

# Perbandingan Kinerja Hough Transform, Watershed dengan Gabor Wavelet Filter dalam Pengenalan Iris Mata

Alvin Mufidha Ahmad<sup>1</sup>, Christy Atika Sari<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Dian Nuswantoro, Semarang, 50131

---

## Artikel Info

### Kata kunci:

Biometrik  
Pengenalan Iris  
Metode Hough Transform dan Watershed  
Gabor Wavelet

---

## ABSTRAK

Iris pada mata merupakan salah satu biometrik untuk identifikasi individu yang stabil dan unik dengan pemrosesan tanpa kontak fisik. Pengenalan iris mata adalah teknik biometrik penting untuk aplikasi keamanan dan autentikasi individu. Penelitian ini membandingkan kinerja dua metode populer, yaitu Hough Transform dan Watershed, dengan penggunaan Gabor Wavelet Filter dalam konteks pengenalan iris mata. Kajian ini bertujuan untuk mengevaluasi keunggulan relatif dari masing-masing metode dalam mendeteksi tepi iris, segmentasi iris, dan ekstraksi fitur tekstur iris. Hasil analisis menyoroti keunggulan dan kelemahan dari setiap metode, serta potensi untuk mengintegrasikan mereka secara hybrid untuk meningkatkan keandalan dan akurasi sistem pengenalan iris. Penelitian ini memberikan wawasan yang mendalam tentang aplikasi metode-metode tersebut dalam konteks biometrik, dengan implikasi untuk pengembangan sistem identifikasi individu yang lebih handal di masa depan.

---

### Penulis Korespondensi :

Alvin Mufidha Ahmad,  
Teknik Informatika,  
Universitas Dian Nuswantoro,  
Jalan Imam Bonjol 207 Semarang, 50131 Kota Semarang, Jawa Tengah, Indonesia.  
Email: [111202013071@mhs.dinus.ac.id](mailto:111202013071@mhs.dinus.ac.id)

---

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi yang pesat telah memicu timbulnya berbagai permasalahan kompleks [1]. Sistem keamanan fisik menjadi semakin penting dalam menghadapi ancaman keamanan yang terus berkembang di era digital saat ini. Dengan meningkatnya kompleksitas dan frekuensi serangan terhadap infrastruktur fisik, organisasi dan lembaga publik menghadapi tekanan untuk mengadopsi solusi keamanan yang lebih canggih [2]. Oleh karena itu, informasi menjadi aset yang sangat berharga baik bagi perseorangan, pemerintah maupun swasta [3]. Dengan meningkatnya kekhawatiran terkait keamanan data dan penggunaan identitas yang akurat, sistem otentikasi pengguna memainkan peran kunci untuk memastikan hanya pengguna yang sah yang memiliki akses ke sistem dan data yang sensitif [4]. Dalam konteks ini, teknologi biometrik menjadi solusi yang semakin populer karena mampu meningkatkan keakuratan dan keamanan proses otentikasi. Teknologi biometrik memanfaatkan ciri-ciri subjek biometrik seperti sidik jari, garis telapak tangan, sidik jari, wajah, iris mata, dan lainnya dari individu tersebut yang memiliki sifat yang unik [5].

Iris mata adalah organ yang dapat terlihat berbentuk lingkaran yang mengelilingi pupil mata, berfungsi mengatur intensitas cahaya yang masuk kedalam mata dengan membesar dan mengecilkan pupil mata [6]. Identifikasi Iris adalah teknik non-invasif yang tidak memerlukan kontak fisik dengan individu yang diidentifikasi [18]. Dengan menggunakan biometrik iris mata untuk sistem identifikasi individu ini telah terbukti lebih stabil dibandingkan dengan jenis biometrik lainnya [6]. Hal ini karena iris memiliki pola yang khas dan unik yang melingkari pupil mata. Setiap individu memiliki pola tekstur serat halus iris mata yang berbeda, dan bersifat permanen tidak dapat berubah, bahkan tekstur serat pola iris mata kanan dan kiri setiap orang tidak sama. Pola iris yang unik ini juga berbeda walaupun seseorang tersebut kembar identik [7].

Tujuan dari tinjauan pustaka ini adalah untuk membandingkan metode identifikasi iris mata menggunakan pemrosesan gambar. Beberapa penelitian mengenai deteksi iris mata telah dilakukan, antara lain : Penggunaan Daugman Rubber Sheet Model untuk pemetaan zigzag collarete iris ke bentuk polar [8], Local

Binary Patterns untuk mengenali pola tekstur iris yang unik dan digunakan sebagai fitur untuk proses identifikasi iris [9], Gabor Wavelet Transform digunakan dalam pengenalan iris untuk menghasilkan representasi frekuensi spasial dari gambar iris [10], Speeded Up Robust Features (SURF) mengekstraksi fitur-fitur penting dari citra iris untuk membandingkan dan mengidentifikasi iris secara efisien [11], k-Nearest Neighbors dengan algoritma klasifikasi digunakan untuk membandingkan ciri-ciri iris yang diekstraksi dengan data yang tersimpan dan menentukan sejauh mana kesamaannya [12], Convolutional neural networks (CNN) dengan deep learning menunjukkan kemampuan yang baik dalam pengenalan iris dengan mengekstrak dan mempelajari fitur-fitur yang mendalam dari citra iris [19]. Kajian ini penting untuk menentukan metode paling efisien dan akurat, yang dapat membantu mengembangkan sistem pengenalan iris mata yang lebih baik dan lebih andal, sesuai dengan kebutuhan industri untuk solusi biometrik yang lebih aman dan efisien.

Penelitian ini diusulkan untuk membandingkan kinerja metode Circular Hough Transform dan Watershed dengan Gabor Wavelet Filter dalam pengenalan iris mata. Metode Circular Hough Transform digunakan untuk deteksi tepi iris, sementara Watershed digunakan untuk segmentasi iris dari citra mata. Sebagai perbandingan, Gabor Wavelet Filter diterapkan untuk ekstraksi fitur tekstur iris

## 2. METODE

### 2.1 Tahapan Penelitian

Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah kajian pustaka. Kajian pustaka ini bertujuan untuk mengumpulkan, menganalisis, dan mensintesis literatur yang relevan terkait pengenalan iris mata menggunakan berbagai metode seperti Hough Transform, Watershed, dan Gabor Wavelet Filter. Berikut adalah langkah-langkah yang dilakukan dalam kajian pustaka ini seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Penelitian

### 2.2 Biometrik

Pengukuran dan analisis karakteristik fisik dan perilaku manusia diterapkan dalam teknologi biometrik untuk tujuan autentikasi identitas. Data biometrik yang unik dan tidak dapat dipalsukan, seperti sidik jari, wajah, iris mata, suara, dan tanda tangan, digunakan oleh sistem biometrik untuk mengidentifikasi individu. Pengenalan iris melibatkan analisis pola warna di bagian berwarna dari mata. Pola-pola unik ini digunakan oleh sistem untuk mengidentifikasi individu secara akurat dan tidak dapat dipalsukan. Teknologi ini memanfaatkan keunikan setiap pola iris, sehingga autentikasi identitas dapat dilakukan dengan tingkat keamanan yang tinggi.

Mengidentifikasi iris melibatkan beberapa langkah penting. Pada penelitian ini menggunakan AMF iris dataset dengan 540 sampel yang melibatkan 54 orang [21]. Selanjutnya, pola-pola ini diekstraksi dari

gambar yang diambil. Algoritma pemrosesan citra kemudian diterapkan untuk menganalisis dan mengkodekan pola iris menjadi template digital. Template ini dibandingkan dengan template yang sudah tersimpan di database untuk menemukan kecocokan. Berdasarkan hasil pencocokan, identitas individu ditentukan secara akurat.



Gambar 2. Visualisasi citra dataset untuk biometrik

### 2.3 Hough Transform

Hough Transform adalah teknik transformasi matematis yang berguna untuk mendeteksi garis lurus atau pola geometris lainnya yang dapat dijelaskan dengan parameter matematis tertentu dalam ruang parameter. Dalam aplikasi pengenalan iris, Hough Transform digunakan secara luas untuk menemukan tepi lingkaran iris dan pupil. Proses ini melibatkan konversi koordinat citra ke representasi parameter, di mana titik-titik yang saling terhubung dalam citra akan menciptakan garis atau lingkaran dalam ruang parameter. Penggunaan Hough Transform dalam konteks ini membantu dalam deteksi presisi tepi dan garis bentuk iris, yang merupakan langkah krusial dalam ekstraksi fitur untuk pengenalan biometrik. Persamaan lingkaran dalam Circular Hough Transform diekspresikan dalam bentuk parameter, yang dituliskan pada (1). Dimana  $(a, b)$  adalah koordinat lingkaran,  $r$  adalah jari-jari lingkaran,  $\theta$  adalah sudut polar yang bervariasi mulai dari 0 hingga  $2\pi$  yang mewakili putaran lingkaran.

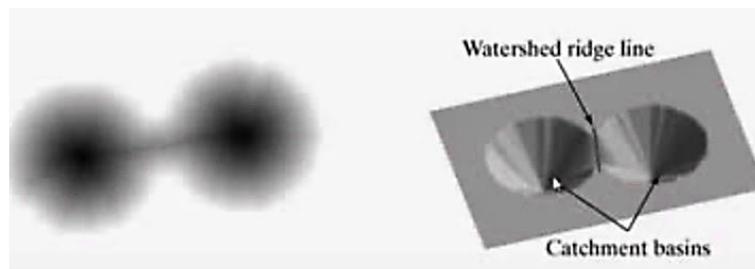
$$(x - a)^2 + (y - b)^2 = r^2 \quad (1)$$

$$x = a + r \cos(\theta)$$

$$y = b + r \sin(\theta) \quad (2)$$

### 2.4 Watershed

Metode Watershed adalah salah satu teknik segmentasi citra yang sering digunakan dalam mengenali iris mata. Segmentasi adalah langkah untuk memisahkan objek dari latar belakangnya dalam suatu citra seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Dalam konteks pengenalan iris mata, metode Watershed berguna untuk memisahkan bagian iris dari bagian lain pada gambar mata. Konsep dasar dari metode Watershed adalah memperlakukan citra grayscale sebagai permukaan topografi, di mana piksel dengan intensitas tinggi dianggap sebagai puncak dan piksel dengan intensitas rendah dianggap sebagai lembah. Proses algoritma Watershed kemudian menempatkan batas di antara puncak-puncak ini untuk memisahkan berbagai wilayah.



Gambar 3. Dimensi transformasi watershed dan dimensi transformasi dasar watershed

Proses Watershed dimulai dengan pembuatan array  $M1, M2, M3, \dots, MR$  dari koordinat titik daerah dengan nilai minimum pada citra  $g(x, y)$ . Kemudian, dibuat  $C(M_i)$ , yaitu kumpulan koordinat pada catchment basin yang terhubung dengan daerah minimum  $M_i$ , yang dianggap membentuk komponen yang saling tersambung. Penulisan min dan max digunakan untuk menandai nilai minimum dan maksimum dari  $g(x, y)$ .

Kemudian, dibuat  $T[n]$  menjadi kumpulan koordinat  $(s,t)$  di mana  $g(s, t) < n$ , sehingga dapat didefinisikan sebagai persamaan (4).  $T[n]$  adalah kumpulan koordinat dari  $g(x, y)$  yang berada di bawah daerah  $g(x, y) = n$ . Topografi tersebut kemudian diisi dengan penambahan integer mulai dari  $n = \min$  hingga  $= \max$ .

Pada setiap penambahan  $n$ , algoritma perlu mengetahui jumlah titik yang berada di bawah kedalaman  $n$ . Daerah yang berada di bawah  $g(x,y)=n$  diberi warna hitam (nilai 0) dan yang berada di atasnya diberi warna putih (nilai 1). Kemudian, dibuat  $C_n(M_i)$  menjadi kumpulan koordinat titik pada catchment basin yang terhubung dengan daerah minimum  $M_i$  yang diisi pada tahap  $n$ .  $C_n(M_i)$  dapat dilihat sebagai citra biner menggunakan persamaan: (5). Interpretasi geometris dari hasil segmentasi hanya menggunakan operator AND untuk mengisolasi tahap  $n$  dari pengisian citra biner dalam  $T[n]$  yang terkait dengan regional minimum  $M_i$ . Dengan demikian,  $C[n]$  merupakan gabungan aliran di catchment basin pada tahap  $n$ , didefinisikan pada (6).

$$C_n(M_i) = \begin{cases} 1 & \text{jika } (x, y) \in C(M_i) \text{ DAN } (x, y) \in T[n] \\ 0 & \text{lainnya} \end{cases} \quad (5)$$

$$T[n] = \{(s, t) \mid g(s, t) < n\} \quad (6)$$

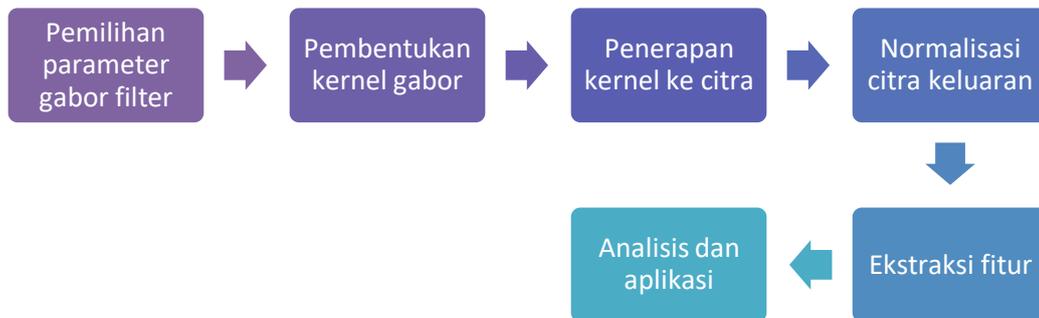
Kemudian,  $C[\max+1]$  adalah gabungan dari semua catchment basin. Dari sini, diperoleh bahwa  $C[n - 1]$  adalah subset dari  $C[n]$ , dan  $C[n]$  adalah subset dari  $T[n]$ , maka  $C[n - 1]$  adalah subset dari  $T[n]$ . Jika  $Q$  adalah kumpulan komponen yang terhubung dalam  $T[n]$ , maka untuk setiap komponen yang terhubung, ada tiga kemungkinan: (a) kosong, (b) berisi satu komponen terhubung  $C[n - 1]$ , atau (c) berisi lebih dari satu komponen terhubung  $C[n - 1]$ . Jika kondisi (c) terjadi, maka pengisian akan menyebabkan komponen yang berbeda terhubung dalam  $C[n-1]$  bergabung menjadi satu. Dengan demikian, perubahan pada  $C[n-1]$  akan mempengaruhi struktur keseluruhan dari segmentasi citra pada tahap  $n$  seperti pada persamaan (7) dan (8).

$$C[n] = \bigcup_{i=1}^R C_n(M_i) \quad (7)$$

$$C[\max + 1] = \bigcup_{n=1}^{\max} C[n] \quad (8)$$

## 2.5 Gabor Filter

Gabor filter merupakan ekstraksi fitur yang efektif dalam analisis tekstur dan pola dalam gambar. Metode ini melibatkan beberapa langkah utama seperti Gambar 4.



Gambar 4. Tahapan proses Gabor Filter

Pemilihan gabor filter dapat dilakukan dengan menetapkan frekuensi spasial, orientasi sudut filter, skala untuk mengontrol lebar gaussian, menentukan rasio aspek dan fase dari gelombang sinusoidal. Pembentukan kernel gabor diproses dengan menghitung kernel Gabor berdasarkan parameter yang dipilih. Kernel Gabor adalah produk dari gelombang sinusoidal dan Gaussian. Penerapan kernel citra melalui proses konvolusi dan orientasi skala. Dalam proses normalisasi, terjadi penyesuaian intensitas piksel citra.

## 2.5 Dataset

Pencarian literatur dilakukan di basis data akademik seperti IEEE Xplore, ScienceDirect, PubMed, dan Google Scholar menggunakan kata kunci terkait seperti "iris recognition", "Hough Transform", "Watershed method", dan "Gabor Wavelet filter". Misalnya, studi oleh Nguyen et al. (2021) yang membahas penggunaan Hough Transform dalam deteksi iris ditemukan melalui IEEE Xplore [1]. Penelitian lain oleh Zhang et al. (2020) yang menggunakan Gabor Wavelet filter untuk pengenalan iris ditemukan di ScienceDirect [2].

Dataset memiliki 540 sampel dengan 54 partisipan dengan masing-masing berjumlah 10 gambar dengan terdiri 5 mata sebelah kanan dan 5 mata sebelah kiri, Dataset ini terdiri dari gambar iris mata yang diorganisir dalam subfolder berdasarkan labelnya. Gambar-gambar diubah ukurannya menjadi 128x128 piksel untuk menyamakan resolusi dan memudahkan pengolahan lebih lanjut. Dataset diolah menggunakan MATLAB untuk membaca gambar secara efisien.

## 2.6 Penelitian Terkait

Pada Tabel 1 menunjukkan hasil dari penelitian sebelumnya dimana pada metode hough transform menunjukkan keunggulan dalam mendeteksi tepi iris yang akurat dan robust terhadap variasi pencahayaan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Jiangang Li dan Xin Feng, akurasi deteksi tepi iris mencapai 95%. Metode ini juga mampu menangani noise dalam citra dengan efektif, menjadikannya andal dalam berbagai kondisi pencahayaan. Penelitian ini menggunakan dataset NICE-II dengan 1000 gambar pelatihan dari 171 subjek dan 1000 gambar pengujian dari 150 subjek, serta dataset MICHE yang terdiri dari tiga sub-database: GS4 (1297 gambar), IP5 (1262 gambar), dan GT2 (632 gambar). Resolusi gambar untuk NICE-II adalah 300x400 piksel, sedangkan untuk MICHE sekitar 270x444 piksel [12]. Pada penelitian yang mengkaji metode Watershed dalam segmentasi iris mata, beberapa studi telah menunjukkan keefektifan metode ini. Misalnya, sebuah penelitian oleh Muhammad Saqlain Aslam dan Ching-Chun Chang (2021) mengungkapkan bahwa metode ini mampu mencapai akurasi yang tinggi dalam segmentasi iris bahkan dalam kondisi lingkungan yang menantang. Eksperimen yang dilakukan menggunakan beberapa dataset menunjukkan bahwa pendekatan ini sangat efisien dalam menangani berbagai faktor pengganggu seperti noise dan variasi pencahayaan [14].

Tabel 1. Penelitian Terkait

Ref	Tahun	Metode	Keunggulan	Dataset	Catatan	Akurasi
[12]	2023	Hough Transform	Deteksi tepi yang akurat dan robust terhadap variasi pencahayaan, efektif dalam menangani noise	NICE-II: 1000 gambar pelatihan dari 171 subjek, 1000 gambar pengujian dari 150 subjek; MICHE: GS4 (1297 gambar), IP5 (1262 gambar), GT2 (632 gambar)	Resolusi gambar: NICE-II: 300x400 piksel; MICHE: 270x444 piksel	95%
[14]	2021	Watershed	Efektif dalam segmentasi iris meski dalam kondisi lingkungan yang menantang, efisien dalam menangani noise dan variasi pencahayaan	-	-	-
[13]	2022	Kombinasi Hough Transform dan Watershed	Kombinasi menghasilkan presisi dan recall yang tinggi	Database Multimedia University (MMU), 50 citra mata	-	98.6081%
[15]	2022	Gabor Wavelet Filter	Ekstraksi fitur frekuensi spasial yang robust terhadap perubahan skala dan rotasi	-	Berdasarkan uji coba oleh Atsila dan Riki	83%
[16]	2021	Gabor Wavelet Filter	Ekstraksi fitur frekuensi spasial yang robust terhadap perubahan skala dan rotasi	-	Berdasarkan penelitian oleh Ahmadi dan Akbarizadeh	95%

Pada penelitian penggabungan metode Hough Transform dan watershed dapat menghasilkan yang tinggi. Pada penelitian yang dilakukan oleh Ja'far diusulkan metode Watershed dan Circular Hough Transform. Datayang digunakan dalam penelitian didapatkan dari database Multimedia University (MMU). Dari hasil evaluasi yang dilakukan terhadap 50 citra mata diperoleh nilai rata-rata presisi sebesar 99,3494% dan recall sebesar 87,4795%. Serta rata-rata akurasi sebesar 98,6081% [13]. Pada penelitian lainnya yaitu Gabor Wavelet filter digunakan untuk ekstraksi fitur dalam citra iris, memanfaatkan representasi frekuensi spasial. Hasil penelitian oleh Atsila dan Riki dari uji coba yang dilakukan, sistem berhasil melakukan pengenalan citra iris sesuai dengan citra yang dipilih. Citra iris mata yang dapat diidentifikasi dengan benar adalah 10 citra dari 12 citra uji sehingga diperoleh nilai akurasi pengenalan sebesar 83% [15]. Gabor Wavelet filter juga menunjukkan robust terhadap perubahan skala dan rotasi. Namun terdapat penelitian lain dari Penelitian yang dilakukan oleh

Ahmadi dan Akbarizadeh (2021) menunjukkan bahwa Gabor Wavelet Filter digunakan secara efektif dalam pengenalan iris, mencapai akurasi tinggi dalam ekstraksi fitur tekstur dan identifikasi iris. Akurasi yang dilaporkan dalam penelitian ini bervariasi, namun sering kali mendekati atau melebihi 95%, tergantung pada dataset dan kondisi pengujian [16].

## 2.7 Pengujian Hasil

Hasil prediksi pada set pengujian dibandingkan dengan label sebenarnya untuk menghitung matrik evaluasi seperti akurasi, presisi, dan F1 score.

$$\text{Akurasi} = \frac{\sum_i TP_i}{\sum_i (TP_i + FP_i + FN_i + TN_i)} \quad (9)$$

$$\text{Presisi} = \frac{TP}{TP + FP} \quad (10)$$

$$\text{F1 Score} = 2 \cdot \frac{\text{Presisi} \cdot \text{Recall}}{\text{Presisi} + \text{Recall}} \quad (11)$$

True Positive (TP) adalah jumlah kasus di mana kelas sebenarnya dan prediksi adalah positif.  
False Positive (FP) adalah jumlah kasus di mana kelas sebenarnya negatif tetapi diprediksi positif.  
False Negative (FN) adalah jumlah kasus di mana kelas sebenarnya positif tetapi diprediksi negatif.  
True Negative (TN) adalah jumlah kasus di mana kelas sebenarnya dan prediksi adalah negatif.

## 3. PEMBAHASAN HASIL

Gambar asli dikonversi menjadi gambar grayscale menggunakan `im2gray` yang berfungsi pada MATLAB yang digunakan untuk mengkonversi gambar berwarna (RGB) menjadi gambar grayscale. Gambar grayscale adalah gambar yang hanya memiliki satu saluran intensitas, dibandingkan dengan gambar berwarna yang memiliki tiga saluran.

Algoritma Hough Transform (`imfindcircles`) diterapkan pada gambar hasil deteksi tepi untuk mendeteksi lingkaran-lingkaran yang kemungkinan besar adalah iris. Dengan menggunakan `imfindcircles` fungsi dari MATLAB yang menerapkan filter Gabor pada gambar. Filter Gabor digunakan untuk ekstraksi fitur, terutama dalam analisis tekstur dan pola dalam gambar. Filter ini berfungsi sebagai filter frekuensi selektif yang merespons tepi dan garis dalam gambar pada orientasi dan skala tertentu.

Gradient magnitude dari gambar grayscale dihitung menggunakan `imgradient` untuk mendapatkan perubahan intensitas yang signifikan. Operasi morfologi seperti pembukaan (`imopen`) dan penutupan (`imclose`) dilakukan untuk menghilangkan noise dan memperbaiki struktur objek. Transformasi Watershed diterapkan pada hasil binerisasi gambar untuk memisahkan objek iris dari latar belakang. Pengujian mendapatkan hasil yang memuaskan dari 540 citra dari 54 partisipan dengan hasil sesuai pada Tabel 2.

Tabel 2. Performa metode pengenalan iris mata

Metode	Akurasi	Presisi	F1
Hough	100%	100%	100%
Watershed	100%	100%	100%
Gabor	100%	100%	100%

Hasil kajian menunjukkan bahwa masing-masing metode memiliki keunggulan dan kelemahan dalam konteks pengenalan iris. Hough Transform unggul dalam deteksi tepi iris yang presisi, sementara Watershed lebih efektif dalam segmentasi, meskipun memerlukan preprocessing yang lebih banyak. Gabor Wavelet filter terbukti sangat efektif dalam ekstraksi fitur tekstur dan robust terhadap berbagai kondisi pencahayaan.

Temuan ini menunjukkan bahwa kombinasi metode dapat meningkatkan akurasi dan robust terhadap berbagai kondisi. Misalnya, menggunakan Hough Transform untuk deteksi tepi dan Watershed untuk segmentasi, diikuti oleh Gabor Wavelet filter untuk ekstraksi fitur, dapat menghasilkan sistem pengenalan iris yang lebih handal.

Tindak lanjut penelitian ini sebaiknya mencakup:

- Mengembangkan algoritma hybrid yang menggabungkan keunggulan dari Hough Transform, Watershed, dan Gabor Wavelet filter.
- Menerapkan teknik machine learning untuk meningkatkan akurasi dan kecepatan pengenalan iris.

- Mengeksplorasi penggunaan dataset yang lebih besar dan beragam untuk menguji robustitas metode yang diusulkan.

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian ini melakukan kajian pustaka yang membandingkan metode Hough Transform, Watershed, dan Gabor Wavelet filter dalam pengenalan iris mata. Kombinasi dari metode ketiga ini dapat menghasilkan sistem pengenalan iris yang lebih handal dan akurat. Temuan ini mengindikasikan bahwa mengembangkan algoritma hybrid yang menggabungkan keunggulan dari masing-masing metode dapat meningkatkan performa pengenalan iris.

#### REFERENCES

- [1] Sufi, Fulan, et al. View of Analisis Ancaman Cybercrime Dan Peran Sistem Biometrik: Systematic Literature Review. Oct. 2023, <https://senapan.upnjatim.ac.id/index.php/senapan/article/view/281/89>.
- [2] Puspitasari, Rini. "View of ANALISIS PENGGUNAAN TEKNOLOGI BIOMETRIK DALAM SISTEM KEAMANAN FISIK" *Tugas Mahasiswa Program Studi Informatika*, 2024, <https://coursework.uma.ac.id/index.php/informatika/article/view/1025/864>.
- [3] Nurul, Shinta, et al. "Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Keamanan Sistem Informasi: Keamanan Informasi, Teknologi Informasi Dan Network (Literature Review SIM)." *Jurnal Ekonomi Manajemen Sistem Informasi*, vol. 3, no. 5, May 2022, pp. 564–73, doi:10.31933/jemsi.v3i5.992.
- [4] Putri Cahyani, Putri. "Analisis Penggunaan Teknologi Biometrik Dalam Sistem Otentikasi Pengguna." *Tugas Mahasiswa Program Studi Informatika*, vol. 1, no. 2, 2024.
- [5] Hartono, Nahrun, et al. "Studi Literature Sistem Keamanan Biometrik Untuk Verifikasi Dan Transaksi Dompot Digital." *Journal Software, Hardware and Information Technology*, vol. 2, no. 2, June 2022, pp. 10–14, doi:10.24252/shift.v2i2.30.
- [6] J. Daugman and C. Downing, "Broken symmetries, random morphogenesis, and biometric distance," *IEEE Trans. Biometrics, Behav. Identity Sci.*, vol. 2, no. 3, pp. 271–278, 2020, doi: 10.1109/TBIOM.2020.2993225.
- [7] S.sujana and D. V. Reddy, "An Effective CNN based Feature Extraction Approach for IrisRecognition System," *Turkish J. Comput. Math. Educ.*, vol. 9, no. 1, pp. 1–5, 2021, doi: 10.17485/ijst/2016/v9i47/106827.
- [8] Bargan, J. Jeya, and D. Kiruba Jothi. "Hybrid Technique Of Iris Recognition And Iris Template Matching Using Daugman's And Gabor Wavelet Models." *Journal of Population Therapeutics and Clinical Pharmacology* 29.02 (2022): 321-328.
- [9] Abdo, Amina, et al. "Iris recognition system based on fuzzy local binary pattern histogram and multiple classifiers." 2022 IEEE 2nd International Maghreb Meeting of the Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (MI-STA). IEEE, 2022.
- [10] Ibrahim, Yahya Ismail, and Enaam Abdul-Jabbar Sultan. "Iris recognition based on 2D Gabor filter." *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)* 13.1 (2023): 325-334.
- [11] Hafeez, Huma, et al. "Real-Time Human Authentication System Based on Iris Recognition." *Eng 3.4* (2022): 693-708.
- [12] Li, Jiangang, and Xin Feng. "Double-Center-Based Iris Localization and Segmentation in Cooperative Environment with Visible Illumination." *Sensors* 23.4 (2023): 2238.
- [13] Ja'far, Habib, and Andy Rachman. "Deteksi Iris Mata Menggunakan Watershed dan Circular Hough Transform." *KERNEL: Jurnal Riset Inovasi Bidang Informatika dan Pendidikan Informatika* 3.1 (2022): 1-7.
- [14] Saqlain Aslam, M., & Chang, C.-C. (2021). Robust Iris Segmentation Algorithm in Non-Cooperative Environments Using Interleaved Residual U-Net. *Sensors*, 21(4), 1434.
- [15] Shalsabila, Atsila, and Riki Mukhaiyar. "Perancangan Alat Pendeteksi Iris Mata Menggunakan Metode Wavelet Filter." *JTEV (Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional)* 8.2 (2022): 433-438.
- [16] Tahir, Ahmed AK, and Steluta Anghelus. "Improving iris recognition accuracy using Gabor kernels with near-horizontal orientations." *International Journal of Advances in Signal and Image Sciences* 8.1 (2022): 25-39.
- [17] Djamsi, Ningsih, Didih Rizki Chandranegara, and Zamah Sari. "Mendeteksi Ekspresi Wajah dengan Meninjau Iris Mata Menggunakan Metode Transformasi Hough dan K-Nearest Neighbor (KNN)." *Jurnal Repositor* 5.1 (2023).
- [18] Bhuiyan, Rasel Ahmed, and Adam Czajka. "Forensic Iris Recognition: A Survey." *Journal of Forensic*

---

Identification 74.1 (2024).

- [19] Omran, Maryim, and Ebtesam N. AlShemmary. "An iris recognition system using deep convolutional neural network." *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 1530. No. 1. IOP Publishing, 2020.
- [20] ÇELİK, Ahmet. "Improving Iris Dataset Classification Prediction Achievement By Using Optimum k Value of kNN Algorithm." *Eskişehir Türk Dünyası Uygulama ve Araştırma Merkezi Bilişim Dergisi* 3.2 (2022): 23-30.
- [21] Mysarfathi, Ahmed. "AMF IRIS Dataset." Kaggle, 2023, <https://www.kaggle.com/datasets/ahmedmyasarfathi/amf-iris-dataset?resource=download>.