

# Penerapan Metode Ekstraksi Fitur *Geometris*, *Hog*, Dan *Hu Moment* Pada Citra Tanda Tangan Digital Menggunakan *Support Vector Machine (SVM)*

<sup>1</sup>Muhammad Hikmal Febrian, <sup>2</sup>Erwin Dwika Putra, <sup>3</sup>Ardi Wijaya, <sup>4</sup>Muntahanah

<sup>1,2,3,4</sup>Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Bengkulu, Indonesia

[mhikmal33@gmail.com](mailto:mhikmal33@gmail.com), [erwindwikap@gmail.com](mailto:erwindwikap@gmail.com), [ardiwijaya@umb.ac.id](mailto:ardiwijaya@umb.ac.id), [muntahanah@umb.ac.id](mailto:muntahanah@umb.ac.id)

## Article Info

### Article history:

Received, 2026-06-22

Revised, 2026-06-29

Accepted, 2026-06-30

### Kata Kunci:

Tanda\_tangan\_digital,

Ekstraksi fitur,

Geometris,

HOG,

*Hu\_Moment*,

*Support Vector Machine*

## ABSTRAK

Peningkatan penggunaan dokumen elektronik mendorong kebutuhan akan sistem verifikasi tanda tangan digital yang cepat, akurat, dan objektif. Penelitian ini mengusulkan sistem pengenalan tanda tangan digital menggunakan kombinasi metode ekstraksi fitur *Geometric Features*, *Histogram of Oriented Gradients (HOG)*, dan *Hu Moment* dengan algoritma *Support Vector Machine (SVM)* berkernel *Radial Basis Function (RBF)*. Dataset terdiri atas 500 citra tanda tangan dari 50 individu yang dibagi menggunakan rasio 80:10:10 menjadi data latih, validasi, dan uji. Tahapan penelitian meliputi preprocessing citra, ekstraksi fitur, pembentukan vektor fitur, pelatihan model, dan evaluasi menggunakan *confusion matrix*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kombinasi ketiga metode ekstraksi fitur mampu merepresentasikan karakteristik tanda tangan secara komprehensif. Model berhasil mengklasifikasikan 46 dari 50 data uji dengan akurasi 92,00%, *precision* 88,00%, *recall* 92,00%, dan *F1-score* 89,33%, sehingga efektif untuk mendukung pengenalan tanda tangan digital dan autentikasi dokumen elektronik.

## ABSTRACT

The increasing use of electronic documents has heightened the need for fast, accurate, and objective digital signature verification systems. This study proposes a digital signature recognition system by combining *Geometric Features*, *Histogram of Oriented Gradients (HOG)*, and *Hu Moment* feature extraction with a *Support Vector Machine (SVM)* classifier using the *Radial Basis Function (RBF)* kernel. A dataset of 500 signature images from 50 individuals was divided into training, validation, and testing sets using an 80:10:10 ratio. The proposed workflow includes image preprocessing, feature extraction, feature vector construction, model training, and evaluation using a *confusion matrix*. Experimental results show that the combined feature extraction methods effectively represent both global and local signature characteristics. The proposed model correctly classified 46 of 50 testing samples, achieving 92.00% accuracy, 88.00% precision, 92.00% recall, and an 89.33% *F1-score*, demonstrating its effectiveness for automatic digital signature recognition and electronic document authentication.

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



## Penulis Korespondensi:

Muhammad Hikmal Febrian,

Program Studi Teknik Informatika,

Universitas Muhammadiyah Bengkulu,

Email: [mhikmal33@gmail.com](mailto:mhikmal33@gmail.com)

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi telah mendorong transformasi berbagai aktivitas administrasi menuju ekosistem digital, termasuk penggunaan dokumen elektronik dalam proses bisnis, pemerintahan, pendidikan, dan layanan keuangan. Salah satu komponen penting pada dokumen elektronik adalah tanda tangan yang berfungsi sebagai identitas, bentuk persetujuan, serta mekanisme autentikasi pemilik dokumen. Seiring meningkatnya penggunaan dokumen digital, kebutuhan terhadap sistem verifikasi tanda tangan yang cepat,

akurat, dan objektif juga semakin meningkat. Namun demikian, proses verifikasi tanda tangan masih banyak dilakukan secara manual sehingga memerlukan waktu yang relatif lama, bersifat subjektif, dan rentan terhadap kesalahan, terutama ketika tanda tangan memiliki karakteristik visual yang mirip atau dibuat oleh individu dengan gaya penulisan yang hampir sama. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa otomatisasi verifikasi tanda tangan merupakan salah satu solusi yang efektif untuk meningkatkan keamanan dokumen elektronik dan mengurangi kesalahan akibat proses verifikasi [1], [2].

Perkembangan computer vision dan machine learning telah menghasilkan berbagai pendekatan untuk membangun sistem pengenalan tanda tangan secara otomatis. Pada pendekatan *offline signature verification*, citra tanda tangan diproses melalui tahapan *preprocessing*, ekstraksi fitur, dan klasifikasi. Kualitas sistem sangat dipengaruhi oleh kemampuan metode ekstraksi fitur dalam merepresentasikan karakteristik visual tanda tangan sehingga mampu membedakan tanda tangan asli dan palsu maupun mengidentifikasi pemilik tanda tangan secara tepat [3], [4].

Berbagai penelitian telah mengembangkan kombinasi metode ekstraksi fitur dan algoritma klasifikasi untuk meningkatkan performa sistem pengenalan tanda tangan. Alsuhiat dan Mohamad menggabungkan *Convolutional Neural Network (CNN)* dan *Histogram of Oriented Gradients (HOG)* sehingga menghasilkan representasi fitur yang lebih diskriminatif dibandingkan penggunaan satu metode ekstraksi fitur saja [5]. Penelitian lain memanfaatkan *Long Short-Term Memory (LSTM)* dengan fitur HOG dan menunjukkan bahwa representasi gradien lokal mampu meningkatkan akurasi verifikasi tanda tangan pada beberapa dataset publik [6]. Selain itu, Batool et al. menggabungkan *Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM)* dan *Geometric Features* menggunakan *Support Vector Machine (SVM)* sehingga memperoleh peningkatan performa klasifikasi dibandingkan penggunaan fitur tunggal [7].

Dari sisi ekstraksi fitur, *Histogram of Oriented Gradients (HOG)* terbukti efektif dalam merepresentasikan distribusi orientasi gradien yang menggambarkan pola guratan dan tekstur lokal tanda tangan [8]. Sementara itu, *Hu Moment* banyak digunakan karena memiliki sifat invarian terhadap rotasi, translasi, dan perubahan skala sehingga mampu mempertahankan karakteristik bentuk objek meskipun mengalami transformasi geometris [9]. Di sisi lain, fitur geometris seperti luas area, perimeter, rasio aspek, centroid, dan kepadatan piksel mampu menggambarkan bentuk global suatu tanda tangan sehingga dapat menjadi informasi pelengkap bagi fitur tekstur maupun fitur momen [7], [10].

Meskipun berbagai penelitian telah menunjukkan hasil yang baik, sebagian besar penelitian masih menggunakan satu atau dua metode ekstraksi fitur sehingga representasi karakteristik tanda tangan belum sepenuhnya optimal. Beberapa penelitian lebih berfokus pada tekstur menggunakan HOG, sedangkan penelitian lainnya hanya memanfaatkan karakteristik bentuk melalui *Hu Moment* ataupun fitur geometris. Akibatnya, informasi mengenai bentuk global, pola lokal, dan karakteristik invarian belum dimanfaatkan secara bersamaan sebagai representasi fitur untuk proses klasifikasi [5], [7], [9]. Selain itu, sebagian penelitian mulai beralih menggunakan pendekatan deep learning, namun metode tersebut umumnya membutuhkan dataset berukuran besar serta sumber daya komputasi yang tinggi sehingga kurang sesuai untuk implementasi pada sistem dengan keterbatasan perangkat keras [11], [12].

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini mengusulkan kombinasi *Geometric Features*, *Histogram of Oriented Gradients (HOG)*, dan *Hu Moment* sebagai representasi fitur pada citra tanda tangan digital. Kombinasi ketiga metode tersebut diharapkan mampu menghasilkan representasi yang lebih komprehensif karena masing-masing metode memiliki karakteristik yang saling melengkapi. Fitur geometris digunakan untuk merepresentasikan bentuk global tanda tangan, HOG menangkap pola tekstur dan orientasi gradien goresan, sedangkan *Hu Moment* menghasilkan deskriptor bentuk yang stabil terhadap rotasi, translasi, dan perubahan skala. Seluruh fitur kemudian digabungkan menjadi satu vektor fitur yang selanjutnya diklasifikasikan menggunakan algoritma *Support Vector Machine (SVM)* dengan kernel *Radial Basis Function (RBF)* yang telah banyak digunakan pada penelitian verifikasi tanda tangan karena memiliki kemampuan klasifikasi yang baik pada data berdimensi tinggi [7], [13].

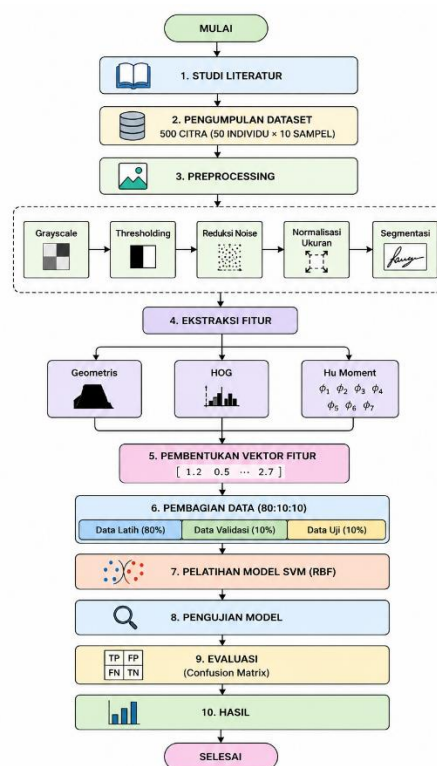
Research gap penelitian ini terletak pada masih terbatasnya penelitian yang mengintegrasikan fitur geometris, HOG, dan *Hu Moment* secara simultan dalam satu representasi fitur untuk pengenalan tanda tangan digital berbasis SVM. Sebagian besar penelitian sebelumnya hanya mengevaluasi satu atau dua metode ekstraksi fitur sehingga belum mampu memanfaatkan informasi bentuk global, tekstur lokal, dan karakteristik invarian secara bersamaan [5], [7], [9].

Kebaruan penelitian ini terletak pada penggunaan kombinasi tiga metode ekstraksi fitur yang saling melengkapi, yaitu *Geometric Features*, *Histogram of Oriented Gradients (HOG)*, dan *Hu Moment*, yang kemudian diklasifikasikan menggunakan *Support Vector Machine (SVM)* berbasis kernel *Radial Basis Function (RBF)*. Pendekatan ini menghasilkan representasi fitur yang lebih kaya dibandingkan penggunaan satu metode ekstraksi fitur sehingga diharapkan mampu meningkatkan kemampuan sistem dalam membedakan karakteristik setiap tanda tangan [5], [7], [14].

Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem pengenalan tanda tangan digital berbasis Python menggunakan kombinasi ekstraksi fitur Geometris, HOG, dan Hu Moment dengan klasifikasi SVM. Kinerja sistem dievaluasi menggunakan metrik *accuracy*, *precision*, *recall*, dan *F1-score*. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan sistem verifikasi tanda tangan digital yang lebih akurat, efisien, dan mudah diimplementasikan sebagai pendukung keamanan dokumen elektronik serta menjadi alternatif yang lebih ringan dibandingkan pendekatan deep learning untuk implementasi pada perangkat dengan sumber daya komputasi terbatas [15].

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk membangun dan mengevaluasi sistem pengenalan tanda tangan digital berbasis pengolahan citra menggunakan algoritma *Support Vector Machine* (SVM). Tahapan penelitian dimulai dengan studi literatur untuk mengkaji berbagai penelitian terdahulu yang berkaitan dengan verifikasi tanda tangan digital, teknik ekstraksi fitur, serta metode klasifikasi berbasis machine learning. Hasil kajian literatur digunakan sebagai dasar dalam menentukan metode ekstraksi fitur dan algoritma klasifikasi yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 1. Alur Penelitian

Tahap berikutnya adalah pengumpulan dataset berupa 500 citra tanda tangan yang berasal dari 50 individu, di mana setiap individu memiliki 10 sampel tanda tangan. Seluruh citra kemudian diproses melalui tahap *preprocessing* untuk meningkatkan kualitas citra dan menyeragamkan karakteristik data sebelum dilakukan ekstraksi fitur. Tahapan *preprocessing* meliputi konversi citra berwarna menjadi *grayscale*, proses *thresholding* untuk memisahkan objek tanda tangan dari latar belakang, reduksi noise untuk menghilangkan gangguan pada citra, normalisasi ukuran citra agar seluruh sampel memiliki dimensi yang seragam, serta segmentasi untuk memperoleh area tanda tangan yang akan digunakan pada proses ekstraksi fitur.

Setelah *preprocessing* selesai dilakukan, citra tanda tangan diekstraksi menggunakan tiga metode yang memiliki karakteristik berbeda namun saling melengkapi, yaitu *Geometric Features*, *Histogram of Oriented Gradients* (HOG), dan *Hu Moment*. Fitur geometris digunakan untuk merepresentasikan karakteristik bentuk global tanda tangan melalui parameter seperti luas area, keliling, rasio aspek, *centroid*, dan kepadatan piksel. Selanjutnya, metode HOG digunakan untuk mengekstraksi informasi tekstur lokal dan distribusi orientasi gradien yang menggambarkan pola guratan pada tanda tangan. Sementara itu, metode Hu Moment menghasilkan tujuh nilai momen invarian yang mampu mempertahankan karakteristik bentuk objek meskipun terjadi perubahan rotasi, translasi, maupun skala. Ketiga hasil ekstraksi fitur tersebut kemudian

digabungkan menjadi satu vektor fitur sehingga mampu merepresentasikan karakteristik tanda tangan secara lebih komprehensif.

Sebelum proses pelatihan model dilakukan, dataset dibagi menggunakan skema 80:10:10, yaitu 80% sebagai data latih, 10% sebagai data validasi, dan 10% sebagai data uji. Data latih digunakan untuk membangun model klasifikasi, data validasi dimanfaatkan untuk membantu proses evaluasi selama pelatihan, sedangkan data uji digunakan untuk mengukur kemampuan model dalam mengenali tanda tangan yang belum pernah dipelajari sebelumnya.

Tahap selanjutnya adalah pelatihan model menggunakan algoritma *Support Vector Machine* (SVM) dengan kernel *Radial Basis Function* (RBF). Pemilihan kernel RBF didasarkan pada kemampuannya dalam memetakan data yang tidak terpisahkan secara *linear* ke ruang berdimensi lebih tinggi sehingga dapat menghasilkan batas keputusan (*decision boundary*) yang lebih optimal. Seluruh vektor fitur hasil ekstraksi digunakan sebagai masukan bagi model SVM untuk membentuk fungsi klasifikasi yang mampu membedakan karakteristik tanda tangan setiap individu.

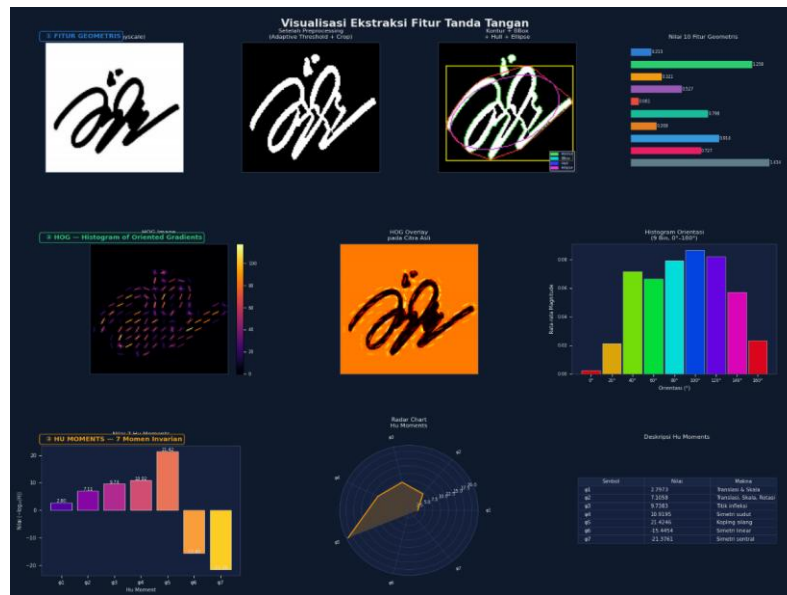
Model yang telah dilatih kemudian dievaluasi menggunakan data uji. Hasil klasifikasi dibandingkan dengan label sebenarnya melalui *confusion matrix* untuk mengetahui tingkat keberhasilan sistem dalam mengenali tanda tangan. Berdasarkan *confusion matrix* tersebut dihitung beberapa metrik evaluasi, yaitu *accuracy*, *precision*, *recall*, dan *F1-score*. Nilai-nilai tersebut digunakan sebagai indikator performa model dalam mengukur ketepatan klasifikasi, kemampuan mengenali setiap kelas, serta keseimbangan antara *precision* dan *recall*. Hasil evaluasi selanjutnya dianalisis untuk mengetahui efektivitas kombinasi metode *Geometric Features*, *Histogram of Oriented Gradients* (HOG), dan *Hu Moment* dalam meningkatkan kinerja sistem pengenalan tanda tangan digital berbasis *Support Vector Machine* (SVM).

### 3. HASIL DAN ANALISIS

Sistem pengenalan tanda tangan digital berhasil diimplementasikan menggunakan bahasa pemrograman Python dengan antarmuka grafis berbasis Tkinter sesuai dengan tahapan penelitian yang telah dirancang. Sistem mengintegrasikan seluruh proses mulai dari preprocessing citra, ekstraksi fitur menggunakan *Geometric Features*, *Histogram of Oriented Gradients* (HOG), dan *Hu Moment*, pembentukan vektor fitur, hingga proses klasifikasi menggunakan algoritma *Support Vector Machine* (SVM) dengan kernel *Radial Basis Function* (RBF). Dataset yang digunakan terdiri atas 500 citra tanda tangan yang berasal dari 50 individu, dengan masing-masing individu memiliki 10 sampel tanda tangan. Sesuai dengan metode penelitian, dataset dibagi menggunakan rasio 80:10:10, yaitu 400 citra sebagai data latih, 50 citra sebagai data validasi, dan 50 citra sebagai data uji. Pembagian data tersebut bertujuan agar model dapat dilatih, divalidasi, dan diuji menggunakan data yang berbeda sehingga kemampuan generalisasi model dapat dievaluasi secara objektif.

Tahap preprocessing menghasilkan citra yang lebih seragam sebelum dilakukan proses ekstraksi fitur. Konversi citra ke *grayscale* dilakukan untuk menghilangkan informasi warna yang tidak diperlukan, sedangkan *thresholding* dan segmentasi digunakan untuk memisahkan objek tanda tangan dari latar belakang. Selanjutnya, reduksi *noise* bertujuan menghilangkan gangguan yang muncul akibat proses pemindaian maupun kualitas citra, sementara normalisasi ukuran memastikan seluruh citra memiliki dimensi yang sama. Tahapan tersebut menghasilkan objek tanda tangan yang lebih bersih dan konsisten sehingga mampu meningkatkan kualitas informasi yang diekstraksi pada tahap berikutnya.

Proses ekstraksi fitur dilakukan menggunakan tiga metode yang memiliki karakteristik berbeda namun saling melengkapi, yaitu *Geometric Features*, *Histogram of Oriented Gradients* (HOG), dan *Hu Moment*. *Geometric Features* digunakan untuk merepresentasikan karakteristik bentuk global tanda tangan melalui parameter seperti luas area, keliling, rasio aspek, *centroid*, dan kepadatan piksel. HOG digunakan untuk menangkap distribusi orientasi gradien sehingga mampu menggambarkan pola guratan dan tekstur lokal yang menjadi ciri khas setiap tanda tangan. Sementara itu, *Hu Moment* menghasilkan tujuh nilai momen invarian yang tetap stabil terhadap perubahan rotasi, translasi, maupun skala sehingga mampu mempertahankan karakteristik bentuk meskipun terjadi variasi posisi saat proses penandatanganan. Seluruh fitur hasil ekstraksi kemudian digabungkan menjadi satu vektor fitur yang digunakan sebagai masukan bagi algoritma SVM.



Gambar 2. Hasil Implementasi

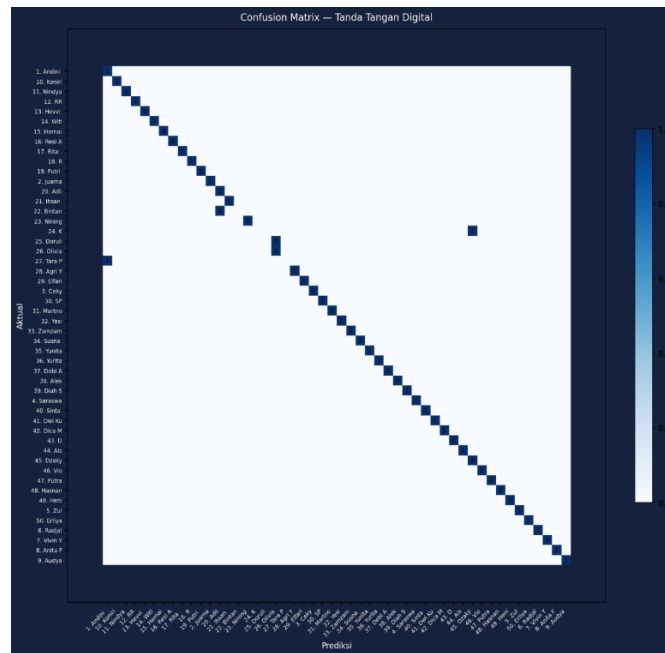
Hasil implementasi sistem ditunjukkan pada Gambar 2, yang memperlihatkan visualisasi tahapan ekstraksi fitur pada salah satu citra tanda tangan digital. Visualisasi tersebut menampilkan hasil *preprocessing*, representasi gradien menggunakan HOG, nilai *Hu Moment*, karakteristik *Geometric Features*, serta distribusi nilai fitur dalam bentuk grafik. Berdasarkan visualisasi tersebut dapat diketahui bahwa setiap metode mampu menghasilkan informasi yang berbeda namun saling melengkapi. *Geometric Features* memberikan informasi mengenai bentuk global objek, HOG merepresentasikan pola arah guratan yang membedakan karakteristik setiap tanda tangan, sedangkan *Hu Moment* menghasilkan deskriptor bentuk yang tetap konsisten meskipun terjadi perubahan orientasi maupun ukuran. Kombinasi ketiga metode tersebut menghasilkan representasi fitur yang lebih komprehensif dibandingkan penggunaan satu metode ekstraksi fitur saja sehingga mampu meningkatkan kemampuan model dalam membedakan karakteristik tanda tangan dari setiap individu.

Setelah proses pelatihan selesai dilakukan menggunakan data latih, model kemudian diuji menggunakan 50 data uji yang belum pernah digunakan selama proses pelatihan. Berdasarkan hasil pengujian, sistem berhasil mengenali 46 citra tanda tangan dengan benar, sedangkan 4 citra mengalami kesalahan klasifikasi. Ringkasan hasil evaluasi menunjukkan bahwa model memperoleh *accuracy* sebesar 92,00%, *precision* sebesar 88,00%, *recall* sebesar 92,00%, dan *F1-score* sebesar 89,33%. Nilai *accuracy* yang tinggi menunjukkan bahwa sebagian besar tanda tangan berhasil diklasifikasikan sesuai identitas pemiliknya. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi fitur Geometris, HOG, dan Hu Moment mampu menghasilkan representasi karakteristik yang cukup diskriminatif sehingga algoritma SVM dapat membentuk batas keputusan yang mampu memisahkan sebagian besar kelas dengan baik.

Tabel 1. Hasil Evaluasi

Metrik	Nilai
<i>Accuracy</i>	92.00%
<i>Precision</i>	88.00%
<i>Recall</i>	92.00%
<i>F1-Score</i>	89.33%

Nilai *precision* sebesar 88,00% menunjukkan bahwa sebagian besar prediksi yang dihasilkan sistem sesuai dengan kelas sebenarnya, meskipun masih terdapat sejumlah kecil prediksi yang salah. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa beberapa tanda tangan memiliki karakteristik visual yang sangat mirip sehingga menghasilkan representasi fitur yang hampir sama. Di sisi lain, nilai *recall* sebesar 92,00% menunjukkan bahwa model mampu mengenali sebagian besar tanda tangan yang seharusnya teridentifikasi. Tingginya nilai *recall* menunjukkan bahwa kombinasi fitur yang digunakan berhasil mempertahankan karakteristik penting dari setiap tanda tangan sehingga kemungkinan terjadinya kesalahan identifikasi relatif rendah. Sementara itu, nilai *F1-score* sebesar 89,33% menunjukkan keseimbangan yang baik antara *precision* dan *recall* sehingga model tidak hanya mampu memberikan prediksi yang akurat tetapi juga memiliki kemampuan identifikasi yang konsisten terhadap sebagian besar kelas.



Gambar 3. *Confusion Matrix*

Hasil evaluasi menggunakan *confusion matrix* pada Gambar 3 menunjukkan bahwa sebagian besar prediksi berada pada diagonal utama. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa model berhasil mengklasifikasikan sebagian besar tanda tangan sesuai dengan identitas sebenarnya. Keberadaan empat titik di luar diagonal utama menunjukkan adanya empat kesalahan klasifikasi dari total lima puluh data uji. Kesalahan tersebut diduga disebabkan oleh kemiripan bentuk, pola guratan, maupun karakteristik visual antar tanda tangan sehingga menghasilkan vektor fitur yang hampir identik. Selain itu, variasi alami pada proses penandatanganan, seperti perubahan tekanan pena, kemiringan tulisan, atau ukuran tanda tangan, juga dapat memengaruhi hasil ekstraksi fitur. Faktor lain yang turut memengaruhi adalah jumlah sampel pelatihan yang relatif terbatas, yaitu delapan citra untuk setiap individu, sehingga belum mampu merepresentasikan seluruh variasi karakteristik tanda tangan yang dimiliki masing-masing pengguna.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi *Geometric Features*, *Histogram of Oriented Gradients* (HOG), dan Hu Moment mampu menghasilkan representasi fitur yang lebih lengkap dibandingkan penggunaan satu jenis fitur secara terpisah. *Geometric Features* memberikan informasi mengenai bentuk global, HOG merepresentasikan tekstur lokal dan arah gradien, sedangkan Hu Moment mempertahankan karakteristik bentuk yang bersifat invarian terhadap rotasi, translasi, dan perubahan skala. Representasi fitur yang lebih komprehensif tersebut memungkinkan algoritma *Support Vector Machine* dengan kernel *Radial Basis Function* membentuk model klasifikasi yang lebih baik sehingga mampu mencapai akurasi sebesar 92,00% pada proses pengujian. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pendekatan yang diusulkan mampu mendukung proses pengenalan dan verifikasi tanda tangan digital secara otomatis dengan tingkat performa yang baik serta berpotensi diterapkan sebagai pendukung sistem keamanan dokumen elektronik yang membutuhkan proses autentikasi secara cepat, objektif, dan akurat.

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem pengenalan tanda tangan digital berbasis *Python* menggunakan kombinasi metode ekstraksi fitur *Geometric Features*, *Histogram of Oriented Gradients* (HOG), dan *Hu Moment* dengan algoritma klasifikasi *Support Vector Machine* (SVM) berkernel *Radial Basis Function* (RBF). Kombinasi ketiga metode ekstraksi fitur mampu merepresentasikan karakteristik bentuk global, tekstur lokal, serta sifat invarian terhadap rotasi, translasi, dan perubahan skala sehingga menghasilkan vektor fitur yang lebih komprehensif dibandingkan penggunaan satu metode ekstraksi fitur secara terpisah. Berdasarkan hasil pengujian menggunakan 50 data uji, sistem berhasil mengenali 46 tanda tangan dengan benar dan memperoleh nilai *accuracy* sebesar 92,00%, *precision* sebesar 88,00%, *recall* sebesar 92,00%, serta *F1-score* sebesar 89,33%. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa pendekatan yang diusulkan mampu meningkatkan efektivitas proses pengenalan tanda tangan digital dan memberikan performa klasifikasi yang baik. Dengan demikian, kombinasi *Geometric Features*, HOG, Hu Moment, dan SVM dapat dijadikan alternatif yang efektif untuk mendukung sistem autentikasi dan verifikasi dokumen elektronik. Penelitian selanjutnya dapat diarahkan pada penambahan jumlah dataset, optimalisasi parameter

SVM, serta perbandingan dengan metode klasifikasi berbasis deep learning untuk meningkatkan akurasi dan kemampuan generalisasi sistem.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Informatika Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Bengkulu atas dukungan selama pelaksanaan penelitian. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, masukan, dan bimbingan selama proses penelitian hingga penyusunan artikel ini.

#### REFERENSI

- [1] F. M. Alsuhiat and F. S. Mohamad, "A Hybrid Method of Feature Extraction for Signatures Verification Using CNN and HOG a Multi-Classification Approach," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 21873–21882, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3252022.
- [2] L. Zheng, D. Wu, S. Xu, and Y. Zheng, "HTCSigNet: A Hybrid Transformer and Convolution Signature Network for offline signature verification," *Pattern Recognit.*, vol. 159, p. 111146, Mar. 2025, doi: 10.1016/j.patcog.2024.111146.
- [3] S. K. D. Sannappa, K. Kiran, S. K. V. Rao, and Y. Jagadeesh, "Offline Signature Verification based on Edge Histogram using Support Vector Machine," *J. Eng. Res. Sci.*, vol. 1, no. 5, pp. 160–166, May 2022, doi: 10.55708/js0105017.
- [4] S. K. D.S., "Offline Signature Verification based on Ensemble of Features using Support Vector Machine," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 184, no. 45, pp. 24–29, Feb. 2023, doi: 10.5120/ijca2023922547.
- [5] F. M. Alsuhiat and F. S. Mohamad, "Offline signature verification using long short-term memory and histogram orientation gradient," *Bull. Electr. Eng. Informatics*, vol. 12, no. 1, pp. 283–292, Feb. 2023, doi: 10.11591/eei.v12i1.4024.
- [6] J. M. Nori and A. M. Murshid, "A Survey of Offline Handwriting Signature Verification," *Al-Kitab J. Pure Sci.*, vol. 9, no. 01, pp. 117–128, Jan. 2025, doi: 10.32441/kjps.09.01.p8.
- [7] N. C. Rathore, A. Juneja, N. Kumar, V. Kumar, and A. Dhaka, "A hybrid machine learning framework for offline signature verification using gray wolf optimization," *Sci. Rep.*, vol. 16, no. 1, p. 7124, Feb. 2026, doi: 10.1038/s41598-026-36163-4.
- [8] M. Taşkıran and Z. G. Çam, "Offline signature identification via HOG features and artificial neural networks," in *SAMI 2017 - IEEE 15th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics, Proceedings*, IEEE, Jan. 2017, pp. 83–86. doi: 10.1109/SAMI.2017.7880280.
- [9] Z. Wang, M. Muhammat, N. Yadikar, A. Aysa, and K. Ubul, "Advances in Offline Handwritten Signature Recognition Research: A Review," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 120222–120236, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3326471.
- [10] R. Ghosh, "A Recurrent Neural Network based deep learning model for offline signature verification and recognition system," *Expert Syst. Appl.*, vol. 168, p. 114249, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.eswa.2020.114249.
- [11] R. Zouari, R. Mokni, and M. Kherallah, "Identification and verification system of offline handwritten signature using fractal approach," in *International Image Processing, Applications and Systems Conference, IPAS 2014*, IEEE, Nov. 2014, pp. 1–4. doi: 10.1109/IPAS.2014.7043305.
- [12] M. Jampour, S. Abbaasi, and M. Javidi, "CapsNet regularization and its conjugation with ResNet for signature identification," *Pattern Recognit.*, vol. 120, p. 107851, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.patcog.2021.107851.
- [13] M. M. Hameed, R. Ahmad, M. L. M. Kiah, and G. Murtaza, "Machine learning-based offline signature verification systems: A systematic review," *Signal Process. Image Commun.*, vol. 93, p. 116139, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.image.2021.116139.

- [14] F. E. Batool *et al.*, “Offline signature verification system: a novel technique of fusion of GLCM and geometric features using SVM,” *Multimed. Tools Appl.*, vol. 83, no. 5, pp. 14959–14978, Apr. 2024, doi: 10.1007/s11042-020-08851-4.
- [15] R. Pujiyanto, M. Lestari, and N. W. P. Septiani, “Pengolahan Citra Dan Metode Support Vector Machine (SVM) Dalam Pengenalan Pola Tanda Tangan,” *JRKT (Jurnal Rekayasa Komputasi Ter.*, vol. 1, no. 01, Mar. 2021, doi: 10.30998/jrkt.v1i01.4048.