



## Penerapan Jaringan Saraf Buatan untuk Pengenalan Pola Tanda Tangan dalam Identifikasi Potensial Diri Menggunakan Metode Backpropagation

Ferdi Frans Dirga<sup>1\*</sup>, Lailan Sofinah Harahap<sup>2</sup>, Fiqih Syahputra<sup>3</sup>

<sup>1-3</sup> Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Indonesia

[ferdifransd@gmail.com](mailto:ferdifransd@gmail.com)<sup>1</sup>, [lailansofinah@uinsu.ac.id](mailto:lailansofinah@uinsu.ac.id)<sup>2</sup>, [fiqihsyahputra07@gmail.com](mailto:fiqihsyahputra07@gmail.com)<sup>3</sup>

\*Penulis Korespondensi: [ferdifransd@gmail.com](mailto:ferdifransd@gmail.com)

**Abstract.** *This study develops a computational-based system to identify individual potential through the analysis of signature patterns using Artificial Neural Networks (ANN) and the Backpropagation algorithm. The research aims to explore and examine the effectiveness of applying ANN in recognizing and identifying signature patterns that are assumed to be related to an individual's potential. In the data processing stage, Principal Component Analysis (PCA) is employed as a dimensionality reduction and feature extraction technique to optimally obtain the main characteristics of signature images. The system performance evaluation is conducted using a total of 80 signature images, consisting of 60 training data and 20 testing data. This study analyzes two network architecture configurations, namely a model with one hidden layer and a model with two hidden layers. The experimental results show that both network configurations achieve the same accuracy level of 92.5%. These findings indicate that the use of Artificial Neural Networks with the Backpropagation algorithm is effective in producing high accuracy in the signature pattern recognition process. Furthermore, the developed system has broad potential applications in the field of personal identification, such as employee evaluation, selection systems, and other applications across various organizational and industrial sectors.*

**Keywords:** Artificial Neural Networks; Backpropagation; PCA; Self-Potential Identification; Signature Recognition.

**Abstrak.** Studi ini mengembangkan sebuah sistem berbasis komputasi untuk mengidentifikasi potensi individu melalui analisis pola tanda tangan dengan memanfaatkan metode Jaringan Saraf Tiruan (JST) dan algoritma Backpropagation. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi serta menguji efektivitas penerapan JST dalam mengenali dan mengidentifikasi pola tanda tangan yang diasumsikan berkaitan dengan potensi diri seseorang. Dalam proses pengolahan data, Analisis Komponen Utama (Principal Component Analysis/PCA) digunakan sebagai teknik reduksi dimensi dan ekstraksi fitur guna memperoleh ciri-ciri utama dari citra tanda tangan secara lebih optimal. Evaluasi kinerja sistem dilakukan menggunakan total 80 citra tanda tangan yang dibagi ke dalam 60 data latih dan 20 data uji. Penelitian ini menganalisis dua konfigurasi arsitektur jaringan, yaitu model dengan satu lapisan tersembunyi dan model dengan dua lapisan tersembunyi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kedua konfigurasi jaringan tersebut mampu mencapai tingkat akurasi yang sama, yaitu sebesar 92,5%. Temuan ini mengindikasikan bahwa penggunaan Jaringan Saraf Tiruan dengan algoritma Backpropagation efektif dalam menghasilkan akurasi tinggi pada proses pengenalan pola tanda tangan. Selain itu, sistem yang dikembangkan memiliki potensi aplikasi yang luas dalam bidang identifikasi personal, seperti evaluasi karyawan, sistem seleksi, serta pemanfaatan lainnya di berbagai sektor organisasi dan industri.

**Kata Kunci:** Backpropagation; Identifikasi Potensi Diri; Jaringan Saraf Tiruan; PCA; Pengenalan Tanda Tangan.

### 1. LATAR BELAKANG

Pengenalan pola tanda tangan telah diterapkan secara luas sebagai metode untuk memverifikasi identitas di berbagai sektor, termasuk administrasi, hukum, dan perbankan. Setiap tanda tangan menunjukkan karakteristik yang khas, membedakannya dari individu lain. Hal ini memungkinkan tanda tangan digunakan tidak hanya untuk tujuan autentikasi, tetapi juga sebagai sumber informasi mengenai karakteristik pribadi. Walaupun demikian, penggunaan tanda tangan dalam analisis potensi psikologis individu tetap memiliki batasan dan memerlukan pendekatan komputasi yang sesuai (Ekwonwune et al. 2024; Liu & Xin 2023).

Perkembangan teknologi kecerdasan buatan telah mengarah pada penggunaan Jaringan Saraf Tiruan (JST) yang memanfaatkan algoritma Backpropagation untuk pengenalan pola dan klasifikasi data yang kompleks (Tahir et al. 2025; Wright et al. 2022). Beberapa studi sebelumnya telah menggunakan metode ini untuk tujuan pengenalan dan verifikasi tanda tangan. Studi yang dilakukan oleh (Hasibuan et al., 2022), mengindikasikan bahwa penggunaan JST dengan metode Backpropagation efektif dalam mengenali pola tanda tangan, mencapai tingkat akurasi yang signifikan. Studi yang dilakukan oleh (Saputra & Nurhaida 2024) serta (Abdirahma et al., 2024) menerapkan pendekatan deep learning dalam verifikasi tanda tangan asli dan palsu, dengan penekanan pada aspek keamanan dan autentikasi.

Meskipun hasil penelitian sebelumnya menunjukkan efektivitas metode berbasis jaringan saraf dalam pengenalan tanda tangan, sebagian besar penelitian tersebut tetap terfokus pada verifikasi identitas dan pencegahan pemalsuan. Penelitian yang menghubungkan pola tanda tangan dengan identifikasi potensi diri atau karakter individu masih dalam tahap yang sangat terbatas. Penelitian ini dirancang untuk mengisi celah tersebut dengan menerapkan Jaringan Saraf Tiruan berbasis Backpropagation dalam menganalisis pola tanda tangan yang berkaitan dengan potensi diri individu. Penelitian ini menerapkan Principal Component Analysis (PCA) sebagai metode ekstraksi ciri sebelum proses klasifikasi, dengan tujuan untuk meningkatkan efektivitas model (Deore 2022; Samsuryadi et al., 2023).

Penelitian ini diharapkan tidak hanya berkontribusi pada pengembangan sistem verifikasi tanda tangan, tetapi juga menawarkan pendekatan alternatif dalam identifikasi potensi diri, yang dapat diterapkan dalam berbagai bidang seperti evaluasi karyawan, pengenalan karakter individu, dan pengembangan diri.

## **2. KAJIAN TEORITIS**

### **Pengenalan Pola**

Pengenalan pola adalah disiplin dalam Ilmu Komputer yang berfokus pada pemetaan data ke konsep yang sudah ditetapkan, seperti kategori atau kelas. Dalam konteks penelitian ini, pengenalan pola diterapkan untuk mengidentifikasi pola tanda tangan, yang merupakan aplikasi pemrosesan citra dalam proses identifikasi individu. Penggunaan pengenalan pola sangat luas, termasuk pengenalan wajah, pengenalan iris, pengenalan suara, dan pengenalan sidik jari, serta pemanfaatannya dalam diagnosis penyakit melalui analisis catatan medis (Ekwonwune et al., 2024; Shah et al., 2025).

## **Jaringan Saraf Tiruan (JST)**

Model komputasi Jaringan Saraf Tiruan didasarkan pada tenaga kerja manusia dalam ekstraksi informasi. JST menggunakan jaringan saraf yang terhubung ke jaringan lain untuk menganalisis dan memahami data. Proyek penelitian ini menggunakan JST untuk analisis data yang nyata. JST penting untuk pola tanda tangan karena manajemen datanya yang efektif. MLP adalah arsitektur perceptron multilayer umum yang digunakan dalam pembangkitan pola. Berisi input, satu atau lebih tersembunyi, dan output (Safar et al., 2023; Sanjaya et al., 2022).

## **Backpropagation**

Backpropagation adalah algoritma yang digunakan untuk melatih Jaringan Saraf Buatan. Algoritma ini berfokus pada penyesuaian bobot jaringan. Metode ini bermakna dalam pengenalan pola karena memberikan kemampuan kepada model untuk berubah berdasarkan kesalahan yang diidentifikasi dalam keluaran jaringan. Backpropagation dapat digunakan untuk meningkatkan akurasi dalam mengenali pola tanda tangan selama proses tersebut dapat memperkecil perbedaan antara hasil yang diinginkan dan hasil yang diperoleh (Hasibuan et al., 2022).

## **Principal Component Analysis (PCA)**

PCA, atau Analisis Komponen Utama, adalah metode ekstraksi fitur yang digunakan untuk mengurangi jumlah dimensi dalam suatu dataset dengan mengidentifikasi variabel yang paling penting. Studi ini menggunakan PCA untuk mengekstraksi fitur dari citra tanda tangan, dengan tujuan meningkatkan efisiensi dan akurasi pengenalan pola menggunakan Jaringan Saraf Buatan dan algoritma Backpropagation. PCA membantu menemukan fitur utama dalam tanda tangan, yang kemudian diproses oleh jaringan saraf (Narwade et al., 2025).

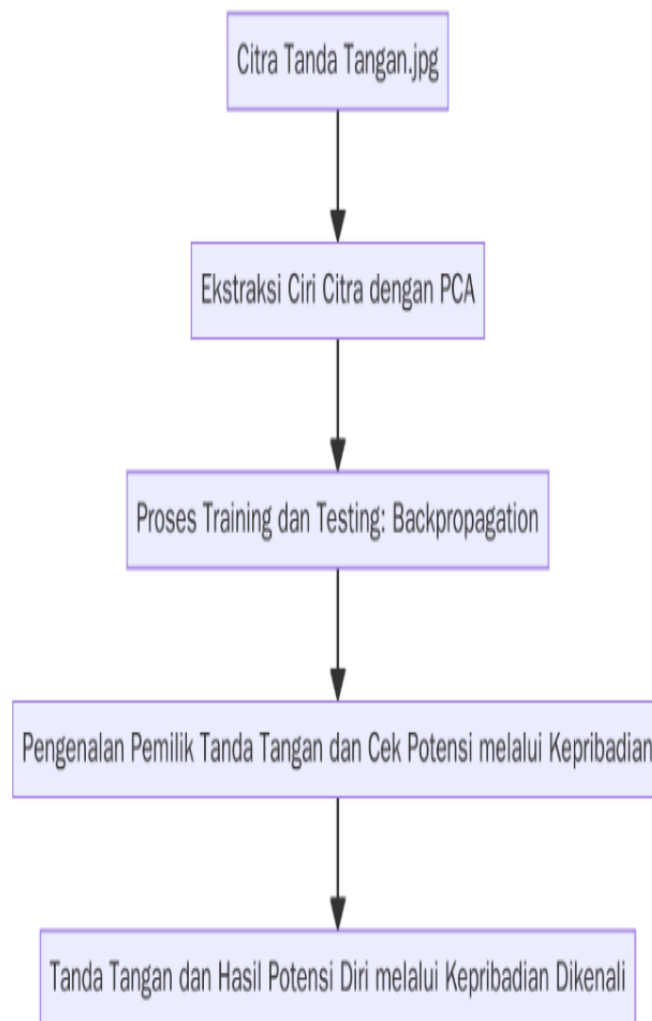
## **Penelitian Terkait**

Studi-studi sebelumnya menunjukkan bahwa sejumlah penelitian telah menggunakan JST dan Backpropagation dalam proses pengenalan tanda tangan. Studi yang dilakukan oleh (Hasibuan et al., 2022) menerapkan JST dengan Backpropagation untuk pengenalan tanda tangan, menunjukkan tingkat akurasi yang cukup baik dalam konteks autentikasi. Namun, penelitian ini lebih fokus pada verifikasi tanda tangan, sementara hubungan antara pola tanda tangan dan potensial diri masih belum dipahami dengan baik. Saputra & Nurhaida (2024) dan Abdirahma et al. (2024) keduanya berhasil menggunakan model pembelajaran mendalam untuk memverifikasi pohon kelapa sawit. Namun, penelitian ini tidak menguji aspek penilaian diri yang ditunjukkan dalam tabel.

### 3. METODE PENELITIAN

#### Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain eksperimental untuk mengidentifikasi potensi individu dengan menganalisis pola tanda tangan menggunakan Jaringan Saraf Tiruan (JST) dan metode Backpropagation. Pendekatan kuantitatif diadopsi dalam penelitian ini, melibatkan pengolahan citra tanda tangan untuk menganalisis hubungan antara pola tanda tangan dan potensi psikologis individu. Analisis Komponen Utama (PCA) digunakan untuk mengekstraksi fitur penting dari tanda tangan (Roszczewska & Niewiadomska-Szynkiewicz 2024).

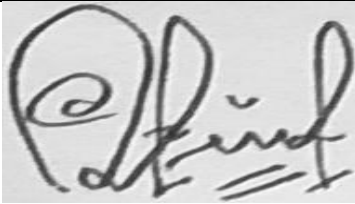

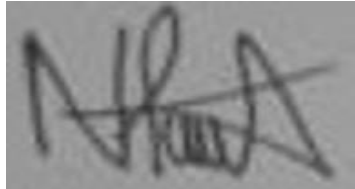
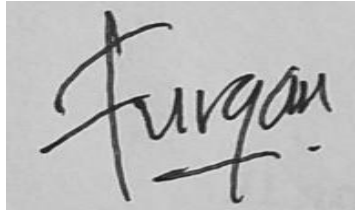


**Gambar 1.** Diagram Desain Sistem Umum.

#### Populasi dan Sampel Penelitian

Populasi penelitian ini adalah individu yang memiliki tanda tangan untuk dianalisis. Sampel yang digunakan terdiri dari 80 citra tanda tangan yang diperoleh dari empat responden, dengan masing-masing responden menyediakan 20 citra tanda tangan. Data dibagi menjadi 60 citra sebagai data latih dan 20 citra sebagai data uji.

**Tabel 1.** Citra Tanda Tangan.

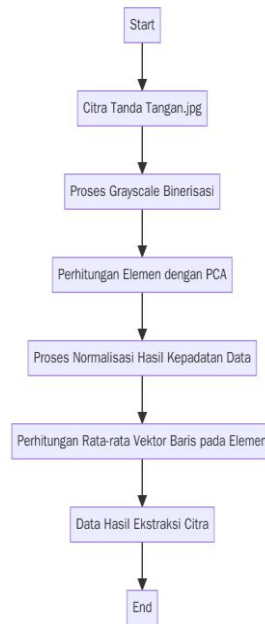
No	Nama	Citra Tanda Tangan
1	Ahmad Kholis	
2	Armansyah	
3	Lili Suryani	
4	Mhd. Furqan	

### **Teknik dan Instrumen Pengumpulan Data**

Data penelitian terdiri dari gambar tanda tangan yang diperoleh melalui pemindai atau kamera digital. Semua gambar disimpan dalam format .jpg, dengan dimensi  $192 \times 192$  piksel. Pemrosesan data dilakukan menggunakan perangkat lunak MATLAB, yang memfasilitasi ekstraksi fitur, pelatihan, dan pengujian jaringan saraf tiruan (Gibran 2025).

### **Alat dan Teknik Analisis Data**

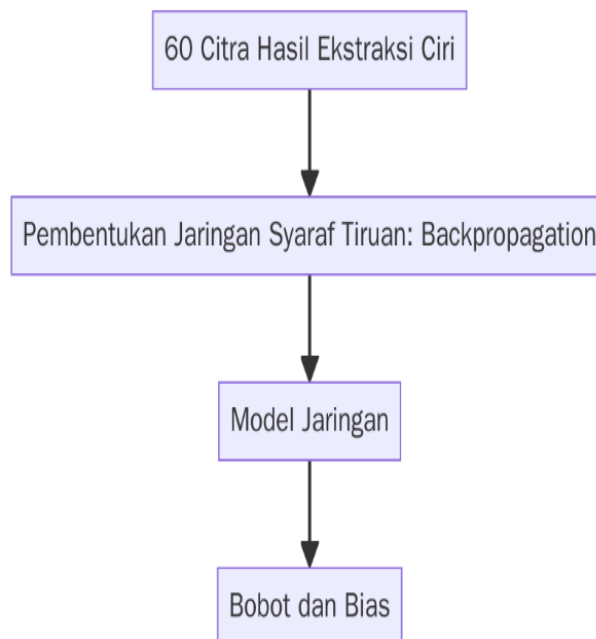
Analisis data dilakukan dalam dua fase utama: ekstraksi fitur dan pengenalan pola. Ekstraksi fitur menggunakan metode PCA untuk menghasilkan vektor fitur dari gambar tanda tangan. Proses ekstraksi fitur ini mencakup praproses gambar, perhitungan komponen utama, dan normalisasi data yang diekstraksi. Alur kerja ekstraksi fitur diilustrasikan pada Gambar 2.



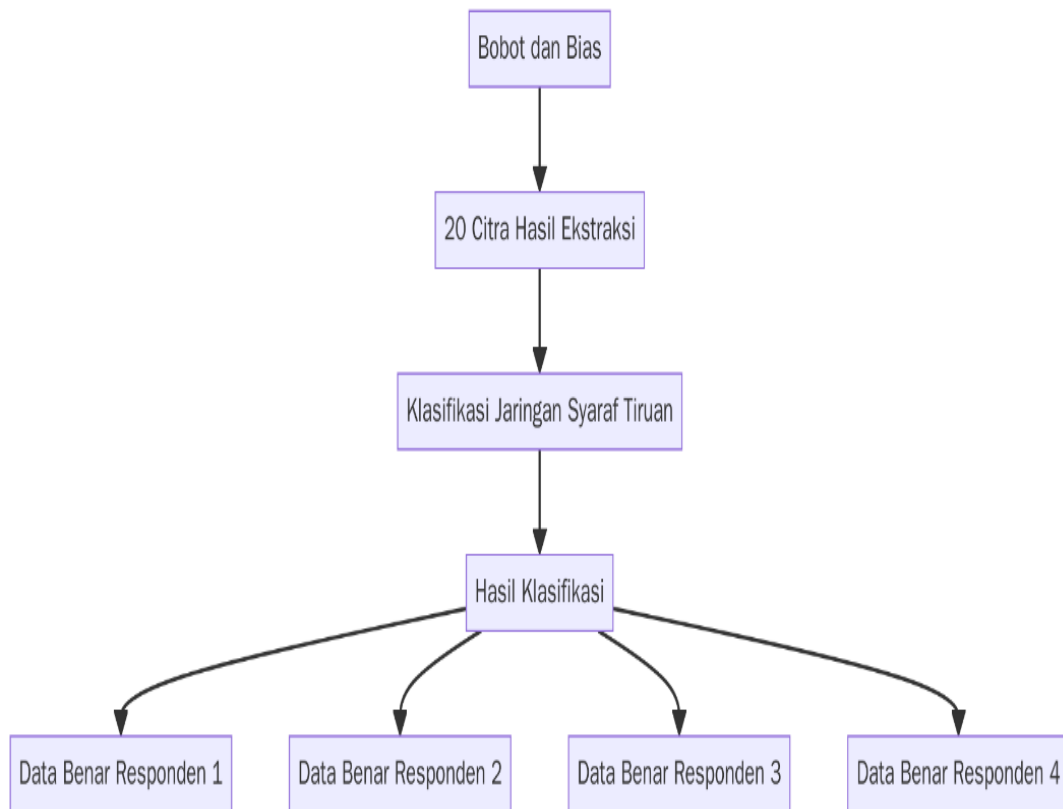
**Gambar 2.** Proses Ekstraksi Fitur Citra.

### Model Penelitian

Model yang digunakan dalam penelitian ini adalah jaringan saraf Multilayer Perceptron (MLP), yang dilatih menggunakan algoritma Backpropagation. Penelitian ini menguji dua pengaturan jaringan yang berbeda: satu dengan satu lapisan tersembunyi dan yang lainnya dengan dua lapisan tersembunyi. Tujuannya adalah untuk melihat bagaimana struktur jaringan memengaruhi kinerja sistem (Supriyanto et al., 2022). Proses pelatihan dan pengujian jaringan ditunjukkan pada Gambar 3 dan 4.



**Gambar 3.** Bagan Umum Proses Pelatihan.



**Gambar 4.** Bagan Umum Proses Pengujian.

#### **4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

##### **Proses Pengumpulan dan Pengujian Data**

Studi ini melibatkan 80 citra tanda tangan yang dikumpulkan dari empat responden, di mana setiap responden menyuplai 20 citra tanda tangan. Jalan Lapangan Golf, Kampung Tengah, Kecamatan Pancur Batu, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara. Proses pengumpulan dan pengolahan data dilaksanakan secara menyeluruh dalam konteks program studi tersebut.

Data yang telah dikumpulkan selanjutnya dibagi menjadi 60 citra untuk keperluan pelatihan dan 20 citra untuk pengujian. Pembagian data ini dirancang untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mengidentifikasi pola tanda tangan yang belum pernah dipelajari sebelumnya.

##### **Pembagian Data Latih dan Data Uji**

Data latih berperan penting dalam proses pelatihan Jaringan Saraf Tiruan (JST) untuk mengoptimalkan pembentukan bobot dan bias jaringan. Data uji digunakan untuk melakukan evaluasi terhadap kinerja sistem pengenalan tanda tangan.

## Hasil Evaluasi Sistem Pengenalan Tanda Tangan

### Hasil Klasifikasi dan Evaluasi Sistem

Pengujian sistem dilaksanakan dengan memanfaatkan 20 citra tanda tangan yang tidak terlibat dalam proses pelatihan. Data uji diproses dengan menerapkan bobot dan bias yang diperoleh dari pelatihan jaringan saraf tiruan, selanjutnya diklasifikasikan berdasarkan kelas responden.

Analisis klasifikasi menunjukkan bahwa mayoritas citra tanda tangan teridentifikasi dengan akurasi tinggi oleh sistem. Penilaian kinerja sistem dilakukan dengan memanfaatkan confusion matrix, yang dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Confusion Matrix Hasil Pengujian Sistem.

	C1	C2	C3	C4
C1	X			
C2		X		
C3			X	
C4				X

Hasil yang ditunjukkan pada Tabel 2 menunjukkan bahwa sistem pengenalan tanda tangan yang menggunakan Jaringan Saraf Tiruan dengan metode Backpropagation mencapai tingkat akurasi sebesar 92,5%. Nilai akurasi ini mengindikasikan bahwa sistem memiliki kemampuan pengenalan pola tanda tangan yang signifikan, meskipun terdapat sejumlah kecil kesalahan klasifikasi yang perlu diperhatikan (Amalia et al., 2022).

### Perbandingan Analisis Konfigurasi Jaringan

#### Hasil Pengujian Jaringan dengan Satu Lapisan Tersembunyi

Pengujian jaringan saraf tiruan yang memiliki satu lapisan tersembunyi dilaksanakan untuk menganalisis kemampuan jaringan dalam mengenali pola tanda tangan. Hasil dari pengujian konfigurasi ini dapat dilihat pada Gambar 5.

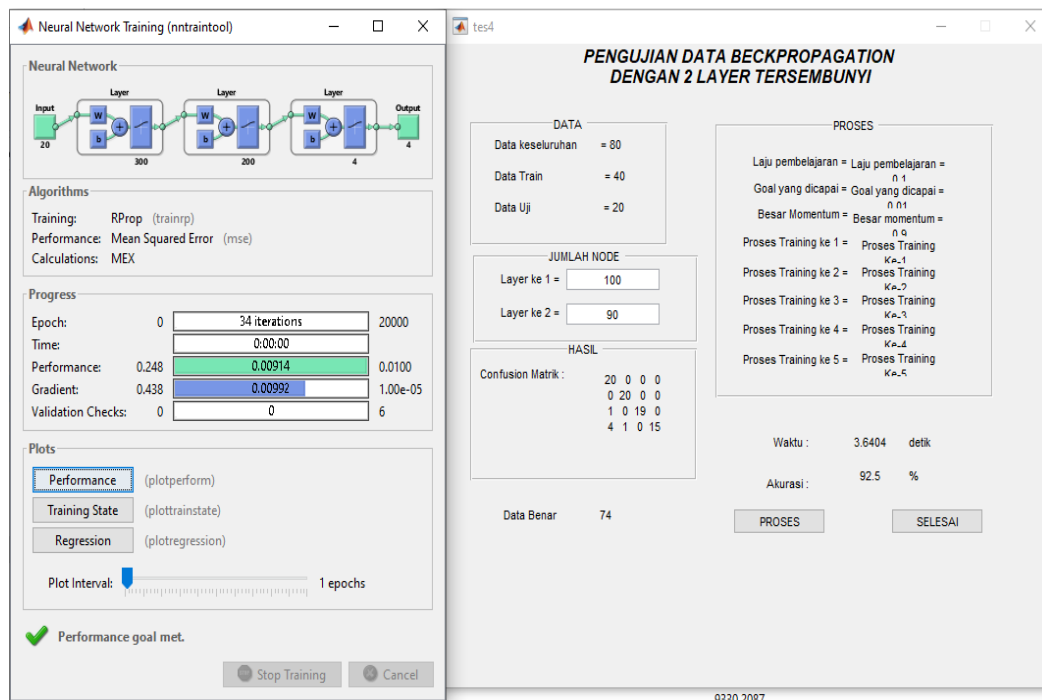


**Gambar 5.** Hasil Pengujian Jaringan dengan Satu Lapisan Tersembunyi.

Analisis terhadap Gambar 5 menunjukkan bahwa jaringan dengan satu lapisan tersembunyi menunjukkan kemampuan yang baik dalam mengenali pola tanda tangan. Namun, analisis terhadap beberapa data uji menunjukkan adanya kesalahan klasifikasi yang disebabkan oleh variasi bentuk dan gaya tanda tangan (Kurniawan & Sunandar 2024).

### Hasil Pengujian Jaringan dengan Dua Lapisan Tersembunyi

Pengujian berikutnya dilaksanakan dengan memanfaatkan jaringan saraf tiruan yang terdiri dari dua lapisan tersembunyi. Hasil dari pengujian konfigurasi ini dapat dilihat pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Hasil Pengujian Jaringan dengan Dua Lapisan Tersembunyi.

Analisis Gambar 6 menunjukkan bahwa jaringan dengan dua lapisan tersembunyi menghasilkan pengenalan yang lebih stabil dibandingkan dengan jaringan yang hanya memiliki satu lapisan tersembunyi. Konfigurasi ini menunjukkan kemampuan yang lebih baik dalam menangani variasi pola tanda tangan, meskipun tingkat akurasi yang dihasilkan secara keseluruhan tetap relatif serupa (Supriyanto, Sunardi, and Riadi 2022).

### Diskusi Hasil Penelitian

#### *Hubungan Hasil dengan Konsep Dasar*

Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan Principal Component Analysis (PCA) berhasil dalam mereduksi dimensi data citra tanda tangan sambil tetap mempertahankan karakteristik utama pola tanda tangan. Reduksi dimensi ini berkontribusi pada peningkatan efisiensi dalam proses pelatihan jaringan saraf tiruan.

Penggunaan Jaringan Saraf Tiruan dengan metode Backpropagation menunjukkan kemampuan dalam mempelajari hubungan non-linear pada data citra tanda tangan, yang berimplikasi pada tingkat akurasi pengenalan yang tinggi (Harizahayu 2021; Ihsan et al., 2025).

### **Kesesuaian dengan Penelitian Sebelumnya**

Temuan dari penelitian ini konsisten dengan studi yang dilakukan oleh (Hasibuan et al., 2022), yang mengindikasikan bahwa metode Backpropagation memiliki efektivitas dalam pengenalan pola tanda tangan yang berbasis citra. Hasil akurasi yang diperoleh dalam penelitian ini mengindikasikan bahwa pendekatan yang diterapkan tetap relevan dan kompetitif jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya.

### **Implikasi Penelitian**

Penelitian ini, dalam konteks teoritis, memberikan dukungan terhadap penerapan Jaringan Saraf Tiruan dalam pengenalan pola biometrik. Sistem yang dikembangkan memiliki potensi untuk diterapkan dalam identifikasi personal, sistem autentikasi, dan evaluasi potensi diri individu.

## **5. KESIMPULAN DAN SARAN**

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem pengenalan tanda tangan yang menggunakan Jaringan Saraf Tiruan (JST) dengan metode Backpropagation berhasil dalam mengenali pola tanda tangan dengan tingkat efektivitas yang tinggi. Penerapan Principal Component Analysis (PCA) sebagai metode ekstraksi ciri menunjukkan efektivitas dalam mereduksi dimensi data citra tanda tangan, yang pada gilirannya meningkatkan efisiensi proses pelatihan jaringan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mencapai tingkat akurasi sebesar 92,5%. Ini menandakan bahwa model memiliki kemampuan pengenalan pola yang baik pada data uji. Uji coba pada konfigurasi jaringan dengan satu dan dua lapisan tersembunyi menunjukkan bahwa keduanya dapat mencapai performa yang cukup tinggi. Namun, konfigurasi dengan dua lapisan tersembunyi menunjukkan hasil yang lebih stabil dalam beberapa pengujian. Temuan ini memberikan jawaban terhadap tujuan penelitian, yaitu mengungkap efektivitas JST dengan Backpropagation dalam pengenalan pola tanda tangan serta mengeksplorasi potensinya untuk pengembangan dalam identifikasi potensi diri individu.

Penelitian ini menunjukkan beberapa keterbatasan, terutama terkait dengan jumlah dan variasi data tanda tangan yang digunakan, yang mengakibatkan hasil penelitian belum dapat digeneralisasikan secara luas. Identifikasi potensi diri dalam penelitian ini masih berada pada tahap awal dan memerlukan penguatan melalui pendekatan multidisipliner, terutama dari

perspektif psikologi. Sehubungan dengan hal tersebut, disarankan agar penelitian selanjutnya memanfaatkan dataset yang lebih besar dan beragam, serta melakukan analisis perbandingan dengan metode klasifikasi lain seperti Support Vector Machine atau pendekatan deep learning. Pengembangan lebih lanjut dapat difokuskan pada penerapan sistem dalam aplikasi nyata yang berbasis web atau mobile. Dengan demikian, sistem pengenalan tanda tangan ini dapat digunakan secara praktis dalam konteks identifikasi personal, evaluasi karyawan, dan pengembangan diri individu.

## DAFTAR REFERENSI

- Abdirahma, A. A., Hashi, A. O., Elmi, M. A., & Rodriguez, O. E. R. (2024). Advancing handwritten signature verification through deep learning: A comprehensive study and high-precision approach. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 72(4), 81–91. <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V72I4P109>
- Ali Abdulrahman Safar, A., Salih, D. M., & Murshid, A. M. (2023). Pattern recognition using the multi-layer perceptron (MLP) for medical disease: A survey. *International Journal of Nonlinear Analysis and Applications*, 14(1), 1989–1998.
- Amalia, R., Bimantoro, F., & Aranta, A. (2022). Penerapan metode backpropagation dan image centroid zone–zone centroid zone pada pengenalan pola tulisan tangan aksara Bima (Implementation of backpropagation and ICZ–ZCZ for handwriting recognition of Bima script). *JTIKA*, 4(1), 88–96. <http://jtika.if.unram.ac.id/index.php/JTIKA/>
- Deore, S. P. (2022). Human behavior identification based on graphology using artificial neural network. *Acadlore Transactions on AI and Machine Learning*, 1(2), 101–108. <https://doi.org/10.56578/ataiml010204>
- Ekwonwune, E. N., Ekekwe, D. A., Ubochi, C. I., & Oleribe, H. C. (2024). Dynamic signature verification using pattern recognition. *Journal of Software Engineering and Applications*, 17(5), 214–227. <https://doi.org/10.4236/jsea.2024.175012>
- Gibran, M. K. (2025). Penerapan teknik binarisasi dan segmentasi. *Jurnal Minfo Polgan*, 14, 623–630.
- Harizahayu. (2021). Facial emotion recognition based on artificial neural network backpropagation with principal component analysis method. *Barekeng*, 15(1), 37–46. <https://doi.org/10.30598/barekengvol15iss1pp037-046>
- Hasibuan, L. M., Fauzi, A., & Simanjuntak, M. (2022). Signature recognition using backpropagation artificial neural network method. *International Journal of Health Engineering and Technology*, 1(2), 63–70. <https://doi.org/10.55227/ijhet.v1i2.18>

- Ihsan, M., Harahap, L. S., & Raya, F. H. (2025). Analysis of pattern recognition methods in digital image processing: A review of recent literature. *PKM-P*, 9(1), 171–175. <https://doi.org/10.32832/jurma.v9i1.2695>
- Kurniawan, D., & Sunandar, H. (2024). Pengenalan tulisan tangan menggunakan jaringan saraf tiruan dengan algoritma perceptron. *Pendas*, 9(4), 294–299. <https://journal.unpas.ac.id/index.php/pendas/article/view/17918/9088>
- Liu, R., & Xin, Y. (2023). Online handwritten signature verification method based on uni-feature correlation coefficient between signatures. *Sensors*, 23(23). <https://doi.org/10.3390/s23239341>
- Narwade, D., Pawale, O., More, M., & Shelar, S. (2025). Dynamic forgery signature detection using CNN and PCA. (*Informasi jurnal belum tersedia*).
- Roszczewska, K., & Niewiadomska-Szynkiewicz, E. (2024). Online signature biometrics for mobile devices. *Sensors*, 24(11). <https://doi.org/10.3390/s24113524>
- Samsuryadi, Kurniawan, R., Supardi, J., Sukemi, & Mohamad, F. S. (2023). A framework for determining the Big Five personality traits using machine learning classification through graphology. *Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2023. <https://doi.org/10.1155/2023/1249004>
- Sanjaya, R., Abdullah, A., & Usman, U. (2022). Penerapan metode multilayer perceptron untuk memprediksi tanda tangan mahasiswa. *Jurnal Algoritma, Logika dan Komputasi*, 5(2). <https://doi.org/10.30813/j-alu.v5i02.2760>
- Saputra, M. A., & Nurhaida, I. (2024). Signature originality verification using a deep learning approach. *Electronic Journal of Education, Social Economics and Technology*, 5(1), 19–29. <https://doi.org/10.33122/ejeset.v5i1.310>
- Shah, D., Patni, A., Shirahatti, V., Vyas, U., & Kulkarni, D. (2025). Deep learning-based signature authentication using Siamese CNN. *International Journal on Science and Technology*, 16(2), 1–9. <https://doi.org/10.71097/ijst.v16.i2.3502>
- Supriyanto, Sunardi, & Riadi, I. (2022). Pengaruh nilai hidden layer dan learning rate terhadap kecepatan pelatihan jaringan saraf tiruan backpropagation. *JIKO (Jurnal Informatika dan Komputer)*, 6(1), 27. <https://doi.org/10.26798/jiko.v6i1.508>
- Tahir, A. (2025). Performance analysis of neural networks with backpropagation on binary and multi-class data classification. [*Nama jurnal tidak tersedia*], 10(1), 77–83.
- Wright, L. G., Onodera, T., Stein, M. M., Wang, T., Schachter, D. T., Hu, Z., & McMahon, P. L. (2022). Deep physical neural networks trained with backpropagation. *Nature*, 601(7894), 549–555. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-04223-6>