



Sistem Deteksi Otomatis Titik Minutiae Sidik Jari Berbasis MinutiaeNet (Studi Kasus Unit Identifikasi Polda Bali)

Ni Putu Ayu Sri Laksmi^{1*}, Eddy Muntina Dharma², Ida Bagus Kresna Sudiatmika³

¹⁻³ Program Studi Teknik Informatika, Universitas Primakara, Indonesia

*Penulis Korespondensi : ayusridn@gmail.com

Abstract. *Fingerprint identification is an important biometric method used in criminal investigations. However, at the Identification Unit of the Bali Regional Police, the minutiae extraction process is still done manually. This causes limitations in accuracy, processing speed, and dependence on the skills of the officers. This study develops an automatic minutiae detection system based on MinutiaeNet. The system is equipped with a graphical user interface and an SQLite database to store extraction results, using a Research and Development (R&D) approach. The system was tested on 55 fingerprint images, including plain and latent fingerprints. The results show that the system performs well, with an average Precision of 0.83, Recall of 0.88, and F1-Score of 0.85. The system works stably on plain fingerprints with clear ridge patterns but shows lower performance on latent fingerprints due to thin, incomplete ridges and noise, which increases False Negative results. Although over-detection occurs in some cases, the system still provides consistent results and significantly reduces processing time. The maximum processing time is about 1 minute and 3 seconds per image, which is much faster than manual minutiae extraction. This study shows that the proposed system can support forensic identification by improving efficiency and consistency in fingerprint analysis.*

Keywords: *Fingerprint Analysis; Forensic Identification; Latent Fingerprint; Minutiae; Minutiaenet.*

Abstrak. Identifikasi sidik jari merupakan salah satu metode biometrik yang penting dalam penyelidikan tindak kriminal. Namun, di Unit Identifikasi Kepolisian Daerah Bali, proses ekstraksi minutiae masih dilakukan secara manual. Hal ini menyebabkan keterbatasan dalam akurasi, kecepatan pemrosesan, serta ketergantungan pada keterampilan petugas. Penelitian ini mengembangkan sistem deteksi minutiae otomatis berbasis MinutiaeNet yang dilengkapi dengan antarmuka pengguna grafis (Graphical User Interface/GUI) dan basis data SQLite untuk menyimpan hasil ekstraksi, menggunakan pendekatan Research and Development (R&D). Sistem diuji menggunakan 55 citra sidik jari yang terdiri atas sidik jari polos (plain fingerprint) dan sidik jari laten (latent fingerprint). Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki kinerja yang baik dengan rata-rata nilai Precision sebesar 0,83, Recall sebesar 0,88, dan F1-Score sebesar 0,85. Sistem bekerja secara stabil pada sidik jari polos yang memiliki pola ridge yang jelas, namun menunjukkan penurunan kinerja pada sidik jari laten akibat ridge yang tipis, tidak lengkap, dan mengandung noise sehingga meningkatkan jumlah False Negative. Meskipun pada beberapa kasus terjadi over-detection, sistem tetap memberikan hasil yang konsisten dan mampu mengurangi waktu pemrosesan secara signifikan. Waktu pemrosesan maksimum sekitar 1 menit 3 detik per citra, yang jauh lebih cepat dibandingkan proses ekstraksi minutiae secara manual. Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan dapat mendukung proses identifikasi forensik dengan meningkatkan efisiensi dan konsistensi dalam analisis sidik jari.

Kata Kunci: Analisis Sidik Jari; Identifikasi Forensik; Minutiae; Minutiaenet; Sidik Jari Laten.

1. LATAR BELAKANG

Sidik jari merupakan salah satu metode identifikasi biometrik yang paling efektif dan dapat diandalkan. Setiap individu memiliki pola sidik jari yang unik, dan hal ini yang menjadikannya sebagai alat identifikasi yang sangat berharga dalam konteks pengungkapan kasus melalui forensik. Dalam proses penyidikan tindak pidana, sidik jari berfungsi sebagai bukti yang kuat untuk mengaitkan pelaku dengan tempat kejadian perkara. Sidik jari tidak hanya membantu dalam identifikasi pelaku, tetapi juga berperan penting dalam mengungkap berbagai jenis kejahatan, mulai dari pencurian hingga pembunuhan (Mardona & Yenti, 2019).

Penggunaan sidik jari dalam penyidikan memberikan keunggulan signifikan dalam proses pembuktian. Sidik jari dapat diambil dari berbagai permukaan, termasuk barang bukti yang ditinggalkan oleh pelaku (Fuadi et al., 2019). Hal ini memungkinkan pihak berwenang untuk mempercepat proses identifikasi dan penangkapan pelaku.

Di Indonesia, penggunaan titik minutiae pada sidik jari sebagai alat identifikasi seseorang telah menjadi salah satu metode utama yang digunakan dalam penyidikan tindak pidana, terutama di Polda Bali, di mana sidik jari berfungsi sebagai alat bukti yang krusial dalam mengidentifikasi pelaku kejahatan. Keunikan pada pola sidik jari setiap individu memungkinkan pihak berwenang untuk mengaitkan pelaku dengan tempat kejadian perkara secara akurat, hal ini mampu meningkatkan efektivitas penyidikan. Selain itu, unit identifikasi Polda Bali berperan penting dalam identifikasi seseorang melalui sidik jari karena unit ini bertanggung jawab untuk mengelola dan menganalisis data sidik jari yang dapat mempercepat proses identifikasi pelaku kejahatan (Septian Wiradharma et al., 2023).

Dalam penyidikan tindak pidana di Indonesia, khususnya di Polda Bali, tantangan utama yang dihadapi dalam penggunaan sidik jari sebagai alat identifikasi adalah akurasi dan kecepatan dalam proses identifikasinya. Berdasarkan wawancara yang telah dilakukan dengan salah satu personel unit Identifikasi Polda Bali, dua hal tersebut merupakan masalah yang nyata dihadapi di Polda Bali. Meskipun sidik jari merupakan alat bukti yang kuat, kesalahan dalam pengambilan dan proses pengembangan atau pengidentifikasian sidik jari dapat mengakibatkan identifikasi yang tidak akurat, yang di mana selanjutnya hal ini akan mempengaruhi hasil dari penyidikan (Setyowati & Ariyani, 2018). Selain itu, meskipun teknologi INAFIS (Indonesian Automatic Fingerprint Identification System) dirancang untuk mempercepat proses identifikasi, keterbatasan dalam database dan kualitas data yang tersedia dapat menghambat kecepatan dan efektivitas sistem (Pratama & Ramadhani, 2021). Oleh karena itu, penting untuk mengatasi tantangan ini agar dapat secara optimal mendukung penegakan hukum Indonesia.

Sebagai langkah solutif, penelitian ini mengusulkan pengembangan sistem deteksi titik minutiae otomatis berbasis MinutiaeNet yang telah terlatih, dipadukan dengan GUI (Graphical User Interface) yang mudah dipahami dan digunakan serta penyimpanan data historis hasil dari ekstraksi minutiae yang telah dilakukan, sistem ini dibangun dengan metodologi R&D. Sistem ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan akurasi proses ekstraksi minutiae pada citra sidik jari, mempercepat proses pengembangan dan identifikasi sidik jari, serta mengurangi potensi kesalahan manusia.

Pemilihan Unit Identifikasi Polda Bali sebagai lokasi studi dilakukan dengan beberapa pertimbangan. Pertama, permasalahan yang dihadapi dilapangan telah teridentifikasi secara

jelas melalui observasi dan wawancara. Kedua, pihak unit Identifikasi Polda Bali menunjukkan keterbukaan dan dukungan terhadap penerapan teknologi baru untuk modernisasi proses kerja.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Deteksi Minutiae

Minutiae merupakan fitur-fitur kecil yang terdapat pada pola sidik jari, yang mencakup titik-titik penting seperti bifurcation (percabangan) dan ridge ending (ujung garis). Minutiae berfungsi sebagai elemen kunci dalam proses identifikasi sidik jari, karena setiap individu memiliki pola minutiae yang unik (Meiliyen Dharma Sara & Johar, 2019). Deteksi minutiae merupakan langkah awal yang krusial dalam sistem pengenalan sidik jari, karena keakuratan dan kehandalan sistem sangat bergantung pada kualitas dan jumlah minutiae yang akan terdeteksi.

Minutiae memiliki peran yang sangat penting dalam analisis sidik jari karena dapat menyediakan informasi yang spesifik dan unik untuk setiap individu. Meskipun deteksi minutiae sangat penting, terdapat beberapa tantangan yang dihadapi dalam proses ini. Menurut (Pontoh, 2024), terdapat beberapa tantangan tersebut meliputi: a.) Kualitas Citra: Citra sidik jari yang berkualitas rendah, akibat kotoran, goresan, luka, atau tekanan yang tidak merata saat pengambilan dapat mengakibatkan kesulitan dalam mendeteksi minutiae. Kualitas citra sidik jari sangat mempengaruhi akurasi deteksi; b.) Variasi Pola: Variasi dalam pola sidik jari, seperti perbedaan dalam ukuran, orientasi, dan distorsi, dapat menyulitkan proses deteksi minutiae; c.) Akurasi Ekstraksi: Metode manual dalam ekstraksi minutiae sering kali menghasilkan tingkat kesalahan yang tinggi, terutama pada citra berkualitas rendah. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan lebih canggih seperti penggunaan algoritma berbasis deep learning, untuk meningkatkan akurasi.

Sistem Deteksi Minutiae

Sistem deteksi minutiae berfungsi untuk mengidentifikasi lokasi minutiae pada citra sidik jari. Sistem ini hanya berfokus pada pendeteksian posisi minutiae (ridge ending dan bifurcation). Menurut (Herdianto Situmorang et al., 2023), adapun komponen utama dalam sistem deteksi minutiae adalah sebagai berikut:

Pengenalan Pola Sidik Jari

Pengenalan pola sidik jari (fingerprint recognition) memerlukan ekstraksi fitur minutiae dan analisis tekstur. Deep Learning dapat meningkatkan akurasi dan kecepatan pengenalan dengan cara penerapan CNN untuk pengenalan sidik jari. Convolutional Neural Network (CNN) adalah arsitektur yang paling umum digunakan karena efektif dalam

pemrosesan gambar. Menurut (Norbertus Tri Suswanto Saptadi et al., 2025), adapun tahapan utamanya adalah sebagai berikut: a.) *Pre-processing*: Peningkatan kualitas citra; b.) *Feature Extraction*: Lapisan konvolusi dan pooling untuk mengekstrak pola ridge dan minutiae; c.) *Classification*: Lapisan fully-connected untuk klasifikasi sidik jari.

Minutiae Net

MinutiaeNet merupakan arsitektur jaringan saraf dalam (deep learning) yang dirancang khusus untuk ekstraksi minutiae sidik jari secara otomatis dengan mengintegrasikan pengetahuan domain biometric dan teknik deep learning. MinutiaeNet terdiri dari dua jaringan utama, yaitu CoarseNet dan FineNet. CoarseNet bertugas dalam melakukan pendeteksian awal kandidat minutiae dari citra sidik jari, dan selanjutnya akan dilanjutkan oleh FineNet yang bertugas untuk menyaring dan memperhalus lokasi minutiae dengan presisi tinggi (Nguyen et al., 2017).

Evaluation Metrics

Dalam penelitian ini, metrik evaluasi digunakan pada tahap pengujian (*testing*) untuk menilai akurasi sistem dalam mendeteksi titik minutiae pada citra sidik jari. Menurut (Alzubaidi et al., 2021), metrik evaluasi berperan sebagai alat untuk mengukur efektivitas model pada data yang tidak pernah dilihat sebelumnya, dengan menggunakan empat komponen utama hasil klasifikasi, yaitu True Positive (TP), True Negative (TN), False Positive (FP), dan False Negative (FN). Keempat komponen tersebut menjadi dasar dalam menghitung metrik evaluasi yang digunakan pada penelitian ini, yaitu Precision, Recall, dan F1-Score. Dalam konteks deteksi minutiae:

TP = minutiae aktual yang berhasil terdeteksi.

FP = titik non-minutiae yang salah terdeteksi sebagai minutiae.

FN = minutiae aktual yang tidak terdeteksi sistem.

TN = pixel non-minutiae yang berhasil dikenali sebagai bukan minutiae. Dalam evaluasi ini, adapun beberapa metrik evaluasi yang digunakan, sebagai berikut:

Precision : Precision digunakan untuk menilai tingkat ketepatan deteksi minutiae, yaitu seberapa banyak titik yang ditandai sebagai minutiae oleh sistem benar-benar merupakan minutiae yang valid. Precision diukur berdasarkan rumus berikut:

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}$$

Recall : Recall mengukur kemampuan sistem menemukan seluruh minutiae aktual yang ada pada citra. Recall penting untuk memastikan bahwa sistem tidak melewatkan titik minutiae yang seharusnya terdeteksi. Recall diukur berdasarkan rumus berikut:

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

F1-Score : F1-Score merupakan nilai rata-rata harmonik dari Precision dan Recall. Metrik ini memberikan penilaian yang seimbang antara kemampuan sistem untuk menghindari deteksi salah (FP), dan mendeteksi semua minutiae aktual (FN). F1-Score diukur berdasarkan rumus berikut:

$$F1-Score = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall}$$

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) atau Penelitian dan Pengembangan. Metode ini bertujuan untuk menghasilkan sebuah produk tertentu serta mengujinya agar dapat dipastikan bahwa produk tersebut layak digunakan. Metode ini dipilih karena penelitian ini tidak hanya berfokus pada pemahaman permasalahan teknis yang dihadapi oleh Unit Identifikasi Polda Bali dalam proses deteksi titik minutiae pada citra sidik jari secara manual, tetapi juga bertujuan menghasilkan sebuah produk nyata berupa sistem deteksi titik minutiae berbasis model deep learning yang dapat digunakan secara langsung di lingkungan kerja forensik.

Dalam penelitian ini, alur penelitian akan berdasarkan dengan tahapan pada metode R&D. Menurut (Sugiyono, 2013), tahapan dalam metode Research and Development (R&D) meliputi:



Gambar 1. Alur Penelitian

Potensi dan Masalah

Tahap analisis potensi dan masalah dilakukan untuk memahami kondisi nyata yang dihadapi Unit Identifikasi Polda Bali dalam proses ekstraksi titik minutiae pada citra sidik jari. Berdasarkan hasil wawancara dan observasi, diketahui bahwa proses yang berjalan selama ini

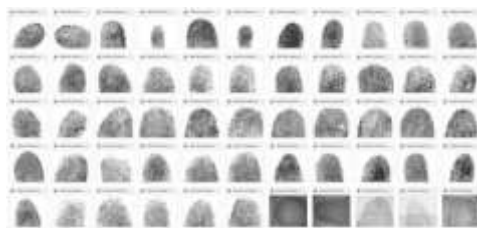
masih dilakukan secara manual. Metode manual ini menuntut petugas untuk menandai titik-titik minutiae menggunakan pengamatan visual, sehingga prosesnya tidak hanya memakan waktu lama tetapi juga berpotensi menimbulkan ketidakkonsistenan antar petugas. Tingginya tingkat kesalahan manusia (human error) menjadi salah satu masalah utama, karena kemampuan setiap individu dalam mengamati titik-titik minutiae pada sidik jari sangat berbeda-beda. Selain itu, hasil ekstraksi juga sangat bergantung pada ketelitian dan pengalaman masing-masing personel.

Masalah lainnya adalah lamanya waktu yang dibutuhkan untuk melakukan ekstraksi minutiae secara manual. Pada beban kerja tertentu, personel Unit Identifikasi harus memproses banyak citra sidik jari dalam satu waktu, sehingga proses pengerjaan menjadi lambat dan berpotensi menghambat alur identifikasi. Kondisi ini dapat memperlambat penanganan kasus, terutama pada situasi yang membutuhkan pencocokan identitas secara cepat.

Di sisi lain, Unit Identifikasi Polda Bali juga menyampaikan harapan adanya sistem yang mampu membantu dan mempercepat proses ekstraksi titik minutiae. Mereka menginginkan sebuah aplikasi yang dapat menandai titik minutiae secara otomatis tanpa perlu pengamatan manual yang intens. Selain itu, sistem yang diharapkan harus mampu menyimpan hasil ekstraksi minutiae, mudah digunakan, fleksibel, serta dapat dioperasikan oleh personel tanpa memerlukan kemampuan teknis khusus.

Melihat kondisi tersebut, terdapat potensi besar untuk menghadirkan solusi teknologi berbasis deep learning yang mampu melakukan ekstraksi minutiae secara otomatis dan konsisten. Model MinutiaeNet sebagai pre-trained model memberikan peluang besar untuk meminimalkan human error dan mempercepat waktu proses. Dengan integrasi model tersebut ke dalam aplikasi desktop berbasis Tkinter, diharapkan sistem dapat digunakan secara praktis oleh personel di lapangan. Potensi tersebut menjadi landasan kuat dilakukannya pengembangan sistem deteksi minutiae otomatis sebagai alternatif dan penyempurna dari proses manual yang digunakan saat ini.

Pengumpulan Data



Gambar 2. Dataset Citra Magnetic Resonance Imaging (MRI) Otak

Pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan untuk memperoleh informasi, bahan analisis, serta dataset yang diperlukan dalam proses pengembangan sistem ekstraksi titik minutiae. Sumber data utama dalam penelitian ini berasal dari Unit Identifikasi Polda Bali, yang menyediakan dataset sebanyak 55 citra sidik jari. Dataset ini terdiri dari beragam kondisi citra, baik yang memiliki kualitas baik maupun yang mengandung noise, goresan, atau ketidakaturan alur. Variasi kualitas citra ini sangat penting karena mencerminkan kondisi lapangan yang sebenarnya, sehingga sistem yang dikembangkan dapat diuji dan divalidasi menggunakan data yang realistis.

Selain data citra, proses pengumpulan data juga mencakup wawancara informal dengan personel Unit Identifikasi Polda Bali untuk memahami alur kerja manual yang selama ini dilakukan. Informasi tersebut memberikan gambaran mengenai tahapan identifikasi, kesulitan pada proses penandaan titik minutiae, serta harapan terhadap sistem yang dapat membantu proses tersebut. Data ini menjadi landasan penting untuk memastikan bahwa desain sistem sesuai dengan kebutuhan operasional dan dapat diintegrasikan dalam alur kerja identifikasi sidik jari.

Pengumpulan data tambahan juga dilakukan melalui studi literatur yang mencakup teori biometrik sidik jari, teknik pre- processing citra, metode ekstraksi minutiae, serta penggunaan antarmuka aplikasi berbasis Python Tkinter. Literatur ini membantu peneliti memahami metode yang paling relevan dan akurat untuk diterapkan pada dataset Polda Bali. Hasil pengumpulan data ini kemudian menjadi dasar dalam proses desain produk, validasi desain, hingga implementasi sistem ekstraksi minutiae.

Desain Produk

Tahap desain produk merupakan proses penyusunan rancangan sistem ekstraksi titik minutiae yang akan dikembangkan sesuai dengan kebutuhan Unit Identifikasi Polda Bali. Pada tahap ini dirumuskan alur kerja sistem, komponen utama yang diperlukan, serta integrasi model MinutiaeNet dengan antarmuka aplikasi desktop berbasis Python Tkinter. Desain produk menjadi dasar dalam proses implementasi, sehingga seluruh komponen sistem dapat bekerja secara terstruktur, terarah, dan sesuai dengan tujuan penelitian.

Secara garis besar, sistem yang dirancang terdiri dari tiga komponen utama, yaitu komponen pemrosesan citra, komponen ekstraksi minutiae, dan komponen visualisasi hasil. Komponen pemrosesan citra bertugas menerima input berupa citra sidik jari dari dataset Polda Bali dan memastikan citra berada dalam bentuk yang sesuai dengan kebutuhan model MinutiaeNet. Karena model MinutiaeNet telah unggul dalam melakukan ekstraksi langsung

dari citra mentah, preprocessing hanya dilakukan secara minimal seperti penyesuaian ukuran dan normalisasi intensitas.

Komponen ekstraksi minutiae merupakan inti dari sistem ini. Proses ekstraksi dilakukan menggunakan model MinutiaeNet yang telah terlatih (pre-trained model), yang bekerja melalui arsitektur convolutional neural network (CNN) untuk menghasilkan dua keluaran, yaitu minutiae score map dan orientation map. Berdasarkan kedua keluaran tersebut, sistem menghitung posisi serta orientasi setiap titik minutiae. Proses ini memberikan koordinat minutiae yang kemudian digunakan oleh komponen visualisasi.

Komponen visualisasi menampilkan hasil ekstraksi minutiae pada antarmuka aplikasi desktop berbasis Tkinter. Visualisasi dirancang agar mudah dibaca oleh personel Unit Identifikasi, sehingga sistem menampilkan citra sidik jari yang telah diberi penanda berupa titik minutiae serta garis orientasinya. Selain itu, sistem juga menampilkan daftar koordinat minutiae dalam bentuk tabel sederhana.

Validasi Desain

Validasi desain merupakan tahap yang dilakukan untuk memastikan bahwa rancangan sistem yang telah dibuat pada tahap sebelumnya telah sesuai dengan kebutuhan pengguna, kebutuhan fungsional, serta tujuan penelitian. Pada penelitian ini, validasi desain dilakukan dengan melibatkan dosen pembimbing dan praktisi dari Unit Identifikasi Polda Bali sebagai ahli yang memahami proses pemeriksaan sidik jari secara operasional. Validasi dilakukan dengan cara mengevaluasi diagram alur sistem, rancangan fungsi aplikasi, dan gambaran struktur antarmuka sebelum sistem benar-benar dibangun dan diimplementasikan.

Proses validasi diawali dengan peninjauan terhadap alur proses ekstraksi minutiae yang telah dirancang pada activity diagram. Validator memastikan bahwa alur tersebut sudah mencerminkan proses nyata dalam ekstraksi minutiae menggunakan model MinutiaeNet, mulai dari pemuatan citra, pre-processing, pemanggilan model, hingga visualisasi hasil. Sejauh ini desain atau perancangan yang dibuat mudah dimengerti, serta sesuai dengan kebutuhan, dan keinginan dari pihak Unit Identifikasi (INAFIS) Polda Bali, khususnya dalam membantu pengembangan sidik jari. Pihak Unit Identifikasi mengharapkan aplikasi dapat sesuai dengan rancangan yang telah dibuat.

Revisi Desain

Tahap revisi desain dilakukan setelah proses validasi desain oleh dosen pembimbing dan praktisi Unit Identifikasi Polda Bali. Revisi ini bertujuan untuk menyempurnakan rancangan sistem sehingga lebih sesuai dengan kebutuhan pengguna, meningkatkan kejelasan alur sistem, serta memastikan sistem dapat digunakan secara efektif pada konteks operasional.

Sejauh ini tidak dilakukan revisi pada rancangan desain yang telah diajukan. Namun, mendapatkan masukan agar aplikasi dapat sesuai rancangan sistem yang telah diajukan.

Dengan serangkaian masukan tersebut, desain sistem sedikit disesuaikan agar menjadi lebih lengkap, terstruktur, dan sesuai dengan kebutuhan pengguna. Hasil revisi ini kemudian digunakan sebagai acuan dalam pengembangan dan implementasi sistem pada tahap berikutnya.

Uji Coba Produk

Uji coba produk dilakukan untuk memastikan bahwa sistem ekstraksi minutiae sidik jari yang dikembangkan mampu berfungsi sesuai dengan tujuan awal, baik dari sisi teknis maupun operasional. Pengujian dilakukan setelah desain antarmuka dan alur kerja program dianggap stabil, serta setelah proses revisi desain tahap sebelumnya selesai. Pada tahap ini, fokus utama pengujian adalah memverifikasi apakah seluruh fitur utama, mulai dari proses input citra, pre- processing, hingga ekstraksi minutiae dapat berjalan secara konsisten tanpa kesalahan. Uji coba dilakukan menggunakan 55 citra sidik jari yang berasal dari dataset lokal Polda, dengan variasi kualitas citra seperti perbedaan tingkat ketebalan ridge, noise, serta variasi posisi jari.

Proses uji coba dilakukan dalam beberapa langkah. Pertama, setiap citra diuji melalui modul pre-processing otomatis untuk memastikan bahwa tahapan normalisasi dan perbaikan citra dapat menghasilkan gambaran ridge yang lebih jelas. Kemudian, proses ekstraksi minutiae diuji dengan mengevaluasi apakah sistem dapat menandai titik ridge ending dan bifurcation secara tepat pada setiap citra. Seluruh hasil ekstraksi kemudian diverifikasi secara visual oleh personel Unit Identifikasi untuk menilai tingkat ketepatan deteksi.

Selain aspek teknis, uji coba juga dilakukan terhadap performa antarmuka berbasis Python Tkinter. Pengujian ini meliputi pengecekan responsivitas tombol, kemudahan pengguna dalam memuat citra, hingga kestabilan aplikasi ketika memproses beberapa citra secara berurutan. Apabila ditemukan error seperti aplikasi tidak merespons, proses loading terlalu lama, atau hasil ekstraksi tidak muncul, maka perbaikan dilakukan pada bagian logika pemrograman maupun struktur tampilan.

Hasil uji coba menunjukkan bahwa produk telah mampu menjalankan fungsi utamanya dengan baik, meskipun masih ditemukan beberapa kasus kesalahan pendeteksian minutiae pada citra dengan kualitas rendah atau ridge yang terlalu tipis.

Revisi Produk

Berdasarkan hasil uji coba, dilakukan perbaikan pada saat user melakukan unggah gambar yang dimana sebelumnya jika user melakukan unggah gambar yang memiliki ukuran

file di atas 500KB atau gambar yang memiliki dimensi pixel di atas 512px akan terjadi kegagalan pada saat memproses ekstraksi titik minutiae citra sidik jari, hal ini disebabkan oleh device ataupun model mengalami proses terlalu berat, maka dari itu di dalam sistem memuat sebuah fungsi untuk melakukan *resize* otomatis terhadap gambar yang di upload oleh user sebelum nantinya akan di proses. Selanjutnya, ketika user melakukan unggah gambar dengan dimensi dibawah 120px atau kurangnya kontras pada gambar atau gambar masih tidak berwarna hitam putih, walaupun dengan indra penglihatan manusia minutiae sidik jari terlihat jelas akan tetapi model menjadi tidak maksimal untuk mendeteksi minutiae, maka dari itu dalam sistem memuat fungsi untuk otomatis melakukan peningkatan kualitas gambar, memberikan filter hitam putih, dan meningkatkan kontras pada gambar sehingga minutiae pada akhirnya terdeteksi oleh model.

Uji Coba Pemakaian

Uji coba pemakaian merupakan tahap untuk mengevaluasi kinerja sistem ketika dioperasikan langsung oleh pengguna dalam skenario yang menyerupai kondisi operasional sebenarnya. Tidak seperti uji coba produk yang menitikberatkan pada evaluasi teknis internal, uji coba pemakaian berfokus pada bagaimana pengguna menjalankan sistem, kelancaran proses otomatisasi ekstraksi minutiae, serta konsistensi hasil yang dihasilkan oleh model MinutiaeNet. Tahap ini penting dalam metode R&D karena memberikan gambaran tingkat keberfungsian sistem saat digunakan secara nyata, serta memastikan bahwa alur kerja yang dirancang mampu berjalan secara efektif tanpa ketergantungan pada intervensi peneliti.

Pelaksanaan uji coba pemakaian dilakukan dengan melibatkan salah satu personel Unit Identifikasi yang memiliki pengalaman atau pemahaman dasar mengenai pemeriksaan sidik jari. Personel diberikan akses terhadap 55 citra sidik jari dari dataset Polda dan diminta mengoperasikan aplikasi secara mandiri melalui antarmuka Python Tkinter. Pengguna melakukan prosedur yang meliputi pemilihan citra, menjalankan proses ekstraksi minutiae menggunakan model MinutiaeNet, serta mengamati hasil pemetaan titik ridge ending dan bifurcation yang divisualisasikan secara otomatis oleh sistem.

Selama proses uji coba berlangsung, peneliti melakukan observasi terhadap beberapa aspek fungsional yang menjadi indikator efektivitas pemakaian, yaitu: a.) Kelancaran alur kerja pemrosesan, mulai dari pemilihan citra hingga munculnya hasil visualisasi minutiae; b.) Waktu respons sistem, terutama terkait kecepatan model MinutiaeNet dalam menghasilkan output untuk setiap citra; c.) Kejelasan dan konsistensi hasil ekstraksi minutiae, apakah titik-titik yang dihasilkan sesuai pola ridge dan tidak menunjukkan anomali signifikan; d.) Kemampuan sistem mengatasi variasi kualitas citra, misalnya pada citra dengan derau, ridge kabur, atau sebagian

Tabel 3. Rekapitulasi Data Penjualan dan Hasil Perhitungan Transaksi

Hasil pengujian sistem terhadap 55 citra sidik jari dilakukan secara bertahap dengan memasukkan citra sidik jari ke dalam sistem satu per satu. Setiap citra yang diinput akan diproses melalui tahapan deteksi minutiae hingga menghasilkan titik-titik minutiae secara otomatis. Selanjutnya, hasil deteksi minutiae tersebut tidak langsung dijadikan sebagai hasil akhir, melainkan dilakukan pemeriksaan dan validasi ulang oleh seorang ahli yaitu salah satu personel unit Identifikasi Polda Bali yang memiliki kualifikasi di bidang identifikasi sidik jari. Proses validasi ini bertujuan untuk memastikan kesesuaian antara minutiae yang terdeteksi oleh sistem dengan minutiae aktual pada citra sidik jari, sehingga data True Positive (TP), False Positive (FP), False Negative (FN), dan True Negative (TN) yang diperoleh benar-benar mencerminkan kinerja sistem secara objektif.

Berdasarkan hasil pengujian terhadap 55 citra sidik jari, dengan detail data numerik yang disajikan pada gambar tabel di atas, sistem deteksi minutiae menunjukkan kinerja yang cukup stabil pada citra berkualitas baik, khususnya citra plain. Pada kelompok citra ini, jumlah titik minutiae yang berhasil ditemukan sistem umumnya mendekati jumlah minutiae aktual, sehingga nilai True Positive (TP) relatif tinggi dan False Negative (FN) cenderung rendah. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa sistem mampu mengikuti pola ridge utama dan mengenali sebagian besar minutiae yang sebenarnya terdapat pada citra sidik jari. Kesalahan berupa False Positive (FP) juga relatif kecil, umumnya hanya berkisar beberapa titik pada setiap citra, yang menunjukkan bahwa sistem tidak melakukan deteksi berlebihan terhadap pixel non-minutiae.

Meskipun demikian, terdapat beberapa citra yang mengalami penyimpangan seperti 31.png, 34.png, dan 44.png, di mana jumlah FN meningkat atau FP bertambah dibandingkan pola umum. Penyimpangan ini terutama terjadi pada citra yang memiliki ridge kabur, tidak seragam, atau mengandung noise sehingga menyulitkan sistem dalam membedakan minutiae valid dari gangguan visual.

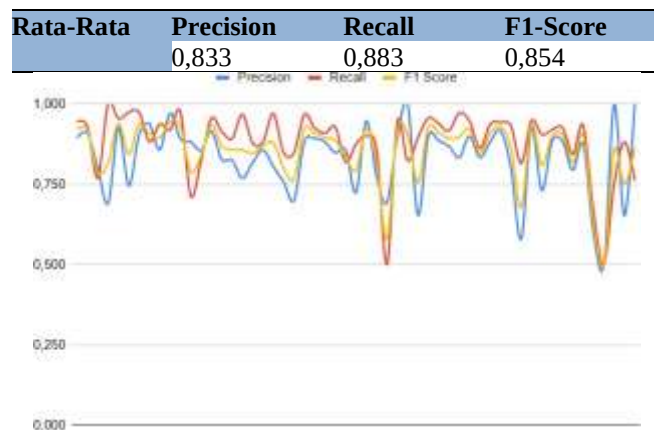
Berbeda dengan citra plain, performa sistem pada citra latent menunjukkan variasi yang jauh lebih besar. Pada kelompok citra ini, titik yang berhasil ditemukan sistem cenderung lebih sedikit dibandingkan jumlah minutiae aktual. Akibatnya, nilai FN relatif tinggi pada beberapa citra latent, terutama pada 51-latent.png dan 52-latent.png, yang memperlihatkan bahwa banyak minutiae aktual tidak berhasil terdeteksi. Kondisi ini disebabkan oleh kualitas ridge yang buruk, tidak kontinu, atau tertutup noise, yang merupakan karakteristik umum citra latent. Sebaliknya, nilai FP tidak menunjukkan pola peningkatan signifikan; pada beberapa citra seperti 53-latent.png, FP bahkan mencapai nol. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun

kemampuan sistem dalam menemukan minutiae terbatas pada citra latent, mekanisme deteksi tetap selektif dan tidak sembarangan menandai pixel non-minutiae sebagai minutiae.

Secara keseluruhan, pola nilai True Positive (TP), False Positive (FP), False Negative (FN), dan True Negative (TN) menunjukkan bahwa sistem deteksi minutiae bekerja lebih optimal pada citra sidik jari dengan ridge yang jelas dan kontras yang baik. Nilai True Negative (TN) yang sangat besar pada seluruh citra mengindikasikan bahwa sistem hanya mengklasifikasikan sebagian kecil pixel sebagai minutiae, sehingga tidak menunjukkan kecenderungan deteksi acak. Namun demikian, peningkatan nilai False Negative (FN) pada citra dengan kualitas rendah menegaskan adanya keterbatasan sistem dalam mengekstraksi minutiae pada kondisi citra yang tidak ideal.

Evaluasi Performa

Tabel 1. Grafik Performa Model Berdasarkan Metrik Precision, Recall, dan F1-Score



Evaluasi performa model dilakukan menggunakan 55 data pengujian dengan tiga metrik utama, yaitu Precision, Recall, dan F1-Score. Hasil pengujian menunjukkan bahwa Precision berada pada rentang 0,500 hingga 1,000 dengan rata-rata nilai 0,833, sedangkan Recall berada pada rentang 0,500 hingga 1,000 dengan rata-rata nilai 0,883. Nilai F1-Score berkisar antara 0,500 hingga 0,940, dengan sebagian besar nilai berada pada kisaran 0,820–0,930 atau dengan rata-rata nilai 0,854. Secara umum, hasil ini menunjukkan bahwa model bekerja dengan baik pada sebagian besar data.

Namun, terdapat beberapa data yang menunjukkan performa rendah, terutama karena Precision atau Recall yang turun sehingga F1-Score ikut rendah. Data dengan F1-Score di bawah 0,80 muncul pada nomor 3, 12, 22, 28, 31, 34, 44, 51, 52, dan 54. Nilai-nilai rendah ini mengindikasikan bahwa pada kasus-kasus tertentu model masih kesulitan, baik dalam mengenali data positif dengan tepat (Precision rendah) maupun menangkap seluruh data positif yang ada (Recall rendah).

Secara keseluruhan, model tetap menunjukkan performa yang stabil, tetapi masih memerlukan peningkatan terutama pada data-data yang menghasilkan F1-Score rendah tersebut.

Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian terhadap 55 citra sidik jari, yang rincian numeriknya disajikan pada gambar tabel di atas, dapat disimpulkan bahwa performa sistem deteksi minutiae menunjukkan kecenderungan stabil untuk citra yang memiliki kualitas ridge baik. Pada citra plain, sistem mampu mendeteksi sebagian besar minutiae aktual yang terdapat pada citra, terlihat dari jumlah titik ditemukan yang umumnya mendekati jumlah titik sebenarnya. Kondisi ini menghasilkan nilai True Positive (TP) yang tinggi dan False Negative (FN) yang rendah, yang menandakan bahwa sistem mampu mengikuti pola ridge secara konsisten. Selain itu, nilai False Positive (FP) pada sebagian besar citra tetap rendah, menunjukkan bahwa sistem tidak memberikan penandaan minutiae palsu secara berlebihan. Pola ini mengindikasikan bahwa algoritma deteksi memiliki sensitivitas yang baik dalam mengenali struktur ridges yang valid, sekaligus mempertahankan selektivitas terhadap noise.

Meskipun demikian, terdapat beberapa citra plain yang mengalami penyimpangan performa. Citra seperti 31.png, 34.png, dan 44.png menunjukkan peningkatan FN atau FP dibandingkan pola umum. Faktor utama penyebabnya adalah kualitas citra yang kurang optimal, baik karena ridge yang kabur, tekanan jari yang tidak merata, maupun tekstur sidik jari yang pecah sehingga sistem mengalami kesulitan dalam membedakan minutiae valid dari artefak visual. Hal ini menunjukkan bahwa performa algoritma sangat bergantung pada kejernihan ridge, dan meskipun sistem mampu bekerja baik pada citra normal, ia tetap sensitif terhadap variasi kualitas citra.

Performa sistem pada citra latent menunjukkan penyimpangan yang lebih signifikan dibanding citra plain. Oleh karena citra latent memiliki karakteristik ridge yang jauh lebih tipis, tidak lengkap, dan cenderung dipengaruhi noise lingkungan, sistem mengalami kesulitan untuk menangkap seluruh minutiae yang ada. Akibatnya, FN meningkat secara konsisten pada sebagian besar citra latent, terutama pada 51-latent.png dan 52-latent.png. Kondisi ini menandakan bahwa sistem belum mampu mengatasi hambatan kualitas citra ekstrem. Namun demikian, nilai FP pada beberapa citra latent justru tetap rendah, bahkan beberapa citra seperti 53-latent.png memiliki FP nol. Ini menunjukkan bahwa meskipun sensitivitas sistem menurun, mekanisme filtrasi untuk menghindari pendeteksian minutiae palsu justru tetap bekerja dengan baik.

Evaluasi menggunakan metrik Precision, Recall, dan F1- Score memperkuat temuan tersebut. Precision model berada pada rentang 0,500 hingga 1,000, yang menunjukkan bahwa tingkat ketepatan sistem bervariasi tergantung kualitas citra. Recall juga berada pada rentang 0,500 hingga 1,000, menandakan bahwa dalam beberapa kasus sistem gagal menangkap sebagian besar minutiae aktual, terutama pada citra berkualitas rendah. F1-Score sebagian besar berada pada kisaran 0,820–0,930, sehingga secara umum model dapat dikatakan bekerja baik pada mayoritas data. Namun adanya beberapa data dengan F1-Score di bawah 0,80 seperti pada data nomor 3, 12, 22, 28, 31, 34, 44, 51, 52, dan 54 menunjukkan bahwa sistem masih memiliki kelemahan pada kondisi tertentu. Nilai rendah tersebut dihasilkan oleh Precision yang turun (terdapat minutiae palsu) atau Recall yang menurun (banyak minutiae aktual tidak terdeteksi), terutama pada citra dengan ridge yang kabur atau tidak lengkap.

Selain performa akurasi, sistem juga menunjukkan keunggulan dari sisi performa waktu. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem deteksi minutiae mampu memproses satu citra sidik jari dengan waktu pemrosesan terlama sekitar 1 menit 3 detik, yang mencakup keseluruhan proses mulai dari input citra hingga keluarnya hasil deteksi minutiae. Sebagai perbandingan, proses ekstraksi minutiae secara manual yang dilakukan oleh ahli memerlukan waktu yang jauh lebih lama. Dalam kondisi paling cepat sekalipun, proses manual dapat memerlukan waktu hingga satu hari kerja untuk satu citra, karena penentuan minutiae dilakukan secara visual, membutuhkan ketelitian tinggi, serta melibatkan proses pemeriksaan dan validasi berulang. Perbedaan waktu yang signifikan ini menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan peningkatan efisiensi yang sangat besar pada tahap awal ekstraksi minutiae, meskipun hasil akhir tetap memerlukan verifikasi lanjutan oleh ahli.

Secara keseluruhan, temuan ini menunjukkan bahwa performa sistem deteksi minutiae sangat dipengaruhi oleh kualitas citra sidik jari. Pada citra plain, sistem mampu bekerja secara stabil karena pola ridge yang jelas dan kontras yang baik memungkinkan algoritma mengekstraksi minutiae secara akurat. Sebaliknya, pada citra latent, kualitas ridge yang rendah dan struktur yang tidak teratur membatasi kemampuan sistem dalam mendeteksi minutiae secara menyeluruh. Dengan demikian, meskipun sistem telah menunjukkan performa yang baik secara umum dan memberikan peningkatan efisiensi waktu yang signifikan, pengembangan lebih lanjut masih diperlukan agar sistem menjadi lebih adaptif dan robust dalam menghadapi citra dengan kualitas rendah, khususnya citra latent yang memiliki karakteristik yang menantang.

Implikasi

Berdasarkan tabel hasil pengujian, dapat diamati bahwa pada sebagian besar citra sidik jari, khususnya citra plain, nilai True Positive (TP) relatif tinggi dengan jumlah False Positive (FP) yang masih berada dalam batas terbatas. Kondisi ini menunjukkan bahwa ketika sistem mendeteksi jumlah minutiae yang sedikit lebih banyak daripada jumlah aktual (over-detection), titik-titik tambahan tersebut umumnya tidak muncul secara berlebihan dan tidak memberikan dampak signifikan terhadap nilai precision. Hal ini tercermin dari nilai precision dan F1-score yang tetap tinggi pada sebagian besar citra, sehingga menunjukkan bahwa kualitas deteksi sistem masih terjaga meskipun terdapat minutiae tambahan.

Dalam praktik identifikasi sidik jari, khususnya pada tahap awal ekstraksi minutiae, pandangan ahli menyatakan bahwa kondisi over-detection masih dapat diterima dibandingkan dengan under-detection. Temuan ini sejalan dengan hasil pada tabel pengujian, di mana kasus dengan False Positive (FP) dalam jumlah kecil tidak secara signifikan menurunkan performa sistem, karena minutiae yang terdeteksi berlebih masih dapat dieliminasi pada tahap verifikasi lanjutan. Sebaliknya, pada beberapa citra, terutama citra latent terlihat peningkatan nilai False Negative (FN) yang berdampak langsung pada penurunan nilai recall, yang menunjukkan bahwa sejumlah minutiae aktual tidak berhasil terdeteksi oleh sistem.

Implikasi penting dari kondisi tersebut adalah bahwa minutiae yang tidak terdeteksi (FN) pada tahap awal ekstraksi berpotensi hilang dan tidak dapat dipulihkan kembali pada proses selanjutnya. Kehilangan minutiae ini dapat mengurangi kecukupan informasi yang diperlukan dalam proses pencocokan sidik jari, sehingga berisiko menurunkan akurasi identifikasi. Oleh karena itu, sudut pandang ahli dalam konteks identifikasi sidik jari dan sistem biometrik, mengatakan pendekatan yang menghasilkan sedikit over-detection dinilai lebih aman dibandingkan pendekatan yang cenderung menghasilkan under-detection.

Selain dari sisi akurasi deteksi, implikasi lain yang tidak kalah penting adalah peningkatan efisiensi waktu. Sistem deteksi minutiae mampu menghasilkan kandidat minutiae dalam waktu yang relatif singkat dibandingkan proses manual yang dilakukan oleh ahli. Dengan kemampuan sistem memproses satu citra secara otomatis dalam waktu puluhan detik, sementara proses manual memerlukan waktu yang jauh lebih lama karena dilakukan secara visual dan bertahap, sistem ini berpotensi mengurangi beban kerja ahli pada tahap awal ekstraksi minutiae. Keunggulan ini menjadikan sistem berperan sebagai alat bantu (decision support) yang efektif, di mana ahli dapat lebih memfokuskan perhatian pada tahap verifikasi dan pengambilan keputusan akhir.

Secara keseluruhan, hasil pada tabel menunjukkan bahwa karakteristik sistem yang masih menghasilkan False Positive (FP) dalam jumlah terbatas, namun mampu mempertahankan nilai True Positive (TP) yang tinggi, telah sesuai dengan pendekatan yang umum diterapkan pada tahap ekstraksi fitur awal. Pada tahap ini, ekstraksi minutiae berfungsi sebagai proses pembentukan kandidat (candidate generation), sementara keputusan akhir terkait validitas minutiae tetap dilakukan melalui proses verifikasi lanjutan oleh ahli, dengan dukungan sistem yang mampu meningkatkan efisiensi dan konsistensi proses identifikasi.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem deteksi minutiae terhadap 55 citra sidik jari, dapat disimpulkan bahwa sistem mampu melakukan ekstraksi titik minutiae dengan tingkat kinerja yang cukup baik pada citra berkualitas normal (plain). Hal ini ditunjukkan oleh nilai True Positive (TP) yang tinggi dan False Negative (FN) yang rendah pada sebagian besar citra plain, yang menandakan bahwa algoritma mampu mengikuti pola ridge secara efektif. Nilai False Positive (FP) yang relatif rendah juga menunjukkan bahwa sistem tidak menghasilkan banyak deteksi minutiae palsu, sehingga metode yang digunakan dapat dikatakan andal untuk citra dengan kualitas visual yang baik.

Pada citra berkategori latent, performa sistem mengalami penurunan yang cukup signifikan. Karakteristik citra latent yang memiliki ridge tipis, terputus, dan terpengaruh noise menyebabkan meningkatnya jumlah minutiae aktual yang tidak terdeteksi, yang tercermin dari nilai False Negative (FN) yang lebih tinggi. Meskipun demikian, jumlah False Positive (FP) pada citra latent tetap relatif rendah, yang menunjukkan bahwa sistem tetap selektif dalam mendeteksi minutiae meskipun sensitivitasnya menurun. Temuan ini mengindikasikan bahwa sistem masih memiliki keterbatasan dalam menangani citra dengan kualitas rendah dan memerlukan pengembangan lebih lanjut agar lebih adaptif terhadap variasi kondisi citra.

Berdasarkan evaluasi menggunakan metrik Precision, Recall, dan F1-Score, performa sistem secara umum berada pada kategori baik, khususnya pada citra plain dengan mayoritas nilai F1-Score berada pada rentang 0,820–0,930. Meskipun terdapat beberapa citra dengan nilai F1-Score di bawah 0,80, kasus tersebut umumnya terjadi pada citra dengan kualitas ridge yang rendah atau tidak lengkap.

Selain dari sisi akurasi, sistem juga menunjukkan keunggulan dari aspek performa waktu. Sistem deteksi minutiae mampu memproses satu citra sidik jari secara otomatis dengan waktu pemrosesan terlama sekitar 1 menit 3 detik, jauh lebih cepat dibandingkan proses ekstraksi minutiae secara manual yang dalam kondisi paling cepat dapat memerlukan waktu

hingga satu hari kerja. Keunggulan ini menunjukkan bahwa sistem mampu meningkatkan efisiensi secara signifikan pada tahap awal ekstraksi minutiae, sehingga berpotensi menjadi alat bantu yang efektif dalam mendukung proses identifikasi sidik jari, dengan tetap mempertahankan peran verifikasi lanjutan oleh ahli.

Secara keseluruhan, sistem deteksi minutiae yang dikembangkan telah mampu memberikan keseimbangan antara akurasi dan efisiensi waktu pada citra sidik jari berkualitas baik. Namun demikian, peningkatan masih diperlukan agar sistem dapat bekerja lebih optimal pada citra dengan kualitas rendah, khususnya citra latent, sehingga penerapannya dapat lebih luas dan andal dalam berbagai kondisi operasional.

DAFTAR REFERENSI

- Alzubaidi, L., Zhang, J., Humaidi, A. J., Al-Dujaili, A., Duan, Y., Al-Shamma, O., Santamaría, J., Fadhel, M. A., Al-Amidie, M., & Farhan, L. (2021). Review of deep learning: concepts, CNN architectures, challenges, applications, future directions. *Journal of Big Data*, 8(1), 53. <https://doi.org/10.1186/s40537-021-00444-8>
- Fuadi, R. S., Ira, D., & Maerani, A. (2019). *Prosiding KONFERENSI ILMIAH MAHASISWA UNISSULA (KIMU) 2 Universitas Islam Sultan KEDUDUKAN SIDIK JARI DALAM PROSES PENYIDIKAN TINDAK PIDANA (Studi Kasus Di Kepolisian Resor Pati) FINGERPRINT STATUS IN CRIMINAL ACTION PROCESS (Case Study in Police Sector Pati)*.
- Herdianto Situmorang, B., Rama Putra, G., & Hidayatullah, S. (2023). *IDENTIFIKASI BIOMETRIKA MENGGUNAKAN EKSTRAKSI MINUTIAE PADA CITRA SIDIK JARI* (Vol. 17, Number 1). <https://ejurnal.teknokrat.ac.id/index.php/teknoinfo/index>
- Li, Z., Wang, Y., Yang, Z., Tian, X., Zhai, L., Wu, X., Yu, J., Gu, S., Huang, L., & Zhang, Y. (2022). A novel fingerprint recognition method based on a Siamese neural network. *Journal of Intelligent Systems*, 31(1), 690–705. <https://doi.org/10.1515/jisys-2022-0055>
- Mardona, R., & Yenti, N. (2019). *FUNGSI SIDIK JARI DALAM PENGUNGKAPAN TINDAK PIDANA PENCURIAN DI RESKRIM POLRESTA PADANG*.
- Meiliyen Dharma Sara, E., & Johar, A. (2019). IMPLEMENTASI METODE POINT MINUTIAE UNTUK MENGIDENTIFIKASI JENIS BATIK PADA BATIK BESUREK DENGAN BERBASIS TEKSTUR. In *Jurnal Rekursif* (Vol. 7, Number 1). <http://ejournal.unib.ac.id/index.php/rekursif/59>
- Nguyen, D.-L., Cao, K., & Jain, A. K. (2017). *Robust Minutiae Extractor: Integrating Deep Networks and Fingerprint Domain Knowledge*. <http://arxiv.org/abs/1712.09401>
- Norbertus Tri Suswanto Saptadi, Muh. Nurtanzis Sutoyo, Hedio Kristiawan, Agung Yuliyanto Nugroho, Nina Rahayu, Suwarmiyati, Bayu Waseso, Indo Intan, Khairunnas, Imam Yuniarto, Pramana Yoga Saputra, Oleh Soleh, Martono, Sutriawan, Soekarman, Kodrat Mahatma, Bambang Siswoyo, & Aliyah. (2025). *Deep Learning Teori Algoritma dan Aplikasi*.

- Pontoh, F. J. (2024). Teknik Deteksi Biometrika untuk Pengenalan Sidik Jari Menggunakan Deteksi Minutiae. *Pixel :Jurnal Ilmiah Komputer Grafis*, 17(1), 193–200.
<https://doi.org/10.51903/pixel.v17i1.2000>
- Pratama, Y., & Ramadhani, D. W. (2021). THE ROLE OF THE INDONESIAN AUTOMATIC FINGER PRINT IDENTIFICATION SYSTEM (INAFIS) IN IDENTIFYING PERPETRATORS OF MURDER CASES (A CASE STUDY IN THE REGIONAL POLICE OF WEST SUMATERA). *Activa Yuris: Jurnal Hukum*, 1(2).
- Septian Wiradharma, K. E., Agung, A., Dewi, S. L., & Suryani, L. P. (2023). *PERANAN UNIT IDENTIFIKASI UNTUK MENGUNGKAP SUATU TINDAK PIDANA DALAM PROSES PENYIDIKAN*. 4(1), 2746–5047.
<https://doi.org/10.55637/juinhum.4.1.6753.45-49>
- Setyowati, I., & Ariyani, I. S. (2018). *POLICE ROLE IN IDENTIFYING FINGERPRINT BUSINESS CRIME (Studies in the Central Java) Police*.
<https://doi.org/10.26532/jph.v5i3.3746>