

Identifikasi Biometrik Telinga berbasis Tapis Gabor menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan Perambatan Balik

Ear Biometric Identification based on Gabor Filters using Backpropagation Neural Networks

¹Ivano Kumaran*, ²Muchtar Ali Setyo Yudono, ³Alun Sujjada

^{1,2}Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Desain, Universitas Nusa Putra, Sukabumi, Jawa Barat, Indonesia

³Teknik Informatika, Fakultas Teknik dan Desain, Universitas Nusa Putra, Sukabumi, Jawa Barat, Indonesia

*e-mail: ivano.kumaran_te20@nusaputra.ac.id

(**received:** 6 September 2024, **revised:** 16 September 2024, **accepted:** 25 September 2024)

Abstrak

Pengembangan sistem keamanan yang andal sangat penting untuk melindungi informasi pribadi dan kontrol akses. Biometrik telinga, yang memanfaatkan struktur unik telinga, merupakan metode identifikasi manusia yang menjanjikan karena ketahanannya terhadap pemalsuan. Penelitian ini bertujuan merancang dan menguji sistem identifikasi biometrik telinga menggunakan citra telinga kanan tanpa aksesoris dari lima pria, dengan total 224 citra. Proses pra-pengolahan meliputi perubahan ukuran citra, konversi ke skala keabuan, dan penerapan tapis Gaussian. Segmentasi citra dilakukan melalui deteksi tepi Canny, diikuti oleh operasi morfologi seperti dilasi dan pengisian lubang. Fitur citra telinga diekstraksi dengan tapis Gabor, dan klasifikasi dilakukan menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan Perambatan Balik. Sistem ini mencapai keberhasilan rata-rata sebesar 88,8% dalam lima skenario pengujian, dengan akurasi tertinggi 94% pada skenario pertama dan kelima. Sensitivitas untuk kelas 1, 2, 3, 4, dan 5 masing-masing adalah 98%, 74%, 92%, 96%, dan 82%. Spesifisitas mencapai 100% untuk kelas 1 dan 3, serta 94%, 97,5%, dan 94,5% untuk kelas 2, 4, dan 5. Berdasarkan hasil pengujian, sistem biometrik telinga dengan ekstraksi fitur tapis Gabor dan klasifikasi Jaringan Syaraf Tiruan Perambatan Balik menunjukkan performa yang baik dan berpotensi untuk aplikasi keamanan.

Kata kunci: biometrik, telinga, pengolahan citra, tapis gabor, jaringan syaraf tiruan perambatan balik

Abstract

The development of reliable security systems is crucial for protecting personal information and access control. Ear biometrics, which utilizes the unique structure of the ear, is a promising method for human identification due to its resistance to forgery. This research aims to design and test an ear biometric identification system using images of the right ear without accessories from five men, totaling 224 images. The preprocessing steps include resizing the images, converting them to grayscale, and applying Gaussian filters. Image segmentation is performed using Canny edge detection, followed by morphological operations such as dilation and hole filling. Features of the ear images are extracted using Gabor filters, and classification is carried out using Backpropagation Neural Networks. The system achieved an average success rate of 88.8% across five testing scenarios, with the highest accuracy of 94% in the first and fifth scenarios. Sensitivity for classes 1, 2, 3, 4, and 5 was 98%, 74%, 92%, 96%, and 82%, respectively. Specificity reached 100% for classes 1 and 3, and 94%, 97.5%, and 94.5% for classes 2, 4, and 5. Based on the results of accuracy, sensitivity, and specificity testing, the ear biometric system using Gabor feature extraction and Backpropagation Neural Network classification demonstrates good performance and potential for security applications.

Keywords: biometrics, ear, image processing, gabor filter, back propagation neural network

1 Pendahuluan

Inovasi pada sistem keamanan sangat diperlukan untuk menciptakan sistem keamanan yang handal bagi manusia [1]–[4]. Fungsi keamanan digital adalah untuk menjaga keamanan informasi pribadi, data privasi, serta kontrol akses yang dapat membahayakan jika diakses oleh pihak yang tidak berwenang [5]–[8]. Dalam upaya melindungi data pengguna, pengembangan terus dilakukan pada teknologi biometrik yang terintegrasi pada tubuh manusia, sehingga dapat digunakan sebagai sistem keamanan yang dapat mencegah tindakan pencurian atau pemalsuan akses untuk masuk ke dalam sistem [9]–[11].

Dalam beberapa tahun terakhir, perhatian peneliti di bidang pengenalan visi komputer telah tertuju pada telinga sebagai salah satu ciri biometrik yang menarik. Hal ini dikarenakan variasi struktur dan bentuk telinga yang unik pada setiap individu, membuat biometrik telinga menjadi suatu metode identifikasi manusia yang dapat diandalkan [12], [13]. Sistem keamanan biometrik pada tubuh manusia dianggap sebagai yang paling mutakhir karena memiliki ciri yang unik dan sulit untuk ditiru [14], [15].

Metode identifikasi biometrik melalui pengenalan telinga terbukti sangat efektif. Selain itu, pemanfaatan telinga juga memberikan manfaat signifikan dalam penelitian asimetri klinis, eksplorasi koneksi genetik, dan identifikasi jenis kelamin. Keunggulan metode ini terletak pada kemampuannya untuk mengatasi sejumlah masalah yang sering terjadi pada metode biometrik lainnya [16]–[19]. Bentuk telinga relatif tetap dan mengalami perubahan yang minimal seiring penuaan. Keunikannya tidak terpengaruh oleh ekspresi wajah, dan posisi telinga yang tetap di tengah kepala memungkinkan latar belakang dapat diprediksi dengan mudah [20], [21]. Penelitian medis telah memvalidasi adanya perubahan yang nyata pada bentuk telinga mulai dari usia 4 bulan sampai usia 8 tahun, dan setelah mencapai usia 70 tahun. Namun, dalam rentang usia 8 hingga 70 tahun, bentuk telinga cenderung tetap konsisten tanpa mengalami perubahan yang signifikan [22]–[24].

Berdasarkan pembahasan pada penelitian terkait, maka diperlukan sistem identifikasi biometrik telinga dengan tingkat akurasi yang tinggi. Penelitian ini mengimplementasikan sistem identifikasi biometrik telinga menggunakan citra telinga kanan laki-laki tanpa aksesoris, citra ini dilakukan pra-pengolahan dengan melakukan pengubahan ukuran, skala keabuan, dan tapis Gaussian. Segmentasi dilakukan menggunakan deteksi tepi *Canny* dan morfologi dengan operasi dilasi dan pengisian lubang. Ekstraksi ciri dilakukan dengan tapis Gabor dan klasifikasi menggunakan metode Jaringan Syaraf Tiruan Perambatan Balik. Sehingga, dengan adanya kombinasi metode tersebut, sistem identifikasi ini mampu mendapatkan hasil akurasi yang terbaik.

2 Tinjauan Literatur

Penelitian terkait pengenalan biometrik telinga berjudul “*A Novel Approach to Automatic Ear Detection Using Banana Wavelets and Circular Hough Transform*” pada tahun 2019 [25]. Pada penelitian tersebut dilakukan sebuah pengenalan biometrik telinga terhadap 300 citra berwarna, 3 citra untuk setiap 100 subjek yang berasal dari 3 basis data dengan sudut pandang dan rotasi yang berbeda. Pra-pengolahan citra dilakukan dengan deteksi kulit, pemerataan histogram adaptif, dan operasi top hat morfologi. Segmentasi telinga dilakukan dengan menggunakan metode *Banana Wavelets* dan *Circular Hough Transform*. Tingkat deteksi tertinggi sebesar 80,25%, ekstraksi ciri yang digunakan yaitu *Local Binary Pattern* dan metode klasifikasi menggunakan *K-Nearest Neighbors*.

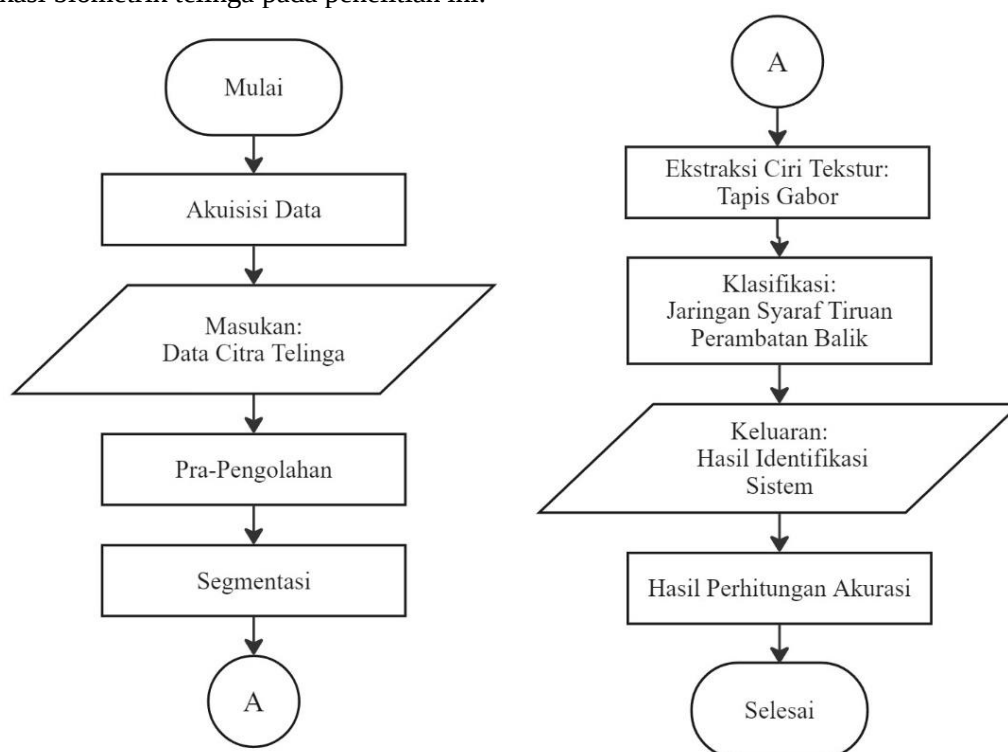
Selanjutnya penelitian yang melakukan pengenalan biometrik telinga berjudul “*Ear Recognition based on Local Texture Descriptors*” pada tahun 2021 [26]. Penelitian ini membahas tentang perbandingan ekstraksi ciri untuk pengenalan biometrik telinga dengan menggunakan *Local Binary Patterns* (LBP), *Local Ternary Patterns* (LTP), *Local Directional Patterns* (LDP), dan *Directional Ternary Patterns* (DTP). Basis data telinga yang digunakan pada pengujian tersebut yaitu basis data IIT Delhi-1 dan IIT Delhi-2. Pra-pengolahan dilakukan dengan mengubah citra menjadi citra berskala abu-abu dan menggunakan filter median. Selanjutnya, gambar didekomposisi menjadi beberapa subgambar untuk lebih mengkarakterisasi detail dan hubungan antar piksel. Ekstraksi ciri dilakukan menggunakan LBP, LTP, LDP, dan DTP dengan klasifikasi menggunakan metode Jarak Bhattacharya. Pengujian pertama dilakukan dengan menerapkan masing-masing ekstraksi ciri secara terpisah dan terdapat 2 ekstraksi ciri yang menghasilkan akurasi tertinggi yaitu LBP dan LTP pada basis data IIT Delhi 2 dengan nilai akurasi 97,15%. Pengujian kedua dilakukan untuk mengetahui

pengaruh penggabungan dari deskriptor lokal (*Fusions of Local Descriptors*) dan akurasi tertinggi dihasilkan oleh gabungan DTP dan LBP pada basis data IIT Delhi-2 dengan nilai akurasi 97,44%.

Pada penelitian sebelumnya menunjukkan masih terdapat nilai akurasi yang rendah dalam melakukan identifikasi individu menggunakan objek biometrik telinga. Penggunaan metode ekstraksi ciri dan klasifikasi sangat berpengaruh besar terhadap sistem identifikasi, penggunaan ekstraksi ciri dan klasifikasi yang sesuai dapat menghasilkan hasil akurasi yang tinggi. Maka dari itu, penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan hasil akurasi yang lebih optimal dengan penerapan pengolahan citra pada objek biometrik telinga menggunakan ekstraksi ciri berbasis tekstur dengan tapis Gabor dan klasifikasi menggunakan metode klasifikasi Jaringan Syaraf Tiruan Perambatan Balik.

3 Metode Penelitian

Perancangan sistem ini melibatkan sejumlah tahapan guna mencapai hasil yang optimal dalam mengidentifikasi biometrik telinga melalui proses pengolahan citra. Beberapa proses yang terlibat meliputi akuisisi citra, pra-pengolahan, segmentasi, ekstraksi ciri dan klasifikasi. Masukan pada proses klasifikasi terdapat 2 data, yaitu data *train* dan data *test*. Keluaran dari proses klasifikasi merupakan hasil perhitungan akurasi dari *confusion matrix*. Gambar 1. merupakan diagram alir proses identifikasi biometrik telinga pada penelitian ini.

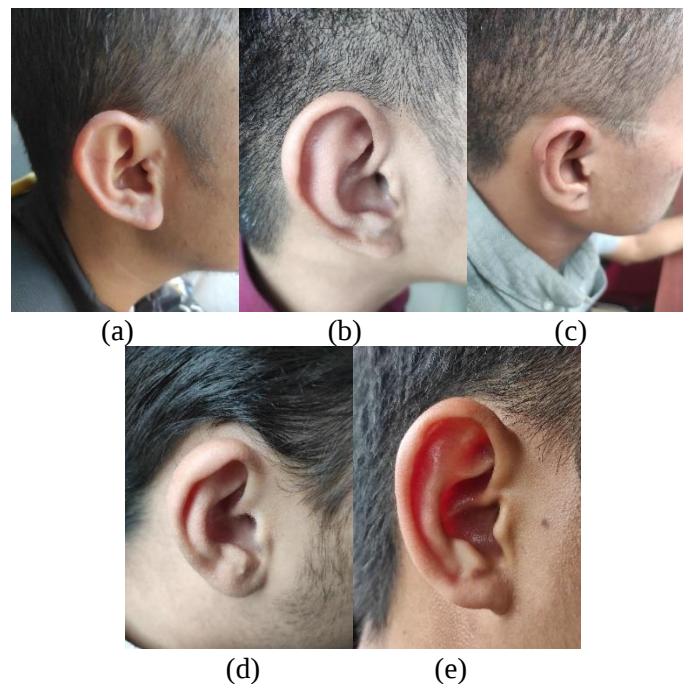


Gambar 1. Diagram alir metode penelitian

3.1 Akuisisi Data

Akuisisi data merupakan tahap awal yang melibatkan pengambilan dan pengumpulan data citra. Dalam penelitian ini, data citra telinga diambil menggunakan kamera *smartphone* Xiaomi Redmi Note 9 Pro dengan format yang digunakan yaitu *Joint Photographic Experts Group* (.jpg) dan resolusi sebesar 3472x4640 piksel. Data yang digunakan merupakan citra telinga kanan tanpa aksesoris pada 5 individu laki-laki dengan total citra sebanyak 224 citra, di mana individu pertama terdapat 47 citra, individu kedua terdapat 29 citra, individu ketiga terdapat 42 citra, individu keempat terdapat 53 citra, dan individu kelima terdapat 53 citra. Data citra dibagi kedalam 2 bagian, di mana bagian pertama merupakan data pelatihan dan data kedua merupakan data pengujian. Data pelatihan berisi 174 citra, 37 citra berasal dari individu pertama, 19 citra berasal dari individu kedua, 32 citra berasal dari individu ketiga, 43 citra berasal dari individu keempat, 43 citra berasal dari individu kelima. Data pengujian berisi 50 citra, di mana data pengujian berisi 10 citra dari setiap individu. Gambar 2. merupakan sampel dari setiap basis data citra yang digunakan pada penelitian ini.

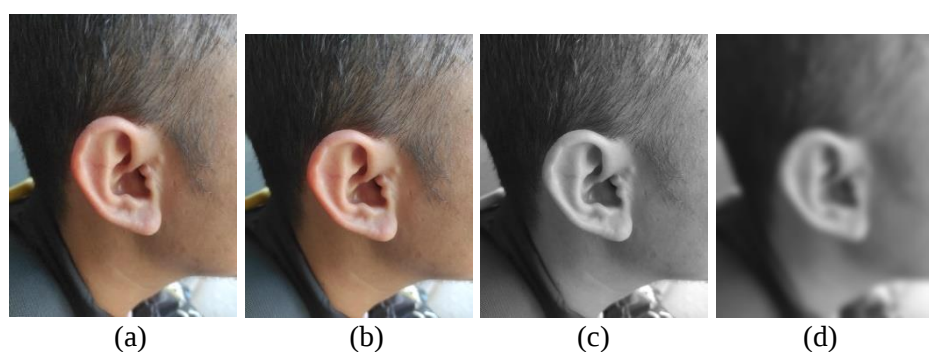
<http://sistemasi.ftik.unisi.ac.id>



Gambar 2. Sampel basis data citra telinga: (a) individu pertama, (b) individu kedua, (c) individu ketiga, (d) individu keempat, (e) individu kelima

3.2 Pra-Pengolahan

Citra telinga yang telah diambil dilakukan pengubahan ukuran untuk meringankan beban kerja komputer saat mengolah citra dan dilakukan pengubahan warna dari warna RGB ke warna skala keabuan (*grayscale*). Selanjutnya, citra melewati proses filtrasi tapis Gaussian untuk mengurangi derau dan memberikan efek lembut yang bertujuan untuk meratakan tepi citra dengan lebih halus. Tapis Gaussian merupakan filtrasi yang dibutuhkan untuk melakukan deteksi tepi *Canny*. Gambar 3. merupakan citra hasil dari proses pra-pengolahan.



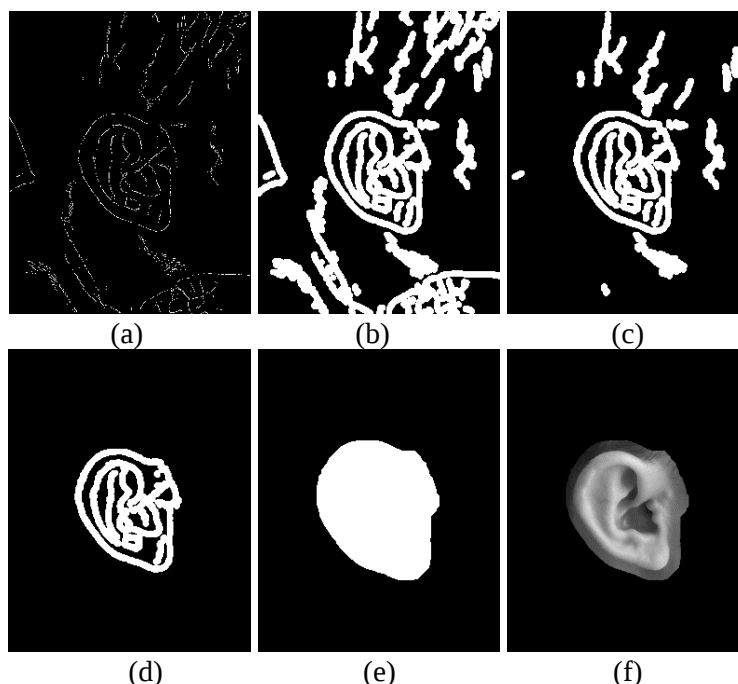
Gambar 3. Proses pra-pengolahan: (a) citra asli, (b) citra hasil *resize*, (c) citra hasil *grayscale*, (d) citra hasil tapis gaussian

3.3 Segmentasi

Segmentasi merupakan proses utama yang bertujuan untuk menciptakan area *Region of Interest* (ROI) dalam citra, di mana bagian objek utama yang ingin diekstraksi ciri dipisahkan dari latar belakang dan bagian latar belakang dihapus. Setelah menjalani proses pra-pengolahan, selanjutnya dilakukan deteksi tepi objek menggunakan operasi *Canny* pada citra telinga. Setelah melewati deteksi tepi *Canny*, citra berubah menjadi citra biner dan tepi pada citra terdeteksi. Operasi morfologi dilasi dilakukan untuk memperbesar garis tepi. Kemudian derau piksel pada citra dihapus dan dilakukan analisis piksel terbanyak untuk mendeteksi objek telinga. Hasil dari deteksi piksel terbanyak dilakukan dilasi untuk mempebesar area tepi dan dilakukan pewarnaan untuk mengisi kebocoran. Kemudian dilakukan *masking* pada citra *grayscale* untuk mendapatkan objek telinga dan

<http://sistemasi.ftik.unisi.ac.id>

menghilangkan latar belakang asli dari citra dalam basis data. Citra hasil segmentasi tersebut digunakan untuk proses ekstraksi ciri. Gambar 4. merupakan citra hasil dari proses segmentasi.



Gambar 4. Proses segmentasi: (a) citra hasil deteksi tepi *canny*, (b) citra hasil dilasi, (c) citra hasil pembersihan tepi, (d) citra hasil deteksi piksel, (e) citra hasil dilasi dan pengisian, (f) citra hasil *masking*

3.4 Ekstraksi Ciri Tapis Gabor

Ekstraksi ciri adalah proses pengekstrakan informasi penting dari suatu bentuk yang menghasilkan nilai, nilai ini dapat digunakan untuk proses klasifikasi pada sistem identifikasi citra biometrik telinga. Tahap ekstraksi ciri dilakukan setelah melewati proses segmentasi dengan citra berskala keabuan. Setelah informasi diekstrak, hasil ekstraksi ciri pada citra telinga dilakukan klasifikasi.

Dalam filtrasi tapis Gabor, terdapat panjang gelombang yang berbeda, yaitu $\lambda = 2, 3, 4, 5, 6$, dan 7 , serta lima sudut orientasi yang diterapkan, yaitu $\theta = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ dan 180° . Dalam penelitian ini, metode ekstraksi ciri tapis Gabor diterapkan melalui serangkaian percobaan dengan panjang gelombang 6 dan sudut orientasi (θ) yang digunakan yaitu $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$, dan 180° . Parameter ekstraksi ciri digunakan dengan perhitungan nilai orde pertama komponen *magnitude* Gabor. Parameter tersebut mencakup *mean*, *variance*, dan *entropy* yang tercantum pada persamaan 1 sampai persamaan 3. Tabel 1. merupakan skenario pengujian yang akan dilakukan pada penelitian ini.

Tabel 1. Skenario pengujian

Skenario	Panjang Gelombang (λ)	Orientasi (θ)	Parameter
1	6	0°	<i>mean</i> , <i>variance</i> , dan <i>entropy</i>
2	6	45°	<i>mean</i> , <i>variance</i> , dan <i>entropy</i>
3	6	90°	<i>mean</i> , <i>variance</i> , dan <i>entropy</i>
4	6	135°	<i>mean</i> , <i>variance</i> , dan <i>entropy</i>
5	6	180°	<i>mean</i> , <i>variance</i> , dan <i>entropy</i>

Perhitungan nilai orde pertama komponen *magnitude* Gabor dengan parameter *mean*, *variance*, dan *entropy* menggunakan persamaan sebagai berikut:

1. *Mean* (μ), bertujuan untuk menghitung nilai rerata untuk intensitas cahaya pada citra.

$$\mu = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N I(i, j) \quad (1)$$

2. Variance (σ^2), untuk menghitung nilai bervariasi dari komponen histogram pada suatu citra.

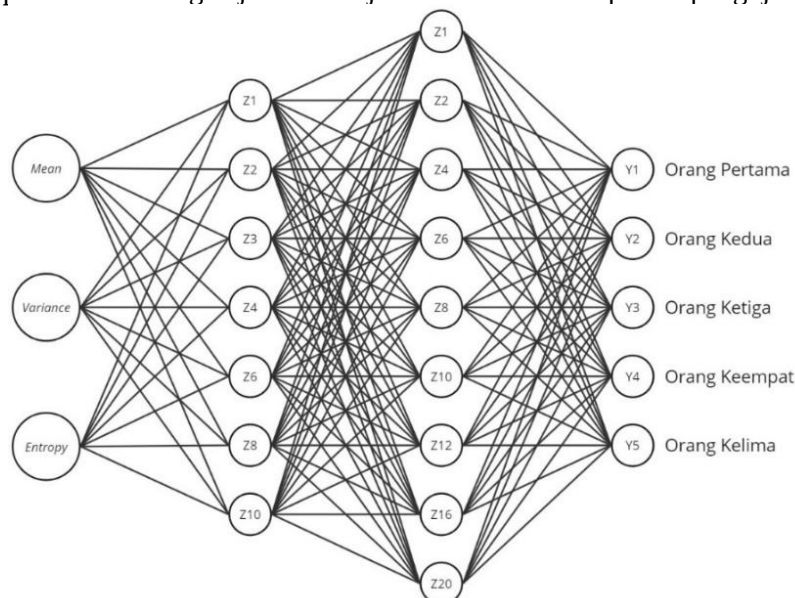
$$\sigma^2 = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (I(i, j) - \mu)^2 \quad (2)$$

3. Entropy (H), bertujuan untuk mengukur dimensi citra yang tidak memiliki ketepatan.

$$H = - \sum_{k=0}^{L-1} p_k \log_2 p_k \quad (3)$$

3.5 Klasifikasi Jaringan Syaraf Tiruan Perambatan Balik

Setelah melewati proses ekstraksi ciri untuk menghasilkan nilai parameter pada citra, nilai tersebut dijadikan sebagai data masukan untuk dilanjutkan ke proses klasifikasi. Data citra dibagi kedalam 2 bagian, di mana bagian pertama merupakan data pelatihan dan data kedua merupakan data pengujian. Data pelatihan berisi 174 citra, 37 citra berasal dari individu pertama, 19 citra berasal dari individu kedua, 32 citra berasal dari individu ketiga, 43 citra berasal dari individu keempat, 43 citra berasal dari individu kelima. Data pengujian berisi 50 citra, di mana data pengujian berisi 10 citra dari setiap individu. Setelah data dibagi menjadi dua bagian, proses selanjutnya dilakukan pelatihan jaringan dengan menggunakan data *train* untuk mendapatkan bobot yang optimal dengan memverifikasi hasil dari proses pelatihan. Bobot yang sudah optimal disimpan pada program masukan yang sudah disiapkan sesuai dengan jumlah subjek untuk dilakukan proses pengujian.



Gambar 5. Arsitektur jaringan syaraf tiruan perambatan balik

Pada proses pelatihan, jaringan dengan algoritma umpan maju diimplementasikan dengan instruksi *newff* (*new feed forward*) yang memungkinkan penggunaan beberapa lapisan baru. Instruksi *newff* mengambil beberapa variabel, termasuk data masukan dan target, jumlah neuron di setiap lapisan, fungsi aktivasi di setiap lapisan, metode pelatihan jaringan, metode pelatihan bobot, dan fungsi evaluasi kinerja. Algoritma *Levenberg-Marquardt* (*trainlm*) digunakan untuk mendekati jaringan dengan bobot tertinggi. Pada Gambar 5. terdapat arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan yang digunakan pada penelitian ini. Data masukan yang digunakan memiliki 3 data, diantaranya *mean*,

variance, dan entropy dengan lapisan tersembunyi satu memiliki 10 neuron dan lapisan tersembunyi dua memiliki 20 neuron. Fungsi aktivasi yang dipilih adalah *tansig* untuk lapisan tersembunyi pertama dan lapisan tersembunyi kedua, dan *purelin* untuk lapisan keluaran. Lapisan keluaran berjumlah 5 lapisan sesuai dengan jumlah kelas berdasarkan individu. Tabel 2. merupakan parameter yang digunakan pada sistem Jaringan Syaraf Tiruan Perambatan Balik.

Tabel 2. Parameter pelatihan jaringan syaraf tiruan perambatan balik

Parameter	Spesifikasi
Jumlah Neuron pada Lapisan Masukan	3
Jumlah Neuron pada Lapisan tersembunyi 1	10
Jumlah Neuron pada Lapisan tersembunyi 2	20
Jumlah Neuron pada Lapisan Keluaran	5
Fungsi Aktivasi	<i>Tansig-Tansig-Purelin</i>
Algoritma	<i>Trainlm</i>
Galat	10^{-2}
Iterasi	110
Laju Pembelajaran	0.05
Nilai Momentum Unit (<i>Mu</i>)	0.5
Gradient Minimum	10^{-8}
Set Maksimum Momentum Unit	10^{23}
Unit Momentum <i>Decrease</i>	0.1
Unit Momentum <i>Increase</i>	6

3.6 Analisis Hasil dan Efektivitas Sistem

Dengan mengevaluasi hasil pelatihan dan pengujian pada basis data yang telah ditentukan untuk menilai sejauh mana kinerja sistem jaringan syaraf tiruan berjalan dengan baik. Analisis hasil digunakan untuk menilai seberapa tepat sistem menentukan data masukan dengan hasil keluaran. Hal ini dilakukan untuk menilai sejauh mana sistem mampu memberikan hasil keluaran yang informatif berdasarkan data masukan yang diberikan setelah melalui proses pelatihan. Hasil dari proses pelatihan dan pengujian menjadi indikator dalam mengevaluasi hasil kinerja sistem. Untuk mengukur seberapa baik efektivitas sistem, dapat digunakan perhitungan sensitivitas, spesifisitas, dan akurasi. Tabel 3. merupakan *Confusion Matrix* menggunakan 5 kelas.

Tabel 3. Confusion matrix

Kelas Prediksi	Kelas Dikenali				
	A	B	C	D	E
A	tpA	eAB	eAC	eAD	eAE
B	eBA	tpB	eBC	eBD	eBE
C	eCA	eCB	tpC	eCD	eCE
D	eDA	eDB	eDC	tpD	eDE
E	eEA	eEB	eEC	eED	tpE

Sensitivitas (A):

$$\frac{TP}{TP+FN} = \frac{tpA}{tpA+eAB+eAC+eAD+eAE} \times 100 \quad (4)$$

Spesifisitas (A):

$$\frac{TN}{TN+FP} = \frac{tpB+eBC+eBD+eBE+eCB+tpC+eCD+eCE+eDB+eDC+tpD+eDE+eEB+eEC+eED+tpE}{tpB+eBC+eBD+eBE+eCB+tpC+eCD+eCE+eDB+eDC+tpD+eDE+eEB+eEC+eED+tpE+eBA+eCA+eDA+eEA} \times 100 \quad (5)$$

Sensitivitas (B):

$$\frac{TP}{TP+FN} = \frac{tpB}{tpB+eBA+eBC+eBD+eBE} \times 100 \quad (6)$$

Spesifisitas (B):

$$\frac{TN}{TN+FP} = \frac{tpA+eAC+eAD+eAE+eCA+tpC+eCD+eCE+eDA+eDC+tpD+eDE+eEA+eEC+eED+tpE}{tpA+eAC+eAD+eAE+eCA+tpC+eCD+eCE+eDA+eDC+tpD+eDE+eEA+eEC+eED+tpE+eAB+eCB+eDB+eEB} \times 100 \quad (7)$$

Sensitivitas (C):

$$\frac{TP}{TP+FN} = \frac{tpC}{tpC+eCA+eCB+eCD+eCE} \times 100 \quad (8)$$

Spesifisitas (C):

$$\frac{TN}{TN+FP} = \frac{tpA+eAB+eAD+eAE+eBA+tpB+eBD+eBE+eDA+eDB+tpD+eDE+eEA+eEB+eED+tpE}{tpA+eAB+eAD+eAE+eBA+tpB+eBD+eBE+eDA+eDB+tpD+eDE+eEA+eEB+eED+tpE+eAC+eBC+eDC+eEC} \times 100 \quad (9)$$

Sensitivitas (D):

$$\frac{TP}{TP+FN} = \frac{tpD}{tpD+eDA+eDB+eDC+eDE} \times 100 \quad (10)$$

Spesifisitas (D):

$$\frac{TN}{TN+FP} = \frac{tpA+eAB+eAC+eAE+eBA+tpB+eBC+eBE+eCA+eCB+tpC+eCE+eEA+eEB+eEC+tpE}{tpA+eAB+eAC+eAE+eBA+tpB+eBC+eBE+eCA+eCB+tpC+eCE+eEA+eEB+eEC+tpE+eAD+eBD+eCD+eED} \times 100 \quad (11)$$

Sensitivitas (E):

$$\frac{TP}{TP+FN} = \frac{tpE}{tpE+eEA+eEB+eEC+eED} \times 100 \quad (12)$$

Spesifisitas (E):

$$\frac{TN}{TN+FP} = \frac{tpA+eAB+eAC+eAD+eBA+tpB+eBC+eBD+eCA+eCB+tpC+eCD+eEA+eEB+eEC+tpD}{tpA+eAB+eAC+eAD+eBA+tpB+eBC+eBD+eCA+eCB+tpC+eCD+eEA+eEB+eEC+tpD+eAE+eBE+eCE+eDE} \times 100 \quad (13)$$

Akurasi:

$$\frac{tpA+tpB+tpC+tpD+tpE}{tpA+eAB+eAC+eAD+eAE+tpB+eBA+eBC+eBD+eBE+tpC+eCA+eCB+eCD+eCE+tpD+eDA+eDB+eDC+eDE+tpE+eEA+eEB+eEC+eED} \times 100 \quad (14)$$

4 Hasil dan Pembahasan

Hasil keluaran ekstraksi ciri tapis gabor merupakan nilai yang berasal dari perhitungan dari orde pertama dengan parameter *mean*, *variance*, dan *entropy*. *Mean* bertujuan untuk menghitung nilai rerata intensitas cahaya pada citra, *variance* bertujuan untuk menghitung nilai bervariasi dari komponen histogram pada citra, dan *entropy* bertujuan untuk mengukur dimensi citra yang tidak memiliki ketepatan. Panjang gelombang yang digunakan bernilai 6 dan sudut orientasi yang digunakan yaitu 0°, 45°, 90°, 135°, dan 180°. Tabel 4. merupakan hasil ekstraksi ciri tapis Gabor pada orientasi 0°.

Tabel 4. Hasil ekstraksi ciri tapis gabor pada orientasi 0°

Parameter	Individu 1	Individu 2	Individu 3	Individu 4	Individu 5
<i>Mean</i>	27.1756728	55.5569745	21.5040637	34.6721896	46.70439464847
	514278	215480	897271	769438	44
<i>Variance</i>	724.088008	3047.18287	456.013846	1186.11026	2147.703807186
	223527	777220	174328	126467	29
<i>Entropy</i>	1.15885181	1.27636944	0.84037956	1.06071277	1.266209259461
	943340	144856	8534946	594677	83

Tabel 5. Hasil akurasi pelatihan

Skenario	Akurasi					Sistem
	Individu 1	Individu 2	Individu 3	Individu 4	Individu 5	

Skenario 1	100%	84,2%	100%	100%	90,7%	96%
Skenario 2	100%	100%	100%	100%	97,7%	99,4%
Skenario 3	100%	94,7%	100%	100%	100%	99,4%
Skenario 4	100%	89,5%	100%	95,3%	97,7%	97,1%
Skenario 5	100%	84,2%	100%	100%	90,7%	96%
Rerata	100%	91%	100%	99%	95%	98%

Berdasarkan Tabel 5. skenario pertama sampai skenario kelima mendapatkan hasil akurasi yang tinggi diatas 95%. Skenario pertama dan kelima mendapatkan hasil akurasi sebesar 96%, skenario kedua dan ketiga mendapatkan hasil akurasi 99,4%, dan skenario keempat mendapatkan hasil akurasi 97,1%. Hasil akurasi pelatihan tertinggi didapatkan pada skenario kedua dan ketiga, dan hasil rerata keseluruhan skenario sebesar 98%.

Tabel 6. Hasil akurasi pengujian

Skenario	Akurasi					Sistem
	Individu 1	Individu 2	Individu 3	Individu 4	Individu 5	
Skenario 1	100%	80%	100%	100%	90%	94%
Skenario 2	90%	90%	80%	100%	100%	92%
Skenario 3	100%	80%	90%	90%	60%	86%
Skenario 4	100%	40%	90%	90%	70%	78%
Skenario 5	100%	80%	100%	100%	90%	94%
Rerata	98%	74%	92%	96%	82%	88,8%

Berdasarkan Tabel 6. skenario pertama dan kelima mendapatkan hasil akurasi terbaik sebesar 94%. Akurasi tersebut didapatkan karena data citra individu pertama berhasil dikenali oleh sistem secara optimal dan hanya terdapat 1 citra yang mengalami kesalahan pengenalan sehingga mendapatkan akurasi 90% pada skenario kedua. Skenario kedua mendapatkan hasil akurasi yang cukup baik sebesar 92%. Skenario ketiga dan keempat merupakan hasil terendah dengan hasil akurasi sebesar 86% dan 78%. Rerata akurasi yang didapatkan dari skenario pertama sampai skenario kelima mendapatkan rerata sebesar 88,8%.

Tabel 7. Hasil sensitivitas pengujian

Skenario	Sensitivitas				
	Individu 1	Individu 2	Individu 3	Individu 4	Individu 5
Skenario 1	100%	80%	100%	100%	90%
Skenario 2	90%	90%	80%	100%	100%
Skenario 3	100%	80%	90%	90%	60%
Skenario 4	100%	40%	90%	90%	70%
Skenario 5	100%	80%	100%	100%	90%
Rerata	98%	74%	92%	96%	82%

Tabel 7. menampilkan sensitivitas sistem identifikasi biometrik telinga untuk lima individu dalam lima skenario berbeda. Individu pertama menunjukkan sensitivitas yang sangat konsisten dan paling tinggi, dengan rerata nilai mencapai 98%. Sebaliknya, individu kedua memiliki sensitivitas yang lebih bervariasi, berkisar antara 40% hingga 90% dengan rerata sebesar 74%, yang lebih rendah dibandingkan individu lainnya. Individu ketiga menunjukkan sensitivitas yang cukup tinggi, dengan rerata 92%, sementara individu keempat mempertahankan sensitivitas tinggi dengan rerata 96%. Individu kelima, meskipun menunjukkan nilai yang berfluktuasi, tetap memiliki sensitivitas yang cukup baik, dengan rerata sebesar 82%.

Tabel 8. Hasil spesifisitas pengujian

Skenario	Spesifisitas				
	Individu 1	Individu 2	Individu 3	Individu 4	Individu 5
Skenario 1	100%	97,5%	100%	100%	95%
Skenario 2	100%	97,5%	100%	95%	97,5%

Skenario 3	100%	90%	100%	95%	97,5%
Skenario 4	100%	87,5%	100%	97,5%	87,5%
Skenario 5	100%	97,5%	100%	100%	95%
Rerata	100%	94%	100%	97,5%	94,5%

Tabel 8. menampilkan spesifisitas sistem identifikasi biometrik telinga, yang mengukur seberapa efektif sistem dalam mengidentifikasi telinga yang tidak sesuai sebagai bukan milik individu tertentu. Individu pertama menunjukkan spesifisitas yang sempurna di semua skenario, dengan nilai konsisten 100%. Individu kedua, meskipun sedikit lebih rendah dibandingkan yang lain, tetap menunjukkan spesifisitas yang tinggi dengan rerata 94%. Individu ketiga juga mempertahankan spesifisitas sempurna di semua skenario, dengan nilai 100%. Individu keempat memiliki spesifisitas yang sangat baik, dengan rerata 97,5%. Individu kelima, walaupun sedikit lebih rendah, tetap menunjukkan spesifisitas yang relatif tinggi, dengan rerata 94,5%.

5 Kesimpulan

Sistem identifikasi biometrik telinga dengan metode klasifikasi Jaringan Syaraf Tiruan Perambatan Balik mendapatkan bobot yang optimal dengan 3 masukan, lapisan tersembunyi 1 berjumlah 10 neuron, lapisan tersembunyi kedua berjumlah 20 neuron, dan 5 lapisan keluaran. Menggunakan algoritma pembelajaran *Levenberg-Marquardt* dengan fungsi aktivasi yang digunakan yaitu *tansig* pada lapisan tersembunyi pertama dan kedua, dan fungsi aktivasi *purelin* pada lapisan keluaran. Iterasi yang digunakan berjumlah 110 dengan menghasilkan akurasi pelatihan sebesar 96% dan akurasi pengujian sebesar 94%.

skenario pengujian pertama dan kelima, dengan masing-masing mencapai 94%. Hasil tersebut digunakan sebagai dasar dalam perancangan sistem biometrik telinga berbasis tekstur menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan Perambatan Balik. Nilai rata-rata sensitivitas yang diperoleh dari lima skenario pengujian menunjukkan hasil sebagai berikut: 98% untuk individu 1, 74% untuk individu 2, 92% untuk individu 3, 96% untuk individu 4, dan 82% untuk individu 5. Sementara itu, nilai rerata spesifisitas dari lima skenario pengujian adalah 100% untuk individu 1, 94% untuk individu 2, 100% untuk individu 3, 97,5% untuk individu 4, dan 94,5% untuk individu 5. Hasil persentase di atas mengindikasikan bahwa sistem ini memiliki performa yang baik dalam mengidentifikasi biometrik telinga pada individu 1 hingga individu 5. Namun, untuk meningkatkan akurasi dan *robustness* sistem, pengembangan lebih lanjut dengan penambahan data biometrik lainnya perlu dilakukan. Selain itu, orientasi sudut (θ) dan panjang gelombang tapis Gabor terbukti memiliki pengaruh yang signifikan terhadap hasil akurasi sistem. Orientasi sudut (θ) yang memberikan hasil terbaik adalah pada 0° dan 180° , sedangkan panjang gelombang optimal diperoleh dengan nilai 6 menggunakan parameter *mean*, *variance*, dan *entropy*.

Referensi

- [1] M. I. Zulfiqar, "Biometrics for Advanced Locker Protection Enhanced Security Paradigms : Converging IoT and Biometrics for Advanced Locker Protection," *IEEE Internet Things J.*, pp. 1–8, 2024, doi: 10.1109/JIOT.2024.3432282.
- [2] W. I. Putra, M. A. S. Yudono, and A. Sujjada, "Comparison of Gabor Filter Parameter Characteristics for Dorsal Hand Vein Authentication Using Artificial Neural Networks," *J. Sisfokom (Sistem Inf. dan Komputer)*, vol. 12, no. 3, pp. 440–446, 2023, doi: 10.32736/sisfokom.v12i3.1819.
- [3] V. Rai, K. Mehta, J. Jatin, D. Tiwari, and R. Chaurasia, "Automated Biometric Personal Identification-Techniques and Applications," in *Proceedings of the International Conference on Intelligent Computing and Control Systems, ICICCS 2020*, IEEE, 2020, pp. 1023–1030. doi: 10.1109/ICICCS48265.2020.9120896.
- [4] F. M. Syam, M. A. S. Yudono, and A. Sujjada, "Backpropagation Design for Authenticating Blood Vessel Patterns of the Back of the Hand Using GLRLM," *Sist. J. Sist. Inf.*, vol. 13, no.

- 3, pp. 1205–1215, 2024.
- [5] D. N. Akhtar, D. B. Kerim, D. Y. Perwej, D. A. Tiwari, and D. S. Praveen, “A Comprehensive Overview of Privacy and Data Security for Cloud Storage,” *Int. J. Sci. Res. Sci. Eng. Technol.*, vol. 8, no. 5, pp. 113–152, 2021, doi: 10.32628/IJSRSET21852.
 - [6] M. M. Ogonji, G. Okeyo, and J. M. Wafula, “A Survey on Privacy and Security of Internet of Things,” *Comput. Sci. Rev.*, vol. 38, p. 100312, 2020, doi: 10.1016/j.cosrev.2020.100312.
 - [7] I. Keshta and A. Odeh, “Security and Privacy of Electronic Health Records: Concerns and Challenges,” *Egypt. Informatics J.*, vol. 22, no. 2, pp. 177–183, 2021, doi: 10.1016/j.eij.2020.07.003.
 - [8] P. Yang, N. Xiong, and J. Ren, “Data Security and Privacy Protection for Cloud Storage: A Survey,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 131723–131740, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3009876.
 - [9] A. Sarkar and B. K. Singh, “A review on Performance, Security and Various Biometric Template Protection Schemes for Biometric Authentication Systems,” *Multimed. Tools Appl.*, vol. 79, no. 37–38, pp. 27721–27776, 2020, doi: 10.1007/s11042-020-09197-7.
 - [10] K. R. Chapman, “Trust but Verify,” *J. Allergy Clin. Immunol. Pract.*, vol. 9, no. 12, pp. 4288–4289, 2021, doi: 10.1016/j.jaip.2021.09.016.
 - [11] Q. N. Tran, B. P. Turnbull, and J. Hu, “Biometrics and Privacy-Preservation: How Do They Evolve?,” *IEEE Open J. Comput. Soc.*, vol. 2, pp. 179–191, 2021, doi: 10.1109/ojcs.2021.3068385.
 - [12] V. T. Hoang, “EarVN1.0: A New Large-Scale Ear Images Dataset in the Wild,” *Data Br.*, vol. 27, p. 104630, 2019, doi: 10.1016/j.dib.2019.104630.
 - [13] O. Aiadi, B. Khaldi, and C. Saadeddine, “MDFNet: An Unsupervised Lightweight Network for Ear Print Recognition,” *J. Ambient Intell. Humaniz. Comput.*, vol. 14, no. 10, pp. 13773–13786, 2023, doi: 10.1007/s12652-022-04028-z.
 - [14] I. Kumaran *et al.*, “Pengenalan Wajah Menggunakan Pendekatan Berbasis Pengukuran dan Metode Segmentasi dalam Berbagai Posisi dan Pencahayaannya,” *Fidel. J. Tek. Elektro*, vol. 3, no. 1, pp. 5–8, 2021, doi: 10.52005/fidelity.v3i1.85.
 - [15] S. A. Abdulrahman and B. Alhayani, “A Comprehensive Survey on the Biometric Systems Based on Physiological and Behavioural Characteristics,” *Mater. Today Proc.*, vol. 80, pp. 2642–2646, 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2021.07.005.
 - [16] M. Mursalin, M. Ahmed, and P. Haskell-Dowland, “Biometric Security: A Novel Ear Recognition Approach Using a 3D Morphable Ear Model,” *Sensors*, vol. 22, no. 22, p. 8988, 2022, doi: 10.3390/s22228988.
 - [17] Y. Lei, J. Qian, D. Pan, and T. Xu, “Research on Small Sample Dynamic Human Ear Recognition Based on Deep Learning,” *Sensors*, vol. 22, no. 5, p. 1718, 2022, doi: 10.3390/s22051718.
 - [18] S. Ramos-Cooper, E. Gomez-Nieto, and G. Camara-Chavez, “VGGFace-Ear: An Extended Dataset for Unconstrained Ear Recognition†,” *Sensors*, vol. 22, no. 5, p. 1752, 2022, doi: 10.3390/s22051752.
 - [19] Q. Zhu and Z. Mu, “PointNet++ and Three Layers of Features Fusion for Occlusion Three-Dimensional Ear Recognition Based on One Sample Per Person,” *Symmetry (Basel)*, vol. 12, no. 1, p. 78, 2020, doi: 10.3390/SYM12010078.

- [20] Y. Ma, Z. Huang, X. Wang, and K. Huang, "An Overview of Multimodal Biometrics Using the Face and Ear," *Math. Probl. Eng.*, vol. 2020, no. 1, p. 6802905, 2020, doi: 10.1155/2020/6802905.
- [21] A. Booyens and S. Viriri, "Ear Biometrics Using Deep Learning: A Survey," *Appl. Comput. Intell. Soft Comput.*, vol. 2022, no. 1, p. 9692690, 2022, doi: 10.1155/2022/9692690.
- [22] S. Ramos-Cooper, E. Gomez-Nieto, and G. Camara-Chavez, "VGGFace-Ear: An Extended Dataset for Unconstrained Ear Recognition†," *Sensors*, vol. 22, no. 5, p. 1752, 2022, doi: 10.3390/s22051752.
- [23] Z. Wang, J. Yang, and Y. Zhu, "Review of Ear Biometrics," *Arch. Comput. Methods Eng.*, vol. 28, no. 1, pp. 149–180, 2021, doi: 10.1007/s11831-019-09376-2.
- [24] R. Ahila Priyadharshini, S. Arivazhagan, and M. Arun, "A Deep Learning Approach for person Identification Using Ear Biometrics," *Appl. Intell.*, vol. 51, no. 4, pp. 2161–2172, 2021, doi: 10.1007/s10489-020-01995-8.
- [25] K. R. Resmi and G. Raju, "A Novel Approach to Automatic Ear Detection Using Banana Wavelets and Circular Hough Transform," in *2019 International Conference on Data Science and Communication, IconDSC 2019*, Bangalore: IEEE, 2019, pp. 1–5. doi: 10.1109/IconDSC.2019.8816919.
- [26] K. Sivanarain and S. Viriri, "Ear Recognition based on Local Texture Descriptors," in *2020 2nd International Multidisciplinary Information Technology and Engineering Conference, IMITEC 2020*, Kimberley: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2020, pp. 1–11. doi: 10.1109/IMITEC50163.2020.9334147.