

EKSTRAKSI FITUR HU MOMENT DALAM IDENTIFIKASI KEASLIAN TANDA TANGAN DIGITAL

Yovi Apridiansyah ^{a,1,*}, Ardi Wijaya ^{b,1,*}, Jaka Rapino ^{c,3}, Dedi Abdullah ^{d,4}

^{a,b,c,d} Universitas Muhammadiyah Bengkulu, Jl. Bali, Kp. Bali, Kec. Tlk Segara, Kota Bengkulu 38119

¹ yoviapridiansyah@umb.ac.id; ² ardiwijaya@umb.ac.id*; ³ rapinojaka@gmail.com; ⁴ dedy_abdullah@umb.ac.id_

* ardiwijaya@umb.ac.id

ARTICLE INFO

ABSTRACT (10PT)

Keywords

Digital signature, Hu Moments, feature extraction, forgery detection, image processing

Digital signature forgery poses a serious threat in the era of document digitalization, as widely accessible image editing software can be exploited to manipulate signatures with high precision. This study designs and implements a static digital signature authenticity detection system based on Hu Moments feature extraction using MATLAB. The method involves preprocessing stages including image resizing (200×200 pixels), grayscaling, and binarization, followed by the extraction of seven Hu Moment invariant values that are robust against translation, rotation, and scale variations. The dataset consists of 120 signature images collected from 30 subjects (4 samples per person), divided into 90 training data and 30 testing data. System evaluation using a confusion matrix demonstrated excellent performance, achieving a precision of 100%, recall of 93%, and accuracy of 93%. This study proves that Hu Moments are effective as a global shape descriptor for distinguishing genuine and forged signatures, and contributes new insights to the field of digital forensics and electronic document security.

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi digital telah membawa transformasi signifikan dalam berbagai aspek kehidupan, termasuk dalam proses autentikasi dokumen [1]. Tanda tangan digital kini semakin banyak digunakan untuk memberikan validasi dan persetujuan pada dokumen elektronik, menawarkan efisiensi dan kemudahan yang tidak dimiliki oleh tanda tangan konvensional. Namun, kemudahan ini diiringi oleh meningkatnya kerentanan terhadap pemalsuan [2] [3].

Fenomena pemalsuan tanda tangan digital dapat menjadi ancaman serius pada era digitalisasi dokumen. Seperti transaksi elektronik, perjanjian hukum digital, dan proses administrasi pemerintahan secara daring telah membuka celah keamanan yang dapat dimanfaatkan oleh pihak tidak bertanggung jawab [4] [5] [6]. Penggunaan perangkat lunak pengedit gambar yang mudah diakses, tanda tangan asli dapat dengan mudah disalin, ditempel, dan dimanipulasi ke dalam bentuk dokumen lain dengan presisi tinggi sehingga sulit dibedakan secara kasat mata. Ancaman ini tidak hanya menimbulkan kerugian materiil, tetapi juga merusak integritas transaksi, kepercayaan publik, dan nilai hukum suatu dokumen, sehingga sistem verifikasi otomatis yang andal sangat mendesak untuk dikembangkan [7] [8] [9].

Penelitian mengenai deteksi keaslian tanda tangan telah banyak dilakukan dengan berbagai pendekatan. Penelitian Marthatiyanda menggunakan analisis *stroke histogram* untuk pengenalan citra tanda tangan [10],

sementara Kurniawan mengeksplorasi fitur statis seperti *Local Binary Pattern* (LBP) dan *Histogram of Oriented Gradients* (HOG) [11]. Metode-metode tersebut menunjukkan hasil yang menjanjikan, namun memiliki keterbatasan dalam hal sensitivitas terhadap variasi geometris seperti perbedaan rotasi, skala, dan posisi sehingga kinerja sistem dapat menurun ketika tanda tangan yang sama diakuisisi dalam kondisi berbeda. Selain itu, penggunaan Hu Moments sebagai deskriptor bentuk global khusus untuk kasus deteksi pemalsuan tanda tangan digital statis masih relatif jarang dieksplorasi dalam literatur yang ada [12]. Celah inilah yang menjadi dasar penelitian ini dikembangkan.

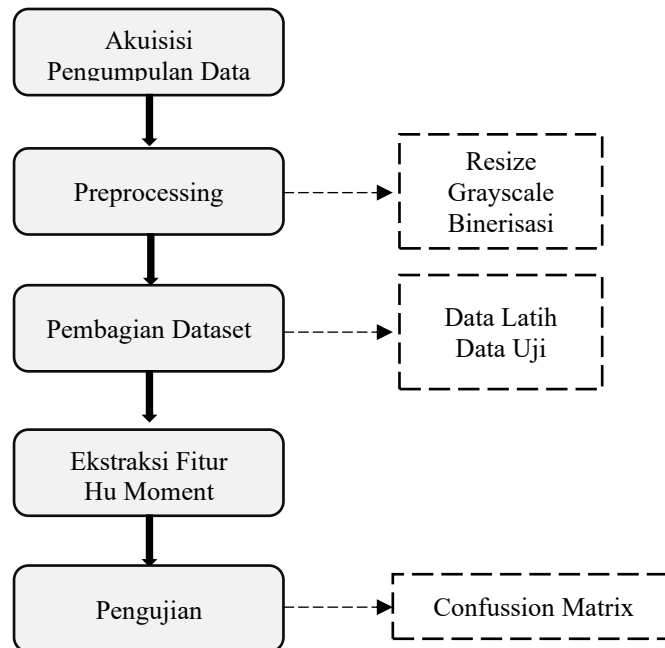
Berdasarkan uraian dan celah penelitian yang telah diidentifikasi, penelitian ini merumuskan tiga pertanyaan utama. Pertama, bagaimana merancang sistem deteksi pemalsuan tanda tangan digital statis menggunakan ekstraksi fitur Hu Moments. Kedua, seberapa akurat sistem berbasis Hu Moments dalam membedakan tanda tangan asli dan tanda tangan palsu. Ketiga, bagaimana performa sistem tersebut dalam menghadapi variasi geometris seperti perbedaan rotasi, skala, dan posisi pada citra tanda tangan.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem deteksi keaslian tanda tangan digital statis berbasis ekstraksi fitur Hu Moments, mengevaluasi akurasi sistem melalui pengujian menggunakan dataset tanda tangan digital, serta menganalisis *robustness* sistem terhadap variasi geometris pada citra masukan. Pendekatan yang digunakan berfokus pada tujuh nilai momen invarian Hu yang diekstraksi setelah tahap pra-pemrosesan citra meliputi *grayscale*, binerisasi, normalisasi, dan penghilangan *noise*. Keunggulan utama Hu Moments terletak pada sifatnya yang invarian terhadap translasi, rotasi, dan perubahan skala, sehingga tanda tangan yang sama yang dipindai dengan posisi miring, lokasi berbeda, atau ukuran bervariasi akan menghasilkan nilai fitur yang sangat mirip dan menjadikan sistem lebih *robust* [13] [14] [15].

Kebaruan penelitian ini terletak pada eksplorasi dan penerapan Hu Moments secara mendalam sebagai deskriptor bentuk global (*global shape descriptor*) untuk kasus spesifik deteksi pemalsuan tanda tangan digital berbasis citra statis — sebuah pendekatan yang relatif jarang ditemukan dalam literatur sebelumnya yang umumnya berfokus pada fitur tekstur lokal seperti LBP dan HOG, atau pada tanda tangan dinamis yang merekam gerakan. Hu Moments dinilai potensial untuk menangkap keunikan bentuk global tanda tangan yang sulit direplikasi oleh pemalsu, bahkan ketika detail *stroke* berhasil ditiru [16]. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi baru dalam bidang digital forensik dan keamanan dokumen elektronik sebagai solusi verifikasi yang ringan, robust, dan praktis dalam mencegah kecurangan serta melindungi integritas transaksi digital.

2. Metodologi Penelitian

Dalam penelitian ini metode penelitian menggunakan metode eksperimen dengan alur penelitian yang sistematis. Dalam identifikasi keaslian tanda tangan tahapan eksperimen diperlukan sebagai landasan dalam penelitian [17][18], tahapan tersebut sebagai berikut:

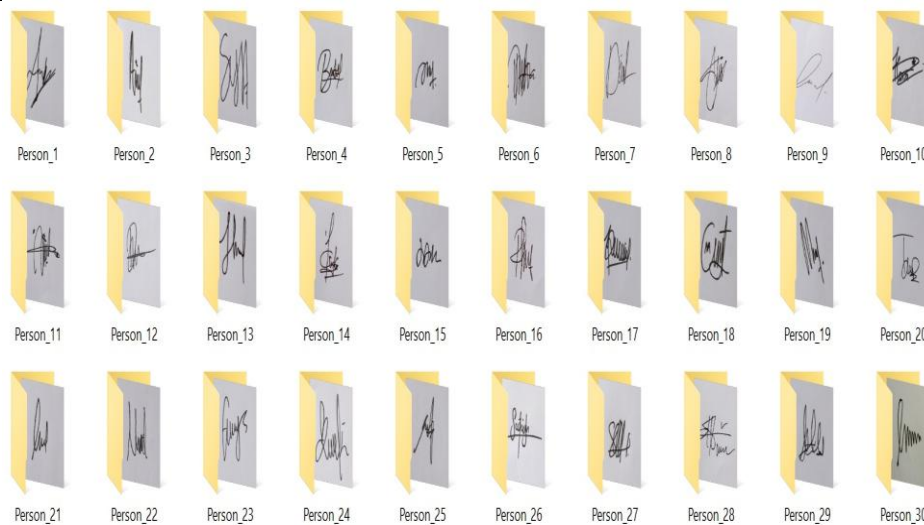


Gambar 1. Tahap Pelaksanaan Metode Eksperimen

Gambar 1 menampilkan diagram alur tahap pelaksanaan metode eksperimen pada sistem deteksi pemalsuan tanda tangan digital, yang dimulai dari proses akuisisi pengumpulan data, dilanjutkan dengan tahap *preprocessing* yang mencakup *resize*, *grayscale*, dan *binerisasi* citra, kemudian dilakukan pembagian dataset menjadi data latih dan data uji. Selanjutnya, fitur diekstraksi menggunakan metode Ekstraksi Fitur Hu Moment, diikuti dengan proses pengukuran kemiripan antar citra tanda tangan, hingga tahap akhir berupa pengujian yang menghasilkan evaluasi performa sistem melalui *confusion matrix*.

2.1. Akuisisi Citra

Pada tahap ini proses akuisisi merupakan proses pengumpulan data, dalam pengumpulan data ini data citra dtanda tangan yang dikumpulkan dari 30 orang dengan masing-masing sampel tanda tangan setiap orangnya berjumlah 4 tanda tangan digital jadi total sampel tanda tangan yang dijadikan untuk dataset berjumlah 120 data citra tanda tangan.



Gambar 2. Dataset Citra Tanda Tangan

2.2. Preprocessing

Pada tahap ini merupakan proses *preprocessing* dimana dataset yang telah dikumpulkan akan diproses untuk proses selanjutnya. Tahap pertama adalah normalisasi ukuran citra menjadi 200×200 , ukuran 200×200 dipilih sebagai titik tengah yang cukup besar untuk mempertahankan detail bentuk tanda tangan, namun cukup kecil untuk efisiensi komputasi dalam system. Tahap kedua proses grayscale adalah proses mengubah citra berwarna menjadi citra abu-abu, grayscale dapat menghilangkan variasi warna sehingga sistem fokus pada bentuk pola dari goresan tanda tangan. Tahap ketiga binerisasi tahapan ini merupakan proses mengubah citra grayscale menjadi citra biner atau hitam putih tahap ini merupakan penegasan bentuk yang mengubah citra tanda tangan menjadi representasi hitam-putih yang bersih, sehingga sistem dapat mengekstrak fitur secara akurat dan membandingkan tanda tangan.

2.3. Pembagian dataset

Pada pembagian dataset ini citra yang dikumpulkan dari 30 orang berjumlah 120 sampel tanda tangan. Data sampel tersebut dibagi menjadi 2 kategori yaitu data latih dan data uji, untuk data latih masing-masing perorangnya diambil citra tanda tangan jadi total untuk data latih berjumlah 90 citra data latih, dan 1 sampel untuk data uji perorang, total data uji berjumlah 30 citra tanda tangan. Skema pembagian dataset tersebut merujuk pada penelitian [19] dimana skema pembagian sebuah dataset besar yang berisi 100 jam video aktivitas dapur yang direkam menggunakan kamera yang dikenakan di kepala. Dataset ini dikumpulkan dari 45 lingkungan yang berbeda.

2.4. Hu Moment

Pada penelitian deteksi pemalsuan tanda tangan digital ini, setelah citra tanda tangan melewati tahap *preprocessing* berupa *resize* ke ukuran 200×200 piksel, konversi *grayscale*, dan binerisasi, citra tersebut siap untuk diekstraksi fiturnya menggunakan metode Hu Moment. Setiap citra tanda tangan dari 30 orang subjek, dengan masing-masing 4 sampel tanda tangan per orang sehingga total 120 citra tanda tangan dengan data latih sebanyak 90 dan data uji sebanyak 30 citra yang akan direpresentasikan menjadi 7 nilai fitur numerik yang mencerminkan karakteristik geometris unik dari goresan tanda tangan masing-masing individu.

Hu Moment pada pengenalan tanda tangan digital digunakan untuk merepresentasikan bentuk tanda tangan dalam bentuk tujuh nilai invarian yang stabil terhadap perubahan posisi, ukuran, maupun rotasi citra. Dalam sistem verifikasi, sifat invarian ini memungkinkan perbandingan tanda tangan tetap konsisten meskipun citra diperoleh dari kondisi pemindaian yang berbeda. Hu Moment mampu menangkap karakteristik global bentuk secara komprehensif, sehingga efektif digunakan untuk mengukur kemiripan pola antara tanda tangan uji dan referensi, terutama dalam mendeteksi perbedaan struktur yang tidak mudah terlihat secara visual. Tahap pertama, perhitungan momen spasial dari citra biner tanda tangan. Setelah citra tanda tangan berhasil dibinerisasi menjadi piksel bernilai 0 dan 1, sistem kemudian menghitung momen spasial dari seluruh piksel goresan tersebut [20]. Momen spasial dihitung dengan rumus:

$$M_{pq} = \sum_x \sum_y x^p y^q f(x, y) \quad (1)$$

Dalam konteks tanda tangan, $I(x, y)$ bernilai 1 hanya pada piksel yang merupakan bagian dari goresan tanda tangan, dan bernilai 0 pada bagian *background* kertas. Dengan demikian, perhitungan ini secara efektif merangkum distribusi spasial seluruh goresan tanda tangan seseorang dalam satu representasi matematis. Dari momen spasial ini, sistem menghitung titik pusat massa (centroid) goresan tanda tangan:

$$x = \frac{m_{10}}{m_{00}}, y = \frac{m_{01}}{m_{00}} \quad (2)$$

Centroid ini merepresentasikan titik keseimbangan dari keseluruhan goresan tanda tangan, yang akan digunakan sebagai titik acuan pada tahap berikutnya. Tahap kedua, normalisasi posisi goresan dengan momen terpusat. Dalam praktiknya, seseorang bisa menuliskan tanda tangannya di posisi yang berbeda-beda pada kertas, misalnya lebih ke kiri, ke kanan, atau ke tengah. Agar perbedaan posisi ini tidak mempengaruhi hasil identifikasi, sistem menghitung momen terpusat yang menggunakan centroid sebagai titik acuan [13]:

$$\mu_{pq} = \sum_x \sum_y (x - x)^p \cdot (y - y)^q I(x, y) \quad (3)$$

Dengan perhitungan ini, tanda tangan milik Person 1 yang ditulis di pojok kiri kertas maupun di tengah kertas akan menghasilkan representasi matematis yang sama, sehingga sistem tetap dapat mengenalinya sebagai tanda tangan yang sama.

Tahap ketiga, yaitu normalisasi skala goresan tanda tangan. Meskipun citra telah di-resize ke 200×200 piksel, kepadatan dan distribusi goresan tanda tangan setiap orang tetap berbeda. Seseorang mungkin menulis tanda tangan dengan goresan yang panjang dan menyebar, sementara yang lain menulis dengan goresan yang lebih padat dan terkumpul. Untuk mengatasi ini, momen terpusat dinormalisasi dengan rumus:

$$n_{pq} = \frac{\mu_{pq0}}{\mu_{00}}, \gamma = \frac{p+q}{2} + 1 \quad (4)$$

Normalisasi ini memastikan bahwa karakteristik bentuk goresan tanda tangan dapat dibandingkan secara adil antar subjek, terlepas dari perbedaan kepadatan goresan.

Tahap keempat, pembentukan 7 nilai hu moment tanda tangan. Dari momen ternormalisasi tersebut, sistem menghasilkan tujuh nilai Hu Moment yang menjadi representasi fitur unik setiap tanda tangan:

$$\phi_1 = \eta_{20} + \eta_{02} \quad (5)$$

$$\phi_2 = (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2 \quad (6)$$

$$\phi_3 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2 \quad (7)$$

$$\phi_4 = (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \quad (8)$$

$$\phi_5 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] \quad (9)$$

$$+ (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2]$$

$$\phi_6 = (\eta_{20} - \eta_{02})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] + 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}) \quad (10)$$

$$\phi_7 = (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] \quad (11)$$

$$- (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2]$$

Dalam konteks penelitian ini, ketujuh nilai tersebut menangkap informasi geometris yang berbeda dari goresan tanda tangan. ϕ_1 merepresentasikan distribusi keseluruhan massa goresan tanda tangan seseorang. ϕ_2 menangkap elongasi dan orientasi dominan goresan, misalnya apakah tanda tangan cenderung memanjang ke kanan atau melingkar. ϕ_3 dan ϕ_4 mendeskripsikan ketidaksimetrisan dan kompleksitas goresan yang menjadi ciri khas setiap individu. Sementara ϕ_5 , ϕ_6 , dan ϕ_7 menangkap karakteristik bentuk orde tinggi termasuk ketidaksimetrisan cermin, yang sangat sensitif terhadap perbedaan halus antara tanda tangan asli dan tanda tangan palsu yang mencoba meniru.

Tahap terakhir hasil vektor fitur setiap tanda tangan. Dari proses ekstraksi ini, setiap satu citra tanda tangan akan direpresentasikan sebagai sebuah vektor fitur berisi 7 nilai:

$$F_{TTD} = [\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4, \phi_5, \phi_6, \phi_7] \quad (12)$$

Sehingga dari 90 citra data latih milik 30 orang subjek, sistem memiliki 90 vektor fitur yang tersimpan sebagai referensi. Ketika sistem menerima citra tanda tangan uji seperti yang terlihat pada antarmuka aplikasi, citra tersebut juga diekstraksi menjadi vektor fitur yang sama, kemudian dibandingkan dengan seluruh vektor fitur data latih pada tahap pengukuran kemiripan untuk menentukan apakah tanda tangan tersebut ASLI atau PALSU.

2.5. Pengujian

Pengujian dan evaluasi sistem dengan menggunakan data uji yang terpisah, guna menghitung tingkat akurasi, *precision*, dan *recall*, sebagai indikator kinerja [21]. Data uji yang dimaksud berupa data uji masing-masing orang sebanyak 30 citra yang dimaksudkan untuk proses pengenalan dari pola tanda tangan. Data uji adalah pola dari tanda tangan yang akan diuji berupa asli atau palsu. Tahap akhir adalah analisis hasil dan implementasi prototipe sistem, berupa aplikasi sederhana yang mampu mengidentifikasi keaslian tanda tangan digital secara otomatis.

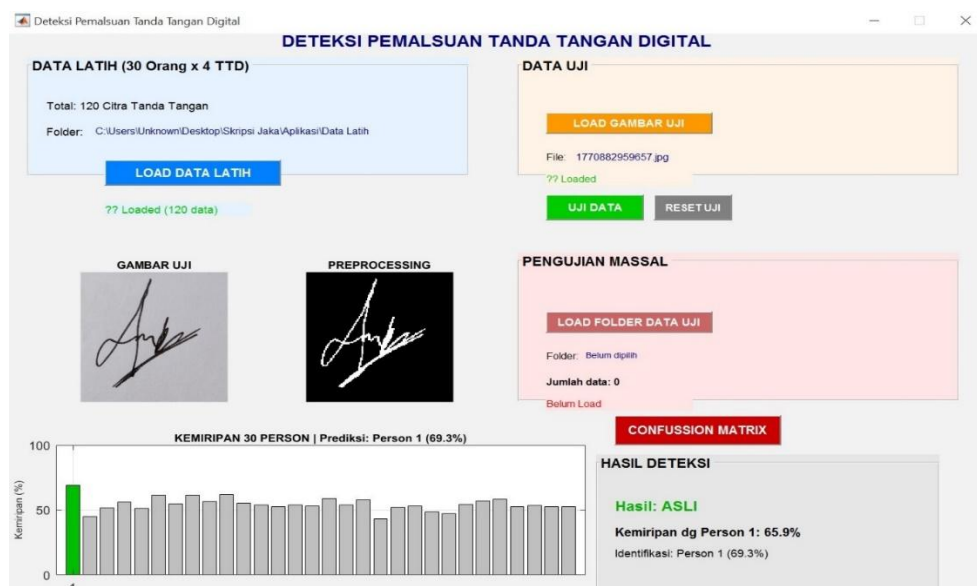
$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad (13)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (14)$$

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (15)$$

3. Hasil dan Pembahasan

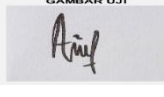
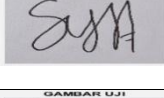
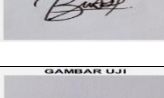
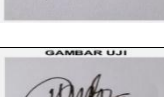
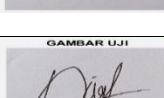
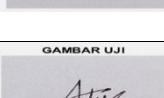
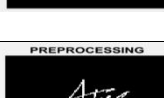
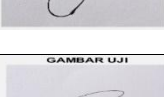
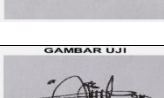
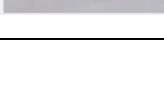
Pada penelitian ekstraksi fitur hu moment dalam identifikasi keaslian tanda tangan digital yang dibangun dengan tools matlab. Pada GUI matlab terdapat beberapa tombol yang dapat digunakan, terdapat tombol load data latih yang digunakan untuk membaca gambar data latih citra tanda tangan. Tombol data uji untuk memanggil gambar data uji yang akan di uji, terdapat juga tombol uji data untuk menguji data, tombol reset untuk mereset proses yang sudah ada. Terdapat axes juga untuk menampilkan gambar uji dan gambar proses *preprocessing* serta grafik tingkat kemiripan citra tanda tangan. Juga terdapat tombol pengujian confusion matrik dari 30 data uji untumelihat tingkat akurasi dari metode ekstraksi fitur hu moment terhadap pengujian yang dilakukan deteksi keaslian citra tanda tangan. Dalam implementasinya system yang dibuat sebagai berikut :



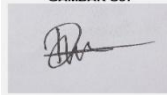
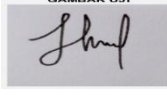
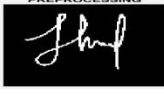
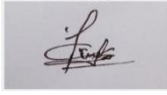
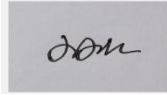
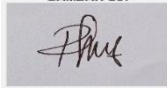
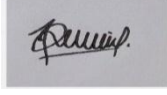
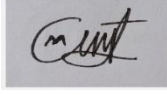
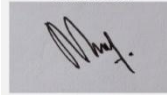
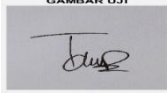
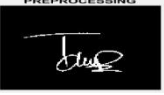
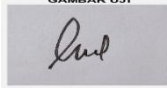
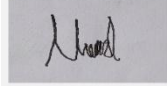
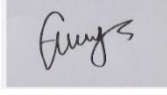
Gambar 3. Proses Deteksi Keaslian Tanda Tangan

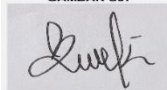
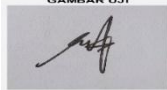
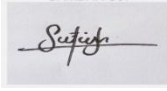
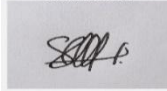
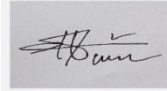
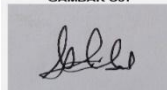
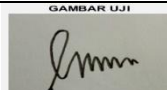
Gambar tersebut menampilkan antarmuka aplikasi Deteksi Pemalsuan Tanda Tangan Digital. Pada bagian kiri terlihat panel Data Latih yang berisi informasi jumlah data latih sebanyak 120 citra tanda tangan dari 30 orang, lengkap dengan tombol untuk memuat data. Di sisi kanan terdapat panel Data Uji dengan tombol untuk memuat gambar uji serta menjalankan proses pengujian. Bagian tengah menampilkan contoh gambar tanda tangan uji dan hasil preprocessing berupa citra biner. Di bagian bawah terdapat grafik batang yang menunjukkan tingkat kemiripan tanda tangan uji terhadap 30 orang dalam basis data, dengan prediksi tertinggi pada Person 1. Sementara itu, panel Hasil Deteksi di kanan bawah menampilkan kesimpulan bahwa tanda tangan teridentifikasi sebagai ASLI dengan persentase kemiripan sekitar 65–69%. Secara keseluruhan, tampilan ini menggambarkan alur lengkap mulai dari pemuatan data, praproses, analisis kemiripan, hingga hasil keputusan sistem.

Tabel 1. Tabel Hasil Pengujian 30 Citra Tanda Tangan

No	Nama	Proses Deteksi		similarity	Keterangan
1.	Anderan Fachry			65.9 %	ASLI (TP)
2.	Andina syafira			69.3 %	ASLI (TP)
3.	Anneisya fitria			59.2 %	ASLI (TP)
4.	Bella			78.9 %	ASLI (TP)
5.	Ceysyarti			73.6 %	ASLI (TP)
6.	Dea sebrina			76.4 %	ASLI (TP)
7.	Dimas saputra			62.8 %	PALSU (FN) Identifikasi person 8
8.	Endri rafiansah			58.5 %	PALSU (FN) Identifikasi person 6
9.	Erdian ralupi			73.1 %	ASLI (TP)
10.	Florentina lola			70.6 %	ASLI (TP)
11.	Gustian Raiyes			69.6 %	ASLI (TP)



12.	Haffita asdiva			74.9 %	ASLI (TP)
13.	Huzaifa			67.8 %	ASLI (TP)
14.	Ingka febianti			60.4 %	ASLI (TP)
15.	Jaka rapino			68.1 %	ASLI (TP)
16.	Maharani			66.1 %	ASLI (TP)
17.	Meri ratna dewi			68.9 %	ASLI (TP)
18.	Miranti ratna Aisyah			66.7 %	ASLI (TP)
19.	Moriska maharani			51.3 %	ASLI (TP)
20.	Muhammad Faisal Al rasyid			63.5 %	ASLI (TP)
21.	Nabila dea gatrah			59.0 %	ASLI (TP)
22.	Nadia apriyanti			61.4 %	ASLI (TP)
23.	Osvira fassya enbiva			62. %	ASLI (TP)

24.	Saskia rahma			61.7 %	ASLI (TP)
25.	Selvia putri andini			63.9 %	ASLI (TP)
26.	Shofiya muthmainnah			71.7 %	ASLI (TP)
27.	Sultan farrel			64.7 %	ASLI (TP)
28.	Susmi juita			63.3 %	ASLI (TP)
29.	Yolanda			59.8 %	PALSU (TN) Identifikasi Person 29
30.	Yuliana fitriani			70.6 %	ASLI (TP)

Dari 30 data uji citra tanda tangan didapatkan hasil pengujian dengan confusion matrix sebagai berikut :

$$precision = \frac{27}{27+0} \times 100\% = 100\%$$

$$Recall = \frac{27}{27+2} \times 100\% = 93\%$$

$$Accuracy = \frac{27+1}{27+1+0+2} \times 100\% = 93\%$$

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa ekstraksi fitur hu moment dalam identifikasi keaslian tanda tangan digital dengan evaluasi kinerja confusion menghasilkan kinerja yang sangat baik. Tingkat Precision atau tingkat ketepatan di antara informasi yang diinginkan dan hasil yang diperoleh sistem adalah sebesar 100%. Recall atau tingkat keberhasilan sistem dalam mendapatkan kembali informasi yang diberikan adalah 93%. Accuracy atau tingkat keberhasilan antara nilai prediksi dengan nilai yang aktual yang diberikan oleh system adalah sebesar 93%.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa Metode pengolahan citra digital dengan ekstraksi fitur Hu Moments berhasil diimplementasikan untuk mendeteksi keaslian tanda tangan digital. Tahapan preprocessing seperti grayscaling, binerisasi, normalisasi ukuran, dan penghilangan noise

terbukti mampu meningkatkan kualitas citra sehingga proses ekstraksi fitur menjadi lebih optimal. Nilai-nilai similarity dari Hu Moments yang dihasilkan mampu merepresentasikan karakteristik bentuk global tanda tangan dan digunakan sebagai dasar pembeda antara tanda tangan asli dan palsu. Hasil evaluasi menggunakan confusion matrix menunjukkan bahwa sistem memiliki performa yang baik dalam proses identifikasi, Dari 30 data citra uji didapatkan nilai precision 100 %, recall 93 % dan akurasi sebesar 93 %.

Daftar Pustaka

- [1] Muhammad Fariz Fadlillah, "Pengaruh Perkembangan Teknologi Digital terhadap Peran Notaris," *Saturnus J. Teknol. dan Sist. Inf.*, vol. 2, no. 3, pp. 48–58, 2024, doi: 10.61132/saturnus.v2i3.121.
- [2] Y. Yahya, E. Novianti, and A. Fiardhi Ramadhan, "Development of a Digital Signature Classification Information System for Documents," *J. TIFDA (Technology Inf. Data Anal.*, vol. 2, no. 2, pp. 66–72, 2025, doi: 10.70491/tifda.v2i2.116.
- [3] T. S. F. Dheya Rahmawati, Adi Kristian Silalahi, "Rewang Rencang : Jurnal Hukum Lex Generalis. Vol.6. No.4 (2025) Tema/Edisi : Hukum Perdata (Bulan Keempat) <https://jhlgr.rewangrencang.com/>," *Rewang Rencang J. Huk. Lex Gen.*, vol. 6, no. 4, p. 4, 2025.
- [4] S. H. Khiari Rayane, "Electronic Forgery As a Manifestation of Digital Corruption," *J. Leg. Stud. Res.*, vol. 11, no. 1, pp. 13–31, 2026.
- [5] R. Siregar *et al.*, "Sosialisasi Tanda Tangan Digital : Solusi Modern untuk Keabsahan Dokumen Elektronik," vol. 2, no. 1, pp. 124–130, 2026.
- [6] D. Alya, L. S. Harahap, and D. Fahlome, "IDENTIFIKASI PENGENALAN TANDA TANGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA BACKPROPAGATION DAN GLCM (GREY LEVEL CO-OCCURRENCE MATRIX)," *J. Sist. Inf. dan Komput.*, vol. 11, no. 1, pp. 34–43, 2026.
- [7] Supiyandi Supiyandi, Muhammad Abdul Mujib, Khairul Azis, Rahmat Abdillah, and Salsa Nabila Iskandar, "Penerapan Teknologi Pengolahan Citra dalam Analisis Data Visual pada Tinjauan Komprehensif," *J. Kendali Tek. dan Sains*, vol. 2, no. 3, pp. 179–187, 2024, doi: 10.59581/jkts-widyakarya.v2i3.3796.
- [8] A. B. Jati, T. A. P. Sidhi, and J. E. Samodra, "Pembangunan Sistem Tanda Tangan Digital pada Sistem Informasi Universitas Atma Jaya Yogyakarta," *J. Inform. Atma Jogja*, vol. 2, no. 2, pp. 133–141, 2021, [Online]. Available: <https://ojs.uajy.ac.id/index.php/jiaj/article/view/5480>
- [9] A. Putra, V. Sihombing, and M. H. Munandar, "Rancang Bangun Aplikasi Deteksi Tepi Citra Digital Menggunakan Algoritma Prewitt," *J. Tek. Inf. dan Komput.*, vol. 4, no. 1, pp. 83–87, 2021, doi: 10.37600/tekinkom.v4i1.214.
- [10] O. Marthatiyanda, "Pengenalan Tanda Tangan Menggunakan Histogram Of Oriented Gradients Dan Smooth Support Vector Machine," *J. Ilm. Komput. dan Inform.*, no. 112, 2019, [Online]. Available: [https://elibrary.unikom.ac.id/id/eprint/947/%0Ahttps://elibrary.unikom.ac.id/id/eprint/947/14/UNIKOM_OCKY MARTHATIYANDA_JURNAL DALAM BAHASA INGGRIS.pdf](https://elibrary.unikom.ac.id/id/eprint/947/%0Ahttps://elibrary.unikom.ac.id/id/eprint/947/14/UNIKOM_OCKY%0AMARTHATIYANDA_JURNAL%20DALAM%20BAHASA%20INGGRIS.pdf)
- [11] H. C. Kurniawan, K. S. Soemarto, and B. N. Yahya, "Evaluasi Metode Ekstraksi Fitur Hu Moment Invariants untuk Pengenalan Aktivitas Manusia," *J. Telemat.*, vol. 15, no. 2, pp. 107–114, 2021, doi: 10.61769/telematika.v15i2.367.
- [12] H. Azis, A. Alisma, P. Purnawansyah, and N. Nirmala, "Analisis Kinerja Algoritma Pembelajaran Mesin Ensemble Pada Dataset Multi Kelas Citra Jaffe," *Netw. Eng. Res. Oper.*, vol. 9, no. 2, pp. 107–118, 2024, doi: 10.21107/nero.v9i2.27872.
- [13] M. Sebatubun and C. Haryawan, "Implementasi Metode Otsu dan Momen Hu pada Citra Keris," *J. Inform.*

Polinema, vol. 10, no. 2, pp. 285–290, 2024, doi: 10.33795/jip.v10i2.4978.

- [14] N. Hidayati *et al.*, “Ekstraksi Fitur dengan Color Histogram dan Classifier Random Forest pada Citra Kupu-Kupu diusulkan mengungguli pendekatan segmentasi gambar berbasis deep learning yang citra kupu-kupu dengan menggunakan teknik CNN dan mengevaluasi performansi,” *Jami J. Ahli Muda Indones.*, vol. 4, no. 2, pp. 148–157, 2023, doi: <https://doi.org/10.46510/jami.v4i2.172>.
- [15] B. S. Waluyo Poetro, Eny Maria, H. Zein, E. Najwaini, and D. H. Zulfikar, “Advancements in Agricultural Automation: SVM Classifier with Hu Moments for Vegetable Identification,” *Indones. J. Data Sci.*, vol. 5, no. 1, pp. 15–22, 2024, doi: 10.56705/ijodas.v5i1.123.
- [16] F. N. Cahya, R. Pebrianto, and T. A. M, “Klasifikasi Buah Segar dan Busuk Menggunakan Ekstraksi Fitur Hu-Moment , Haralick dan Histogram,” *IJCIT (Indonesian J. Comput. Inf. Technol.*, vol. 6, no. 1, pp. 57–62, 2021, doi: 10.31294/ijcit.v6i1.10052.
- [17] M. I. Miftahul, U. Baturetno, S. Malang, A. D. Susanti, and M. Munir, “Implementasi Metode Eksperimen Dalam Mengembangkan Kemampuan Berpikir Kritis Pada Pembelajaran Ipa Mi Miftahul Ulum Baturetno Singosari Malang,” *J. Pendidik. Dasar*, vol. 1, no. 2, pp. 103–120, 2022.
- [18] Y. A. Yuza, Ardi, “PENERAPAN ALGORITMA OCR UNTUK EKSTRAKSI INFORMASI DARI CITRA KARTU TANDA MAHASISWA (KTM),” *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.*, vol. 8, no. 5, pp. 11004–11009, 2024, doi: <https://doi.org/10.36040/jati.v8i5.11006>.
- [19] D. Damen *et al.*, “Rescaling Egocentric Vision,” *Int. J. Comput. Vis.*, 2021, doi: 10.5523/bris.2g1n6qdydwa9u2shpxqzp0t8m.
- [20] G. Xie, B. Guo, Z. Huang, Y. Zheng, and Y. Yan, “Combination of Dominant Color Descriptor and Hu Moments in Consistent Zone for Content Based Image Retrieval,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 146284–146299, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3015285.
- [21] B. Setiyono *et al.*, “Identifikasi Tanaman Obat Indonesia Melalui Citra Daun Menggunakan Metode Convolutional Neural Network (CNN),” *J. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 10, no. 2, pp. 385–392, 2023, doi: 10.25126/jtiik.20236809.