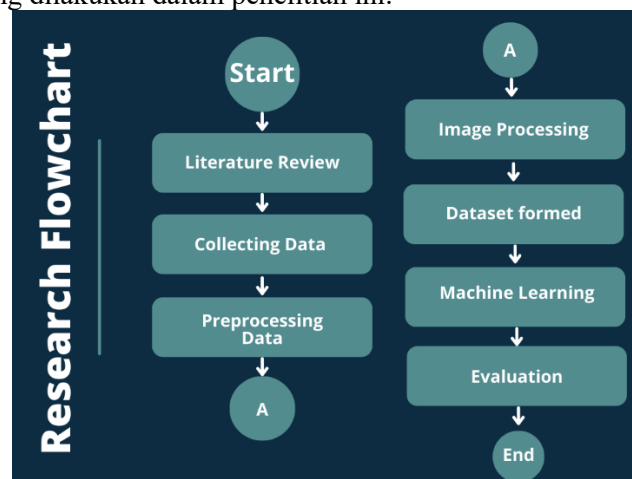
Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk:

Mengembangkan model hibrida CNN-SVM yang dioptimalkan, dengan integrasi transfer learning menggunakan VGG16 untuk ekstraksi fitur dan SVM untuk klasifikasi yang presisi. Menerapkan deteksi tepi menggunakan operator Prewitt serta operasi morfologi untuk meningkatkan ekstraksi fitur dan mengurangi noise pada citra. Merancang mekanisme klasifikasi berbasis ambang batas (threshold-based classification) untuk meningkatkan akurasi pengenalan gerakan melampaui keterbatasan model-model tradisional. Memvalidasi model yang diusulkan pada dataset anotasi gerakan salat, dengan target performa akurasi di atas 85%. Memberikan kontribusi terhadap khazanah keilmuan akademik melalui pendekatan inovatif dalam pengenalan gerakan salat serta menjawab celah metodologis yang belum ditangani sebelumnya.

Kebaruan utama dari penelitian ini adalah penerapan mekanisme pengambilan keputusan berbasis ambang batas dalam meningkatkan akurasi klasifikasi gerakan salat melalui model hibrida CNN-SVM.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan fokus pada pengolahan citra dan algoritma pembelajaran mesin. Metode inti yang digunakan merupakan kombinasi antara Convolutional Neural Networks (CNN) dan Support Vector Machines (SVM) untuk mengklasifikasikan gerakan salat ke dalam dua kategori, yaitu benar dan tidak benar. Data kuantitatif berupa fitur-fitur citra diproses, dilatih, dan diuji guna mengukur tingkat akurasi dan performa model. Penelitian ini secara khusus menitikberatkan pada penerapan model CNN-SVM terhadap dataset citra gerakan Takbir. Diagram alur berikut menyajikan tahapan metode dan langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini.



Gambar 1 Flowchart Penelitian

Gambar 1 menyajikan penjelasan terperinci mengenai alur penelitian ini, dimulai dari tahap telaah pustaka hingga tahap evaluasi sistem secara menyeluruh.

2.1. Telaah Pustaka dan Pengumpulan Data

Telaah pustaka dilakukan dengan menelaah sejumlah jurnal yang berkaitan dengan identifikasi gerakan serta kitab karya Syaikh Al-Albani untuk menentukan batasan dan parameter dalam penelitian ini. Pengumpulan data didasarkan pada kitab fikih salat karya Syaikh Al-Albani.

Berdasarkan pendekatan fikih Syaikh Al-Albani, studi kasus dalam penelitian ini difokuskan pada gerakan Takbir dalam salat. Data yang digunakan berupa citra yang telah diberi label sebagai benar atau salah, dengan kategori 'B' untuk gerakan yang benar dan 'S' untuk gerakan yang tidak sesuai.

Dataset diperoleh dari rekaman video gerakan salat yang kemudian dianotasi secara manual dengan mengacu pada panduan gerakan dalam kitab Syaikh Al-Albani. Seluruh citra kemudian diproses melalui tahap praproses untuk memastikan konsistensi resolusi dan format grayscale, sehingga dataset siap digunakan sebagai input dalam model pembelajaran mesin.



Gambar 2 Dataset yang berisi citra-citra gerakan Takbir yang sesuai dengan tuntunan.

Gambar 2 memperlihatkan dataset dengan nilai kebenaran atau label 'B'. Pada Gambar 2, bagian A menunjukkan contoh gerakan Takbir yang benar, di mana jarak antarjari tidak terlalu rapat maupun terlalu renggang, serta posisi tangan sejajar dengan telinga. Bagian B juga merupakan contoh gerakan Takbir yang benar, dengan jarak antarjari yang sesuai dan posisi tangan sejajar dengan bahu.



Gambar 3 Dataset dengan gerakan Takbir yang tidak benar.

Gambar 3 menunjukkan dataset dengan label kesalahan (nilai salah). Pada Gambar 3, bagian A menampilkan citra dengan posisi tangan yang tidak memenuhi ketiga parameter yang telah ditetapkan, yaitu: jarak antarjari tidak terlalu rapat maupun terlalu renggang, tangan sejajar dengan bahu atau telinga, dan tidak terlalu dekat dengan bahu atau telinga. Bagian B menunjukkan posisi tangan yang terlalu rapat dan terlalu dekat dengan telinga. Bagian C menunjukkan posisi tangan yang terlalu rapat. Bagian D menggambarkan citra yang bukan merupakan gerakan Takbir sama sekali. Bagian E menunjukkan posisi tangan yang terlalu lebar. Sedangkan pada bagian F, semua aspek sudah sesuai, namun posisi tangan tidak sejajar dengan telinga maupun bahu.

2.2. Pra-pemrosesan Data dan Tahapan Pengolahan Citra

Pra-pemrosesan data dalam penelitian ini dilakukan melalui dua tahap utama, yaitu pengolahan citra dan normalisasi. Beberapa langkah dilakukan dalam proses pengolahan citra.

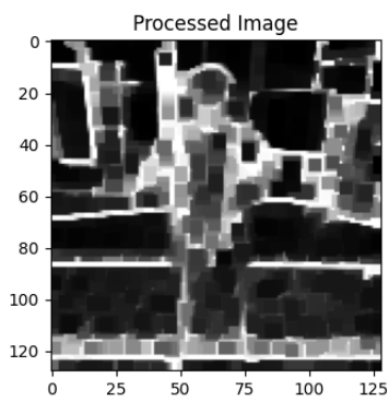
Pertama, *deteksi tepi* merupakan langkah awal yang krusial dalam pengolahan citra. Deteksi tepi digunakan untuk menyoroti batas-batas gerakan salat dalam citra berformat skala abu-abu (grayscale). Proses ini berfungsi untuk menegaskan kontur posisi tangan saat gerakan takbir dilakukan. Teknik deteksi tepi ini mengidentifikasi area yang menunjukkan perubahan intensitas yang signifikan antara piksel-piksel yang berdekatan, sehingga sistem dapat menguraikan fitur-fitur utama dari gerakan tersebut, seperti posisi tangan dan lengan.

Kedua, *penyempurnaan tepi* berperan penting dalam meningkatkan akurasi pengolahan citra. Setelah tahap deteksi tepi, kontur gerakan yang terdeteksi disempurnakan lebih lanjut untuk menghilangkan noise (gangguan) yang tidak diinginkan serta memperjelas batas-batas gerakan. Penyempurnaan ini dilakukan dengan cara memperluas (*dilation*) lalu mengecilkan (*erosion*) hasil deteksi tepi. Lubang-lubang kecil atau celah pada kontur akan tertutup saat diperluas, sedangkan garis-garis halus yang tidak perlu akan dihilangkan saat dilakukan pengecilan. Tujuannya adalah untuk memperoleh batas tepi yang bersih dan terdefinisi dengan baik sebagai representasi dari gerakan yang dianalisis.

Ketiga, *skalasi dan standardisasi*, yaitu tahap normalisasi dalam penelitian ini. Setelah citra diproses dan disempurnakan, nilai piksel disesuaikan agar berada dalam rentang standar. Langkah ini bertujuan untuk memastikan bahwa semua citra memiliki konsistensi yang sama, serta mengurangi variasi akibat pencahayaan atau faktor eksternal lainnya. Proses normalisasi ini dilakukan dengan mengubah ukuran citra menjadi resolusi 128x128 piksel, sehingga kinerja sistem menjadi stabil dan citra dapat diperlakukan secara seragam pada tahap analisis berikutnya.



Gambar 3 Gambar asli dataset



Gambar 4 Gambar setelah pemrosesan citra

Gambar 4 merupakan citra asli tanpa melalui proses praproses citra, sedangkan Gambar 5 menunjukkan hasil praproses setelah dilakukan pengolahan citra dan normalisasi dengan ukuran piksel seragam, yaitu 128x128 piksel.

Operator Prewitt adalah salah satu operator dalam pengolahan citra yang digunakan untuk mendeteksi tepi dengan menerapkan matriks konvolusi yang menghasilkan perubahan intensitas piksel sebagai penanda keberadaan tepi dalam citra [16]. Operator ini bekerja dengan menghitung gradien pada arah horizontal dan vertikal citra. Prewitt menggunakan kernel konvolusi berukuran 3x3 untuk mengekstraksi informasi gradien dari intensitas piksel.

Sebagai metode deteksi tepi berbasis gradien yang banyak digunakan, operator Prewitt dikembangkan berdasarkan prinsip dasar yang sama dengan operator Sobel, namun dirancang untuk memberikan penyempurnaan dalam deteksi tepi. Operator ini menggunakan dua kernel 3x3: satu untuk mendeteksi perubahan intensitas pada arah horizontal, dan satu lagi untuk arah

vertikal. Sama seperti Sobel, kernel Prewitt menekankan informasi gradien yang penting dalam mengidentifikasi batas objek dalam citra, khususnya untuk arah horizontal dan vertikal.

Meskipun operator Prewitt memberikan keseimbangan yang baik antara kesederhanaan dan akurasi, operator ini memiliki keterbatasan yang serupa dengan pendahulunya, seperti sensitivitas terhadap noise serta dipengaruhi oleh karakteristik citra masukan. Namun demikian, operator ini tetap menjadi alat yang berharga dalam deteksi tepi untuk berbagai aplikasi analisis citra, termasuk visi komputer, pengenalan pola, dan pencitraan medis.

Para peneliti kerap memilih operator Prewitt karena kemampuannya dalam menyeimbangkan efisiensi komputasi dan ketajaman deteksi tepi, sehingga cocok digunakan untuk berbagai tugas dalam pengolahan citra digital [17].

Formula :

Horizontal Masker :

$$G_x = \begin{bmatrix} -1, 0, 1 \\ -1, 0, 1 \\ -1, 0, 1 \end{bmatrix}$$

Vertical Masker :

$$G_y = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

Magnitude Gradient :

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$

2.3. Kombinasi CNN-SVM

Feature Extraction atau ekstraksi fitur dalam penelitian ini menggunakan metode Gray Level Diagram blok dari metode CNN-SVM terdiri atas beberapa tahapan berikut:



Gambar 5 Diagram Blok Model Hibrida CNN-SVM

Gambar 6 menjelaskan metode yang digunakan dalam penerapan model CNN-SVM. Berikut adalah penjelasan rinci setiap tahapannya. Pertama Akuisisi Citra: Pengumpulan citra gerakan salad sebagai data masukan. Pra-pemrosesan: Penerapan deteksi tepi menggunakan operator Prewitt serta operasi morfologi (*dilation* dan *erosion*) untuk memperjelas batas-batas gerakan. Ekstraksi Fitur: Menggunakan model CNN *pre-trained* (VGG16) untuk mengekstraksi fitur mendalam dari citra yang telah diproses. Klasifikasi: Menerapkan algoritma SVM untuk mengklasifikasikan fitur yang diekstraksi ke dalam dua kategori, yaitu gerakan benar dan tidak benar. Thresholding: Penetapan nilai ambang (*threshold*) sebesar 0,6 untuk menyempurnakan performa klasifikasi agar lebih presisi dalam membedakan kategori.

2.4. Alur Kerja CNN-SVM

CNN digunakan sebagai alat untuk *ekstraksi fitur*. CNN secara otomatis mempelajari hierarki spasial dari fitur-fitur melalui penerapan filter pada citra, yang memungkinkan penangkapan elemen penting seperti tepi, tekstur, dan pola-pola visual lainnya. Dalam penelitian ini, digunakan model VGG16 yang telah dilatih sebelumnya (*pre-trained*), di mana lapisan-

lapisan konvolusi pada CNN digunakan untuk mengekstraksi fitur mendalam dari citra. Fitur-fitur ini kemudian diteruskan ke algoritma SVM untuk proses klasifikasi.

SVM merupakan algoritma *supervised learning* yang dikenal efektif dalam menangani masalah klasifikasi biner. SVM bekerja dengan menemukan *hyperplane* terbaik yang memisahkan dua kelas (dalam hal ini, kelas 'B' untuk benar dan 'S' untuk salah). Dalam penelitian ini, setelah fitur diekstraksi oleh CNN, SVM menentukan apakah gerakan tersebut benar atau tidak dengan memetakan fitur ke dalam dimensi yang lebih tinggi dan menerapkan kernel *Radial Basis Function (RBF)* untuk klasifikasi.

Berikut ini merupakan skema alur kerja CNN-SVM dalam proses pembelajaran mesin.

Tabel 1 Skema CNN-SVM

Stage	Description
Image Preprocessing	Resizing, grayscale conversion, edge detection, morphological operations
Feature Extraction	Feature extraction using VGG16 with transfer learning
Classification with SVM	Training an SVM model with GridSearchCV to find the best hyperparameters
Evaluation and Prediction	Evaluating the SVM model and predicting new image classes

Tabel 1 menunjukkan skema kombinasi SVM-CNN yang digunakan dalam proses pembelajaran mesin. Skema ini terdiri atas empat tahap utama sebagai berikut: Pra-pemrosesan Citra: Pada tahap awal, citra masukan diubah ukurannya dan dikonversi ke dalam format skala abu-abu (grayscale). Deteksi tepi dilakukan menggunakan operator Prewitt. Selanjutnya, diterapkan operasi morfologi berupa *dilation* dan *erosion* untuk meningkatkan kualitas visual citra serta mengurangi noise. Ekstraksi Fitur: Fitur-fitur penting diekstraksi dari citra yang telah diproses menggunakan model VGG16 yang telah dilatih sebelumnya (*pre-trained*) melalui pendekatan *transfer learning*. Beberapa lapisan akhir dari arsitektur VGG16 disesuaikan (*fine-tuning*) agar cocok dengan karakteristik dataset yang digunakan dalam penelitian ini. Klasifikasi dengan SVM: Fitur yang telah diekstraksi kemudian digunakan untuk melatih model *Support Vector Machine (SVM)*. Proses pelatihan dilakukan dengan bantuan GridSearchCV untuk menemukan kombinasi hiperparameter terbaik. Setelah dilatih, model SVM digunakan untuk mengklasifikasikan citra baru ke dalam kategori gerakan benar atau salah. Evaluasi dan Prediksi: Model SVM yang telah dilatih dievaluasi menggunakan metrik performa seperti akurasi, *precision*, *recall*, dan *F1-score*. Selain itu, digunakan matriks kebingungan (*confusion matrix*) untuk memvisualisasikan hasil klasifikasi berdasarkan kategori yang tersedia. Model juga diuji lebih lanjut dengan citra baru yang diunggah oleh pengguna guna menilai kinerja di dunia nyata. Nilai ambang (*threshold*) disesuaikan untuk meningkatkan akurasi dan keandalan klasifikasi

2.5. Pengujian Metode yang Diusulkan

Metode yang diusulkan diuji menggunakan pembagian dataset, yaitu 80% citra digunakan untuk pelatihan dan 20% untuk pengujian. Total jumlah citra yang digunakan adalah 184, dengan rincian: dataset kategori benar (label B) sebanyak 146 citra dan kategori salah (label S) sebanyak 38 citra. Dari jumlah tersebut, 148 citra digunakan untuk pelatihan dan 36 citra untuk pengujian.

Model CNN-SVM dilatih menggunakan data pelatihan, kemudian dievaluasi dengan data uji untuk mengukur performa klasifikasi melalui metrik seperti akurasi, precision, recall, dan F1-score. Selain itu, matriks kebingungan dihasilkan untuk memberikan visualisasi performa model dalam mengklasifikasikan masing-masing kategori.

Metode ini juga diuji lebih lanjut dengan mengunggah citra baru guna mengevaluasi kinerja model dalam konteks dunia nyata. Penyesuaian nilai ambang (threshold fine-tuning) dilakukan untuk meningkatkan akurasi dan keandalan model dalam membedakan gerakan yang benar dan tidak benar.

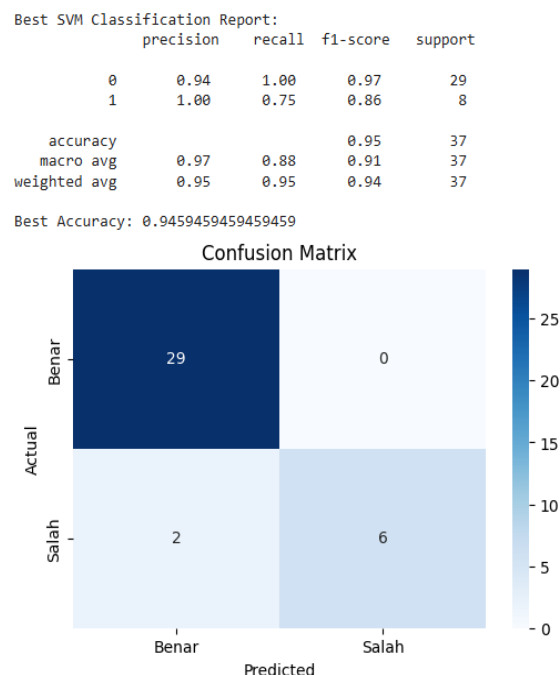
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kinerja Metode yang Diusulkan

Model CNN-SVM berhasil mencapai akurasi lebih dari 95% setelah menggabungkan deteksi tepi menggunakan operator Prewitt, operasi morfologi, dan ekstraksi fitur mendalam melalui model VGG16. Nilai *precision*, *recall*, dan *F1-score* untuk klasifikasi gerakan benar (label B) dan tidak benar (label S) juga mengalami peningkatan yang signifikan. Hal ini mencerminkan kemampuan model yang lebih baik dalam membedakan variasi halus dalam posture salad. Integrasi metode *thresholding* turut menyempurnakan performa klasifikasi dengan mengoptimalkan batas keputusan (*decision boundaries*) dalam proses prediksi.

3.2 Analisis Matriks Kebingungan

Matriks kebingungan menunjukkan hasil klasifikasi yang lebih seimbang antara kategori gerakan benar dan tidak benar, dengan jumlah kesalahan positif (*false positives*) dan negatif (*false negatives*) yang lebih sedikit dibandingkan uji awal. Peningkatan ini disebabkan oleh efektivitas ekstraksi fitur dari model VGG16, yang mampu menangkap detail spasial penting, serta kemampuan algoritma SVM dalam menangani batas keputusan non-linear secara efisien.



Gambar 6 Hasil akurasi CNN-SVM menggunakan Confusion Matrix

Gambar 7 menjelaskan hasil kinerja dari model hibrida CNN-SVM yang telah dibentuk, berdasarkan perhitungan akurasi sistem dan matriks kebingungan.

3.3 Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Pendekatan yang diusulkan dalam penelitian ini menunjukkan akurasi yang lebih unggul dibandingkan beberapa studi sebelumnya. Sebagai contoh, Qureshi et al. (2021) [7] menggunakan CNN standar dengan *transfer learning*, sedangkan Ahmed et al. (2020) [5] hanya mengandalkan teknik pengolahan citra tradisional tanpa integrasi *deep learning*.

Penggunaan model VGG16 untuk ekstraksi fitur yang dikombinasikan dengan algoritma SVM terbukti memberikan hasil klasifikasi yang lebih baik. Hal ini didukung oleh hasil serupa dalam penelitian oleh Sunardi et al. (2023) [11] dan Fahmi et al. (2023) [13] yang juga menerapkan pendekatan hibrida. Meskipun Sunardi et al. melaporkan akurasi hingga 95% dengan hanya menggunakan CNN, penelitian ini juga mencapai akurasi tinggi melalui penerapan *transfer learning* dan praproses citra yang lebih kompleks pada dataset yang berbeda dan dengan tingkat kompleksitas yang lebih tinggi.

Tabel 2 Perbandingan dengan penelitian sebelumnya

Study	Methodology	Dataset	Accuracy	Remarks	Source
Ahmed et al. (2021)	Edge Computing	Basic human postures	75%	Used traditional image processing without deep learning. Different dataset	[5]
Qureshi et al. (2021)	CNN	General human hand poses	99.42% ± 0.42% and 98.00% ± 0.58%	Standard CNN model with transfer learning. Different dataset	[7]
Chaplot et al. (2024)	SVM	General human hand poses	90%	Using SVM with multiple kernel. Different dataset	[8]
Sunardi et al. (2023)	CNN-SVM	Waste image data	99%	Hybrid CNN-SVM model with image processing such as Morphology showing improvement over CNN alone. Different dataset.	[11]
Fahmi et al. (2020)	CNN- SVM	Waste image data	99%	Focused on hybrid between SVM and CNN method without any additional image processing but different datasets.	[13]
Proposed Method	CNN (VGG16) + SVM + Thresholding	Salat movements	95%	Using more complex and religious posture data, preprocessing, and fine-tuning.	

3.4 Kesesuaian dengan Penelitian Sebelumnya

Hasil penelitian ini secara umum sejalan dengan temuan-temuan sebelumnya yang menunjukkan bahwa model hibrida CNN-SVM mampu memberikan kinerja klasifikasi citra yang lebih baik dibandingkan dengan model CNN standar [11][13]. Namun demikian, penggunaan gerakan salat sebagai dataset dalam penelitian ini menghadirkan tantangan tersendiri. Berbeda

dengan studi Ahmed et al. (2021) yang menitikberatkan pada postur manusia yang lebih sederhana, penelitian ini menangani perbedaan gerakan yang lebih halus dalam konteks ibadah [5].

Kebaruan dari metode yang diusulkan terletak pada kombinasi antara pendekatan fikih Islam (berdasarkan ajaran Syaikh Al-Albani) dengan teknik computer vision yang canggih. Hal ini tidak hanya meningkatkan akurasi klasifikasi, tetapi juga memberikan relevansi kontekstual terhadap praktik keagamaan umat Islam.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem klasifikasi gerakan salat dengan menggabungkan deteksi tepi, penyempurnaan citra, dan pembelajaran mendalam berbasis arsitektur hibrida CNN-SVM, yang mencapai akurasi lebih dari 95% dalam membedakan gerakan takbir yang benar dan tidak benar. Kebaruan utamanya terletak pada penerapan teknik pengolahan citra yang disesuaikan dengan praktik keislaman berdasarkan fikih Syaikh Al-Albani, serta integrasi metode ekstraksi fitur mendalam untuk mengenali perbedaan halus antarggerakan. Kontribusi ini melampaui studi sebelumnya dalam pengenalan postur umum, dengan membuka peluang penerapan teknologi cerdas pada aktivitas keagamaan. Namun, keterbatasan berupa ketergantungan pada satu mazhab dan ukuran dataset yang kecil membatasi generalisasi model, sehingga penelitian lanjutan disarankan untuk memperluas variasi data, mengembangkan umpan balik waktu nyata, dan mengeksplorasi algoritma klasifikasi tambahan guna meningkatkan akurasi serta ketahanan sistem.

5. SARAN

Peneliti selanjutnya disarankan memperluas dataset dengan variasi mazhab dan kondisi lingkungan berbeda, menerapkan sistem umpan balik waktu nyata untuk pembelajaran interaktif, serta mengeksplorasi kombinasi algoritma pembelajaran mesin lanjutan guna meningkatkan akurasi, generalisasi, dan ketahanan model terhadap variasi gerakan salat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. M. N. Al-Albani, *Sifat Shalat Nabi Shallallaahu 'Alaihi Wa sallam: Seakan-akan Anda Menyaksikannya = Shifatu Shalat an-Nabi Shallallaahu 'Alaihi Wa sallam: Min at-Takbir Ila at Taslim Ka' annaka Taraha* Sifat Shalat Nabi Shallallaahu 'Alaihi Wa sallam: Seakan-akan Anda Meny, Indonesia. Jakarta: Darul Haq, 2013.
- [2] A. Fadhil, K. Kasman, and P. Pujiono, "Methodology For Determining The Quality Of Hadith Nashiruddin Al-Albani (Analysis Of The Book Silsilat Al-Ahadits Al-Shahihah And Silsilat Al-Ahadits Al-Dha'ifah)," *Int. J. Educ. Res. Soc. Sci.*, vol. 4, no. 4, pp. 746–754, 2023, doi: 10.51601/ijersc.v4i4.704.
- [3] F. Nikmah and R. Imawan, "Penyuluhan Fiqh Ibadah tentang Syarat-Syarat Sah Sholat untuk Meningkatkan Pengetahuan Jama'ah Masjid Al-Hikmah Desa Sekuning Besowo Kediri," *J. Pengabd. Kpd. Masy. Desa*, vol. 4, no. 2, pp. 162–170, 2023.
- [4] K. Jamal, R. Kurniawan, A. S. Batubara, M. Z. A. Nazri, F. Lestari, and P. Papilo, "Text Classification on Islamic Jurisprudence using Machine Learning Techniques," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1566, no. 1, p. 012066, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1566/1/012066.
- [5] I. Ahmed, M. Ahmad, J. J. P. C. Rodrigues, and G. Jeon, "Edge computing-based person detection system for top view surveillance: Using CenterNet with transfer learning," *Appl. Soft Comput.*, vol. 107, no. 1, p. 107489, 2021, doi: 10.1016/j.asoc.2021.107489.
- [6] A. Rácz, D. Bajusz, and K. Héberger, "Effect of Dataset Size and Train / Test Split Ratios in," *Eff. Dataset Size Train/Test Split Ratios QSAR/QSPR Multiclass Classif.*, vol. 26(4), no. 1111, pp. 1–16, 2021, [Online]. Available:

- <https://doi.org/10.3390/molecules26041111>
- [7] M. F. Qureshi, Z. Mushtaq, M. Z. u. Rehman, and E. N. Kamavuako, "Spectral Image-Based Multiday Surface Electromyography Classification of Hand Motions Using CNN for Human–Computer Interaction," *IEEE Sens. J.*, vol. 22, no. 21, pp. 20676–20683, 2022, doi: 10.1109/JSEN.2022.3204121.
 - [8] L. Chaplot, S. Houshmand, K. B. Martinez, J. Andersen, and H. Rouhani, "Optimizing Sensor Placement and Machine Learning Techniques for Accurate Hand Gesture Classification," *Electron.*, vol. 13, no. 15, pp. 1–12, 2024, doi: 10.3390/electronics13153072.
 - [9] S. K. Zhou *et al.*, "A Review of Deep Learning in Medical Imaging: Imaging Traits, Technology Trends, Case Studies with Progress Highlights, and Future Promises," *Proc. IEEE*, vol. 109, no. 5, pp. 820–838, 2021, doi: 10.1109/JPROC.2021.3054390.
 - [10] R. O. Ogundokun, R. Maskeliūnas, and R. Damaševičius, "Human Posture Detection Using Image Augmentation and Hyperparameter-Optimized Transfer Learning Algorithms," *Appl. Sci.*, vol. 12, no. 19, p. 10156, 2022, doi: 10.3390/app121910156.
 - [11] Sunardi, A. Yudhana, and M. Fahmi, "SVM-CNN Hybrid Classification for Waste Image Using Morphology and HSV Color Model Image Processing," *Trait. du Signal*, vol. 40, no. 4, pp. 1763–1769, 2023, doi: 10.18280/ts.400446.
 - [12] M. Fahmi, A. Yudhana, and S. Sunardi, "Image Processing Using Morphology on Support Vector Machine Classification Model for Waste Image," *MATRIK J. Manajemen, Tek. Inform. dan Rekayasa Komput.*, vol. 22, no. 3, pp. 553–566, 2023, doi: 10.30812/matrik.v22i3.2819.
 - [13] M. Fahmi and A. Yudhana, "Pemilahan Sampah Menggunakan Model Klasifikasi Support Vector Machine Gabungan dengan Convolutional Neural Network," *J. Ris. Komputer*, vol. 10, no. 1, pp. 2407–389, 2023, doi: 10.30865/jurikom.v10i1.5468.
 - [14] I. Muhammad Nurdin and A. Fadlil, "Identification of Feasibility of Canned Based Foods Image Processing Techniques Using Thresholding," *Bul. Ilm. Sarj. Tek. Elektro*, vol. 3, no. 1, p. 10, 2021, doi: 10.12928/biste.v3i1.1608.
 - [15] F. Zhuang *et al.*, "A Comprehensive Survey on Transfer Learning," *Proc. IEEE*, vol. 109, no. 1, pp. 43–76, 2021, doi: 10.1109/JPROC.2020.3004555.
 - [16] M. U. Ahmad, S. Ashiq, G. Badshah, A. H. Khan, and M. Hussain, "Feature Extraction of Plant Leaf Using Deep Learning," *Complexity*, vol. 2022, no. 1, p. 6976112, 2022, doi: 10.1155/2022/6976112.
 - [17] W. Muhammad, R. Wan, A. Y. Dak, and T. R. Razak, "A Survey on Various Edge Detection Techniques in Image Processing and Applied Disease Detection," vol. 9, no. 2, pp. 23–32, 2024, doi: 10.24191/jcrinn.v9i2.415.