

BAB 1

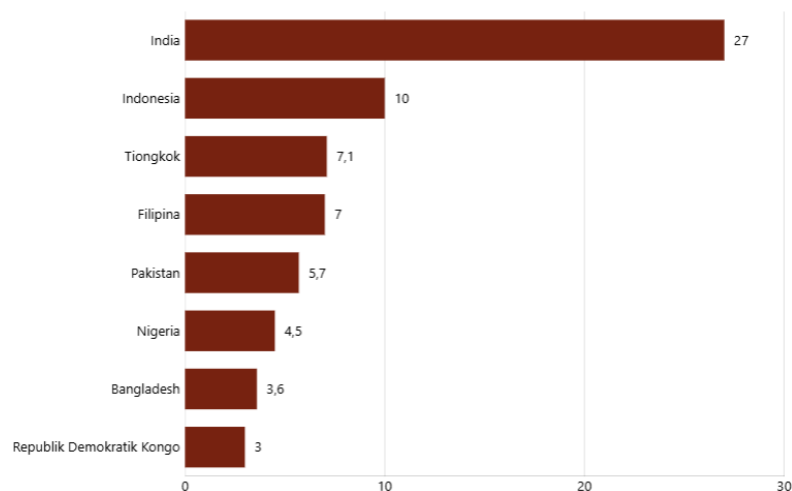
USULAN GAGASAN

1.1 Deskripsi Umum Masalah

Tuberculosis atau biasa dikenal dengan singkatan TBC merupakan penyakit menular yang disebabkan oleh bakteri *Mycobacterium tuberculosis* (MTBC) [1]. Bakteri ini menyebar ketika pasien yang sudah terjangkit penyakit TBC mengeluarkan bakteri ke udara seperti batuk, bersin, atau membuang air liur sembarangan [2]. Menurut *World Health Organization* (WHO) *Report 2023*, Indonesia menempati peringkat dua di dunia dengan jumlah kasus TBC terbanyak setelah India [2]. Kasus penyakit TBC di Indonesia mencapai 800 ribu pasien dan kasus kematian mencapai 23 ribu pasien yang meninggal dikarenakan TBC [1].



Gambar 1. 1 Indikator Penyebaran TBC di Dunia [1]

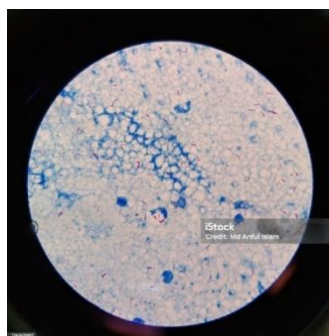


Gambar 1. 2 Negara dengan Presentaset Kontribusi Kasus TBC Terbesar di Dunia [1]

Pasien yang terjangkit bakteri TBC perlu waktu 6 bulan untuk tahap penyembuhan. Terdapat dua kemungkinan yang terjadi saat pasien berada pada tahap penyembuhan, yaitu sembuh atau *Multidrug-Resistant Tuberculosis* (MDR-TBC)[3]. MDR-TBC merupakan kondisi dimana pasien kebal terhadap antibiotik yang diberikan, sehingga dokter memberikan tingkat antibiotik yang lebih tinggi untuk diberikan kepada pasien [4]. MDR-TBC terjadi ketika pasien tidak menyelesaikan pengobatan sesuai dosis dan durasi yang ditentukan atau tertular oleh pasien yang memiliki bakteri TBC yang resisten terhadap antibiotik pada dosis yang diberikan [5].

Pada pengobatan TBC, *screening* secara sistematis sangat diperlukan untuk mendapatkan sampel. Hal tersebut dilakukan dengan menggunakan tes, pemeriksaan, atau prosedur lain yang dapat diterapkan dengan cepat. [6]. Beberapa jenis *screening* utama yang dilakukan pada pengobatan TBC meliputi *Interferon-Gamma Release Assays* (IGRA), *Rontgen*, *Polymerase Chain Reaction* (PCR), dan konvensional mikroskopis.

Uji IGRA adalah metode *screening* terkini untuk mengukur respons imun *host* adaptif. Selama infeksi awal, MTBC ditemui oleh *makrofag alveolar*, dan *antigen* disajikan ke sel T. Setelah paparan kedua, sel *T-helper* (TH1) melepaskan *Interferon-gamma* (IFN- γ 0), yang merangsang *makrofag* untuk melepaskan sitokin inflamasi. [7]. IGRA yang digunakan untuk mendiagnosis infeksi MTBC umumnya dianjurkan dalam program tuberkulosis di negara-negara dengan insiden rendah hingga menengah [8]. Foto *rontgen* di dada juga dapat dilakukan menjadi bagian *screening* TBC. Foto *rontgen* ini dapat dilakukan oleh orang yang berada di lingkungan yang mempunyai risiko terinfeksi TBC, seperti penjara dan kelompok orang tertentu, seperti penderita diabetes melitus (Informasi Seputar Skrining TBC Yang Perlu Diketahui, 2022). Untuk itu foto *rontgen* digunakan sebagai alat diagnostik utama untuk TBC paru, terutama pada anak yang tidak dapat mengeluarkan dahak [10]. Pemeriksaan PCR merupakan pemeriksaan mikrobiologi yang didasarkan pada amplifikasi regio asam nukleat tertentu yang spesifik pada MTBC [11]. Penggunaan PCR untuk mendeteksi MTBC telah dikembangkan oleh beberapa peneliti hingga bisa memberikan hasil yang lebih sensitif, spesifik dan cepat[12].



Gambar 1. 3 Mikroskopis Sputum Smear TBC [13]

Metode yang cocok diterapkan di Indonesia untuk diagnosis TBC adalah mikroskopis *sputum smear*, karena metode ini merupakan salah satu yang paling efektif dalam mengidentifikasi orang dengan TBC menular [13]. Selain itu, metode ini tetap menjadi pilihan utama untuk diagnosis TBC di negara-negara berpenghasilan rendah dan menengah atau *Low and Middle Income Country* (LMIC). Mikroskopis *sputum smear* tidak hanya terbukti efektif secara biaya dalam mendiagnosis pasien dengan TBC menular, tetapi juga dalam memantau perkembangan pengobatan mereka serta mengonfirmasi kesembuhan [14]. Pewarnaan yang digunakan untuk metode mikroskopis *sputum smear* adalah *Ziehl Neelsen* (ZN) karena biayanya yang rendah dan kemudahan dalam pemeliharaan peralatan, menjadikannya pilihan yang tepat dalam kondisi terbatas [15]. Penggunaan Pewarnaan ZN menargetkan MTBC yang setelah diberi pewarnaan, bakteri akan tampak merah dikarenakan MTBC merupakan bakteri yang tahan asam (*acid-fast bacilli*) sehingga mudah dibedakan dari struktur seluler lainnya yang berlatar belakang biru [16].

Pada metode mikroskopis, sampel dahak diambil dengan teknik *Spot-Morning-Spot* (SMS) [17]. Teknik SMS merupakan teknik yang umum digunakan untuk mengambil sampel dahak dalam diagnosis tuberkulosis [18]. Pada teknik SMS pengambilan sampel dibagi menjadi tiga waktu, waktu pertama ketika pasien mengunjungi fasilitas kesehatan, setelah bangun tidur pada pagi hari, dan ketika pasien kembali ke fasilitas kesehatan. Dahak yang diambil merupakan dahak yang dalam dari paru-parunya [17]. Sampel dahak yang sudah diambil, dikumpulkan pada wadah steril yang berbeda. Sampel dahak yang baik akan berwarna kuning atau kehijauan, dan tidak berair [5].

1.2 Analisis Masalah

Dalam upaya menanggulangi permasalahan TBC secara menyeluruh, diperlukan pemahaman mendalam terhadap factor-faktor yang memengaruhi keberhasilan deteksi dan penanganan penyakit ini. Permasalahan TBC tidak hanya terbatas pada aspek medis, tetapi juga mencakup dimensi teknologi yang digunakan dalam proses diagnosis, dampak ekonomi terhadap pasien dan lingkungan sosialnya, serta kerangka hukum yang mengatur pelaporan dan penanganannya.

Ketiga aspek ini saling terkait dan memengaruhi efektivitas strategi pemberantasan TBC di lapangan. Aspek teknologi berperan dalam menentukan kecepatan dan ketepatan diagnosis, yang pada akhirnya memengaruhi kecepatan penanganan pasien. Di sisi lain, aspek ekonomi menggambarkan beban yang harus ditanggung pasien dan keluarga, serta dampaknya terhadap produktivitas masyarakat secara luas. Sementara itu, aspek hukum menjadi landasan penting dalam menjamin perlindungan hak pasien sekaligus mengatur kewajiban institusi kesehatan dalam pelaporan dan penanggulangan TBC. Berikut merupakan pembahasan dari ketiga aspek tersebut secara terperinci guna mengidentifikasi akar permasalahan dan memberikan dasar yang kuat dalam merumuskan solusi yang tepat.

1.2.1. Aspek Teknologi

Salah satu faktor yang menghambat program pemberantasan TBC adalah belum adanya diagnosis cepat dan tepat untuk menentukan bakteri MTBC dalam sputum [12]. Diagnosis cepat dan tepat tersebut sangatlah penting bukan untuk menentukan pengobatannya saja tetapi untuk memutus rantai penularan [19]. Teknik diagnostik yang sering melibatkan analisis mikroskopis adalah GeneXpert dengan pewarnaan ZN. Metode pewarnaan ZN mempunyai keuntungan untuk analisis penyakit TBC, yaitu hasil dari mikroskopis yang berlatar belakang biru cerah yang membuat basil merah menonjol dan juga biaya dari reagen yang relatif rendah [20].

Metode pewarnaan ZN memiliki beberapa keterbatasan dalam interpretasi hasil sampel tersebut. Selain itu prosesnya bisa memakan waktu hampir sebulan atau bahkan lebih lama [21]. Berbagai faktor dapat memengaruhi hasil pemeriksaan mikroskopis, seperti keterampilan dan ketelitian petugas laboratorium yang kurang memadai, serta jenis mikroskop yang digunakan [22].

1.2.2. Aspek Ekonomi

Penyakit TBC berdampak besar bagi ekonomi di suatu negara. Diperkirakan ada 50%

pasien TBC menghadapi biaya total (mulai dari pengeluaran medis, non-medis, dan biaya tidak langsung seperti kehilangan pendapatan) yang sangat besar, lebih dari 20% pendapatan rumah tangga yang dihasilkan per tahun [1]. Menurut Kementerian Kesehatan, penyebab terbesar biaya ini dikarenakan hilangnya produktivitas akibat ketidakmampuan bekerja atau kematian dini, yang mencapai sekitar 167,7 miliar per tahun. Pasien yang menderita penyakit TBC akan kehilangan pendapatan sebesar 38% sampai 70%. Hal ini sangat buruk bagi pendapatan rumah tangga yang mana pasien adalah pencari nafkah utama [23].

Pada beberapa kasus, pasien TBC umumnya berhenti bekerja dan tidak dipekerjakan pada waktu yang lama. Dengan pengeluaran yang tinggi untuk perawatan TBC, dengan periode pengobatan memakan waktu yang lama sangat mempengaruhi keuangan pasien. Pasien TBC juga sering mendapatkan stigma yang buruk dan diskriminasi dari masyarakat. Sikap tersebut membuat pasien TBC sulit mencari atau mempertahankan pekerjaan dan menyebabkan isolasi sosial bagi pasien. Pengalaman tersebut berdampak pada ekonomi pasien TBC dikarenakan biaya perawatan yang tinggi dan hilangnya pendapatan dapat mengurangi daya beli dan pertumbuhan ekonomi suatu negara [24].

Pada negara berkembang seperti Indonesia, yang mayoritas penduduknya memiliki ekonomi menengah kebawah. Metode penyembuhan penyakit TBC yang hemat adalah metode mikroskopis. Metode tersebut dipilih dikarenakan murah, relatif sederhana, dan tersedia di banyak tempat pusat kesehatan. Namun, metode ini memakan waktu cukup lama untuk mendiagnosis pasien TBC dari sampel dahak yang telah diuji.

1.2.3. Aspek Hukum

Setiap orang yang terdampak TBC adalah sama di depan hukum dan berhak tanpa diskriminasi dalam bentuk apapun, dengan perlindungan hukum yang sama dan bebas dari segala bentuk diskriminasi berdasarkan alasan apa pun seperti usia, kelahiran, warna kulit, budaya, status kewarganegaraan, kecacatan, etnis, status keuangan, identitas gender, bahasa, status hukum, pendapat politik atau lainnya, adanya penyakit lain, asal kebangsaan atau sosial, ras, agama, jenis kelamin, orientasi seksual atau status lainnya [25].

Berdasarkan Peraturan Presiden RI Nomor 67 Tahun 2021 tentang Penanggulangan Tuberkulosis, mengatur bahwa setiap fasilitas pelayanan kesehatan yang menemukan pasien TBC wajib melaporkan kepada dinas kesehatan daerah kabupaten/kota [26]. Negara dengan beban TBC tinggi dan regional terpilih lainnya negara-negara prioritas juga diminta untuk terus melaporkan data pemberitahuan sementara bulanan atau triwulanan. Ini Proses ini dimulai pada tahun 2020 untuk memantau tren dalam konteks tersebut dari pandemi COVID-19 [1].

1.3. Analisis Solusi yang Ada

Solusi yang ada saat ini ada adalah pemeriksaan citra mikroskopis pewarnaan ZN dahak TBC secara manual. Metode ZN memiliki keterbatasan yang dapat memengaruhi hasil analisis mikroskopis [27]. Dalam pengidentifikasian, penghitungan dan pemeriksaan sampel dahak TBC hasil dari konvensional mikroskop secara manual adalah tugas yang memakan waktu [28]. Berikut adalah rincian dari beberapa aspek.

Tabel 1.1 Perbandingan Aspek Terhadap solusi yang ada

Aspek		
Keunggulan	Kekurangan	Keterbatasan
Minim dari risiko kesalahan akibat kegagalan teknologi.	Tidak cocok untuk pengamatan sampel dalam volume besar.	Membutuhkan sampel dahak yang cukup banyak dan berkualitas untuk mendapatkan hasil yang akurat.
Dapat mengamati detail yang mungkin tidak bisa terdeteksi oleh ML.	Keakuratan dalam diagnosis bergantung pada keterampilan teknisi laboratorium	Membutuhkan waktu dan ketelitian mikroskopis, sehingga dapat memakan banyak waktu untuk teknisi.

Tabel 1.1. solusi yang ada saat ini belum sepenuhnya mampu menjawab tantangan yang ada. Permasalahan utama yang diidentifikasi adalah keterbatasan pengamat dalam mengamati hasil mikroskopis dari sampel dahak TBC dan sering terdapat ketidakakuratan dalam mengidentifikasi hasil mikroskopis dahak TBC. Oleh karena itu diperlukan sebuah solusi yang tidak hanya dapat mengidentifikasi sampel dahak tetapi juga dapat melakukan analisis dengan akurasi yang tinggi, lebih efisien, dan mudah dioperasikan.

Tabel 1.2 menunjukkan perincian analisis komparatif antara solusi pemeriksaan citra mikroskopis pewarnaan ZN dahak TBC secara manual dengan pendekatan klasifikasi otomatis berbasis ML yang akan dirancang untuk lebih menjawab kebutuhan dalam proses diagnosis TBC yang lebih optimal.

Tabel 1.2 Analisis Komparatif Solusi yang Ada dengan Solusi yang Akan Dirancang

Aspek	Solusi	
	Solusi yang ada	Solusi yang akan dirancang
Akurasi	Akurasi bergantung pada keterampilan dan pengalaman petugas yang melakukan pemeriksaan.	Akurasi bergantung pada algoritma ML yang tepat dan data yang memadai.
Efisiensi	Waktu analisis menjadi lambat dan relatif kurang efisien dikarenakan	Klasifikasi berbasis ML jauh lebih efisien karena dapat dengan otomatis mendeteksi dan

Aspek	Solusi	
	Solusi yang ada	Solusi yang akan dirancang
	memerlukan waktu dan tenaga yang besar	juga mengidentifikasi hasil mikroskopis dengan cepat.
Konsistensi	Konsistensi pengamatan hasil dapat bervariasi dipengaruhi oleh petugas yang melakukan pemeriksaan, waktu, dan kondisi lingkungan	Klasifikasi berbasis ML memberikan hasil yang lebih konsisten dikarenakan tidak dipengaruhi oleh faktor manusia.
Manajemen Data	Pengelolaan data menjadi rumit, terutama pada hal pencatatan dan pemantauan hasil.	Klasifikasi berbasis ML dapat mengintegrasikan manajemen data yang lebih baik dengan <i>system database</i> .
Biaya	Biaya yang dikeluarkan bervariasi, tergantung pada pelatihan tenaga kesehatan, fasilitas, dan waktu yang dihabiskan.	Algoritma klasifikasi membutuhkan biaya awal untuk pelatihan dan pengembangan model ML, tetapi setelah sistem dikembangkan, biaya operasional lebih rendah

Berdasarkan Tabel 1.2., metode manual sangat bergantung dengan keahlian petugas laboratorium dalam mengamati dan menganalisis citra. Hal tersebut dapat menurunkan akurasi akibat faktor manusia seperti kesalahan interpretasi ataupun kelelahan. Sebaliknya, dengan solusi klasifikasi otomatis berbasis ML mampu memproses hasil citra mikroskopis dengan lebih cepat dan akurat. Solusi ini juga mampu mengurangi kesalahan manusia yang mungkin terjadi saat analisis manual.

1.4. Tujuan Tugas Akhir

Sistem yang ada saat ini seperti teknik pewarnaan ZN dan metode manual, memiliki kelemahan terutama pada akurasi diagnosis terutama pada anak-anak dan efisiensi waktu. Tujuan pembuatan tugas akhir ini adalah untuk memungkinkan proses analisis yang lebih cepat dan akurat, sehingga dapat mengurangi kesalahan manusia dan meningkatkan akurasi, efisiensi dan konsistensi dalam mendeteksi dan menghitung jumlah bakteri TBC.

1.5. Batasan Tugas Akhir

Dalam mengembangkan pewarnaan ZN menggunakan metode ML, diperlukan batasan pada ruang lingkup dan parameter sebagai berikut:

1. Jenis Sampel

Penelitian ini hanya menggunakan gambar digital hasil pewarnaan ZN pada sampel dahak pasien TBC. Sampel lain seperti pewarnaan Gram atau sampel darah tidak termasuk dalam cakupan. Menurut *WHO Laboratory Manual for TBC* tahun 2021, WHO menyarankan

penggunaan pewarnaan ZN untuk mendeteksi Bakteri Tahan Asam atau Acid-Fast Bacillus (AFB) dalam diagnosis TBC.

2. Format dan Sumber Gambar

Gambar input yang digunakan terbatas pada format JPEG dan PNG, yang diambil dari satu sumber laboratorium dengan standar pencahayaan dan resolusi tertentu (ISO 10918). Gambar buram, terlalu gelap, atau bukan pewarnaan ZN dikecualikan dari proses klasifikasi.

3. Klasifikasi Kualitas Pewarnaan

Model Klasifikasi hanya mengelempokkan gambar ke dalam tiga kategori, yaitu *GoodStaining*, *LessStaining*, dan *OverStaining*. Klasifikasi ini tidak mencakup diagnosis penyakit, identifikasi bakteri, atau tingkat keparahan infeksi.

4. Perhitungan Bakteri

WHO memberikan panduan kuantifikasi AFB berdasarkan jumlah AFB per bidang pandang. Sistem mendeteksi bakteri membentuk batang merah berdasarkan anotasi manual yang terbatas dan belum mencakup seluruh variasi bentuk atau kondisi bakteri. Fitur perhitungan jumlah bakteri hanya dijalankan pada gambar dengan hasil klasifikasi *GoodStaining*.

5. Lingkup Aplikasi *standalone*

Pengembangan aplikasi dilakukan dalam bentuk *standalone* berbasis desktop (Windows), tanpa integrasi *cloud* atau akses ke *database* eksternal. Proses input dilakukan secara manual satu per satu, dan hasil klasifikasi maupun perhitungan disimpan di perangkat lokal (IEEE *Standard* 829-2008).

6. Validasi Klinis

Penelitian ini belum mencakup uji klinis atau validasi hasil oleh tenaga medis profesional. Oleh karena itu, aplikasi hanya ditujukan sebagai alat bantu analisis laboratorium, bukan sebagai pengganti diagnosis medis.