

Classification of Tuberculosis Bacteria Images In Sputum Samples Using The Backpropagation Neural Network

Munawir¹, Nurhalimah², Rizalul Akram³

¹²³Program Studi Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Samudra, Kota Langsa, Aceh, 24416, Indonesia

Informasi Artikel

Diterima : 18 November 2025
Revisi : 01 Desember 2025
Publikasi : 31 Desember 2025

Kata Kunci:

Tuberkulosis
Citra Bakteri,
Backpropagation Neural Network
Bakteri

ABSTRAK

Tuberkulosis (TBC) adalah penyakit yang disebabkan oleh bakteri *Mycobacterium tuberculosis*, yang ditemukan oleh Robert Koch pada tahun 1882. Bakteri ini berbentuk batang dengan lebar 0,3–0,6 μm dan panjang 1–4 μm . Penularannya terjadi melalui udara, misalnya saat penderita batuk atau bersin. Diagnosis TBC biasanya dilakukan melalui analisis mikroskopis sampel *sputum*. TBC merupakan penyakit infeksi serius dan masih menjadi masalah kesehatan global. Diagnosis yang cepat dan akurat sangat penting untuk pengobatan yang efektif, namun metode konvensional sering memakan waktu lama dan kurang akurat. Penelitian ini mengembangkan sistem klasifikasi citra bakteri TBC pada sampel sputum menggunakan *Backpropagation Neural Network* (BPNN). Sistem ini membedakan antara bakteri tunggal dan bakteri rangkap dengan menggunakan fitur panjang, *endpoint*, dan percabangan. Dataset yang digunakan berjumlah 120 citra, terbagi menjadi 60 data latih dan 60 data uji. Semua citra diproses melalui teknik *preprocessing* untuk meningkatkan kualitas gambar. Fitur panjang, *endpoint*, dan percabangan diekstraksi dari citra dan digunakan sebagai input BPNN. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode BPNN mampu mengklasifikasikan citra bakteri TBC dengan akurasi 86%. Sistem ini juga dapat membedakan bakteri tunggal dan rangkap secara lebih tepat, sehingga berpotensi membantu meningkatkan diagnosis TBC.

ABSTRACT

Tuberculosis (TB) is a disease caused by the bacterium Mycobacterium tuberculosis, which was discovered by Robert Koch in 1882. The bacterium is rod-shaped, with a width of 0.3–0.6 μm and a length of 1–4 μm . It is transmitted through the air, for example, when an infected person coughs or sneezes. TB diagnosis is typically performed through microscopic analysis of sputum samples. TB is a serious infectious disease and remains a global health concern. Rapid and accurate diagnosis is crucial for effective treatment, yet conventional methods are often time-consuming and less precise. This study developed a TB bacterial image classification system for sputum samples using a Backpropagation Neural Network (BPNN). The system differentiates between single and clustered bacteria using length, endpoints, and branching features. The dataset consisted of 120 images, divided into 60 training and 60 testing samples. All images were processed using preprocessing techniques to enhance image quality. The length, endpoints, and branching features were extracted from the images and used as input to the BPNN. The results showed that the BPNN method could classify TB bacterial images with an accuracy of 86%. The system was also able to distinguish single and clustered bacteria more accurately, potentially contributing to improved TB diagnosis.

This is an open-access article under the [CC BY-SA](#) license



***Penulis Koresponden**Email: nurhalimah0008@gmail.com

Cara sitasi IEEE:

M. Munawir, N. Halimah, R. Akram, "Klasifikasi Citra Bakteri Tuberkulosis Pada Sampel Sputum Menggunakan Metode *Backpropagation Neural Network*'vol' *Journal of artificial intelligence and software Engineering (J-AISE)*, Vol. 5, No. 4, Desember 2025, pp. 1443~1453, DOI: 10.30811/jaise.v5i4.8399

1. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi memberikan dampak positif bagi kehidupan manusia, termasuk dalam bidang kesehatan. Tuberkulosis (TBC), penyakit yang disebabkan oleh bakteri *Mycobacterium tuberculosis* dan ditemukan oleh Robert Koch pada 1882, masih menjadi masalah kesehatan global. Bakteri ini berbentuk batang dengan ukuran $0,3\text{--}0,6\ \mu\text{m} \times 1\text{--}9\ \mu\text{m}$ dan menular melalui udara ketika penderita batuk atau bersin. WHO mencatat terdapat 10,4 juta kasus baru TBC pada 2016, dengan 1,7 juta kematian, sebagian besar terjadi di negara berpendapatan rendah, termasuk Indonesia [1–5]. Tuberkulosis (TBC) masih menjadi salah satu masalah kesehatan utama di dunia. Proses deteksi bakteri TBC di laboratorium masih banyak dilakukan secara manual melalui observasi mikroskopis, yang memerlukan waktu lama dan bergantung pada keahlian analis. Deteksi TBC dapat dilakukan melalui pemeriksaan radiologi (*X-Ray*), uji *Mantoux*, dan analisis mikroskopis. Di Indonesia, metode mikroskopis lebih umum karena sederhana dan cepat, tetapi penghitungan bakteri secara manual memakan waktu, rawan kesalahan, dan tergantung pada ketelitian laboran [10–12]. Oleh karena itu, diperlukan metode otomatis yang dapat membantu identifikasi bakteri secara cepat dan akurat.

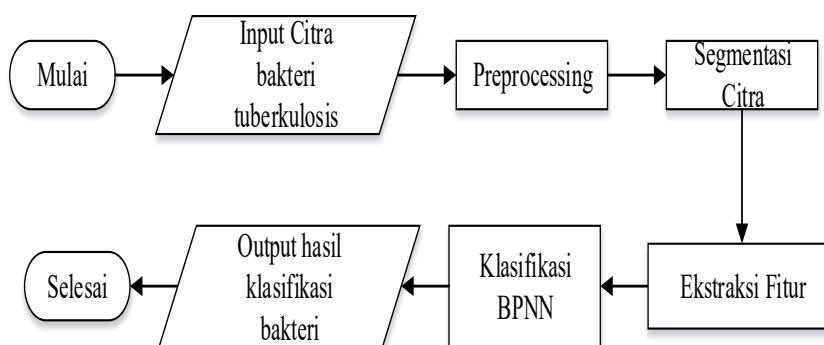
Penelitian ini mengusulkan penerapan metode *Backpropagation Neural Network* (BPNN) dalam mengklasifikasi citra bakteri tuberkulosis pada sampel sputum berdasarkan fitur panjang, endpoint, dan percabangan. Tujuan utama penelitian ini adalah meningkatkan efisiensi dan akurasi diagnosis TBC melalui sistem berbasis pengolahan citra digital. Penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem otomatis untuk mendeteksi bakteri TBC menggunakan metode segmentasi citra, ekstraksi fitur, dan jaringan syaraf tiruan (*backpropagation*), dengan akurasi bervariasi hingga 100% pada data latih. Penelitian ini bertujuan mengembangkan klasifikasi bakteri TBC menggunakan *Backpropagation* berdasarkan fitur panjang, *endpoint*, dan percabangan bakteri, serta mampu membedakan antara bakteri tunggal dan rangkap. Data yang digunakan meliputi citra sintesis dan citra asli dari preparat *sputum* yang diwarnai metode *Ziehl-Neelsen*, sehingga citra lebih representatif dibandingkan penelitian sebelumnya.

2. METODE

Metodologi penelitian merupakan suatu proses sistematis dan terstruktur yang digunakan untuk melakukan penelitian. Desain penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah desain penelitian kuantitatif. Penelitian ini didasarkan menganalisis ada data yang digunakan, yaitu dengan menggunakan data numerik yang dapat dianalisis yang berisikan data citra. Hasil dari penelitian ini menghasilkan sistem klasifikasi citra bakteri tuberkulosis pada sampel *sputum* menggunakan metode *Backpropagation neural network*. Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan pengembangan sistem klasifikasi citra bakteri tuberkulosis. Sistem diuji menggunakan dua jenis dataset: citra sintesis dan citra asli dari preparat *sputum* pasien yang diwarnai menggunakan metode *Ziehl-Neelsen*.

2.1 Diagram alir Sistem Pengolahan Citra Bakteri Tuberkulosis

Diagram alir menggambarkan proses pengolahan citra bakteri, mulai dari input citra bakteri tuberkulosis hingga sistem menghasilkan *output* hasil klasifikasi. Tahapan utamanya meliputi: input citra, *preprocessing*, segmentasi citra, ekstraksi fitur, klasifikasi menggunakan metode *Backpropagation Neural Network* (BPNN), dan keluaran hasil klasifikasi berupa jenis bakteri tunggal atau rangkap.



Gambar 1 *Flowchart* Sistem Pengolahan Citra Bakteri Tuberkulosis

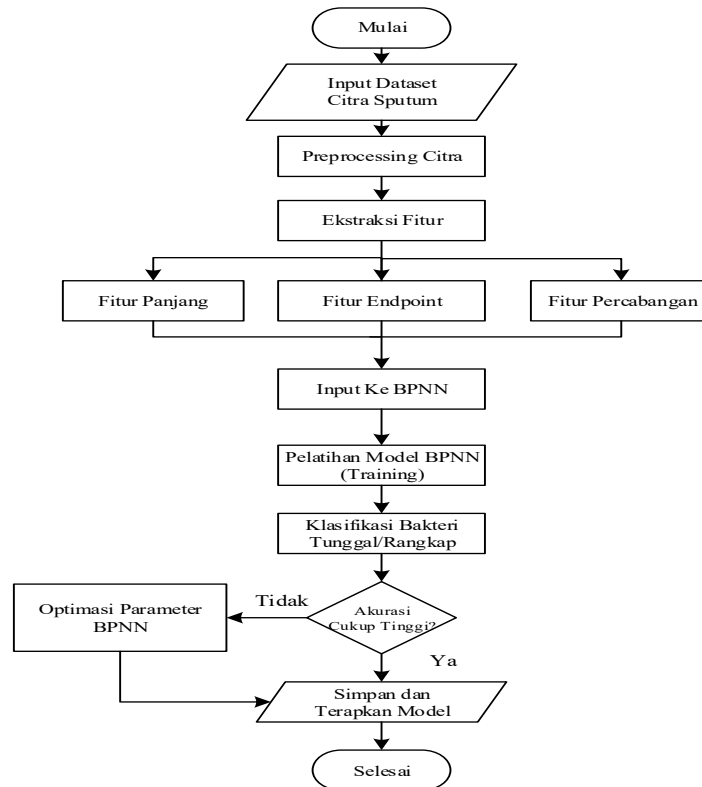
Berdasarkan diagram alir pada gambar 1 akan dijabarkan penjelasannya sebagai berikut:

1. Mulai
Proses diawali dengan inialisasi sistem untuk mempersiapkan seluruh fungsi dan variabel yang akan digunakan dalam pengolahan citra.
2. akuisisi data
Tahap ini merupakan langkah awal dalam proses penelitian yang berfungsi untuk memperoleh data citra yang akan digunakan sebagai objek penelitian. Pada penelitian ini, data yang digunakan berupa citra mikroskopis bakteri *Mycobacterium tuberculosis* yang diambil dari preparat hasil pemeriksaan laboratorium menggunakan mikroskop digital..
3. *Preprocessing*
Tahap *preprocessing* bertujuan meningkatkan kualitas citra agar lebih mudah diolah pada tahap berikutnya. Proses ini meliputi perbaikan kontras, penghilangan *noise*, normalisasi ukuran, serta konversi warna dari RGB ke *grayscale*. Hasil dari tahap ini adalah citra yang bersih dan siap untuk disegmentasi.
4. Segmentasi Citra
Tahap segmentasi digunakan untuk memisahkan objek bakteri dari latar belakang citra. Proses segmentasi dilakukan dengan metode *thresholding* untuk menghasilkan citra biner yang memperjelas bentuk bakteri. Hasil segmentasi kemudian menjadi dasar untuk melakukan ekstraksi fitur.
5. Ekstraksi Fitur
Tahapan ini bertujuan mengambil ciri-ciri atau karakteristik penting dari citra bakteri hasil segmentasi. Fitur yang diekstraksi meliputi panjang bakteri, titik ujung (*ridge ending*) dan titik percabangan (*bifurcation*). Fitur-fitur ini digunakan sebagai data input pada tahap klasifikasi.
6. Klasifikasi BPNN
Klasifikasi Menggunakan BPNN (*Backpropagation Neural Network*) Pada tahap ini, fitur hasil ekstraksi dimasukkan ke dalam jaringan saraf

2.2 Diagram Alir Proses Klasifikasi Citra Bakteri Tuberkulosis

Diagram alir ini merupakan keseluruhan dari klasifikasi citra bakteri Tuberkulosis merupakan representasi visual dari tahapan-tahapan yang dilakukan dalam sistem pengenalan dan klasifikasi citra bakteri *Mycobacterium tuberculosis* menggunakan metode *Backpropagation Neural Network* (BPNN). Diagram ini menggambarkan alur kerja sistem mulai dari pengumpulan data citra hingga diperoleh hasil akhir berupa klasifikasi jenis bakteri.

Tujuan utama dari diagram alir ini adalah untuk memberikan gambaran yang jelas mengenai bagaimana data citra diproses secara sistematis sehingga dapat digunakan untuk melatih dan menguji model jaringan saraf tiruan dalam mengenali pola bakteri tuberkulosis. Adapun urutan proses pada tahap *preprocessing* dapat dilihat pada Gambar 2, dengan alur sebagai berikut:



Gambar 2 Flowchart Proses Klasifikasi Citra Bakteri Tuberkulosis

Berdasarkan diagram alir pada gambar 2 akan dijabarkan penjelasannya sebagai berikut:

a. Pengumpulan Dataset Citra Sputum

Tahap pertama adalah pengumpulan citra hasil pemeriksaan sampel *sputum* (dahak) yang mengandung bakteri *Mycobacterium tuberculosis*. Citra ini menjadi bahan dasar untuk dilakukan analisis dan pengolahan pada tahap berikutnya.

b. Preprocessing Citra

Citra yang diperoleh biasanya memiliki variasi pencahayaan, warna, dan *noise*. Oleh karena itu, dilakukan *preprocessing* untuk meningkatkan kualitas citra. Proses ini mencakup konversi citra RGB ke *grayscale*, normalisasi intensitas piksel, dan reduksi *noise* agar citra lebih siap untuk diolah.

c. Segmentasi Citra

Segmentasi bertujuan memisahkan objek bakteri dari latar belakang citra. Dengan metode ini, area bakteri dapat dikenali secara jelas untuk selanjutnya diambil fitur-fiturnya.

d. Ekstraksi Fitur

Setelah segmentasi, dilakukan proses ekstraksi fitur guna memperoleh karakteristik penting dari bakteri, seperti: Panjang, bakteri Titik ujung (*endpoint*), Titik percabangan (*bifurcation*)

e. Pelatihan Model BPNN (Training)

Data hasil ekstraksi fitur kemudian digunakan untuk melatih model BPNN. Pada tahap ini, sistem belajar mengenali pola hubungan antara fitur citra dan label kelasnya menggunakan proses *forward* dan *backward propagation* hingga diperoleh bobot optimal.

f. Pengujian Model BPNN (Testing)

Model yang telah dilatih diuji menggunakan data baru untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mengenali jenis bakteri yang belum pernah dilihat sebelumnya.

g. Evaluasi Akurasi dan Optimasi Parameter

Hasil klasifikasi dievaluasi berdasarkan tingkat akurasi. Jika akurasi belum optimal, maka parameter jaringan seperti *learning rate*, jumlah *neuron*, atau *hidden layer* dapat diubah untuk meningkatkan performa model.

h. Penerapan Model dan Hasil Klasifikasi

Setelah model mencapai akurasi yang diinginkan, sistem siap digunakan untuk mengklasifikasikan citra bakteri baru. Hasil akhir berupa informasi jenis bakteri yang terdeteksi pada citra uji.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan klasifikasi citra bakteri menggunakan metode BPNN menghasilkan tingkat akurasi sebesar 86%. Fitur panjang, *endpoint*, dan percabangan terbukti memberikan kontribusi signifikan dalam membedakan antara bakteri tunggal dan bakteri rangkap. Hasil analisis *confusion matrix* menunjukkan jumlah prediksi benar yang tinggi dibandingkan dengan prediksi salah, menandakan model memiliki kemampuan generalisasi yang baik. Implementasi sistem ini dapat membantu tenaga laboratorium dalam mempercepat proses identifikasi dan mengurangi kesalahan manusia.

3.1 Akuisisi Data

Akuisisi data dilakukan untuk memperoleh citra bakteri Tuberkulosis (TBC) yang akan digunakan dalam proses klasifikasi. Total citra yang digunakan sebanyak 120 citra, terdiri dari 60 data sintesis dan 60 data asli, sehingga jumlah data seimbang dan representatif.

3.1.1 Akuisisi Data Citra

Proses akuisisi data citra dilakukan melalui dua sumber utama, yaitu citra asli dan citra sintesis. Citra asli diperoleh dari sampel *sputum* di RSUD Tanjung Pura menggunakan mikroskop laboratorium dengan metode pewarnaan Ziehl-Neelsen. Citra diamati pada perbesaran tertentu (misalnya 1000x) kemudian disimpan dalam resolusi standar agar sesuai untuk kebutuhan analisis citra. Selain itu, dilakukan pula pembuatan citra sintesis yang disimulasikan berdasarkan karakteristik morfologi bakteri *Mycobacterium tuberculosis*, seperti bentuk batang, ukuran, orientasi, dan warna khas hasil pewarnaan. Citra sintesis ini digunakan untuk menambah variasi data dan memperkuat proses pelatihan model, terutama ketika jumlah data asli terbatas. Dalam penelitian ini, jumlah dataset yang digunakan terdiri dari 60 citra sintesis dan 60 citra asli, sehingga total keseluruhan mencapai 120 citra. Kombinasi kedua jenis data ini memberikan variasi yang memadai dan mendukung proses segmentasi, ekstraksi fitur, serta klasifikasi menggunakan metode *Backpropagation Neural Network* (BPNN).

3.2 Pre-processing Citra

Pre-processing citra merupakan tahap awal dalam analisis citra digital yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas citra sehingga fitur penting dapat diekstraksi dengan lebih akurat. Pada penelitian ini, citra digital sampel sputum pasien tuberkulosis yang diambil menggunakan mikroskop mengalami beberapa tahapan *pre-processing*, yaitu: Data asli yang digunakan merupakan citra digital sampel *sputum* pasien tuberkulosis yang diamati menggunakan mikroskop. Analisis dilakukan melalui beberapa tahap *preprocessing* untuk memperoleh fitur bakteri TBC yang penting, yaitu panjang, jumlah *endpoint*, dan percabangan.

3.2.1 Konversi Citra RGB ke *Grayscale*

Citra RGB berwarna diubah menjadi *grayscale* atau citra keabuan menggunakan metode *luminance*. Proses ini melibatkan pengambilan nilai rata-rata dari tiga kanal warna dasar (merah, hijau, biru) pada setiap piksel. Hasil konversi ditunjukkan pada Gambar 3, di mana citra berwarna berubah menjadi citra keabuan yang mempermudah pemrosesan selanjutnya. Adapun contohnya pada gambar 3.

Citra RGB



Citra *Greyscale*



Gambar 3 Konversi citra RGB ke *Greyscale*

3.2.2 Konversi Citra *Grayscale* ke *Thresholding*

Citra *grayscale* kemudian dilakukan *thresholding* dan operasi morfologi (dilasi dan erosi) untuk memisahkan bakteri TBC dari *background* preparat. Area bakteri yang berwarna merah pada preparat *Ziehl Neelsen* dipisahkan menjadi citra biner, sehingga fitur bakteri dapat diidentifikasi dengan jelas. Hasil

segmentasi *thresholding* ditampilkan pada Gambar 4. Analisis panjang bakteri pada data asli memungkinkan klasifikasi bakteri tunggal dan rangkap secara efektif, sesuai karakteristik morfologi yang diamati pada citra digital. Hasil konversi dari *greyscale* ke *threshold* berhasil dilakukan pada data citra bakteri dapat dilihat pada Gambar 4

Citra *Greyscale*Segmentasi *Thresholding*Gambar 4 Konversi citra ke *Greyscale* ke *threshold*

3.2.3 Ekstraksi Fitur

Pada penelitian ini, jumlah data yang diuji sebanyak 120 citra bakteri Tuberkulosis (TBC). Dari seluruh citra tersebut dilakukan proses ekstraksi fitur untuk memperoleh karakteristik morfologi yang digunakan dalam proses klasifikasi. Fitur yang diukur dari citra bakteri TBC meliputi panjang, jumlah *endpoint*, dan percabangan. Berdasarkan literatur, kriteria bakteri TBC:

- Bakteri tunggal: Memiliki 2 *endpoint*, tidak bercabang, panjang 1–4 μm .
- Bakteri rangkap: Panjang 5–9 μm , memiliki 2 atau lebih *endpoint*, atau bercabang.

Tabel 1 Contoh Hasil Ekstraksi Fitur Panjang Bakteri

no	Nama File	Panjang (Pixel)	Perhitungan ($L = p \times 0,05$)	Panjang (μm)	Klasifikasi
1	data uji rangkap 1.jpg	241	$241 \times 0,05$	12.05 μm	Rangkap
2	data uji rangkap 2.jpg	173	$173 \times 0,05$	8.65 μm	Rangkap
3	data uji rangkap 3.jpg	143	$143 \times 0,05$	7.15 μm	Rangkap
4	data uji rangkap 4.jpg	110	$110 \times 0,05$	5.50 μm	Rangkap
5	data uji rangkap 5.jpg	129	$129 \times 0,05$	6.45 μm	Rangkap
6	data uji rangkap 6.jpg	197	$197 \times 0,05$	9.85 μm	Rangkap
7	data uji rangkap 7.jpg	162	$162 \times 0,05$	8.10 μm	Rangkap
8	data uji rangkap 8.jpg	18	$18 \times 0,05$	0.90 μm	Tunggal
9	data uji rangkap 9.jpg	198	$198 \times 0,05$	9.90 μm	Rangkap
10	data uji rangkap 10.jpg	138	$138 \times 0,05$	6.90 μm	Rangkap

Ekstraksi fitur berdasarkan Tabel 1 Perhitungan panjang bakteri *tuberculosis* pada citra hasil uji, digunakan rumus konversi dari pixel ke mikrometer sebagai berikut:

$$[L = P \times S]$$

$$S = 0,05 \text{ } \mu\text{m/pixel}$$

$$(L_{\mu\text{m}}) = \text{panjang bakteri dalam mikrometer } (\mu\text{m})$$

$$(P_{\text{px}}) = \text{panjang hasil pengukuran dalam pixel}$$

$$(S) = \text{skala mikrometer per pixel } (\mu\text{m/pixel})$$

Menjumlahkan semua nilai panjang bakteri sebagai berikut:

$$\text{Total panjang} = 12.05 + 8.65 + 7.15 + 5.50 + 6.45 + 9.85 + 8.10 + 0.90 + 9.90 + 6.90$$

$$12.05 + 8.65 = 20.70$$

$$20.70 + 7.15 = 27.85$$

$$27.85 + 5.50 = 33.35$$

$$33.35 + 6.45 = 39.80$$

$$39.80 + 9.85 = 49.65$$

$$49.65 + 8.10 = 57.75$$

$$57.75 + 0.90 = 58.65$$

$$58.65+9.90=68.55$$

$$68.55+6.90=75.45$$

Jadi total panjang seluruh bakteri tuberculosis = 75.45 μm .

3.2.4 Fitur Warna Citra Bakteri Tuberkulosis

Citra digital merupakan hasil representasi visual dalam bentuk matriks numerik yang tersusun atas elemen-elemen piksel. Setiap piksel memiliki nilai intensitas tertentu yang menggambarkan tingkat kecerahan atau warna pada posisi tersebut. Dalam penelitian ini, citra bakteri *Mycobacterium tuberculosis* direpresentasikan dalam format RGB (*Red, Green, Blue*) dengan ukuran 200×200 piksel. Setiap kanal warna (R, G, dan B) memiliki matriks tersendiri yang menyimpan nilai intensitas antara 0 hingga 255, di mana nilai yang lebih tinggi menunjukkan tingkat kecerahan yang lebih besar sebagai berikut:

Tabel 2 Nilai R Citra

i, j	1	2	3	...	198	199	200
1	197	201	206	...	229	228	232
2	193	196	201	...	238	236	241
3	211	214	218	...	233	233	237
...
598	231	226	221	...	235	232	228
599	228	227	224	...	231	228	225
600	229	229	226	...	226	223	219

Tabel 4.2 Nilai R Citra memperlihatkan sebagian data dari kanal warna merah (*Red*) yang diambil dari salah satu citra bakteri TBC. Nilai-nilai pada tabel tersebut menunjukkan variasi intensitas warna merah pada setiap koordinat piksel. Misalnya, pada piksel koordinat (1,1) diperoleh nilai R = 197, sedangkan pada piksel (200,200) bernilai R = 219. Perbedaan nilai ini menggambarkan distribusi intensitas warna pada citra yang dipengaruhi oleh tekstur dan pencahayaan objek bakteri.

Tabel 3 Nilai G Citra

i, j	1	2	3	...	198	199	200
1	198	202	205	...	234	232	237
2	196	198	201	...	242	240	244
3	215	217	219	...	238	235	239
...
198	226	222	217	...	226	225	222
199	223	222	220	...	225	222	220
200	224	224	222	...	220	217	214

Berdasarkan tabel di atas, matriks kanal G berukuran 200×200 piksel, di mana setiap elemen menunjukkan nilai intensitas hijau pada posisi piksel tertentu. Pada piksel (1,1) diperoleh nilai G = 198, sedangkan pada piksel (200,200) nilai G = 214. Variasi nilai intensitas ini menunjukkan perbedaan tingkat kecerahan dan distribusi warna hijau pada area citra bakteri.

Tabel 4 Nilai B Citra

i, j	1	2	3	...	198	199	200
1	242	243	244	...	238	248	247
2	233	234	234	...	248	249	254
3	240	241	243	...	248	247	253
...
198	247	244	241	...	252	253	250
199	243	244	243	...	252	252	251
200	244	245	245	...	251	250	248

Berdasarkan tabel di atas, nilai intensitas warna biru (B) pada koordinat (1,1) adalah 242, sedangkan pada piksel (200,200) bernilai 248. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat kecerahan warna biru relatif tinggi pada seluruh area citra. Untuk memperoleh representasi warna yang seragam dan menghilangkan pengaruh pencahayaan, dilakukan normalisasi nilai RGB. Normalisasi ini bertujuan untuk mengubah setiap nilai komponen warna menjadi proporsional terhadap total intensitas warna pada piksel tersebut, sehingga nilai yang dihasilkan berada pada rentang 0 hingga 1.

Untuk memperoleh representasi warna yang seragam dan menghilangkan pengaruh pencahayaan, dilakukan normalisasi nilai RGB. Normalisasi ini bertujuan untuk mengubah setiap nilai komponen warna menjadi proporsional terhadap total intensitas warna pada piksel tersebut, sehingga nilai yang dihasilkan berada pada rentang 0 hingga 1.

Diketahui pada piksel (1,1) diperoleh nilai:

R=197, G=198, dan B=242

Maka total intensitas warna adalah:

$$r = \frac{R}{(R+G+B)} = \frac{197}{(197+198+242)} = 0,3092$$

$$g = \frac{G}{(R+G+B)} = \frac{198}{(197+198+242)} = 0,3108$$

$$b = \frac{B}{(R+G+B)} = \frac{242}{(197+198+242)} = 0,3800$$

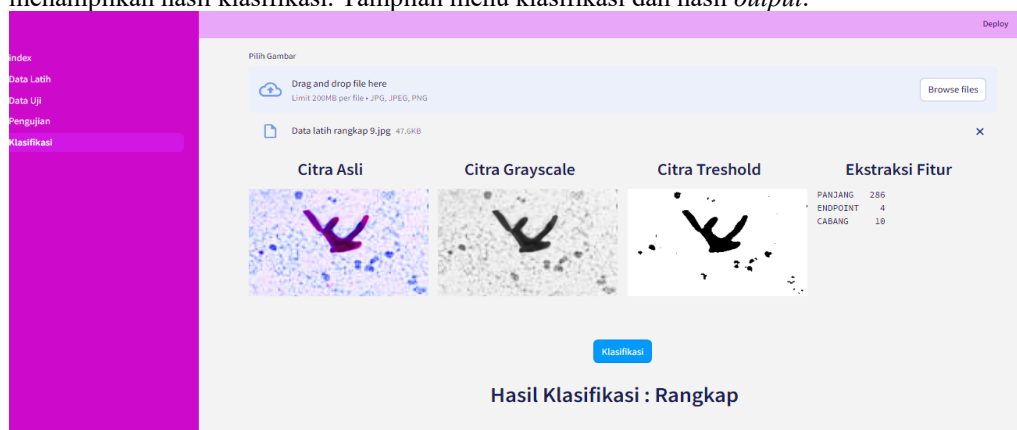
Dari hasil perhitungan tersebut, dapat dilihat bahwa komponen B (biru) memiliki nilai normalisasi tertinggi, yang berarti warna biru lebih dominan pada piksel tersebut dibandingkan dengan warna merah dan hijau. Proses normalisasi ini menjadi tahap awal dalam pra-pemrosesan citra untuk menghasilkan nilai warna yang seimbang sebelum citra dikonversi ke *grayscale* dan dianalisis lebih lanjut dalam proses ekstraksi fitur.

3.2.5 Implementasi Sistem

Implementasi sistem merupakan tahap pembuatan aplikasi menggunakan *Python* berdasarkan hasil analisis dan perancangan sebelumnya, di mana pengguna dapat mengunggah citra bakteri TBC untuk diproses melalui tahap pra-pemrosesan, ekstraksi fitur, dan klasifikasi menggunakan jaringan saraf tiruan *Backpropagation*, sehingga sistem secara otomatis menampilkan halaman beranda, halaman data latih, halaman data uji, halamandata pengujian dan halaman klasifikasi berikut tampilan halaman klasifikasi dengan menunjukkan hasil klasifikasi bakteri tunggal dan bakteri rangkap.

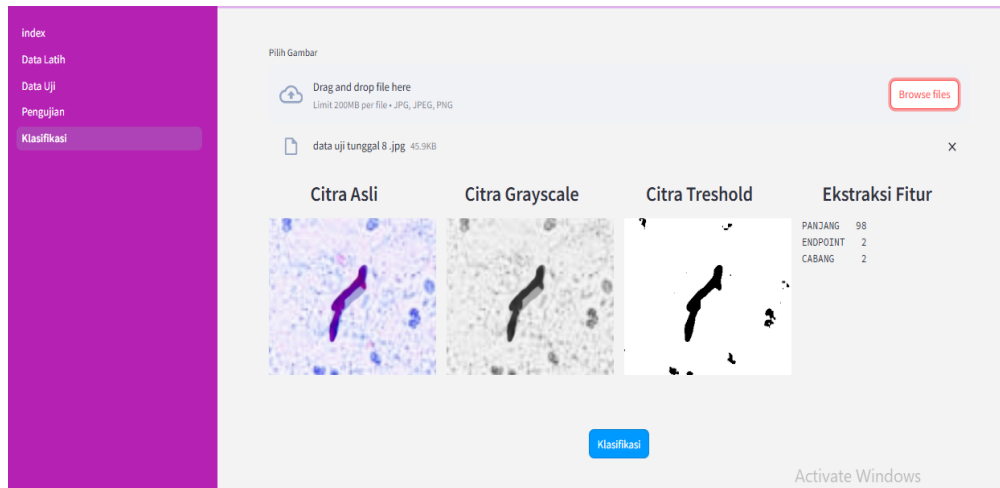
a. Tampilan Klasifikasi

Pada halaman klasifikasi, pengguna mengunggah citra bakteri, sistem memproses citra, dan menampilkan hasil klasifikasi. Tampilan menu klasifikasi dan hasil *output*.



Gambar 5. Hasil Klasifikasi

Berikut hasil tampilan klasifikasi citra bakteri tuberkulosis pada sampel *sputum* dengan klasifikasi citra bakteri tuberkulosis tunggal:



Gambar 6 Tampilan Halaman Klasifikasi

Pada halaman ini mengunggah citra bakteri melalui fitur *Drag and Drop* atau tombol *Browse Files*. Setelah citra diunggah (misalnya *data latih rangkap 3.jpg*), sistem menampilkan hasil proses secara bertahap berupa Citra Asli, Citra *Grayscale*, dan Citra *Threshold* sebagai hasil pra-pemrosesan. Di sisi kanan, ditampilkan hasil ekstraksi fitur yang mencakup nilai panjang, jumlah *endpoint*, dan jumlah cabang dari citra bakteri. Setelah pengguna menekan tombol *Klasifikasi*, sistem menampilkan hasil klasifikasi akhir, yang dalam contoh pada gambar menunjukkan hasil Rangkap dan Tunggal, menandakan bahwa citra tersebut dikenali sebagai bakteri TBC rangkap dan tunggal. Tampilan ini memperlihatkan alur pemrosesan citra secara visual dan informatif sehingga lebih mudah memahami setiap tahap sebelum hasil klasifikasi ditampilkan. Dengan implementasi ini, sistem mampu melakukan klasifikasi citra bakteri TBC secara otomatis sesuai desain yang telah dirancang. Dengan demikian, sistem ini tidak hanya mempermudah identifikasi bakteri TBC secara cepat dan akurat, tetapi juga memberikan kemudahan bagi pengguna dalam mengelola data dan melihat hasil pengolahan citra.

3.2.6 Evaluasi Akurasi Menggunakan *Confusion Matrix*

Berdasarkan Tabel 4.13, dilakukan evaluasi kinerja klasifikasi citra bakteri tuberkulosis pada sampel sputum menggunakan metode *Backpropagation Neural Network*. *Confusion matrix* digunakan untuk menentukan jumlah *True Positive* (TP), *False Positive* (FP), *False Negative* (FN), dan *True Negative* (TN) sebagai berikut:

1. *True Positive* (TP): Citra bakteri TBC yang benar-benar positif dan diklasifikasikan sebagai positif oleh sistem (25 citra).
2. *False Positive* (FP): Citra non-bakteri TBC yang diklasifikasikan sebagai positif oleh sistem (3 citra).
3. *False Negative* (FN): Citra bakteri TBC yang benar-benar positif tetapi diklasifikasikan sebagai negatif oleh sistem (5 citra).
4. *True Negative* (TN): Citra non-bakteri TBC yang benar-benar negatif dan diklasifikasikan sebagai negatif oleh sistem (27 citra).

Tabel 5 *Confusion Matrix* Hasil Pengujian Citra

Akurasi :		TRUE CLASS	
		POSITIVE	NEGATIF
PredictedClass	Positive	25 (TP)	5 (FN)
	Negatif	3 (FP)	27 (TN)
	Total	28	32

Berdasarkan data tabel 4.13, perhitungan kinerja klasifikasi adalah sebagai berikut:

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + FP + FN + TN} \times 100\%$$

$$Accuracy = \frac{25 + 27}{25 + 3 + 5 + 27} \times 100\%$$

$$Accuracy = \frac{52}{60} \times 100\%$$

$$Accuracy = 86\%$$

$$Presicion = \frac{TP}{TP + FP} \times 100\%$$

$$Presicion = \frac{25}{25 + 3} \times 100\%$$

$$Presicion = \frac{25}{28} \times 100\%$$

$$Presicion = 89\%$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \times 100\%$$

$$Recall = \frac{25}{25 + 5} \times 100\%$$

$$Recall = \frac{25}{30} \times 100\%$$

$$Recall = 88\%$$

Hasil ini menunjukkan bahwa sistem klasifikasi menggunakan *Backpropagation Neural Network* memiliki kinerja yang baik dalam mendeteksi citra bakteri tuberkulosis, dengan akurasi 86%, presisi 89%, dan *recall* 88%.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil pengujian yang dilakukan dengan mengklasifikasi citra bakteri tuberkulosis pada sampel *sputum* menggunakan metode *Backpropagation Neural Network* maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut. Sistem klasifikasi citra bakteri tuberkulosis dapat mengenali bakteri tunggal dan rangkap dengan lebih akurat dengan fitur panjang, *endpoint*, dan percabangan sehingga dapat membantu meningkatkan diagnosis bakteri tuberkulosis menggunakan Metode *Backpropagation Neural Network* Metode ini efektif dalam mengenali pola bakteri tunggal dan rangkap berdasarkan fitur panjang, *endpoint*, dan percabangan. ini berhasil mengembangkan sistem klasifikasi citra bakteri tuberkulosis berbasis *Backpropagation Neural Network* dengan tingkat akurasi yang tinggi sebesar 86% dengan data citra sebanyak 120 data yang masing-masing terbagi menjadi 60 data citra uji dan 60 data citra latih bakteri tuberkulosis. Sistem ini diharapkan dapat menjadi alternatif pendukung diagnosis tuberkulosis secara cepat dan akurat. Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan model dengan dataset yang lebih besar dan menambahkan fitur lain untuk meningkatkan performa klasifikasi. Penelitian

REFERENSI

- [1] Kemenkes RI, "Profil Kesehatan Indonesia," Jakarta: Kementerian Kesehatan, 2023.
- [2] World Health Organization, "Global Tuberculosis Report," WHO, Geneva, 2023.
- [3] R. Suryani et al., "Deteksi Otomatis Tuberkulosis Berdasarkan Citra Mikroskopis," *Jurnal Sains dan Informatika*, vol. 9, no. 1, pp. 12–20, 2023.
- [4] D. Santoso dan A. Rahman, "Penerapan Neural Network untuk Klasifikasi Citra Medis," *Jurnal Teknologi Informasi*, vol. 7, no. 2, pp. 45–52, 2022.
- [5] M. A. Fauzi et al., "Optimasi Parameter Backpropagation," *Jurnal Komputasi dan Sains*, vol. 8, no. 3, pp. 101–108, 2022.
- [6] S. Widodo dan L. Nuraini, "Segmentasi Warna pada Citra Mikroskopis TB," *Jurnal Pengolahan Citra Digital*, vol. 5, no. 4, pp. 33–41, 2023.
- [7] F. Rahmawati, "Analisis Morfologi Bakteri Menggunakan Citra Digital," *Jurnal Informatika Medis*, vol. 6, no. 2, pp. 89–96, 2023.
- [8] N. Kurniawan, "Perbandingan Metode ANN dan CNN untuk Klasifikasi TB," *Journal of Intelligent Systems*, vol. 11, no. 1, pp. 25–34, 2024.
- [9] H. Prasetyo, "Deep Learning for Medical Image Classification," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 55011–55022, 2023. [10] J. Zhang et al., "Automated Detection of Mycobacterium Tuberculosis Using Neural Networks," *Computers in Biology and Medicine*, vol. 152, pp. 106–118, 2024.
- [10] J. Zhang, L. Chen, dan Q. Xu, "Automated Detection of Mycobacterium Tuberculosis Using Neural Networks," *Computers in Biology and Medicine*, vol. 152, pp. 106–118, 2024.
- [11] A. S. Nugroho, "Implementasi Backpropagation untuk Pengenalan Pola Citra," *Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi*, vol. 8, no. 2, pp. 67–75, 2023.

-
- [12] B. Hasanah dan R. Mahendra, "Analisis Performansi CNN dan ANN pada Klasifikasi Citra Mikroskopis," *Jurnal Ilmiah Komputasi*, vol. 10, no. 1, pp. 55–62, 2024.
- [13] P. K. Gupta et al., "A Comparative Study on Image Segmentation for Medical Imaging," *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 42, no. 1, pp. 89–99, 2023.
- [14] S. Y. Lee dan K. Park, "Tuberculosis Detection Using Deep Learning Frameworks," *Biomedical Signal Processing and Control*, vol. 85, pp. 105–118, 2023.
- [15] A. Rahim dan F. Fitria, "Pengaruh Parameter Learning Rate terhadap Akurasi Backpropagation," *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 9, no. 2, pp. 122–129, 2023.
- [16] D. Pratama, "Perbaikan Akurasi BPNN dengan Normalisasi Data RGB," *Jurnal Komputer dan Aplikasi*, vol. 7, no. 3, pp. 140–148, 2024.
- [17] L. Hartati dan M. Syahrul, "Evaluasi Segmentasi Otsu pada Citra Mikroskopis Tuberkulosis," *Jurnal Pengolahan Citra dan Sinyal Digital*, vol. 8, no. 1, pp. 58–66, 2024.
- [18] A. T. Setiawan, "Pemanfaatan Jaringan Saraf Tiruan untuk Identifikasi Sel Tuberkulosis," *Jurnal Bioinformatika Indonesia*, vol. 4, no. 2, pp. 77–86, 2023.
- [19] R. Widiyanto, "Feature Extraction for TB Detection Using Image Processing," *International Journal of Biomedical Engineering and Technology*, vol. 44, no. 3, pp. 210–221, 2023.