

**PENGEMBANGAN DAN PENERAPAN MODEL DETEKSI DINI
FAKTOR RISIKO TUBERKULOSIS BERBASIS *HOST* DAN
*ENVIRONMENT***

(Disertasi)

Oleh

**DEWI KARMINI MERIASTUTI
NPM 2030011010**



**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU LINGKUNGAN
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

ABSTRAK

PENGEMBANGAN DAN PENERAPAN MODEL DETEKSI DINI FAKTOR RISIKO TUBERKULOSIS BERBASIS *HOST* DAN *ENVIRONMENT*

Oleh

DEWI KARMINI MERIASTUTI

Tuberkulosis (TB) masih menjadi masalah kesehatan masyarakat yang signifikan di Indonesia, termasuk di Kabupaten Lampung Tengah. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan menerapkan model deteksi dini faktor risiko TB berbasis *host* dan *environment*. Penelitian ini dilakukan dalam dua tahap, menggunakan desain *case-control* dengan pendekatan kuantitatif. Sampel terdiri dari 278 responden, dengan perbandingan 1:1 antara kelompok kasus (139 penderita TB paru) dan kelompok kontrol (139 bukan penderita TB). Analisis data dilakukan secara univariat, bivariat, dan multivariat menggunakan regresi logistik. Tahap pengembangan dan penerapan model menggunakan metode *Expert System Development Life Cycle* (ESDLC), dengan mesin inferensi *Forward Chaining* dan *Certainty Factor*.

Hasil analisis multivariat menunjukkan faktor yang berhubungan secara signifikan dengan kejadian TB adalah riwayat kontak dengan penderita TB, status gizi, ventilasi udara, dan kebiasaan merokok. Berdasarkan hasil tersebut, dikembangkan model sistem deteksi dini TB dengan mengintegrasikan nilai OR ke dalam basis pengetahuan sistem pakar. Hasil pengujian kelayakan dan penerimaan pengguna menunjukkan skor 546 dari 625 (87%), artinya aplikasi masuk kategori sangat layak. Kesimpulannya, faktor risiko kejadian TB meliputi riwayat kontak, status gizi, ventilasi udara, dan kebiasaan merokok. Model sistem pakar valid dan layak diimplementasikan dan dapat menjadi dasar penguatan surveilans TB serta mendukung kebijakan nasional pengendalian tuberkulosis.

Kata kunci: *Environment*, ESDLC, faktor risiko, *Host*, Model deteksi dini, Tuberkulosis

ABSTRACT

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF A HOST- AND ENVIRONMENT-BASED EARLY DETECTION MODEL FOR TUBERCULOSIS RISK FACTORS

Oleh

DEWI KARMINI MERIASTUTI

Tuberculosis (TB) remains a significant public health problem in Indonesia, including Central Lampung Regency. This study aimed to develop and implement an early detection model for TB risk factors based on host and environmental determinants. The research was conducted in two stages using a quantitative case-control design. The sample consisted of 278 respondents, with a 1:1 ratio between the case group (139 patients with pulmonary TB) and the control group (139 individuals without TB). Data were analyzed using univariate, bivariate, and multivariate analyses through logistic regression. The model development and implementation stages employed the Expert System Development Life Cycle (ESDLC) method, utilizing Forward Chaining and Certainty Factor as the inference mechanisms.

The results of the multivariate analysis indicated that a history of contact with TB patients, nutritional status, household ventilation, and smoking habits were significantly associated with TB incidence. Based on these findings, an early TB detection system model was developed by integrating Odds Ratio (OR) values into the knowledge base of the expert system. The results of feasibility and user acceptance testing yielded a score of 546 out of 625 (87%), indicating that the application was classified as highly feasible. In conclusion, the risk factors associated with TB incidence include a history of contact with TB patients, nutritional status, household ventilation, and smoking habits. The expert system model was found to be valid and feasible for implementation and may serve as a foundation for strengthening TB surveillance and supporting national tuberculosis control policies.

Keywords: Environment, ESDLC, Early Detection Model, Host, Risk Factors, Tuberculosis

**PENGEMBANGAN DAN PENERAPAN MODEL DETEKSI DINI
FAKTOR RISIKO TUBERKULOSIS BERBASIS *HOST* DAN
*ENVIRONMENT***

Oleh

DEWI KARMINI MERIASTUTI

Disertasi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
DOKTOR ILMU LINGKUNGAN**

Pada

**Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan
Program Pascasarjana Multidisiplin Universitas Lampung**



**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU LINGKUNGAN
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

Judul Disertasi : **PENGEMBANGAN DAN PENERAPAN MODEL
DETEKSI DINI FAKTOR RISIKO
TUBERKULOSIS BERBASIS *HOST* DAN
*ENVIRONMENT***

Nama Mahasiswa : **Dewi Karmini Meriastuti**

NPM : 2030011010

Program Studi : **Doktor Ilmu Lingkungan**

Fakultas : **Pascasarjana Universitas Lampung**

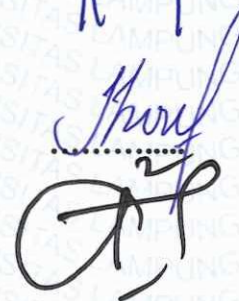
MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Prof. Dr. Dyah Wulan Sumekar Rengganis Wardani, SKM., M.Kes.
NIP. 197206281997022001



Prof. Dr. dr. Jhons Fatriyadi Suwandi, S.Ked., M.Kes., Sp. Par.K.
NIP. 197608312003121003



Dr. Aristoteles, S.Si.M.Si.
NIP. 198105212006041002

.....

**2. Ketua Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan
Pascasarjana Universitas Lampung**



Dr. Ir. Abdullah Aman Damai, M.Si
NIP. 196505011989021001

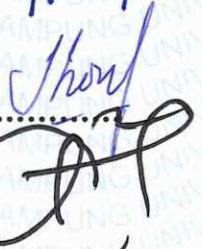
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Promotor : **Prof. Dr. Dyah Wulan Sumekar Rengganis Wardani, SKM., M.Kes.**



Co-Promotor I : **Prof. Dr. dr. Jhons Fatriyadi Suwandi, S.Ked., M.Kes., Sp. Par.K.**



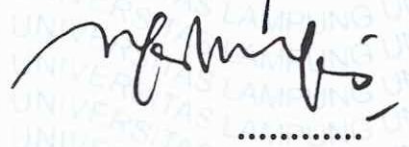
Co-Promotor II : **Dr. Aristoteles, S.Si.M.Si.**



Penguji Internal : **Favorisen R Lumbanraja, S.Kom, M.Si.,Ph.D**



Penguji Eksternal: **Dr. dr. Sri Aryanti, S.Ked, M.M., M.Kes**



2. Direktur Pascasarjana Universitas Lampung



Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si.
NIP. 196403261989021001

Tanggal lulus ujian terbuka : 08 Juni 2026

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa disertasi dengan judul Pengembangan dan Penerapan Model Deteksi Dini Faktor Risiko Tuberkulosis berbasis Host dan Environment adalah murni karya saya atas bimbingan tiga promotor saya. Dalam disertasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan tercantum dalam daftar pustaka. Atas pernyataan ini, apabila di kemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya.

Bandar Lampung, Juni 2026

Yang Menyatakan,



Dewi Karmini Meriastuti

NPM. 2030011010

RIWAYAT HIDUP



Dewi Karmini Meriastuti. lahir di Desa Yukum Jaya, Kabupaten Lampung Tengah, pada tanggal 8 Mei 1975. Peneliti merupakan anak keenam dari tujuh bersaudara, pasangan dari Bapak Rejowiyono (Alm.) dan Ibu Hj. Pariyem (Alm.). Peneliti mengawali pendidikan formal di SDN 2 Yukum Jaya dan lulus pada tahun 1988. Selanjutnya, peneliti menyelesaikan pendidikan tingkat pertama di SMP PGRI Poncowati pada tahun 1991. Peneliti kemudian melanjutkan pendidikan ke Sekolah Perawat Kesehatan (SPK) di Poltekkes Prodi Keperawatan Kotabumi, Lampung Utara, dan lulus pada tahun 1994. Pada tahun 1995, peneliti meneruskan pendidikan Diploma I (D-I) Kebidanan di Poltekkes Kotabumi, Lampung Utara. Setamat dari pendidikan tersebut, peneliti melaksanakan ikatan dinas sebagai Bidan PTT di Puskesmas Purwa Agung, Kabupaten Way Kanan.

Pada tahun 1999, peneliti melanjutkan pendidikan Diploma III (D-III) di Poltekkes Kebidanan Metro dan lulus pada tahun 2002. Setelah itu, peneliti mengabdikan sebagai pegawai kontrak daerah di Puskesmas Gunung Sugih hingga tahun 2004. Pada tahun 2005, peneliti melanjutkan pendidikan Diploma IV (D-IV) di Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Indonesia Maju (STIKIM) Jakarta, lalu langsung melanjutkan studi S-1 Kesehatan Masyarakat di Universitas Respati Indonesia (URINDO) Jakarta dan lulus pada tahun 2006.

Setelah menyelesaikan pendidikan S-1, peneliti bekerja di perguruan tinggi swasta Akbid Patriot Bangsa Bandar Jaya sebagai Pembantu Direktur I Bidang Akademik hingga tahun 2009. Sembari bekerja, peneliti melanjutkan pendidikan Strata Dua (S-2) di Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan (STIKes) Mitra Lampung dan lulus pada tahun 2011.

Karier peneliti sebagai Pegawai Negeri Sipil (PNS) dimulai pada tahun 2010 di Dinas Kesehatan Kabupaten Lampung Tengah dengan jabatan fungsional Administrator Kesehatan. Pada tahun 2016 hingga 2019, peneliti dipercaya menjabat sebagai Kepala Seksi Pencegahan dan Pengendalian Penyakit Tidak Menular. Selanjutnya, pada tahun 2019 hingga 2021, peneliti dimutasi menjadi Kepala Subbagian Umum dan Kepegawaian di Dinas Kesehatan.

Pada tahun 2021, peneliti dipindahtugaskan ke Dinas Pengendalian Penduduk dan Keluarga Berencana dengan jabatan yang sama, yaitu Kepala Subbagian Umum dan Kepegawaian hingga tahun 2025. Sejak tahun 2025 hingga sekarang, peneliti kembali bertugas di Dinas Kesehatan sebagai Fungsional Administrasi Kesehatan, dengan tugas tambahan sebagai Plt. Kepala Bidang Ketahanan dan Kesejahteraan Keluarga pada Dinas Pengendalian Penduduk dan Keluarga Berencana. Di tengah kesibukan dinasnya, peneliti menempuh izin belajar Strata Tiga (S-3) pada Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan, Pascasarjana Universitas Lampung, dari tahun 2020 hingga 2026.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur ke hadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala atas berkah rahmat dan anugerah-Nya, peneliti telah berhasil menyelesaikan disertasi ini. Atas kehendak Allah Subhanahuwata'ala dengan kasih sayangNya telah mendapat dukungan dari berbagai pihak, penyusunan disertasi ini telah selesai, maka pada kesempatan ini, saya ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M. selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si., selaku Direktur Pascasarjana Universitas Lampung.
3. Bapak Prof. Drs. Tugiyono, M.Si., Ph.D. selaku Koordinator Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan Universitas Lampung periode tahun 2020 – 2026.
4. Bapak Dr. Ir. Abdullah Aman Damai, M.Si selaku Koordinator Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan Universitas Lampung periode tahun 2026 – sekarang.
5. Ibu Prof. Dr. Dyah Wulan Sumekar Rengganis Wardani, SKM., M.Kes. selaku Promotor pada disertasi saya yang telah bersedia meluangkan waktu untuk membimbing peneliti dengan penuh kesabaran, serta memberikan petunjuk dalam penyelesaiannya.
6. Bapak Prof. Dr. dr. Jhons Fatriyadi Suwandi, S.Ked., M.Kes., Sp. Par.K. selaku co-promotor pertama pada disertasi saya yang telah bersedia meluangkan waktu untuk membimbing peneliti dengan penuh kesabaran, serta memberikan petunjuk dalam penyelesaiannya.
7. Bapak Dr. Aristoteles, S.Si.M.Si. selaku co-promotor kedua pada disertasi saya yang telah bersedia meluangkan waktu untuk membimbing peneliti dengan penuh kesabaran, serta memberikan petunjuk dalam penyelesaiannya.

8. Bapak Favorisen R Lumbanraja, S.Kom, M.Si.,Ph.D selaku penguji internal yang telah bersedia menguji serta memberikan saran dan kritik kepada peneliti dalam penulisan disertasi ini.
9. Ibu Dr. dr. Sri Aryanti, S.Ked., M.M., M.Kes selaku penguji Eksternal yang telah bersedia menguji serta memberikan saran dan kritik kepada peneliti dalam penulisan disertasi ini.
10. Semua Bapak Ibu Dosen pada Pascasarjana Universitas Lampung yang telah memberikan ilmunya dan pengalaman sebagai bagian dari sumber rujukan dalam penyelesaian disertasi ini.
11. Kepala Dinas Kesehatan Kabupaten Lampung Tengah, yang sudah memberikan izin penelitian dan dukungan atas dilaksanakannya penelitian ini
12. Responden penelitian yang bersedia menerima kehadiran saya beserta petugas kesehatan lain dan memberikan keterangan dari wawancara dan tidak keberatan ketika dilakukan pengamatan dan pengukuran secara fisik untuk kondisi tempat tinggalnya.
13. Seluruh staf karyawan Pascasarjana Universitas Lampung yang telah banyak membantu dalam urusan administrasi selama menempuh pendidikan
14. Keluarga tercinta, suami dan anak anak yang telah memberikan dorongan moral, waktu, tenaga dan memberi segalanya untukku.
15. Teman-teman mahasiswa DIL angkatan 2020 Pascasarjana Universitas Lampung yang telah memberi dorongan dan semangat dalam menyelesaikan disertasi ini.
16. Semua pihak yang turut membantu dalam penyusunan disertasi ini, yang tidak dapat disebut satu per satu.

Akhir kata, saya sampaikan dan ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dan mendukung dalam penyusunan disertasi ini.

Bandar Lampung, Juni 2026

Dewi Karmini Meriastuti., SKM, M.Kes

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
MENYETUJUI	iv
MENGESAHKAN	v
PERNYATAAN ORISINALITAS	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	9
1.3 Tujuan Penelitian.....	9
1.3.1 Tujuan Umum	9
1.3.2 Tujuan Khusus:	9
1.4 Manfaat Penelitian.....	10
1.4.1 Manfaat Praktis	10
1.4.2 Manfaat Teoritis	10
1.5 Kerangka Pemikiran	10
1.6 Hipotesis	13
1.7 <i>Novelty</i> Penelitian.....	13
1.8 Kerangka Teori	23
1.9 Kerangka Konsep	24

BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	25
2.1 Tinjauan Umum Tentang Tuberkulosis	25
2.1.1 Pengertian Tuberkulosis	25
2.1.2 Gejala Klinis.....	27
2.1.3 Cara Penularan Tuberkulosis	27
2.1.4 Diagnosis.....	28
2.1.5 Pencegahan Penyakit TB.....	29
2.2 Faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya penyakit Tuberkulosis	
Paru	31
2.2.1 Tinjauan umum tentang <i>Agent</i>	33
2.2.2 Tinjauan umum tentang <i>Host</i>	35
2.2.3 Faktor Risiko Penjamu (Host) dan Determinan Sosial	36
2.2.4 Faktor Risiko Lingkungan.....	45
2.2.5 Teori Determinan Kesehatan dan Hubungannya dengan TB.....	47
2.2.6 Faktor Risiko Lingkungan yang Berpengaruh terhadap Kejadian	
Tuberkulosis	52
2.2.7 Rumah Sehat dan Persyaratannya	56
2.2.8 Faktor Risiko Fisik Rumah, Kontak, dan Sosio-Budaya	57
2.3 Sistem Informasi.....	62
2.3.1 Sistem.....	62
2.3.2 Informasi	63
2.3.3 Sistem Informasi Kesehatan.....	63
2.4 <i>Expert System</i>	64
2.4.1 Sistem Pakar Berdasarkan Berbagai Mekanisme Penalaran.....	66
2.4.2 Metode Inferensi pada Sistem Pakar.....	66
2.5 <i>Software Development Life Cycle (SDLC)</i>	68
2.5.1 Metode Pengembangan Sistem	69
2.5.2 Tahapan Pengembangan Sistem	70
2.6 <i>Expert System Development Life Cycle (ESDLC)</i>	74
2.6.1 Perancangan UML (<i>Unified Modeling Language</i>)	76
2.6.2 Pengujian.....	81

BAB III METODE PENELITIAN	83
3.1 Tahap I. Model Deteksi Dini TB	83
3.1.1 Desain Penelitian.....	83
3.1.2 Populasi dan Sampel	83
3.1.3 Teknik Sampling	84
3.1.4 Tehnik Pengumpulan Data.....	86
3.1.5 Variabel Penelitian	86
3.1.6 Definisi Operasional.....	87
3.1.7 Prosedur Penelitian	93
3.1.8 Pengolahan dan Analisis Data	94
3.2 Tahap Pengembangan Sistem.....	97
3.2.1 Penerapan <i>Forward Chaining</i>	98
3.2.2 <i>Use Case Diagram</i>	101
3.2.3 <i>Activity Diagram</i>	101
3.2.4 <i>Sequence Diagram</i>	105
3.2.5 Rancangan <i>Mock UP</i>	111
3.2.6 Rancangan Pengujian	113
 BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN PENELITIAN.....	 116
4.1 Gambaran Umum Penelitian	116
4.2 Model Deteksi Dini Faktor Risiko TB	118
4.2.1 <i>Univariat</i>	118
4.2.2 <i>Bivariate</i>	120
4.2.3 <i>Multivariat</i>	127
4.3. Penerapan Model Deteksi Dini Faktor Risiko TB.....	129
4.3.1 Sistem deteksi dini Faktor Risiko TB	130
4.3.2 Penghitungan Hasil Deteksi Faktor Risiko.....	133
4.3.2 Hasil uji fungsional sistem deteksi dini faktor risiko TB.....	134
4.4 Pembahasan	138

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	151
5.1 Kesimpulan.....	151
5.2 Saran.....	151

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Penelitian terdahulu berkaitan dengan aplikasi pada pengendalian TB	15
2. Perbedaan peneliti terdahulu dengan model deteksi dini faktor risiko tuberculosis	20
3. Kategori Ambang batas IMT untuk Indonesia.....	43
4. Simbol-simbol <i>Use Case Diagram</i>	79
5. Definisi operasional variabel	87
6. Sebaran Luas Kecamatan dan Kampung di Kabupaten Lampung Tengah...	117
7. Distribusi Faktor resiko pada penderita Tuberkulosis berdasarkan faktor sosiodemografi	118
8. Distribusi Faktor resiko pada penderita Tuberkulosis berdasarkan faktor Komorbid.....	119
9. Distribusi Faktor resiko pada penderita Tuberkulosis berdasarkan faktor Lingkungan.....	120
10. Faktor faktor yang berpengaruh dengan kejadian TB berdasarkan sosiodemografi.....	121
11. Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kejadian TB berdasarkan komorbid	125
12. Faktor faktor yang berpengaruh dengan kejadian TB berdasarkan Lingkungan	120
13. Faktor risiko paling dominan terjadinya penyakit TB	127
14. Transformasi OR ke FC	129
15. Aturan (<i>Rule</i>) model deteksi dini TB	130
16. <i>Black Box Testing</i> Halaman Beranda.....	134
17. Bobot skala Likert.....	135

18. Hasil kuesioner.....	135
19. Distribusi sebaran jawaban responden.....	136
20. Klasifikasi kategori risiko.....	143

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka Teori	23
2. Kerangka konsep penelitian	24
3. Prosedur penelitian.....	93
4. <i>Use Case Diagram</i>	101
5. <i>Activity Diagram</i> Beranda	102
6. <i>Activity Diagram</i> Master Data.....	102
7. <i>Activity Diagram</i> kriteria faktor risiko	103
8. <i>Activity Diagram</i> Bantuan	104
9. <i>Activity Diagram</i> Info	105
10. <i>Sequence Diagram</i> Master Data	105
11. <i>Sequence Diagram</i> faktor risiko.....	106
12. <i>Sequence Diagram</i> Bantuan	107
13. <i>Sequence Diagram</i> Info	107
14. Desain <i>Interface</i> Halaman Masuk.....	108
15. Desain <i>Interface</i> Halaman Beranda	109
16. Desain <i>Interface</i> Halaman Master Data.....	109
17. Desain <i>Interface</i> Halaman Diagnosa.....	110
18. Desain <i>Interface</i> Halaman Bantuan	110
19. Desain <i>Interface</i> Halaman Info	111
20. <i>Mocup</i>	112
21. Tampilan Halaman Beranda.....	130
22. Halaman Beranda1	131
23. Deteksi faktor risiko.....	132
24. Hasil Deteksi Dini Resiko Tinggi	132
25. Hasil Rekomendasi	133

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tuberkulosis (TB) paru masih menjadi masalah utama kesehatan masyarakat di seluruh dunia. *World Health Organization (WHO) mendeklarasikan bahwa penyakit ini, dengan segala dampaknya, harus segera dieliminasi pada tahun 2030 (WHO, 2023).* Sama halnya dengan Indonesia, Kementerian Kesehatan Republik Indonesia (Kemenkes RI) juga menegaskan bahwa Indonesia harus bebas dari TB pada tahun 2030 (Kemenkes RI, 2022). Berdasarkan hal tersebut, TB masih menjadi prioritas utama dalam penindaklanjutan program *Sustainable Development Goals (SDGs)* dalam bidang kesehatan (WHO, 2023).

Penemuan kasus baru di suatu wilayah: *Case Detection Rate (CDR)* yang tinggi berarti sistem deteksi dini semakin baik dan banyak kasus yang ditemukan. Di Indonesia, cakupan penemuan kasus TB 74,7% dari target 90%; terjadi peningkatan sebesar 29% dibandingkan dengan capaian tahun sebelumnya, tahun 2021 (45,7 %). Menurut data Sistem Informasi TB (SITB) periode Januari sampai Juni 2025, cakupan penemuan kasus TB di Kabupaten Lampung Tengah sebesar 54% (SITB Kemenkes RI tahun 2025). Penemuan kasus baru tahun 2024 sebanyak 2.054 kasus TB (66 %) belum mencapai target nasional yang ditetapkan sebesar 3.916 kasus (90%) (Profil Kesehatan Kabupaten Lampung Tengah 2024).

Sistem deteksi dini (TB) memiliki keterkaitan yang erat dengan berbagai program pengendalian dan pencegahan TB. Implementasi sistem ini umumnya dilakukan oleh pemerintah, organisasi kesehatan, serta lembaga internasional sebagai upaya untuk menurunkan angka kejadian dan mortalitas

akibat TB. Keterhubungan antara deteksi dini dan program pengendalian TB memegang peranan penting dalam mendukung manajemen serta pengendalian penyakit yang efektif. Strategi deteksi dini berkontribusi pada peningkatan penemuan kasus, penurunan risiko penularan, serta penguatan program kesehatan masyarakat yang berorientasi pada eliminasi TB. Deteksi dini juga merupakan komponen esensial dalam menunjang keberhasilan terapi dan mengurangi transmisi penyakit. Oleh karena itu, program yang menitikberatkan pada aksesibilitas dan keterjangkauan diagnosis, disertai inovasi dalam tata laksana, sangat diperlukan untuk mengidentifikasi kasus secara cepat, sejalan dengan target *World Health Organization* dalam mengakhiri TB pada tahun *End TB Strategy 2030*.

Rendahnya CDR salah satunya disebabkan oleh pendekatan *passive case finding* dalam penemuan kasus. Metode ini mengandalkan kemampuan individu yang terinfeksi TB untuk mengenali gejala secara mandiri, memiliki akses terhadap fasilitas pelayanan kesehatan, serta menjalani pemeriksaan oleh tenaga kesehatan melalui dukungan pemeriksaan laboratorium. Upaya peningkatan CDR dapat dilakukan melalui identifikasi penderita TB beserta faktor-faktor risiko yang berkontribusi terhadap kejadian penyakit tersebut. Namun, keterbatasan dalam pendeteksian faktor risiko yang dapat diidentifikasi secara mandiri oleh masyarakat masih menjadi kendala dalam optimalisasi peningkatan CDR.

Berdasarkan konsep Trias Epidemiologi, penyebaran tuberkulosis dipengaruhi oleh interaksi dinamis antara tiga komponen utama, yaitu agen penyebab (*agent*), pejamu (*host*), dan lingkungan (*environment*). Ketidakseimbangan pada ketiga komponen tersebut berpotensi memicu terjadinya infeksi tuberkulosis. Oleh karena itu, identifikasi dan pemahaman terhadap faktor-faktor risiko tersebut merupakan langkah yang krusial dalam upaya pencegahan penularan serta deteksi dini TB paru di masyarakat (Sutriyawan et al., 2023).

Dalam kajian TB, pendekatan teoretis dapat dilakukan dengan menelaah *Mycobacterium tuberculosis* sebagai agen etiologi utama penyakit tersebut. TB hingga saat ini masih menjadi salah satu permasalahan kesehatan global yang signifikan karena berkontribusi terhadap tingginya angka mortalitas (Mandal et al., 2025). Penularan *Mycobacterium tuberculosis* terjadi melalui droplet di udara yang dilepaskan oleh individu terinfeksi saat batuk, bersin, maupun berbicara. Droplet tersebut selanjutnya dapat terhirup oleh individu lain, terutama pada lingkungan tertutup dengan sistem ventilasi yang kurang memadai. Setelah memasuki paru-paru, bakteri akan bereplikasi dan menginfeksi jaringan paru. Pada fase awal infeksi, kondisi yang terjadi dapat bersifat laten, yaitu keadaan ketika bakteri telah berada dalam tubuh, namun belum menimbulkan manifestasi klinis tuberkulosis (Kementerian Kesehatan RI, 2020).

Pada beberapa kasus, infeksi laten dapat berkembang menjadi TB aktif, yaitu kondisi ketika bakteri *Mycobacterium tuberculosis* berkembang biak dan menimbulkan gejala klinis penyakit. Individu dengan TB aktif berpotensi menularkan bakteri kepada orang lain melalui udara, terutama pada lingkungan dengan sanitasi yang buruk atau ventilasi yang tidak memadai. Paparan langsung terhadap bakteri *Mycobacterium tuberculosis* merupakan faktor risiko utama terjadinya TB, yang umumnya terjadi melalui kontak erat dengan penderita TB, khususnya mereka yang berada pada fase TB aktif dan bersifat infeksius (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2020 (*Global Tuberculosis Report 2024*, Goletti et al., 2025)).

Infeksi TB, apabila ditinjau berdasarkan teori epidemiologi John Gordon, menunjukkan bahwa faktor risiko penyakit dapat dipahami melalui interaksi antara tiga komponen utama, yaitu *host*, *agent*, dan *environment*. Pada komponen *host*, faktor-faktor yang berkontribusi terhadap risiko TB meliputi aspek sosiodemografis seperti usia, jenis kelamin, tingkat pendidikan, tingkat pendapatan, pekerjaan, dan status gizi, serta adanya komorbiditas seperti diabetes melitus dan HIV/AIDS. Sementara itu, pada komponen *environment*,

faktor risiko TB mencakup kondisi lingkungan fisik, antara lain kepadatan hunian, jenis lantai rumah, ventilasi udara, akses terhadap fasilitas pelayanan kesehatan, serta perilaku merokok. Interaksi antara faktor pejamu dan lingkungan tersebut memiliki peranan penting dalam meningkatkan kerentanan individu terhadap infeksi *Mycobacterium tuberculosis* serta perkembangan penyakit TB (World Health Organization, 2023;(Sutriyawan et al., 2023)).

Penelitian yang dilakukan oleh Sutriyawan dkk. (2023) menunjukkan bahwa faktor sosiodemografis, seperti pendapatan keluarga, status pekerjaan, dan status gizi, berhubungan dengan kejadian TB paru, bersama dengan faktor perilaku yang meliputi tingkat pengetahuan, sikap, kebiasaan merokok, serta riwayat kontak dengan penderita TB. Selain itu, distribusi epidemiologi TB di berbagai wilayah memperlihatkan bahwa karakteristik usia dan jenis kelamin memiliki kontribusi penting dalam pola kejadian penyakit. Data dari India menunjukkan proporsi pasien TB laki-laki yang lebih tinggi, dengan tren peningkatan angka kematian yang terjadi secara berturut-turut selama beberapa tahun(Ghosh and Lama, 2022). Faktor usia juga terbukti berpengaruh signifikan terhadap risiko TB, di mana kelompok usia produktif, yaitu rentang 15–49 tahun, serta laki-laki tercatat memiliki tingkat risiko dan kerentanan tertinggi terhadap infeksi tuberkulosis (Sutriyawan dkk., 2023).

Kekurangan asupan gizi dan kondisi malnutrisi dapat menyebabkan penurunan fungsi sistem imun, sehingga meningkatkan risiko seseorang untuk terinfeksi TB maupun berkembang menjadi TB aktif (Lei et al., 2023). Dengan demikian, malnutrisi berperan penting dalam terjadinya TB melalui mekanisme pelemahan sistem kekebalan tubuh yang meningkatkan kerentanan terhadap infeksi dan progresivitas penyakit.

Individu dengan komorbid terinfeksi HIV memiliki risiko 20 kali lipat. Pada penderita HIV/AIDS, peran infeksi juga dipengaruhi oleh defisiensi sistem kekebalan tubuh sehingga mudah sekali terinfeksi TB. Faktor komorbid lain yang dapat meningkatkan risiko terjadinya TB dan juga memperparah gejala TB pada individu yang sudah terinfeksi adalah penyakit diabetes melitus, yang memiliki risiko 3 kali lipat untuk terjadinya TB paru. (Hemalatha et al, 2023).

Lingkungan memiliki pengaruh besar dalam penularan TB, lingkungan yang berpengaruh terhadap penularan TB meliputi lingkungan fisik, sosial, ekonomi dan lainnya. Faktor lingkungan fisik yang mempengaruhi TB termasuk kepadatan hunian, jenis lantai, ventilasi udara, dan polusi dalam rumah. Faktor non-fisik mencakup elemen sosial ekonomi seperti kemiskinan, populasi perkotaan, populasi imigran, dan populasi pria, yang semuanya menunjukkan hubungan yang signifikan dengan kejadian dan kematian TB. Kondisi rumah yang buruk dan padat dikaitkan dengan kemiskinan yang merupakan determinan sosial dan menjadi faktor risiko TB. Kondisi rumah merupakan indikator sosial ekonomi kesehatan dan kesejahteraan yang berkaitan dengan lingkungan, mencakup kepadatan hunian rumah, kecukupan ventilasi udara, jenis lantai, dan polusi dalam rumah (Wulan dkk., 2019). Faktor lingkungan secara signifikan berkontribusi terhadap risiko kejadian TB. Faktor-faktor seperti stabilitas perumahan dan polusi udara dalam ruangan memainkan peran penting (Faizal, dkk., 2021).

Faktor perilaku seperti kebiasaan merokok juga dapat meningkatkan risiko terinfeksi TB, merokok berkontribusi pada beban bakteri yang lebih tinggi pada diagnosis TB, menghasilkan pertumbuhan mikobakteri yang lebih cepat dan peningkatan kepositifan smear dahak di antara pasien yang merokok narkoba (Myers et al., 2023). Penelitian menunjukkan bahwa merokok meningkatkan risiko tertular TB, menyebabkan bentuk penyakit yang lebih parah, dan mengurangi kepatuhan terhadap obat TB (Jean Perriot et al, 2023). Perokok memiliki kemungkinan kekambuhan TB yang lebih tinggi,

menunjukkan bahwa rasio peluang kekambuhan TB pada perokok adalah 2,10 kali lebih tinggi daripada pada non-perokok (Fatemeh, 2023).

Penelitian tentang pengendalian TB di Tanzania menunjukkan daerah dengan jarak fasyankes yang jauh, individu yang terinfeksi TB mungkin tidak segera mendapatkan perawatan, hal ini dapat meningkatkan risiko penularan penyakit kepada orang lain di sekitarnya, jarak ke fasilitas kesehatan memainkan peran penting dalam pengendalian TB dan hasil pengobatan (Vergeer et al., 2022).

Seiring dengan berkembangnya tantangan dalam pengendalian TB, terutama terkait akses layanan kesehatan dan keterlambatan penanganan, integrasi teknologi digital menjadi salah satu strategi potensial untuk meningkatkan efektivitas pelayanan. Salah satu inovasi yang dapat dikembangkan adalah sistem pakar berbasis aplikasi yang mampu mendukung proses skrining, diagnosis awal, dan pemantauan pasien TB (Miladi,dkk 2025).

Saat ini, teknologi digital semakin luas dimanfaatkan dalam bidang medis dan kesehatan, salah satunya melalui pengembangan sistem pakar (*expert system*). Sistem pakar merupakan sistem berbasis komputer yang dirancang untuk meniru kemampuan penalaran dan pengambilan keputusan seorang pakar dalam menyelesaikan permasalahan tertentu pada berbagai bidang, termasuk kesehatan. Melalui sistem pakar, pengetahuan dan pengalaman pakar dapat diakses oleh pengguna non-ahli sehingga memungkinkan individu awam memperoleh rekomendasi atau keputusan awal secara mandiri dan terstruktur(Russell and Norvig, n.d,2022.).

Aplikasi kesehatan yang dikembangkan oleh peneliti sebelumnya telah dimanfaatkan sebagai alat pendukung dalam berbagai aspek layanan kesehatan, termasuk pencegahan penyakit, diagnosis, pengumpulan data, pemantauan kepatuhan pengobatan, serta pengawasan penyakit. Aplikasi tersebut memiliki potensi besar dalam mendukung upaya pencegahan dan

pengendalian TB, khususnya melalui pemberian dukungan kepada penyedia layanan kesehatan dalam proses skrining dan diagnosis TB, pemantauan perkembangan pasien, serta pemberian dukungan berkelanjutan kepada pasien agar berhasil menyelesaikan pengobatan sesuai standar yang ditetapkan (WHO, 2021).

Berdasarkan kajian terhadap berbagai hasil penelitian sebelumnya, hingga saat ini pengembangan sistem deteksi dini TB yang secara khusus memanfaatkan aplikasi untuk mengidentifikasi faktor risiko secara komprehensif masih sangat terbatas. Sebagian besar pengembangan sistem kecerdasan buatan dan rekam medis elektronik masih berfokus pada aspek diagnosis klinis (seperti identifikasi gejala fisik atau citra rontgen) atau pemantauan kepatuhan pengobatan. Sementara itu, pendekatan deteksi dini yang bersifat preventif berbasis faktor risiko individu, perilaku, dan lingkungan belum banyak diimplementasikan dalam bentuk aplikasi digital yang terintegrasi. Oleh karena itu, penelitian ini diarahkan pada pengembangan dan pengujian sistem deteksi dini kerentanan TB melalui perancangan aplikasi berbasis *website*, sebagai upaya strategis untuk mendukung program pencegahan TB secara lebih dini dan sistematis (WHO, 2021).

Kebaruan (*Novelty*) dari penelitian ini terletak pada pendekatan arsitektur sistem dalam memproses akumulasi risiko dari variabel nonklinis menggunakan metode *Certainty Factor* (CF) dan *Forward Chaining*. Berbeda dengan model penelitian lain, seperti *Machine Learning*, yang sangat bergantung pada ketersediaan *dataset* historis berskala besar (*Data-Driven*), atau *Fuzzy Logic* yang berfokus pada data gejala klinis numerik berkelanjutan (*kontinu*), model dalam penelitian ini menerapkan pendekatan *Knowledge-Driven* dan *Evidence-Based Medicine*. Sistem ini mentransformasikan rasio risiko epidemiologi (*Odds Ratio*) dari literatur medis menjadi persentase tingkat keyakinan (CF) pada data yang bersifat kategorikal diskrit. Melalui

mekanisme ini, sistem mampu menghasilkan kesimpulan yang bersifat *whitebox* di mana penalaran dan efek kumulatif dari kombinasi faktor risiko (misalnya: interaksi antara status gizi buruk, riwayat kontak, dan merokok) dapat ditelusuri secara transparan oleh pengguna maupun tenaga medis, bahkan sebelum gejala klinis tuberkulosis muncul pada pasien.

Pengembangan aplikasi deteksi dini faktor risiko pada penelitian ini dilakukan menggunakan pendekatan *System Development Life Cycle* (SDLC) dengan menerapkan model spesifik, yaitu *Expert System Development Life Cycle* (ESDLC). Berbeda dengan pengembangan perangkat lunak konvensional, model ESDLC memprioritaskan siklus yang bersifat iteratif untuk mengakuisisi, memodelkan, dan mengevaluasi pengetahuan dari pakar medis ke dalam sebuah sistem terkomputerisasi yang interaktif (Darwis dkk., 2021; Sari dkk., 2022).

Pada penelitian ini, pengembangan aplikasi deteksi dini faktor risiko tuberkulosis menggunakan metode *Expert System Development Life Cycle* (ESDLC). Metode ini dipilih karena sesuai untuk pengembangan sistem pakar yang memerlukan proses akuisisi pengetahuan dari pakar maupun dari literatur, kemudian diterjemahkan ke dalam basis aturan (*rule base*) untuk mendukung proses pengambilan keputusan secara otomatis.

Expert System Development Life Cycle menyediakan tahapan pengembangan yang sistematis mulai dari identifikasi masalah, akuisisi pengetahuan, perancangan sistem, implementasi, hingga pengujian sistem, sehingga dinilai tepat untuk membangun sistem pakar berbasis *Forward Chaining* dan *Certainty Factor* dalam mendeteksi faktor risiko Tuberkulosis secara dini (Sharma, R., and Jain, 2021).

Pendekatan *Expert System Development Life Cycle* (ESDLC) dinilai tepat untuk pengembangan aplikasi kesehatan karena menyediakan tahapan terstruktur mulai dari akuisisi pengetahuan hingga evaluasi sistem. Metode ini mendukung perbaikan berkelanjutan, transparansi proses diagnosis (*white-box reasoning*), serta menjaga akurasi sistem pakar dalam mendukung deteksi dini pada masyarakat (Pamungkas et al., 2021; Fatimah et al., 2022).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, dapat dirumuskan masalah penelitian ini adalah: "Bagaimana Pengembangan dan penerapan model deteksi dini faktor risiko TB berbasis *Host* dan *Environment*".

1.3 Tujuan Penelitian

1.3.1 Tujuan Umum

Penelitian ini secara umum bertujuan untuk mengembangkan dan menerapkan model deteksi dini faktor risiko TB berbasis *host* dan *environment*.

1.3.2 Tujuan Khusus:

- a. Mengembangkan model deteksi dini faktor risiko TB berdasarkan faktor *Host* yaitu faktor sosiodemografi (umur, jenis kelamin, pendidikan, pekerjaan, pendapatan, status gizi, riwayat kontak), faktor komorbid (diabetes mellitus dan penyakit HIV/AIDS), lingkungan (ventilasi udara, jenis lantai, kelembapan ruangan, pencahayaan, kepadatan hunian), perilaku merokok, jarak fasilitas kesehatan dengan metode *certainty factor* dan *forward chaining*.
- b. Menerapkan model deteksi dini faktor risiko TB berdasarkan faktor *host*, yaitu faktor sosiodemografi (umur, jenis kelamin, pendidikan, pekerjaan, pendapatan, status gizi, riwayat kontak), faktor komorbid (*diabetes melitus* dan penyakit HIV/AIDS), lingkungan (ventilasi udara, jenis lantai, kelembapan ruangan, pencahayaan, kepadatan hunian), perilaku merokok, jarak fasilitas kesehatan dengan metode *certainty factor* dan *forward chaining*.

1.4 Manfaat Penelitian

1.4.1 Manfaat Praktis

Penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai bahan masukan dan membantu secara dini dan cepat untuk orang-orang yang berisiko dalam melakukan deteksi dini kesehatan tentang TB, sehingga penanggulangan penyakit TB dapat dilakukan dengan maksimal. Penelitian ini juga dapat digunakan sebagai informasi bagi pengambil keputusan atau kebijakan untuk membuat suatu program khusus dalam pencegahan TB sehingga dapat meningkatkan temuan kasus, menurunkan angka kesakitan dan kematian TB serta meningkatkan derajat kesehatan bagi penderita TB.

1.4.2 Manfaat Teoritis

Hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi pada pengetahuan ilmiah dan memperdalam pengalaman peneliti dalam riset epidemiologi tentang faktor risiko yang memengaruhi penyakit TB. Selain itu, hasil penelitian ini juga dapat menjadi referensi bagi institusi pendidikan untuk pengembangan ilmu pengetahuan tentang TB, sehingga dapat mendukung penyempurnaan penelitian lebih lanjut tentang penyakit ini.

1.5 Kerangka Pemikiran

Kabupaten Lampung Tengah merupakan wilayah terluas di Propinsi Lampung dengan jumlah penduduk 1,4 juta. Kondisi sosial, ekonomi, dan demografi, dengan karakteristik penduduk yang berbeda, menjadi salah satu faktor penyebaran penyakit yang luas. Salah satu penyebaran penyakit yang tinggi adalah TB paru, dengan CDR yang belum mencapai target 66% dari target yang ditetapkan 90%.

Peningkatan CDR dapat dilakukan dengan penemuan kasus sedini mungkin dengan cara mengidentifikasi penderita TB dan faktor risiko yang memengaruhi TB. Faktor risiko yang memengaruhi TB dapat dilihat dari faktor sosiodemografi, faktor komorbid, faktor lingkungan fisik, faktor perilaku merokok, dan faktor jarak fasilitas pelayanan kesehatan.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa faktor demografi seperti umur menjadi risiko TB dengan peningkatan penderita pada usia 15-45 tahun dan lanjut usia. Jenis kelamin laki-laki lebih memungkinkan terkena TB dibandingkan dengan wanita. Tingkat pendidikan rendah dapat memengaruhi kesadaran dan akses terhadap informasi kesehatan, termasuk pencegahan TB. Faktor sosial seperti pekerjaan dan pendapatan pada kelompok dengan pendapatan rendah lebih rentan terhadap TB karena akses terbatas terhadap layanan kesehatan yang memadai. Status gizi dikaitkan dengan sistem kekebalan tubuh yang lemah, terutama malnutrisi dan kekurangan gizi, sehingga meningkatkan risiko TB.

Faktor lain yang memengaruhi TB paru adalah komorbid, di antaranya diabetes melitus. Penderita diabetes memiliki risiko lebih tinggi terkena TB karena diabetes melemahkan sistem kekebalan tubuh. Kasus TB meningkat 20 kali pada penderita terinfeksi HIV/AIDS yang mengalami TB aktif. (Hemalatha, *et al*, 2023). Faktor lingkungan yang memengaruhi TB paru di antaranya lingkungan fisik, ventilasi udara yang buruk, atau ruang yang tidak tercukupi udara segar dapat meningkatkan risiko penularan TB. Pada ruangan dengan ventilasi yang cukup, terdapat paparan sinar matahari langsung yang dapat membantu mengurangi jumlah bakteri di udara atau permukaan, meskipun efek ini lebih signifikan di luar ruangan.

Lantai yang tidak rata atau permukaan yang sulit dibersihkan memengaruhi kebersihan dan sanitasi lingkungan, yang dapat memfasilitasi penularan TB. Kondisi kepadatan hunian tinggi dalam populasi atau rumah tangga juga meningkatkan risiko penularan TB karena kontak yang lebih dekat antarindividu. Kelembapan yang tinggi bisa membantu bakteri yang terhirup bertahan lebih lama di udara, mempermudah penyebaran penyakit ke orang lain. Bakteri TBC cenderung lebih bertahan di udara lembap dibandingkan dengan udara kering. Pencahayaan yang cukup membuat ruangan terang, karena pencahayaan yang cukup memungkinkan penglihatan yang lebih baik

saat membersihkan ruangan sehingga menghilangkan kuman atau debu. Kuman TBC bisa menempel pada permukaan seperti lantai, dinding, atau benda lainnya, dan ruangan yang cukup terang dapat memudahkan upaya pembersihan yang lebih efektif.

Penularan TB di masyarakat juga dapat terjadi karena perilaku merokok, di mana perilaku merokok dapat merusak paru-paru dan sistem kekebalan tubuh, sementara jarak fasilitas kesehatan yang terbatas atau jarak yang jauh ke fasilitas kesehatan dapat menghambat deteksi dini, diagnosis, dan pengobatan TB.

Perkembangan teknologi digital di bidang kesehatan telah mendorong pemanfaatan berbagai aplikasi medis untuk mendukung upaya promotif, preventif, kuratif, dan rehabilitatif. Berbagai aplikasi telah dikembangkan untuk diagnosis penyakit, manajemen pengobatan, serta pemantauan kondisi kesehatan individu. Namun demikian, dalam konteks pengendalian tuberkulosis, sebagian besar aplikasi yang ada masih berfokus pada aspek diagnosis klinis atau pemantauan kepatuhan pengobatan, sementara pendekatan deteksi dini berbasis faktor risiko individu dan lingkungan belum banyak dikembangkan secara sistematis dan terintegrasi dalam bentuk aplikasi digital.

Pada beberapa implementasi, aplikasi juga dapat memberikan informasi mengenai tingkat risiko individu terhadap TB berdasarkan riwayat medis, kondisi lingkungan, serta riwayat kontak dengan penderita TB. Pemanfaatan aplikasi digital dalam deteksi TB memungkinkan proses skrining dilakukan secara lebih efisien, sehingga mendukung percepatan diagnosis, peningkatan keberhasilan pengobatan, pengendalian penularan penyakit, serta penurunan angka kematian akibat TB (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2023).

Kondisi ini berkontribusi pada masih rendahnya *Case Detection Rate* (CDR) TB, yang merupakan salah satu indikator utama keberhasilan program pengendalian TB. CDR yang rendah menyebabkan keterlambatan penemuan kasus, meningkatkan risiko penularan di masyarakat, serta menghambat pencapaian target eliminasi TB. Padahal, peningkatan CDR melalui deteksi dini berbasis risiko sangat krusial untuk menemukan kasus TB sedini mungkin, terutama pada kelompok berisiko tinggi yang belum menunjukkan gejala klinis berat (WHO, 2021).

Sejalan dengan komitmen global untuk mencapai target Eliminasi TB tahun 2030, diperlukan inovasi pendekatan skrining yang tidak hanya mengandalkan pemeriksaan klinis, tetapi juga memanfaatkan teknologi digital untuk mengidentifikasi risiko TB sejak tahap awal. Pemerintah Indonesia melalui strategi nasional penanggulangan TB menekankan pentingnya pemanfaatan teknologi informasi dan sistem berbasis masyarakat dalam meningkatkan CDR dan mempercepat penemuan kasus TB (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2023).

1.6 Hipotesis

1. Terdapat model deteksi dini faktor risiko TB, berdasarkan faktor *Host* dan *Environment*
2. Terdapat model deteksi dini faktor risiko TB dengan metode *certainty factor* dan *forward chaining* yang dapat diterapkan pada aplikasi Web

1.7 Novelty Penelitian

Novelty penelitian:

1. Novelty penelitian ini terletak pada pengembangan model deteksi dini TB berbasis aplikasi digital yang berfokus pada identifikasi faktor risiko individu dan lingkungan, bukan semata-mata diagnosis klinis. Pergeseran paradigma dari sistem pakar berbasis diagnosis klinis menuju sistem deteksi dini berbasis risiko epidemiologi pada fase praklinis. Model ini dirancang dengan melakukan transformasi rasio risiko epidemiologi (*Odds Ratio*) dari hasil penelitian menjadi persentase tingkat keyakinan (*Certainty Factor*) pada data kategorikal diskrit.

2. Pendekatan *Knowledge-Driven* dan *Evidence-Based*, berbeda dengan *Machine Learning* yang sangat bergantung pada *dataset* besar (*Data-Driven*) atau *Fuzzy Logic* yang berfokus pada data kontinu, penelitian ini menggunakan pendekatan *Knowledge-Driven* dan *Evidence-Based Epidemiology* yang ditranslasikan ke dalam *rule base*.
3. Penalaran *White-Box* yang transparan: sistem yang dibangun menghasilkan kesimpulan yang bersifat *white-box*. Artinya, penalaran dan efek kumulatif dari kombinasi faktor risiko (misalnya: interaksi antara status gizi buruk, riwayat kontak, dan merokok) dapat ditelusuri secara transparan oleh pengguna maupun tenaga medis, bukan sekadar "kotak hitam" yang tiba-tiba mengeluarkan hasil diagnosis.
4. Aplikasi ini untuk mendukung skrining awal di tingkat masyarakat dan layanan kesehatan primer yang dilakukan secara mandiri sebelum ada gejala penyakit, berbeda dengan aplikasi terdahulu seperti skrining pada fase klinis, aplikasi peningkatan keberhasilan pengobatan, dan aplikasi pemantauan obat. Model aplikasi deteksi dini faktor risiko diharapkan dapat meningkatkan CDR, mempercepat penanganan kasus TB, menurunkan penularan, serta berkontribusi langsung terhadap pencapaian target Eliminasi TB 2030.

Novelty yang diperoleh tersebut berdasarkan kajian yang dilakukan terhadap beberapa peneliti terkait, sehingga diperoleh kesenjangan seperti diuraikan pada tabel 1. Pada Tabel I tampak daftar penelitian terdahulu yang berkaitan dengan aplikasi pada pengendalian TB.

Tabel 1. Penelitian terdahulu berkaitan dengan aplikasi pada pengendalian TB

Peneliti	Judul	Ringkasan
Sutisna dkk., 2025	Sistem Pakar Diagnosa Penyakit TBC Menggunakan Algoritma <i>Forward Chaining</i> dan <i>Certainty Factor</i> Berbasis Android di Puskesmas Kedaung Barat	Mengembangkan aplikasi sistem pakar TB berbasis Android menggunakan <i>Flutter</i> . Sistem ini menggunakan <i>Forward Chaining</i> untuk penelusuran gejala dan <i>Certainty Factor</i> untuk menghitung persentase) keyakinan diagnosis secara mandiri oleh pengguna.
Sidqiyah et al., 2025	Tuberkulosis Menggunakan <i>Forward Chaining</i>	Membangun sistem skrining awal TB yang berfokus pada pencegahan penyebaran penyakit. Penelitian ini membuktikan bahwa metode pakar komputasi dapat memvalidasi gejala awal sebelum pasien melakukan pemeriksaan fisik di fasilitas kesehatan.
Arjuna & Sukihananto, 2018.	<i>Mobile Health: Upaya dalam meningkatkan keberhasilan pengobatan pasien tuberkulosis. Citra Delima: Scientific Journal of Citra Internasional Institute</i> , 2(2), 89-94.	Mengetahui potensi pengembangan <i>mobile health</i> (mHealth) bagi pasien TB dalam tatanan keperawatan komunitas. Hal ini merupakan tindak lanjut asuhan keperawatan bagi pasien pasca-rawat inap di rumah sakit atau setelah ditegakkan diagnosis TB. Sistem ini mampu mendeteksi kasus TB melalui ponsel pintar (<i>mobile phone</i>) secara lebih cepat dibandingkan dengan uji pewarnaan tahan asam (BTA). Efisiensi sistem: Deteksi LTBI (<i>Latent Tuberculosis Infection</i>) menggunakan

Tabel 1. Penelitian terdahulu berkaitan dengan aplikasi (lanjutan)

Peneliti	Judul	Ringkasan
		sistem <i>Dot-blot</i> berkualitas tinggi yang hanya membutuhkan waktu pengujian bakteri selama 5 jam. Implementasi: Sistem ini telah dikembangkan dalam bentuk aplikasi Android yang memanfaatkan kamera ponsel untuk melakukan analisis kolorimetri secara otomatis dan efisien.
Keutzer et al., 2020	<i>Mobile Health: Upaya dalam Meningkatkan Keberhasilan Pengobatan Pasien Tuberkulosis. Citra Delima: Scientific Journal of Citra Internasional Institute, 2(2), 89-94.</i>	Fungsi Aplikasi: Secara khusus, aplikasi ini memfasilitasi individualisasi dosis, pemantauan kepatuhan pengobatan, serta penyediaan informasi dan edukasi mengenai penyakit tersebut. Tujuan Preventif: Aplikasi ini berfungsi sebagai alat strategis untuk mencegah perkembangan TB yang resisten terhadap obat (<i>Multi-Drug Resistant TB</i>) maupun mencegah terjadinya kekambuhan penyakit pada pasien.
Harlina et al., 2024	Implementasi <i>Algoritma Certainty Factor dan Forward Chaining</i> untuk rekomendasi Kesehatan	Membangun sistem pakar untuk rekomendasi (diagnosis & aturan makanan) menggunakan FC+CF; menyajikan evaluasi performa (akurasi, kesesuaian aturan pakar) sebagai bukti metode layak dipakai di aplikasi kesehatan berbasis Android/web

Tabel 1. Penelitian terdahulu berkaitan dengan aplikasi (lanjutan)

Peneliti	Judul	Ringkasan
Lester dkk., 2019.	<i>Mobile phone short message service for adherence support and care of patients with tuberculosis infection: Evidence and opportunity. Journal of Clinical Tuberculosis and Other Mycobacterial Diseases, 16, 100108.</i>	Pemantauan Terapi: Pemanfaatan layanan pesan singkat (SMS) untuk melacak keberhasilan pengobatan TB secara berkala. Evaluasi Program: Digunakan untuk memantau keberhasilan program pengobatan secara keseluruhan dan memastikan setiap individu menyelesaikan terapi secara memadai sesuai protokol kesehatan.
Nabila dan Desiani, n.d., 2023	Sistem Pakar Diagnosa Penyakit Tuberkulosis Dengan Metode <i>Certainty Factor</i>	Metode: Pengembangan Sistem Pakar Berbasis Pengetahuan (<i>Knowledge-Based Expert System</i>). Temuan Kunci: Merancang sistem komputerisasi untuk deteksi dini gejala tuberkulosis (fokus pada komplikasi TBC otak) menggunakan <i>algoritma Certainty Factor</i> (CF). Penelitian membuktikan bahwa pemanfaatan CF mampu mengatasi ambiguitas dan ketidakpastian diagnosis secara efektif serta menghasilkan akurasi prediksi klinis yang adaptif sebagai instrumen skrining awal mandiri oleh masyarakat.

Tabel 1. Penelitian terdahulu berkaitan dengan aplikasi (lanjutan)

Peneliti	Judul	Ringkasan
Paucar et al., 2025	<i>Expert Systems in Tuberculosis Prevention Established in Certainty Factor</i>	Metode: Rekayasa perangkat lunak menggunakan metodologi Buchanan (5 tahapan: Identifikasi, Konseptualisasi, Formalisasi, Implementasi, dan Validasi). Temuan Kunci: Mengembangkan sistem pakar deteksi TBC berbasis web dengan mesin inferensi kaidah produksi <i>Certainty Factor</i> untuk wilayah dengan akses medis terbatas. Validasi pakar menggunakan kuesioner 15 indikator menunjukkan konsensus positif yang kuat (Skor tertinggi mean = 4,80; SD = 0,61). Direkomendasikan integrasi masa depan dengan <i>Machine Learning</i> dan pemrosesan citra radiologi.
Syamsudin dkk., 2022	Penerapan metode <i>certainty factor</i> pada sistem pakar mendiagnosa penyakit tuberculosis (tb) paru berbasis web mobile	Metode: Rancang bangun aplikasi sistem pakar adaptif (<i>Web Mobile Application</i>). Temuan Kunci: Mengatasi kendala rendahnya minat baca masyarakat dan keengganan berkonsultasi ke fasilitas medis dengan membangun aplikasi penapisan gejala TBC paru. Integrasi <i>Certainty Factor</i> terbukti andal dalam memfasilitasi pakar mengukur tingkat keyakinan (<i>belief scale</i>) atas gejala klinis biner. Desain antarmuka responsif memberikan kemudahan akses informasi penapisan via smartphone.

Tabel 1. Penelitian terdahulu berkaitan dengan aplikasi (lanjutan)

Peneliti	Judul	Ringkasan
Usmanto dan Andriyani, 2024	<i>Data-Driven Expert System for Tuberculosis (TB) Diagnosis Using the Forward Chaining Method</i>	<p>Metode: Pengembangan Software Cerdas Berbasis Data (<i>Data-Driven Intelligent System</i>) dengan Algoritma <i>Forward Chaining</i>.</p> <p>Temuan Kunci: Menerapkan pendekatan penalaran maju (<i>Forward Chaining</i>) dengan struktur aturan kaidah produksi terikat biner (TRUE/FALSE) untuk pemetaan sistematis gejala tuberkulosis. Sistem mencocokkan fakta-fakta klinis masukan pengguna secara iteratif hingga menghasilkan diagnosis yang presisi beserta rekomendasi tindakan operasional. Pendekatan data-driven terbukti meningkatkan keandalan sistem dalam manajemen deteksi awal.</p>
Hossain, M. S., Ahmed, F., Johora, F. T., & Andersson, K. 2024	<i>A Belief Rule-Based Expert System to Assess Tuberculosis under Uncertainty</i>	<p>Metode: Desain dan eksperimentasi <i>Belief Rule-Based Expert System</i> (BRBES).</p> <p>Temuan Kunci: Mengatasi kelemahan diagnosis konvensional manusia yang dipengaruhi oleh ketidakpastian intrinsik gejala (<i>vague, imprecision, randomness</i>, dan data tidak lengkap). Pangkalan pengetahuan dibangun dari</p>

Tabel 1. Penelitian terdahulu berkaitan dengan aplikasi (lanjutan)

Peneliti	Judul	Ringkasan
		kombinasi saran pakar medis dan data historis klinis TBC. Uji komparatif riil terhadap data 100 pasien membuktikan bahwa luaran keputusan BRBES jauh lebih konsisten dan andal dibandingkan dengan diagnosis dokter manusia maupun sistem berbasis <i>fuzzy rules</i> standar.

Tabel 2. Perbedaan peneliti terdahulu dengan model deteksi dini faktor risiko tuberkulosis.

Judul Penelitian	Peneliti lain	Model deteksi dini faktor risiko
Pengembangan Sistem Pakar untuk Skrining Awal Penderita Penyakit Tuberkulosis Menggunakan <i>Forward Chaining</i> Sidqiyah, dkk., 2025.	Fokus: Memvalidasi gejala awal untuk mempercepat pemeriksaan fisik ke fasyankes. Metode: <i>Forward Chaining</i> untuk memetakan gejala awal penderita.	Menggunakan analisis epidemiologi (Odds ratio) sebagai dasar pembobotan skor risiko, sehingga mampu mengidentifikasi kerentanan individu sehat terhadap paparan TB.
Mobile Health: Upaya dalam meningkatkan keberhasilan pengobatan pasien tuberkulosis. Arjuna, dkk 2019.	Deteksi TB menggunakan kamera ponsel dan analisis kolorimetri Penggunaan sistem Dotblot untuk mendeteksi LTBI, Fokus pada kecepatan dan akurasi pemeriksaan bakteri, Pengembangan dan pemanfaatan <i>mobile health (mHealth)</i> dalam konteks perawatan komunitas pasien TB, sebagai tindak lanjut setelah	Pengembangan aplikasi deteksi dini berbasis web dengan model penilaian risiko yang diturunkan dari analisis epidemiologis regresi logistik multivariat. Penilaian risiko dilakukan menggunakan nilai odds ratio sebagai dasar pembobotan skor, sehingga aplikasi berfungsi pada tahap praklinis untuk mendukung skrining mandiri dan penemuan kasus aktif di masyarakat.”

Tabel 2. Perbedaan peneliti terdahulu (lanjutan)

Judul Penelitian	Peneliti lain	Model deteksi dini faktor risiko
Implementasi <i>Algoritma Certainty Factor dan Forward Chaining</i> untuk rekomendasi Kesehatan Harlina 2024.	pasien dirawat di rumah sakit atau telah didiagnosis TB Rekomendasi kesehatan secara umum, dengan cara rekomendasi berdasarkan gejala jadi saat gejala sudah ada Edukasi dan rekomendasi personal	Tahap awal (<i>Risk based screening</i>) termasuk populasi beresiko Peningkatan CDR dan pencegahan penularan
Sistem Pakar Diagnosa TBC: <i>Forward Chaining + CF (Android)</i> Sutisna 2025	Digunakan untuk mendiagnosa penyakit TB, berdasarkan gejala Basis aturan gejala TB, sehingga sasarannya penggunaannya pasien TB	Digunakan untuk deteksi dini faktor risiko TB (pra-diagnosa) yaitu dengan mengidentifikasi individu beresiko TB sebelum diagnosis klinis Basis aturan faktor risiko TB, dengan sasaran masyarakat umum, kader

Penelitian ini selanjutnya akan mengembangkan model deteksi dini faktor risiko tuberkulosis paru dengan menggunakan pendekatan pengembangan perangkat lunak berbasis *System Development Life Cycle (SDLC)*.

Model deteksi dini yang dikembangkan dibangun dengan memasukkan variabel-variabel terpilih berdasarkan hasil pengolahan dan analisis data faktor risiko tuberkulosis. Variabel tersebut kemudian diolah ke dalam sistem pengkodean menggunakan perangkat lunak aplikasi yang terintegrasi dengan jaringan internet.

Pada penelitian ini diterapkan model deteksi dini faktor risiko tuberkulosis (TB) yang dirancang secara komprehensif dengan mempertimbangkan interaksi antara faktor *host* dan faktor lingkungan (*environment*). Faktor *host* yang dianalisis meliputi faktor sosiodemografi, yaitu umur, jenis kelamin,

tingkat pendidikan, pekerjaan, pendapatan, dan status gizi, riwayat kontak, serta faktor komorbid, khususnya diabetes melitus dan infeksi HIV/AIDS (*Acquired Immune Deficiency Syndrome*). Sementara itu, faktor lingkungan mencakup kondisi fisik hunian, antara lain ventilasi udara, jenis lantai, kelembapan ruangan, pencahayaan, kepadatan hunian, perilaku merokok, serta jarak tempat tinggal ke fasilitas pelayanan kesehatan.

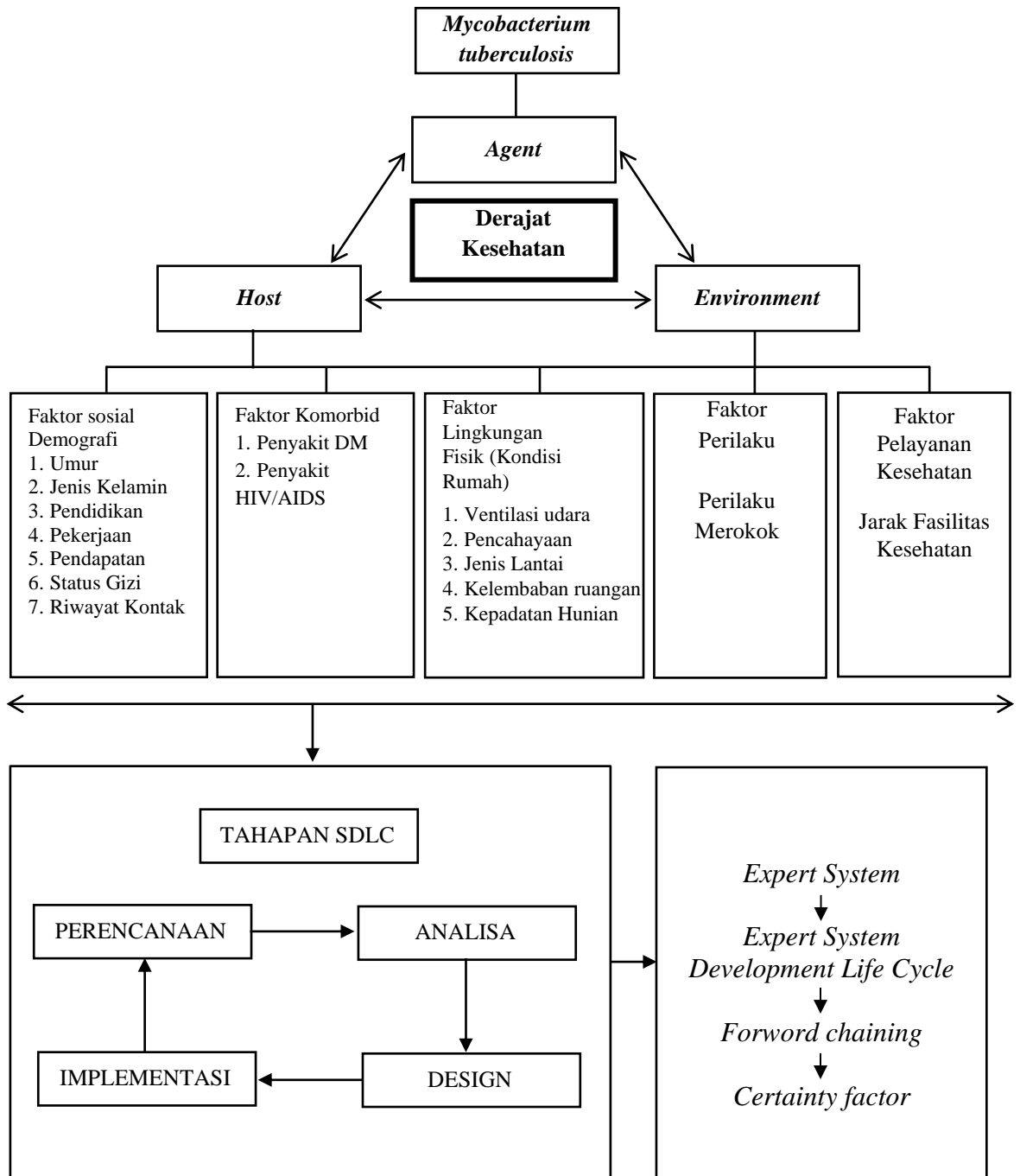
Pendekatan ini membedakan penelitian yang dilakukan dengan penelitian-penelitian sebelumnya. Aplikasi yang telah dikembangkan pada penelitian terdahulu umumnya difokuskan pada pemeriksaan penyakit TB, diagnosis TB, atau pemantauan pengobatan TB, yang bekerja pada tahap klinis ketika gejala sudah muncul. Penelitian-penelitian tersebut belum secara khusus mengintegrasikan faktor risiko individu dan lingkungan sebagai dasar deteksi dini TB berbasis aplikasi digital.

Akibatnya, upaya deteksi dini TB berbasis faktor risiko yang diharapkan mampu menjangkau populasi berisiko sebelum munculnya gejala klinis serta berkontribusi terhadap peningkatan CDR belum dapat dilaksanakan secara optimal. Padahal, deteksi dini berbasis risiko merupakan strategi penting dalam pengendalian TB untuk menekan keterlambatan penemuan kasus dan mengurangi penularan di masyarakat.

Melalui pengembangan model deteksi dini faktor risiko ini, setiap variabel terpilih diberikan skor berdasarkan tingkat kontribusinya terhadap risiko TB, yang selanjutnya diolah melalui proses pengkodean dalam sistem aplikasi. Hasil pengolahan tersebut digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan sistem dalam mengklasifikasikan individu ke dalam kategori risiko rendah, risiko sedang, dan risiko tinggi.

1.8 Kerangka Teori

Kerangka teori penelitian ini pada Gambar 1



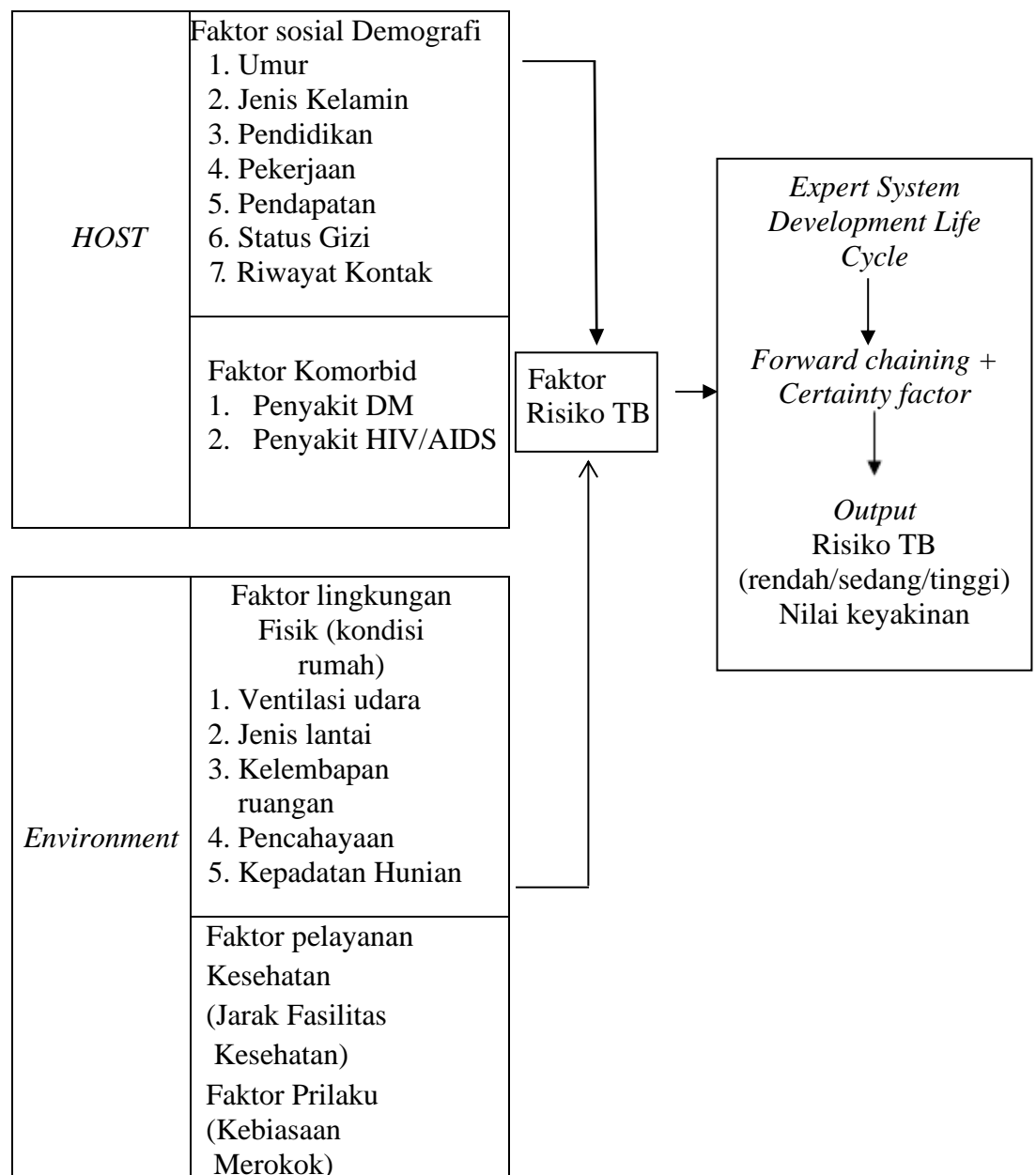
Gambar 1. Kerangka Teori (Gordon, J. 1949; Barisic, M. 2025; Yang & Zhu, 2024)

1.9 Kerangka Konsep

Kerangka konsep dalam penelitian ini merupakan penjabaran yang disederhanakan dari kerangka teori yang diambil, seperti tampak pada Gambar 2

variabel independent

variabel dependen



Gambar 2. Kerangka konsep penelitian

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum Tentang Tuberkulosis

2.1.1 Pengertian Tuberkulosis

Tuberkulosis adalah penyakit infeksi menular yang disebabkan oleh bakteri berbentuk batang, yaitu *Mycobacterium tuberculosis* (Kementerian Kesehatan RI, 2022). Dalam pedoman nasional, disebutkan bahwa terdapat empat tahapan perjalanan alamiah penyakit TB. Tahapan tersebut meliputi tahap paparan, infeksi, menderita sakit, dan meninggal dunia.

a. Paparan; Peluang peningkatan paparan terkait dengan beberapa kondisi berikut

(Kementerian Kesehatan RI, 2022):

1. Banyaknya kasus menular di masyarakat.
2. Peluang kontak dengan kasus menular.
3. Tingkat daya tular dahak yang tinggi dari sumber penularan.
4. Intensitas batuk: sumber penularan.
5. Adanya kontak dengan sumber penularan.
6. Lamanya waktu kontak dengan sumber penularan.
7. Faktor lingkungan: konsentrasi bakteri di udara (ventilasi, sinar ultraviolet, dan penyaringan adalah faktor yang dapat menurunkan konsentrasi).

Catatan: Paparan kepada pasien tuberkulosis menular adalah syarat untuk terinfeksi. Setelah terinfeksi, terdapat beberapa faktor yang menentukan apakah seseorang hanya akan terinfeksi saja, menjadi sakit, atau memiliki kemungkinan meninggal dunia karena tuberkulosis.

b. Infeksi; Reaksi daya tahan tubuh akan terjadi sekitar 6–14 minggu setelah infeksi (World Health Organization, 2022). Proses ini meliputi:

1. Reaksi Imunologi (Lokal): Bakteri tuberkulosis memasuki paru-paru, tepatnya di alveoli, dan ditangkap oleh makrofag, yang kemudian memicu reaksi antigen-antibodi.
 2. Reaksi Imunologi (Umum): Terjadi *delayed hypersensitivity* yang menyebabkan hasil *Tuberculin Skin Test* (TST) menjadi positif.
 3. Lesi: Umumnya lesi sembuh total, namun kuman dapat tetap hidup dalam lesi tersebut (*dormant*) dan suatu saat dapat aktif kembali (TB Laten).
 4. Penyebaran: Bakteri dapat menyebar melalui aliran darah atau getah bening sebelum penyembuhan lesi primer terjadi.
- c. Sakit Tuberkulosis; Faktor risiko untuk berkembang menjadi sakit tuberkulosis sangat bergantung pada (Kementerian Kesehatan RI, 2021):
1. Konsentrasi atau jumlah kuman yang terhirup.
 2. Lamanya waktu sejak terinfeksi.
 3. Usia seseorang yang terinfeksi.
 4. Tingkat daya tahan tubuh. Seseorang dengan daya tahan tubuh yang rendah, seperti penderita HIV/AIDS dan malnutrisi (gizi buruk), akan lebih mudah mengembangkan TB aktif. Peningkatan jumlah orang dengan HIV positif secara linier akan meningkatkan jumlah pasien tuberkulosis di masyarakat.
- Catatan:* Hanya sekitar 10% dari mereka yang terinfeksi tuberkulosis akan menjadi sakit. Namun, pada individu dengan HIV positif, risiko ini meningkat drastis melalui proses reaktivasi.
- d. Meninggal Dunia; Faktor risiko kematian akibat penyakit tuberkulosis meliputi:
1. Keterlambatan diagnosis.
 2. Pengobatan yang tidak memenuhi standar (tidak adekuat).
 3. Adanya kondisi kesehatan awal yang buruk atau penyakit penyerta (komorbid).

Catatan: Pasien tuberkulosis tanpa pengobatan memiliki risiko kematian sebesar 50%, dan risiko ini meningkat secara signifikan pada pasien dengan koinfeksi HIV (World Health Organization, 2022).

2.1.2 Gejala Klinis

Gejala klinis tuberkulosis dapat dibagi menjadi dua golongan, yaitu gejala respiratorik (atau gejala organ yang terlibat) dan gejala sistemik (Migliori et al., 2022).

a. Gejala Respiratorik

1. Batuk persisten ≥ 3 minggu.
2. Batuk disertai pengeluaran darah (batuk darah).
3. Sesak napas.
4. Nyeri dada.

b. Gejala Sistemik

1. Peningkatan suhu tubuh atau demam (biasanya *subfebris*).
2. *Malaise* atau merasa lemas, keringat malam tanpa aktivitas fisik, anoreksia (penurunan nafsu makan), dan berat badan menurun secara signifikan.

2.1.3 Cara Penularan Tuberkulosis

Sumber penularan TB paru adalah pasien TB dengan basil tahan asam (BTA) positif pada hasil pemeriksaan sputumnya. Pada waktu batuk atau bersin, pasien menyebarkan kuman ke udara dalam bentuk percikan dahak (*droplet nuclei*). Sekali batuk dapat menghasilkan sekitar 3.000 percikan dahak (Jannah et al., 2023; Turner et al., 2023). Penularan umumnya terjadi dalam ruangan tertutup tempat percikan dahak dapat bertahan di udara dalam waktu yang lama. Percikan tersebut dapat bertahan selama beberapa jam dalam keadaan lingkungan yang gelap dan lembap.

Daya penularan seorang pasien ditentukan oleh banyaknya kuman yang dikeluarkan dari parunya. Semakin tinggi tingkat kepositifan hasil pemeriksaan dahak, semakin menular pasien tersebut. Faktor yang memungkinkan seseorang terpajan kuman TB ditentukan oleh konsentrasi

percikan bakteri di udara dan lamanya durasi menghirup udara tersebut (Turner et al., 2023).

2.1.4 Diagnosis

Diagnosis TB paru secara teoretis didasarkan pada penegakan klinis dan penunjang berikut (Migliori et al., 2022; Pai et al., 2024):

1. Anamnesis

Keluhan seorang penderita TB sangat bervariasi, mulai dari tidak ada keluhan sama sekali hingga keluhan yang lengkap. Pada umumnya keluhan ini dibagi menjadi:

- a. Keluhan Umum: *malaise*, *anoreksia*, berat badan menurun, dan cepat lelah.
- b. Keluhan Akibat Infeksi Kronis: Panas badan yang merentang tidak terlalu tinggi (subfebris) dan keringat malam (khususnya pada waktu subuh antara jam 02.30–05.00, yaitu kondisi saat orang sehat dalam keadaan normal tidak akan berkeringat).
- c. Keluhan Akibat Proses Patologis di Paru/Pleura: Batuk dengan atau tanpa dahak, batuk darah, sesak napas, dan nyeri dada. Semakin banyak akumulasi keluhan ini ditemukan, semakin tinggi probabilitas indikasi TB.

2. Pemeriksaan Fisik

Pada orang dewasa, kelainan fisik TB paru biasanya dimulai pada daerah lobus atas paru (kanan atau kiri). Pada pemeriksaan auskultasi, kelainan yang paling sering ditemukan sebagai tanda awal adalah suara ronki basah halus. Bila proses infiltratif ini semakin meluas dan menebal, akan didapatkan traktus fremitus yang menguat, suara redup pada perkusi, suara napas bronkial, serta bronkofoni yang menguat.

3. Tes Tuberkulin

Tes ini bertujuan untuk memeriksa kemampuan reaksi hipersensitivitas tipe lambat (tipe IV), yang mencerminkan potensi sistem imunitas seluler seseorang terhadap basil TB. Pada individu yang belum pernah

terinfeksi basil TB, sistem imunitas selulernya belum terangsang sehingga hasil tes tuberkulin akan negatif. Sebaliknya, jika pernah terinfeksi, sistem ini akan teraktivasi secara efektif dalam waktu 3–8 minggu pascainfeksi primer, sehingga hasil tes menjadi positif.

4. Pemeriksaan Serologis

Berbeda dengan tes tuberkulin, tes serologis menilai sistem imunitas humoral, khususnya kemampuan produksi antibodi kelas IgG terhadap antigen spesifik basil TB. Jika seseorang belum terinfeksi basil TB, imunitas humoralnya belum aktif sehingga hasil tes ini negatif. Sebaliknya, individu yang telah terinfeksi akan membentuk antibodi IgG tertentu yang dapat dideteksi secara spesifik melalui uji serologis.

5. Foto Rontgen Paru (Foto Toraks)

Dalam rangka diagnosis banding, foto toraks memegang peranan yang sangat penting. Berdasarkan letak, bentuk, luas, dan konsistensi kelainan organ, dokter dapat menduga adanya lesi TB. Foto paru merupakan instrumen yang dapat menggambarkan kelainan anatomis paru dan luasnya lesi secara objektif, sekaligus menjadi dokumen autentik untuk evaluasi perkembangan penyembuhan pasien.

6. Pemeriksaan Sputum (Dahak)

Teknik pemeriksaan sputum utamanya meliputi pemeriksaan mikroskopis (BTA), perbenihan (kultur bakteri), dan tes resistensi obat. Selain sputum, spesimen klinis lain yang dapat diperiksa mencakup sekret bronkus yang diambil melalui bronkoskopi, bahan aspirasi cairan pleura, serta bilasan getah lambung.

2.1.5 Pencegahan Penyakit TB

Upaya pencegahan merupakan bagian integral dari pelayanan kesehatan yang bertujuan untuk melindungi individu dan masyarakat dari risiko terinfeksi penyakit serta mencegah terjadinya penularan lebih lanjut. Dalam konteks tuberkulosis (TB), pencegahan diarahkan untuk menurunkan angka

kejadian penyakit melalui pengendalian faktor-faktor yang berperan dalam proses penularan dan perkembangan penyakit.

Secara epidemiologis, pencegahan TB dilakukan dengan mengendalikan tiga komponen utama dalam segitiga epidemiologi, yaitu agen penyebab penyakit (*Mycobacterium tuberculosis*), pejamu (*host*), dan lingkungan (*environment*). Upaya pencegahan pada tingkat agen dilakukan melalui pemutusan rantai penularan, termasuk penemuan kasus secara dini dan pengobatan yang adekuat. Pencegahan pada tingkat host diarahkan pada peningkatan daya tahan tubuh, antara lain melalui perbaikan status gizi, perilaku hidup bersih dan sehat, serta pengendalian faktor risiko seperti merokok dan penyakit penyerta. Sementara itu, pencegahan pada faktor lingkungan mencakup perbaikan kualitas hunian, ventilasi udara, pencahayaan, dan pengurangan kepadatan hunian untuk menurunkan risiko penularan TB di lingkungan tempat tinggal (WHO, 2023).

Pendekatan pencegahan TB saat ini juga menekankan strategi promotif dan preventif berbasis masyarakat, termasuk edukasi kesehatan, skrining kelompok berisiko, serta keterlibatan aktif masyarakat dalam upaya penemuan kasus dan pencegahan penularan. Strategi ini sejalan dengan kebijakan pengendalian TB nasional dan global yang menekankan pentingnya intervensi dini dan pengendalian faktor risiko sebagai bagian dari upaya eliminasi TB (Kementerian Kesehatan RI, 2022; WHO, 2023).

Dalam epidemiologi, upaya pencegahan penyakit diklasifikasikan ke dalam tiga tingkat pencegahan, yaitu pencegahan primer, sekunder, dan tersier, yang masing-masing bertujuan untuk mengendalikan penyakit pada tahapan yang berbeda. Pencegahan tingkat pertama (pencegahan primer) merupakan upaya yang ditujukan untuk mempertahankan individu yang sehat agar tetap sehat serta mencegah terjadinya penyakit pada populasi yang belum sakit. Pencegahan primer dilakukan melalui intervensi pada masyarakat umum,

seperti edukasi kesehatan, promosi perilaku hidup bersih dan sehat, perbaikan sanitasi dan kebersihan lingkungan, serta pengendalian faktor risiko. Selain itu, pencegahan primer juga mencakup perlindungan khusus yang ditujukan kepada kelompok masyarakat yang memiliki risiko lebih tinggi terhadap suatu penyakit, termasuk kelompok rentan dan populasi berisiko tinggi (WHO, 2022).

Pencegahan tingkat kedua (pencegahan sekunder) bertujuan untuk menemukan penyakit pada tahap awal sehingga dapat dilakukan penanganan yang cepat dan tepat. Upaya ini diarahkan untuk menghambat progresivitas penyakit, mencegah terjadinya komplikasi, serta mengurangi tingkat keparahan dan kecacatan. Pencegahan sekunder dilakukan melalui deteksi dini, skrining, dan pengobatan segera pada individu yang telah terpapar atau menunjukkan tanda awal penyakit (CDC, 2021; Kementerian Kesehatan RI, 2022).

Pencegahan tingkat ketiga (pencegahan tersier) ditujukan untuk mengurangi dampak lanjutan penyakit, khususnya pada individu yang telah mengalami gangguan fungsi atau kecacatan. Upaya ini mencakup rehabilitasi medis dan sosial, optimalisasi fungsi organ yang terganggu, serta peningkatan kualitas hidup penderita agar dapat kembali berfungsi secara optimal di masyarakat. Pencegahan tersier berperan penting dalam menekan beban penyakit jangka panjang dan meningkatkan keberhasilan pemulihan pasien (WHO, 2023).

2.2 Faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya penyakit Tuberkulosis Paru

Menurut teori epidemiologi yang dikemukakan oleh Gordon, 1949 timbulnya suatu penyakit dipengaruhi oleh interaksi dinamis antara tiga faktor utama, yaitu bibit penyakit (*agent*), penjamu (*host*), dan lingkungan (*environment*). Ketiga komponen ini dikenal sebagai Segitiga Epidemiologi (*Epidemiological Triangle*), yang secara komprehensif menggambarkan hubungan timbal balik

antara penyebab penyakit, karakteristik individu, dan kondisi lingkungan sekitar (Kementerian Kesehatan RI, 2022; WHO, 2024). Hubungan ketiga faktor tersebut secara teoritis dianalogikan seperti sebuah timbangan:

1. Sisi Pertama: *Agent* penyebab penyakit.
2. Sisi Kedua: *Host* atau karakteristik penjamu.
3. Titik Tumpu: *Environment* atau faktor lingkungan yang menyokong keseimbangan keduanya.

Apabila *agent* dan *host* berada dalam kondisi seimbang, maka individu berada dalam keadaan sehat. Sebaliknya, apabila terjadi pergeseran atau perubahan keseimbangan pada salah satu dari ketiga faktor tersebut, maka interaksi akan bergerak ke arah patologis dan menyebabkan seseorang jatuh sakit.

Perubahan keseimbangan ini dapat dipicu oleh beberapa kondisi spesifik:

1. Kerentanan Penjamu (*Host Susceptibility*): Penurunan daya tahan tubuh penjamu, misalnya akibat status gizi buruk (malnutrisi), keberadaan penyakit komorbid (seperti HIV/AIDS dan diabetes melitus), atau gangguan sistem imun lainnya akan meningkatkan kerentanan terhadap infeksi. Kondisi ini membuat bobot pengaruh *agent* menjadi lebih dominan di dalam tubuh.
2. Kapasitas Agen (*Agent Virulence*): Apabila jumlah paparan droplet bakteri meningkat atau tingkat virulensi (daya rusak) *Mycobacterium tuberculosis* lebih tinggi, sementara kondisi pertahanan *host* tetap, maka risiko perkembangan infeksi laten menjadi TB aktif akan meningkat secara signifikan.
3. Kondisi Lingkungan (*Environmental Support*): Faktor lingkungan memegang peranan krusial dalam memfasilitasi transmisi bakteri. Perubahan kondisi lingkungan fisik yang mendukung keberlangsungan hidup dan penularan *agen* seperti ventilasi udara yang buruk, kurangnya paparan sinar ultraviolet alami, tingkat kelembapan yang tinggi, serta kepadatan hunian yang ekstrem (*overcrowding*) akan melipatgandakan risiko masyarakat terpapar droplet infeksius.

Pemahaman yang mendalam mengenai interaksi trias epidemiologi (*agent, host, dan environment*) ini menjadi landasan fundamental dalam merumuskan strategi pencegahan, intervensi dini, dan pengendalian penyakit tuberkulosis di tingkat komunitas (Kementerian Kesehatan RI, 2022; WHO, 2024).

2.2.1 Tinjauan umum tentang *Agent*

Mycobacterium tuberculosis merupakan bakteri yang termasuk dalam famili *Mycobacteriaceae* dan ordo *Actinomycetales*. Bakteri ini merupakan penyebab utama tuberkulosis pada manusia dan bertanggung jawab terhadap berbagai manifestasi penyakit yang bersifat kronis serta berpotensi menimbulkan dampak kesehatan masyarakat yang luas. Tuberkulosis masih menjadi salah satu penyakit infeksi menular dengan beban penyakit tertinggi di dunia (*World Health Organization*, 2023).

Di luar tubuh manusia, *Mycobacterium tuberculosis* dapat bertahan hidup dengan baik pada lingkungan yang lembap dan gelap, namun tidak tahan terhadap paparan sinar matahari langsung. Bakteri ini berbentuk batang dengan panjang sekitar 1–4 mikron dan lebar 0,2–0,8 mikron. Dalam proses penularan, bakteri TB berada dalam bentuk *droplet nuclei* yang dapat melayang di udara dan terhirup oleh individu lain. Kuman TB mampu bertahan hidup cukup lama di tempat yang sejuk, lembap, dan tidak terkena cahaya matahari, bahkan hingga berbulan-bulan atau bertahun-tahun, tergantung kondisi lingkungan (*Centers for Disease Control and Prevention*, 2022).

Sebaliknya, *Mycobacterium tuberculosis* sangat sensitif terhadap sinar ultraviolet dan panas. Paparan sinar matahari langsung dapat membunuh kuman TB dalam waktu sekitar dua jam. Selain itu, kuman TB dapat diinaktivasi oleh berbagai bahan kimia desinfektan, seperti alkohol 70–80%, fenol, serta larutan yodium dalam rentang waktu tertentu. Kondisi ini menunjukkan bahwa faktor lingkungan fisik, khususnya pencahayaan dan

kebersihan, memiliki peran penting dalam pencegahan penularan tuberkulosis.

Seperti bakteri patogen lainnya, *Mycobacterium tuberculosis* tumbuh optimal pada lingkungan dengan kelembapan tinggi. Air merupakan komponen utama sel bakteri dan berperan penting dalam proses metabolisme serta kelangsungan hidupnya. Kelembapan udara yang tinggi dapat menjadi media yang mendukung keberlangsungan hidup bakteri patogen, termasuk kuman TB. Selain itu, *Mycobacterium tuberculosis* termasuk bakteri mesofilik yang tumbuh baik pada rentang suhu 25–40°C, dengan suhu optimal pertumbuhan berkisar antara 31–37°C (*World Health Organization, 2023*).

Dalam konsep epidemiologi, agent merupakan penyebab esensial terjadinya penyakit, namun keberadaan agent saja tidak cukup untuk menimbulkan penyakit tanpa adanya interaksi dengan faktor host dan lingkungan. Agen penyebab tuberkulosis paru, yaitu *Mycobacterium tuberculosis*, memiliki karakteristik biologis yang memengaruhi proses penularan dan manifestasi penyakit, antara lain patogenisitas, infektivitas, dan virulensi.

Patogenisitas adalah kemampuan mikroorganisme untuk menimbulkan penyakit pada host. Patogenisitas kuman TB relatif rendah, karena tidak semua individu yang terpapar akan langsung jatuh sakit. Sebagian besar individu yang terinfeksi justru berada dalam kondisi infeksi laten tanpa gejala klinis. Infektivitas merujuk pada kemampuan mikroba untuk masuk ke dalam tubuh host dan berkembang biak. Infektivitas kuman TB tergolong sedang, mengingat penularannya memerlukan kontak erat dan paparan droplet dalam jangka waktu tertentu. Sementara itu, virulensi menggambarkan tingkat keganasan mikroorganisme terhadap host. Meskipun patogenisitasnya relatif rendah, *Mycobacterium tuberculosis* memiliki virulensi yang tinggi karena mampu menyebabkan kerusakan jaringan paru yang berat dan berpotensi fatal apabila tidak ditangani dengan

baik (*World Health Organization, 2023; Centers for Disease Control and Prevention, 2022*)

2.2.2 Tinjauan umum tentang *Host*

Manusia merupakan reservoir utama dalam penularan kuman *Mycobacterium tuberculosis*. Penularan tuberkulosis terjadi melalui udara dalam bentuk *droplet nuclei* yang dikeluarkan oleh penderita TB aktif saat batuk, bersin, atau berbicara. Droplet tersebut dapat terhirup oleh individu lain dan mencapai saluran pernapasan bagian bawah, sehingga berpotensi menimbulkan infeksi (*World Health Organization, 2023*).

Tingkat penularan tuberkulosis di lingkungan rumah tangga penderita tergolong tinggi. Seorang penderita TB aktif rata-rata dapat menularkan penyakit kepada sekitar 2–3 orang yang tinggal serumah, terutama apabila kontak berlangsung lama dan berulang. Risiko penularan akan meningkat pada rumah tangga dengan lebih dari satu penderita TB, di mana risiko terjadinya penularan dilaporkan dapat mencapai empat kali lebih tinggi dibandingkan dengan rumah tangga dengan hanya satu penderita TB (*Centers for Disease Control and Prevention, 2022*).

Kondisi lingkungan rumah sangat berperan dalam proses penularan TB. Ventilasi rumah yang baik memungkinkan sirkulasi udara sehingga droplet yang mengandung kuman TB dapat terbawa keluar dan menurunkan konsentrasi kuman di dalam ruangan. Penggunaan ventilasi yang memadai, pencahayaan alami, serta alat pembersih udara yang mampu menyaring partikel udara berpotensi menurunkan risiko penularan TB di dalam rumah (*World Health Organization, 2023*).

Dalam konsep epidemiologi, host (penjamu) adalah manusia atau makhluk hidup lain yang menyediakan tempat bagi agent infeksius untuk hidup dan berkembang. Meskipun *Mycobacterium tuberculosis* juga dapat menginfeksi beberapa jenis hewan, host utama dalam penularan TB paru adalah manusia. Oleh karena itu, penelitian ini memfokuskan pada host sebagai manusia.

Karakteristik host yang memengaruhi penularan dan kejadian TB meliputi kondisi gizi dan daya tahan tubuh, status imunitas, kebersihan pribadi, keberadaan gejala klinis, serta kepatuhan terhadap pengobatan. Selain itu, faktor demografis dan sosial ekonomi juga berperan penting. Beberapa faktor host yang terbukti berhubungan dengan risiko TB antara lain umur, jenis kelamin, tingkat pendidikan, pekerjaan, pendapatan, status gizi, serta adanya penyakit komorbid seperti diabetes melitus dan infeksi HIV/AIDS. Individu dengan gangguan sistem imun, khususnya penderita HIV/AIDS dan diabetes melitus, memiliki risiko lebih tinggi untuk berkembang dari infeksi laten menjadi TB aktif (*World Health Organization, 2023*; Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2023).

2.2.3 Faktor Risiko Penjamu (Host) dan Determinan Sosial

1. Umur

Umur merupakan salah satu faktor *host* yang berperan penting dalam kejadian penyakit tuberkulosis (TB) paru. Secara epidemiologis, risiko terjadinya TB menunjukkan pola yang menyerupai kurva U terbalik, di mana risiko relatif tinggi pada usia tertentu dan dipengaruhi oleh dinamika daya tahan tubuh serta tingkat paparan terhadap sumber infeksi. Pada usia anak, risiko TB berkaitan dengan sistem imun yang belum matang, sedangkan pada usia dewasa dan lanjut usia risiko meningkat kembali seiring dengan penurunan imunitas dan akumulasi paparan faktor risiko lingkungan maupun perilaku (Pai et al., 2024)

Data nasional dan global menunjukkan bahwa sebagian besar kasus TB terjadi pada kelompok usia produktif. Kelompok usia ini memiliki tingkat mobilitas dan interaksi sosial yang tinggi, sehingga meningkatkan peluang terpapar *Mycobacterium tuberculosis*. Selain itu, tuntutan pekerjaan dan aktivitas sosial pada usia produktif sering kali berkontribusi terhadap keterlambatan deteksi dini dan pengobatan TB (WHO, 2024).

Di Indonesia, laporan terbaru menunjukkan bahwa proporsi kasus TB tertinggi masih ditemukan pada kelompok usia produktif, yaitu rentang usia 15–59 tahun, yang merupakan kelompok usia aktif secara sosial dan ekonomi. Kondisi ini menjadikan TB tidak hanya sebagai masalah kesehatan, tetapi juga sebagai masalah sosial dan ekonomi karena berdampak pada produktivitas dan kualitas hidup masyarakat (Kementerian Kesehatan RI, 2022). Definisi usia produktif tersebut sejalan dengan ketentuan nasional yang menetapkan usia produktif sebagai kelompok usia 15–59 tahun (Kementerian Kesehatan RI, 2022).

Dengan demikian, umur merupakan faktor penting dalam penentuan risiko TB, khususnya pada kelompok usia produktif yang memerlukan perhatian lebih dalam upaya pencegahan, skrining dini, dan penemuan kasus aktif berbasis masyarakat (Kementerian Kesehatan RI, 2022; WHO, 2024).

2. Jenis Kelamin

Jenis kelamin merupakan salah satu faktor *host* yang berperan dalam perbedaan risiko kejadian tuberkulosis (TB). Secara epidemiologis, perbedaan risiko TB antara laki-laki dan perempuan dipengaruhi oleh kombinasi faktor biologis, perilaku, dan sosial. Laki-laki cenderung memiliki risiko lebih tinggi untuk terinfeksi TB dibandingkan perempuan, yang berkaitan dengan tingginya paparan di luar rumah, kebiasaan merokok, serta keterlambatan dalam mencari pelayanan kesehatan (Horton et al., 2021).

Data nasional dan global menunjukkan bahwa proporsi penderita TB lebih tinggi pada laki-laki dibandingkan perempuan. Laporan terbaru menunjukkan bahwa secara global, sekitar dua pertiga kasus TB terjadi pada laki-laki. Pola yang sama juga ditemukan di Indonesia, di mana laki-laki masih mendominasi jumlah kasus TB yang dilaporkan

(Kementerian Kesehatan RI, 2022; WHO, 2024). Kondisi ini menjadikan jenis kelamin sebagai faktor penting yang perlu diperhatikan dalam perencanaan program pencegahan dan deteksi dini TB, khususnya pada kelompok laki-laki usia produktif (Kementerian Kesehatan RI, 2022; WHO, 2024).

3. Pendidikan

Pendidikan merupakan determinan sosial yang berpengaruh terhadap kemampuan individu dalam memperoleh, memahami, dan memanfaatkan informasi kesehatan, termasuk informasi terkait pencegahan dan pengendalian tuberkulosis. Tingkat pendidikan yang lebih tinggi umumnya berkaitan dengan tingkat literasi kesehatan yang lebih baik, sehingga individu memiliki kemampuan yang lebih besar untuk mengenali gejala awal penyakit, memahami faktor risiko, serta mengakses pelayanan kesehatan secara tepat waktu (Pedrazzoli et al., 2021).

Berbagai penelitian dan laporan kesehatan menunjukkan bahwa pendidikan rendah berkaitan dengan rendahnya pengetahuan tentang TB, perilaku pencegahan yang kurang optimal, serta keterlambatan dalam pencarian pengobatan. Kondisi ini dapat berdampak pada peningkatan risiko penularan dan memburuknya luaran penyakit. Meskipun pendidikan tidak selalu berhubungan langsung dengan kejadian TB secara statistik, pendidikan berperan sebagai faktor tidak langsung yang memengaruhi perilaku kesehatan dan kepatuhan terhadap upaya pencegahan maupun pengobatan TB (Pedrazzoli et al., 2021; WHO, 2022).

Dalam konteks pengendalian TB, pendidikan berperan penting dalam membentuk perilaku hidup bersih dan sehat, meningkatkan kesadaran terhadap faktor risiko, serta mendukung keberhasilan intervensi promotif dan preventif berbasis masyarakat. Oleh karena itu, upaya edukasi kesehatan yang disesuaikan dengan tingkat pendidikan

masyarakat menjadi strategi kunci dalam pencegahan dan pengendalian TB (Kementerian Kesehatan RI, 2022).

4. Pekerjaan

Pekerjaan merupakan faktor sosial ekonomi yang berkaitan erat dengan tingkat pendapatan, lingkungan kerja, serta tingkat paparan terhadap faktor risiko penyakit. Jenis pekerjaan tertentu dapat meningkatkan risiko TB, terutama pekerjaan yang menuntut interaksi sosial tinggi, bekerja di ruang tertutup, atau memiliki paparan lingkungan yang kurang sehat (WHO, 2022).

Individu yang tidak bekerja atau bekerja pada sektor informal sering kali memiliki pendapatan yang tidak stabil, sehingga berdampak pada keterbatasan akses terhadap pelayanan kesehatan dan kondisi hidup yang kurang memadai. Sebaliknya, pekerjaan dengan mobilitas tinggi dan kontak dengan banyak orang juga dapat meningkatkan peluang terpapar TB, khususnya di wilayah dengan beban TB tinggi (Pedrazzoli et al., 2021).

Penelitian dan laporan terkini menunjukkan bahwa hubungan antara pekerjaan dan kejadian TB sering kali bersifat tidak langsung, melalui pengaruhnya terhadap pendapatan, kondisi hunian, dan perilaku kesehatan. WHO (2022) menyatakan bahwa faktor pekerjaan berkontribusi terhadap risiko TB terutama melalui determinan sosial ekonomi dan lingkungan kerja, bukan sebagai faktor tunggal yang berdiri sendiri (WHO, 2022).

Studi berbasis komunitas di Indonesia juga menunjukkan bahwa kelompok dengan pekerjaan tidak tetap atau pengangguran memiliki risiko TB yang lebih tinggi dibandingkan kelompok dengan pekerjaan tetap, terutama ketika dikombinasikan dengan kondisi ekonomi rendah dan hunian padat (Kementerian Kesehatan RI, 2022).

Dalam perspektif kesehatan masyarakat, pekerjaan didefinisikan sebagai aktivitas yang dilakukan seseorang untuk memperoleh penghasilan dan mempertahankan kehidupan, yang secara langsung maupun tidak langsung memengaruhi kondisi sosial ekonomi, lingkungan hidup, dan perilaku kesehatan individu. Pekerjaan tidak hanya mencerminkan sumber pendapatan, tetapi juga menentukan tingkat paparan seseorang terhadap faktor risiko kesehatan di lingkungan kerja maupun sosial (WHO, 2022). *World Health Organization* (WHO) memandang pekerjaan sebagai salah satu determinan sosial kesehatan, yaitu kondisi sosial tempat individu hidup dan bekerja yang berperan dalam membentuk risiko penyakit dan status kesehatan (WHO, 2022).

5. Pendapatan

Pendapatan merupakan salah satu indikator utama status sosial ekonomi yang berpengaruh terhadap kondisi kesehatan individu dan keluarga. Dalam konteks tuberkulosis (TB), tingkat pendapatan berperan dalam menentukan kemampuan individu untuk memenuhi kebutuhan dasar, seperti hunian yang layak, asupan gizi yang memadai, serta akses terhadap pelayanan kesehatan (Pedrazzoli et al., 2021).

Individu atau keluarga dengan pendapatan rendah cenderung memiliki keterbatasan dalam memanfaatkan pelayanan kesehatan, baik untuk pemeriksaan dini maupun pengobatan, yang pada akhirnya dapat menyebabkan keterlambatan diagnosis dan meningkatkan risiko penularan TB. Selain itu, keterbatasan ekonomi juga berhubungan dengan kualitas gizi yang rendah, yang berdampak pada penurunan daya tahan tubuh dan peningkatan kerentanan terhadap infeksi *Mycobacterium tuberculosis* (Sinha et al., 2021).

Berbagai laporan dan penelitian terbaru menunjukkan bahwa status sosial ekonomi rendah merupakan determinan penting kejadian TB. WHO (2024) menegaskan bahwa kemiskinan berkontribusi terhadap peningkatan risiko TB melalui mekanisme yang kompleks, termasuk kepadatan hunian, kondisi lingkungan yang kurang sehat, serta keterbatasan akses layanan kesehatan (WHO, 2024).

Studi di Indonesia juga menunjukkan bahwa individu dengan pendapatan rendah memiliki risiko lebih tinggi mengalami TB dibandingkan kelompok dengan pendapatan lebih tinggi, meskipun pengaruhnya sering dimediasi oleh faktor lingkungan dan status gizi (Kementerian Kesehatan RI, 2022).

Dengan demikian, pendapatan tidak hanya berperan secara langsung terhadap akses layanan kesehatan, tetapi juga secara tidak langsung memengaruhi kejadian TB melalui kondisi gizi dan lingkungan tempat tinggal (Kementerian Kesehatan RI, 2022; WHO, 2024).

6. Status Gizi

Status gizi merupakan salah satu faktor *host* yang berperan penting dalam kejadian tuberkulosis (TB) paru. Kejadian TB tidak hanya ditentukan oleh keberadaan *Mycobacterium tuberculosis*, tetapi juga oleh kemampuan sistem imun tubuh dalam mengendalikan infeksi tersebut. Kuman TB dapat berada dalam kondisi laten selama bertahun-tahun, dan akan berkembang menjadi penyakit aktif ketika daya tahan tubuh menurun. Oleh karena itu, status gizi yang baik berperan sebagai faktor protektif dalam mencegah aktivasi infeksi TB, baik pada anak, dewasa, laki-laki, maupun perempuan (Sinha et al., 2021).

Status gizi buruk diketahui berkaitan erat dengan penurunan fungsi sistem imun, khususnya imunitas seluler yang berperan dalam pertahanan terhadap infeksi TB. Kekurangan energi dan protein, serta

defisiensi mikronutrien seperti zat besi dan vitamin tertentu, dapat meningkatkan kerentanan seseorang terhadap infeksi *Mycobacterium tuberculosis* dan memperberat perjalanan penyakit. Berbagai studi dan laporan global menunjukkan bahwa individu dengan status gizi kurang memiliki risiko lebih tinggi untuk mengalami TB aktif dibandingkan individu dengan status gizi normal (Sinha et al., 2021; WHO, 2024).

Penilaian status gizi pada orang dewasa umumnya dilakukan menggunakan Indeks Massa Tubuh (IMT), yaitu perbandingan antara berat badan dan tinggi badan. IMT merupakan indikator yang sederhana dan banyak digunakan untuk memantau status gizi, khususnya yang berkaitan dengan kekurangan maupun kelebihan berat badan. Mempertahankan IMT dalam kategori normal berperan penting dalam menjaga daya tahan tubuh dan menurunkan risiko berbagai penyakit infeksi, termasuk TB. Penggunaan IMT berlaku untuk orang dewasa berusia ≥ 18 tahun dan tidak dianjurkan pada bayi, anak-anak, remaja, ibu hamil, atlet, serta individu dengan kondisi medis tertentu seperti edema, asites, atau hepatomegali, karena dapat menyebabkan interpretasi yang tidak akurat (Kementerian Kesehatan RI, 2022).

Batas ambang IMT mengacu pada ketentuan *World Health Organization* (WHO), yang menetapkan bahwa pada populasi Asia, $IMT \geq 25 \text{ kg/m}^2$ dikategorikan sebagai obesitas. Klasifikasi IMT yang lebih rinci disajikan pada Tabel 2. Status gizi yang berada di bawah normal ($IMT < 18,5 \text{ kg/m}^2$) merupakan indikator penting kerentanan terhadap TB dan sering digunakan sebagai variabel risiko dalam penelitian epidemiologi TB (WHO, 2022; Kementerian Kesehatan)

Adapun rumus perhitungan IMT adalah sebagai berikut

$$IMT = \frac{\text{Berat badan (kg)}}{\text{Tinggi badan(m)}^2}$$

Batas ambang IMT ditentukan dengan merujuk ketentuan WHO, WHO menetapkan angka cut Off ≥ 25 untuk kategori obesitas pada orang Asia dewasa, lebih lengkapnya dapat dilihat dalam tabel 3.

Tabel 3. Kategori Ambang batas IMT untuk Indonesia (WHO, 2020)

No	Kategori	IMT
1.	Kekurangan berat badan	< 18,5
2.	Berat Badan Normal	18,5-22,9
3.	Kelebihan berat badan (Overweight)	> 23
4.	Obesitas I	25-29,9
5.	Obesitas II	

7. Faktor Komorbid

Pada orang dengan HIV/AIDS (ODHA), sistem kekebalan tubuh mengalami penurunan sehingga lebih mudah terserang berbagai penyakit infeksi oportunistik, salah satunya adalah tuberkulosis (TB). Infeksi TB sering terjadi pada ODHA dan menjadi penyebab utama kesakitan serta kematian pada kelompok ini. Individu dengan HIV memiliki risiko sekitar 16–27 kali lebih tinggi untuk menderita TB aktif dibandingkan dengan individu yang tidak terinfeksi HIV, terutama pada kondisi tanpa terapi antiretroviral yang adekuat (*World Health Organization, 2024*).

Tuberkulosis juga merupakan penyebab utama kematian pada ODHA. Secara global, diperkirakan sekitar sepertiga kematian pada ODHA berkaitan dengan TB, menjadikan TB sebagai penyebab kematian infeksius terbesar pada populasi HIV. Kondisi ini menunjukkan adanya hubungan yang sangat kuat antara HIV dan TB, di mana HIV meningkatkan risiko reaktivasi infeksi TB laten menjadi TB aktif, sementara TB mempercepat progresivitas penyakit HIV (*UNAIDS, 2023; WHO, 2024*).

Di Indonesia, TB masih menjadi salah satu penyebab kematian tertinggi pada ODHA. Pemerintah menegaskan pentingnya integrasi layanan TB dan HIV, termasuk skrining TB rutin pada ODHA dan tes HIV pada pasien TB, sebagai strategi utama untuk menurunkan angka kesakitan dan kematian akibat koinfeksi TB-HIV (Kementerian Kesehatan RI, 2023).

a. Diabetes Melitus

Diabetes melitus (DM) merupakan penyakit metabolik kronis yang ditandai dengan hiperglikemia persisten akibat gangguan sekresi insulin, kerja insulin, atau keduanya. Kondisi hiperglikemia kronis menyebabkan gangguan metabolisme karbohidrat, lemak, dan protein, serta berdampak pada penurunan fungsi sistem imun, khususnya imunitas seluler yang berperan penting dalam pertahanan terhadap infeksi *Mycobacterium tuberculosis* (Martinez and Kornfeld, 2014).

Berbagai penelitian dan laporan global menunjukkan bahwa penderita diabetes melitus memiliki risiko sekitar 2–3 kali lebih tinggi untuk mengalami TB aktif dibandingkan dengan individu tanpa DM. Selain meningkatkan risiko kejadian TB, DM juga dapat memperberat perjalanan penyakit, meningkatkan risiko kegagalan pengobatan, serta memperpanjang waktu konversi dahak. Risiko TB pada penderita DM lebih sering ditemukan pada kelompok usia dewasa dan lanjut usia, seiring dengan meningkatnya prevalensi DM pada kelompok usia tersebut (Kementerian Kesehatan RI, 2022; WHO, 2024).

Dengan meningkatnya prevalensi diabetes melitus secara global dan nasional, komorbiditas TB-DM menjadi tantangan penting dalam pengendalian TB, sehingga memerlukan pendekatan skrining dan penatalaksanaan terpadu (Kementerian Kesehatan RI, 2022; WHO, 2024).

b. HIV/AIDS

Human Immunodeficiency Virus (HIV) merupakan virus yang menyerang sistem kekebalan tubuh manusia, khususnya sel limfosit CD4, sehingga menyebabkan penurunan daya tahan tubuh secara progresif. Acquired Immunodeficiency Syndrome (AIDS) merupakan stadium lanjut infeksi HIV, yang ditandai dengan kerentanan tinggi terhadap infeksi oportunistik, termasuk tuberkulosis (UNAIDS, 2023).

HIV merupakan salah satu faktor risiko terkuat terjadinya TB. Individu yang terinfeksi HIV memiliki risiko hingga 20 kali lebih tinggi untuk mengalami TB aktif dibandingkan dengan individu tanpa HIV. Selain itu, TB merupakan penyebab utama kematian pada orang dengan HIV, terutama di negara dengan beban TB tinggi. Penurunan imunitas akibat HIV memungkinkan infeksi TB laten berkembang menjadi penyakit aktif dalam waktu yang lebih singkat (WHO, 2024).

Oleh karena itu, integrasi layanan TB dan HIV menjadi salah satu strategi utama dalam pengendalian TB, termasuk melalui skrining TB pada penderita HIV dan skrining HIV pada pasien TB, guna menurunkan morbiditas dan mortalitas akibat kedua penyakit tersebut (Kementerian Kesehatan RI, 2023; WHO, 2024).

2.2.4 Faktor Risiko Lingkungan

Lingkungan adalah segala sesuatu yang ada di luar diri penjamu (*host*), baik berupa benda mati maupun benda hidup, seperti suasana yang terbentuk akibat interaksi semua elemen, termasuk *host* yang lain. Lingkungan terdiri dari lingkungan fisik dan nonfisik. Lingkungan fisik terdiri dari keadaan geografis (dataran tinggi atau rendah, persawahan, dan lain-lain), kelembapan udara, temperatur atau suhu, serta lingkungan tempat tinggal. Adapun lingkungan nonfisik meliputi aspek sosial (pendidikan, pekerjaan), budaya (adat, kebiasaan turun-temurun), ekonomi (kebijakan mikro dan

lokal), dan politik (suksesi kepemimpinan yang memengaruhi kebijakan pencegahan suatu penyakit) (Kementerian Kesehatan RI, 2022).

Menurut APHA (*American Public Health Association*), lingkungan rumah yang sehat harus memenuhi persyaratan sebagai berikut (*American Public Health Association* [APHA], 2022):

1. Memenuhi Kebutuhan Fisiologis

- a. Suhu dan Kelembapan Ruang: Dalam pembuatan rumah, harus diusahakan agar konstruksinya sedemikian rupa sehingga suhu ruangan tidak berubah banyak dan agar kelembapan udara dapat dijaga agar tidak terlalu tinggi atau terlalu rendah. Untuk mencapai hal ini, harus diusahakan agar perbedaan suhu antara dinding, lantai, atap, dan permukaan jendela tidak terlalu mencolok (APHA, 2022).
- b. Pencahayaan Alami: Rumah harus cukup mendapatkan pencahayaan baik siang maupun malam. Suatu ruangan mendapat penerangan pagi dan siang hari yang cukup jika luas ventilasi minimal 10% dari luas lantai (APHA, 2022; Kementerian Kesehatan RI, 2022).
- c. Kualitas udara: Ruangan harus segar dan tidak berbau. Untuk memenuhi kondisi ini, diperlukan ventilasi yang cukup untuk mendukung proses pergantian sirkulasi udara secara optimal (APHA, 2022).
- d. Isolasi Suara: Rumah harus mempunyai isolasi suara yang cukup sehingga suasana di dalam rumah tetap tenang dan tidak terganggu oleh suara-suara yang berasal dari dalam maupun dari luar ruangan (APHA, 2022).
- e. Variasi Ruang: Harus ada variasi fungsi ruangan, misalnya ruangan khusus untuk anak-anak bermain, ruang makan, dan ruang tidur (APHA, 2022).
- f. Pengaturan Kamar Tidur: Jumlah kamar tidur dan pengaturannya disesuaikan dengan umur dan jenis kelamin penghuninya. Ukuran ruang tidur anak yang berumur kurang dari lima tahun minimal 4,5

m³, artinya dalam satu ruangan anak yang berumur lima tahun ke bawah diberi kebebasan menggunakan volume ruangan 4,5 m³ (1,5 x 1 x 3 m) dan di atas usia lima tahun menggunakan ruangan minimal 9 m³ (3 x 1 x 3 m) (APHA, 2022).

2. Perlindungan terhadap Penularan Penyakit

Faktor lingkungan memegang peranan yang penting dalam penularan penyakit tuberkulosis, terutama pada pemenuhan aspek fisiologis rumah. Sinar ultraviolet yang terdapat pada sinar matahari langsung dapat membunuh kuman tuberkulosis paru. Selain itu, sinar matahari juga dapat mengurangi kelembapan yang berlebihan sehingga mampu mencegah berkembang biaknya kuman tuberkulosis paru di dalam rumah. Oleh karena itu, suatu rumah sangat perlu memiliki akses pencahayaan langsung yang cukup dari sinar matahari (APHA, 2022; Kementerian Kesehatan RI, 2022).

2.2.5 Teori Determinan Kesehatan dan Hubungannya dengan TB

Menurut model determinan kesehatan yang dikemukakan oleh H.L. Blum, derajat kesehatan individu dan masyarakat dipengaruhi oleh empat faktor utama, yaitu faktor genetik (keturunan), lingkungan, perilaku (*lifestyle*), dan pelayanan kesehatan. Keempat faktor tersebut tidak berdiri sendiri, melainkan saling berinteraksi dan memengaruhi satu sama lain dalam menentukan status kesehatan seseorang. Faktor lingkungan dapat memengaruhi perilaku individu, perilaku dapat memengaruhi pemanfaatan pelayanan kesehatan, dan pelayanan kesehatan pada gilirannya dapat memengaruhi perilaku serta kondisi kesehatan masyarakat secara keseluruhan (World Health Organization [WHO], 2022). Model ini banyak digunakan dalam kajian kesehatan masyarakat karena mampu menjelaskan bahwa masalah kesehatan, termasuk tuberkulosis (TB), tidak hanya disebabkan oleh faktor biologis semata, tetapi juga oleh faktor sosial, lingkungan, dan sistem pelayanan kesehatan (WHO, 2022).

a. Faktor Genetik

Faktor genetik merupakan karakteristik biologis yang diturunkan dari orang tua kepada keturunannya dan telah ada sejak lahir. Faktor ini mencakup ciri-ciri biologis tertentu serta predisposisi terhadap beberapa penyakit kronis. Dalam konteks kesehatan masyarakat, faktor genetik dipandang sebagai faktor dasar (*non-modifiable factors*) yang berkontribusi terhadap tingkat kerentanan individu terhadap penyakit tertentu (WHO, 2021).

Namun, kontribusi faktor genetik terhadap status kesehatan secara umum relatif lebih kecil dibandingkan faktor lingkungan, perilaku, dan pelayanan kesehatan. WHO (2021) menyatakan bahwa faktor genetik biasanya berperan sebagai faktor pendukung yang memengaruhi respons individu terhadap paparan lingkungan dan penyakit, termasuk penyakit infeksi seperti TB. Pengaruh faktor genetik terhadap kejadian TB umumnya bersifat tidak langsung, sulit dideteksi, serta sering kali dimediasi oleh kondisi lingkungan riil dan status imun spesifik individu (WHO, 2021).

b. Faktor Perilaku (*Lifestyle*)

Faktor perilaku merupakan determinan penting dalam kesehatan masyarakat karena berkaitan langsung dengan kebiasaan dan tindakan individu maupun masyarakat yang dapat meningkatkan atau menurunkan risiko penyakit. Perilaku kesehatan mencakup respons individu terhadap lingkungan dan informasi kesehatan, termasuk kebiasaan dalam menerapkan hidup bersih dan sehat (WHO, 2023).

Dalam konteks tuberkulosis, perilaku yang tidak sehat—seperti tidak membuka jendela rumah, pengelolaan ventilasi yang buruk, kebiasaan meludah sembarangan (*indiscriminate spitting*), serta perilaku merokok—dapat meningkatkan risiko penularan TB secara signifikan. Kurangnya sirkulasi udara dalam rumah meningkatkan konsentrasi

droplet nuclei (percikan dahak infeksius) dan kelembapan udara, yang merupakan kondisi ideal bagi keberlangsungan hidup bakteri *Mycobacterium tuberculosis* (WHO, 2023).

WHO (2023) menegaskan bahwa perubahan perilaku merupakan salah satu strategi kunci dalam pengendalian TB, terutama melalui edukasi kesehatan dan promosi perilaku pencegahan di tingkat individu, keluarga, dan masyarakat. Perbaikan perilaku kesehatan terbukti berkontribusi signifikan dalam menurunkan laju transmisi penyakit menular, termasuk penularan infeksi TB (WHO, 2023).

c. Faktor Pelayanan Kesehatan dan Aksesibilitas

Pelayanan kesehatan merupakan determinan penting yang memengaruhi status kesehatan masyarakat melalui ketersediaan, keterjangkauan, kualitas, dan pemanfaatan layanan kesehatan tersebut. Keberadaan fasilitas kesehatan, ketersediaan tenaga kesehatan, serta program pelayanan yang sesuai dengan kebutuhan masyarakat berperan krusial dalam pencegahan, deteksi dini, pengobatan, dan pengendalian penyakit TB (WHO, 2022).

Akses terhadap pelayanan kesehatan sangat dipengaruhi oleh jarak tempat tinggal ke fasilitas kesehatan, ketersediaan transportasi, biaya yang harus dikeluarkan, serta waktu tempuh perjalanan. Jarak yang jauh ke fasilitas kesehatan dapat menyebabkan keterlambatan diagnosis (*diagnostic delay*), ketidakteraturan pengobatan, dan rendahnya angka keberhasilan pengendalian TB. Penelitian terkini menunjukkan bahwa individu yang tinggal jauh dari fasilitas kesehatan memiliki risiko lebih tinggi mengalami keterlambatan diagnosis TB dan kegagalan pengobatan (P. Vergeer et al., 2022).

Studi di beberapa negara dengan beban TB tinggi menunjukkan bahwa akses geografis yang terbatas merupakan hambatan utama dalam

pengendalian TB, terutama di wilayah pedesaan dan daerah dengan infrastruktur kesehatan yang terbatas. Selain itu, implementasi langkah-langkah pengendalian infeksi TB yang belum optimal di fasilitas kesehatan juga dapat berkontribusi terhadap rendahnya penemuan kasus dan berlanjutnya penularan TB di masyarakat. Oleh karena itu, penguatan sistem pelayanan kesehatan dan peningkatan akses layanan menjadi komponen penting dalam strategi nasional dan global pengendalian TB (Vergeer et al., 2022; WHO, 2022).

Jarak tempat tinggal penderita yang jauh dari fasilitas pelayanan kesehatan sering menjadi kendala utama dalam keberlangsungan dan keteraturan pengobatan tuberkulosis (TB), termasuk kemampuan individu untuk mengakses layanan kesehatan secara rutin. Jarak yang jauh berhubungan dengan meningkatnya biaya transportasi, penambahan waktu tempuh, serta keterbatasan sarana transportasi, yang pada akhirnya memengaruhi kepatuhan berobat dan memicu keterlambatan pencarian pelayanan kesehatan (*health-seeking behavior*). Kondisi tersebut berpotensi melipatgandakan risiko penularan TB di lingkungan sekitar serta meningkatkan angka kegagalan pengobatan (WHO, 2023). Menurut teori perilaku kesehatan yang dikemukakan oleh Lawrence Green, aksesibilitas pelayanan kesehatan merupakan salah satu faktor pemungkin (*enabling factors*) yang memengaruhi perilaku pencarian pengobatan individu. Faktor pemungkin ini mencakup keterjangkauan fasilitas pelayanan kesehatan, jarak fisik dari tempat tinggal ke fasilitas kesehatan, ketersediaan moda transportasi, serta sumber daya ekonomi seperti biaya operasional yang harus dikeluarkan oleh individu.

Hasil berbagai penelitian menunjukkan adanya hubungan yang bermakna antara jarak ke fasilitas pelayanan kesehatan dengan kejadian TB. Semakin jauh jarak tempat tinggal ke fasilitas kesehatan, semakin tinggi risiko seseorang mengalami keterlambatan diagnosis dan inisiasi pengobatan TB. Jarak fasilitas kesehatan juga berperan penting dalam

keberhasilan pengendalian TB dan luaran hasil pengobatan. Sebagai contoh, studi di Tanzania menunjukkan bahwa keterbatasan akses geografis ke fasilitas kesehatan berkontribusi terhadap rendahnya deteksi kasus TB serta meningkatnya risiko penularan sekunder di masyarakat (Vergeer et al., 2022).

Selain itu, implementasi langkah-langkah pengendalian infeksi TB yang tidak memadai di fasilitas pelayanan kesehatan juga dapat berkontribusi terhadap rendahnya angka penemuan kasus TB. Penelitian menunjukkan bahwa lemahnya sistem pengendalian infeksi di fasilitas kesehatan, termasuk sistem ventilasi yang tidak memadai dan kepadatan pasien yang ekstrem, berhubungan dengan rendahnya pelaporan dan penemuan kasus baru TB (Maka et al., 2021). Oleh karena itu, peningkatan aksesibilitas pelayanan kesehatan dan penguatan sistem pengendalian infeksi di fasilitas kesehatan merupakan komponen yang tidak terpisahkan dalam upaya pengendalian TB secara komprehensif (Maka et al., 2021; WHO, 2023).

d. Faktor Lingkungan Fisik Rumah

Lingkungan merupakan salah satu determinan penting dalam kesehatan masyarakat karena berperan langsung maupun tidak langsung terhadap terjadinya penyakit. Lingkungan mencakup seluruh komponen fisik di luar manusia, seperti udara, air, tanah, serta kondisi hunian tempat tinggal. Dalam konteks tuberkulosis (TB), faktor lingkungan memiliki peran besar karena memengaruhi peluang transmisi *Mycobacterium tuberculosis*, terutama melalui kualitas udara dalam ruang dan kondisi fisik rumah tinggal (Kementerian Kesehatan RI, 2022).

Rumah sebagai tempat tinggal merupakan kebutuhan dasar manusia yang berfungsi untuk melindungi penghuni dari pengaruh iklim dan lingkungan luar. Kondisi rumah yang tidak memenuhi standar kesehatan dapat meningkatkan risiko penularan penyakit menular, termasuk TB.

Rumah dikatakan sehat apabila mampu memenuhi kebutuhan fisik, psikologis, serta persyaratan pencegahan penyakit dan keselamatan penghuninya. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia menekankan bahwa rumah sehat harus memiliki pencahayaan alami dan ventilasi yang cukup, kepadatan hunian yang tidak berlebihan (*non-overcrowded*), sanitasi dasar yang baik, serta perlindungan optimal dari risiko kecelakaan (Kementerian Kesehatan RI, 2022).

2.2.6 Faktor Risiko Lingkungan yang Berpengaruh terhadap Kejadian Tuberkulosis

1. Kepadatan Penghuni Rumah

Kepadatan penghuni rumah merupakan perbandingan antara luas lantai rumah dengan jumlah penghuni. Kepadatan hunian yang tinggi menyebabkan kondisi *overcrowded*, yang dapat meningkatkan risiko penularan penyakit melalui udara (*airborne transmission*). Dalam kondisi rumah yang sempit dan padat, kontak erat antarpenghuni menjadi lebih intens, sehingga apabila salah satu anggota keluarga menderita TB aktif, penularan kepada anggota keluarga lain menjadi lebih cepat terjadi (Zewdie et al., 2022).

Standar kesehatan perumahan di Indonesia menetapkan bahwa luas minimum hunian adalah > per orang, sedangkan kepadatan hunian dinyatakan tidak memenuhi syarat apabila luas lantai per orang < 9 m². Kepadatan hunian yang tidak memenuhi syarat terbukti berkaitan erat dengan peningkatan risiko TB akibat keterbatasan sirkulasi udara dan tingginya konsentrasi droplet infeksius yang terperangkap di dalam rumah (Kementerian Kesehatan RI, 2022; WHO, 2023).

Penelitian epidemiologis terkini menunjukkan bahwa rumah dengan kepadatan penghuni tinggi memiliki risiko penularan TB yang jauh lebih besar dibandingkan dengan rumah yang memiliki kepadatan hunian sesuai standar kesehatan. Hal ini menegaskan bahwa kepadatan hunian

merupakan faktor lingkungan domestik yang paling krusial dalam memfasilitasi proses transmisi bakteri *Mycobacterium tuberculosis* dalam skala rumah tangga (WHO, 2024; Zewdie et al., 2022).

2. Jenis Lantai Rumah

Jenis lantai rumah berpengaruh terhadap tingkat kelembapan dan higienitas lingkungan dalam ruang. Lantai yang tidak kedap air, seperti tanah atau papan yang tidak rapat, cenderung meningkatkan kelembapan ruangan secara konstan serta mempermudah akumulasi debu mikro dan mikroorganisme patogen. Tingginya kadar kelembapan pada jenis lantai ini sangat mendukung kelangsungan hidup dan multiplikasi bakteri, termasuk bakteri *Mycobacterium tuberculosis* (Tadesse et al., 2021).

Lantai rumah yang memenuhi syarat kesehatan harus terbuat dari bahan yang kedap air, permukaannya rata, mudah dibersihkan, dan tidak lembap, seperti semen acian, keramik, atau ubin kayu yang terstandarisasi. Kondisi lantai yang tidak memenuhi standar kesehatan terbukti berkontribusi signifikan terhadap penciptaan lingkungan rumah yang tidak sehat, yang pada gilirannya melipatgandakan risiko infeksi penyakit berbasis lingkungan, khususnya TB paru (Kementerian Kesehatan RI, 2022; Tadesse et al., 2021).

3. Ventilasi Rumah

Ventilasi merupakan faktor sirkulasi lingkungan yang sangat vital dalam pengendalian TB karena berperan langsung dalam proses pertukaran udara, reduksi kelembapan, dan pengenceran (*dilution*) konsentrasi kuman di udara bebas. Sistem ventilasi yang dirancang dengan baik memungkinkan masuknya aliran udara segar secara kontinu dan optimalisasi intensitas cahaya matahari, termasuk spektrum sinar ultraviolet (UV) yang dapat menonaktifkan inti bakteri TB (WHO, 2023).

Ventilasi rumah secara fungsional terbagi menjadi ventilasi alami dan ventilasi buatan. Ventilasi alami memanfaatkan perbedaan tekanan udara melalui jendela, pintu, dan lubang angin, sedangkan ventilasi buatan menggunakan perangkat mekanis seperti kipas angin atau *exhaust fan*. Berdasarkan regulasi kesehatan lingkungan mutakhir, luas ventilasi alami yang memenuhi syarat kesehatan adalah minimal $\geq 10\%$ dari total luas lantai rumah (Kementerian Kesehatan RI, 2022; WHO, 2023).

Rumah dengan sistem ventilasi yang tidak memadai cenderung mengalami penurunan konsentrasi oksigen, peningkatan akumulasi karbon dioksida, serta kenaikan kelembapan udara dalam ruang. Kondisi statis ini menciptakan lingkungan mikro yang sangat kondusif bagi retensi bakteri TB karena droplet infeksius dapat melayang dan bertahan hidup lebih lama di udara. WHO menegaskan bahwa rekayasa perbaikan ventilasi merupakan salah satu bentuk intervensi lingkungan yang paling efektif untuk menekan laju transmisi TB di tingkat komunitas (WHO, 2024; Zewdie et al., 2022)

4. Pencahayaan

Pencahayaan alami yang bersumber dari radiasi sinar matahari merupakan komponen mutlak dalam persyaratan rumah sehat. Cahaya matahari langsung mengandung gelombang sinar ultraviolet (UV) yang memiliki efek bakterisidal kuat, sehingga mampu merusak dinding sel dan menurunkan viabilitas mikroorganisme patogen di dalam ruangan, terutama bakteri *Mycobacterium tuberculosis*. Oleh karena itu, jaminan kecukupan penetrasi cahaya matahari ke dalam rumah berfungsi sebagai benteng pertahanan alami dalam mencegah penularan TB (Kementerian Kesehatan RI, 2022; WHO, 2023).

Pencahayaan alami yang optimal diperoleh melalui bukaan arsitektural bangunan seperti jendela, jalusi, ataupun pemanfaatan material konstruksi tembus cahaya seperti genteng kaca. Standar keselamatan

lingkungan menetapkan bahwa intensitas pencahayaan di dalam ruangan idealnya berada pada rentang 50–300 lux agar efektif mendukung aktivitas visual penghuni tanpa menimbulkan silau. Pencahayaan yang berada di bawah ambang batas minimal tersebut akan menyebabkan ruangan menjadi gelap dan lembap, sebuah ekosistem ideal bagi bakteri TB untuk bertahan hidup (Kementerian Kesehatan RI, 2022).

Berbagai studi dalam lima tahun terakhir menunjukkan bahwa rumah dengan paparan sinar matahari yang minim memiliki risiko penularan TB yang jauh lebih tinggi dibandingkan hunian dengan sistem pencahayaan alami yang memadai. WHO menekankan bahwa peningkatan akses cahaya matahari melalui modifikasi desain bangunan rumah merupakan bagian integral dari strategi intervensi lingkungan jangka panjang dalam program eliminasi TB berbasis keluarga (WHO, 2024; Zewdie et al., 2022).

5. Kelembapan

Kelembapan udara merupakan parameter fisik lingkungan yang merepresentasikan kadar uap air yang terkandung di dalam udara. Meskipun terdapat indikator kelembapan absolut, dalam konteks penilaian kesehatan lingkungan rumah, parameter kelembapan relatif (*relative humidity*) lebih sering diaplikasikan. Kelembapan udara di dalam rumah tinggal yang memenuhi standar baku mutu kesehatan lingkungan wajib berada pada kisaran optimal 40–70% (Kementerian Kesehatan RI, 2022).

Kondisi kelembapan udara yang melebihi batas normal (>70%) akan menciptakan lingkungan mikro yang sangat mendukung pertumbuhan, persistensi, dan viabilitas jangka panjang mikroorganisme patogen, termasuk bakteri TB. Tingginya kadar kelembapan dalam ruangan umumnya dipicu oleh kombinasi faktor ventilasi yang buruk, densitas hunian yang ekstrem, serta minimnya paparan pencahayaan alami

matahari. Lingkungan interior yang lembap seperti ini menyebabkan droplet infeksius tidak dapat mengering dan bertahan melayang di udara dalam durasi yang lebih lama, sehingga meningkatkan probabilitas penularan TB (WHO, 2023; Zewdie et al., 2022).

Sebaliknya, kondisi kelembapan yang terlalu rendah (< 40%) juga memicu dampak negatif bagi kesehatan respirasi penghuninya. Udara yang terlalu kering dapat mendehidrasi dan mengiritasi lapisan mukosa saluran pernapasan, yang secara mekanis menurunkan efektivitas sistem imunitas lokal (*mucociliary clearance*) dalam menghalau partikel asing dan mikroorganisme patogen. Oleh karena itu, manajemen pengendalian kelembapan udara dalam rumah memegang peranan esensial dalam upaya preventif terhadap penyakit infeksi saluran napas (WHO, 2023).

Laporan epidemiologis terkini mengonfirmasi bahwa hunian dengan status kelembapan tinggi memiliki korelasi linier yang signifikan terhadap peningkatan angka kejadian kasus TB paru. Intervensi sederhana dan aplikatif di tingkat rumah tangga, seperti optimalisasi pembukaan jendela secara rutin serta pemangkasan penghalang cahaya matahari, terbukti efektif menurunkan kelembapan ekstrem sekaligus memutus rantai penularan bakteri TB (WHO, 2024; Zewdie et al., 2022).

2.2.7 Rumah Sehat dan Persyaratannya

Rumah sehat merupakan salah satu determinan sosial-lingkungan yang paling fundamental dalam pencegahan dan pengendalian penyakit menular, khususnya tuberkulosis (TB). Bangunan rumah yang dirancang memenuhi parameter kesehatan mampu menciptakan ekosistem fisik, biologis, dan psikologis yang mendukung pencapaian derajat kesehatan penghuninya secara paripurna. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia mendefinisikan rumah sehat sebagai bangunan tempat tinggal yang memenuhi seluruh persyaratan kesehatan lingkungan untuk melindungi

penghuni dari pajanan faktor risiko penyakit serta menstimulasi pembentukan Perilaku Hidup Bersih dan Sehat (PHBS) (Kementerian Kesehatan RI, 2022).

Secara konseptual, arsitektur rumah sehat dituntut untuk mampu mengakomodasi kebutuhan fisiologis, kebutuhan psikologis, serta berfungsi optimal dalam mencegah penularan penyakit infeksi maupun risiko kecelakaan domestik. Kebutuhan fisiologis mencakup pemenuhan sistem pencahayaan yang memadai, laju ventilasi yang konstan untuk pergantian udara, kestabilan suhu dan kelembapan ruang, serta proteksi dari polusi udara dan kebisingan eksternal. Sementara itu, pemenuhan kebutuhan psikologis meliputi jaminan rasa aman, privasi individu, kenyamanan spasial, dan ketersediaan ruang komunal yang sehat untuk mendukung interaksi harmonis antaranggota keluarga (WHO, 2023). Selain aspek struktural tersebut, rumah sehat juga harus didukung oleh pemenuhan sarana sanitasi dasar yang layak, meliputi penyediaan akses air minum yang aman, pengelolaan limbah cair dan padat yang saniter, serta sistem pengendalian vektor penyakit yang komprehensif (Kementerian Kesehatan RI, 2022; WHO, 2024).

2.2.8 Faktor Risiko Fisik Rumah, Kontak, dan Sosio-Budaya

1. Pencahayaan

Pencahayaan alami, khususnya yang berasal dari sinar matahari, berperan penting dalam menciptakan lingkungan rumah yang sehat dan bebas dari agen penyakit. Sinar matahari mengandung radiasi ultraviolet (UV) yang diketahui dapat merusak struktur DNA dan menurunkan viabilitas bakteri *Mycobacterium tuberculosis* secara signifikan. Rumah dengan pencahayaan alami yang kurang cenderung memiliki risiko penularan TB yang lebih tinggi karena menciptakan ruang gelap yang melindungi bakteri dari kerusakan alami (World Health Organization [WHO], 2023). Standardisasi kesehatan lingkungan menyebutkan bahwa

intensitas pencahayaan dalam rumah sebaiknya berada pada kisaran 50–300 lux untuk mendukung kesehatan dan kenyamanan visual penghuninya (Kementerian Kesehatan RI, 2022).

2. Ventilasi

Ventilasi berfungsi krusial untuk menjaga sirkulasi udara bersih, mengurangi konsentrasi *droplet* infeksius di dalam ruangan, serta mengendalikan stabilitas suhu dan kelembapan udara domestik. Ventilasi rumah yang memenuhi syarat kesehatan wajib memiliki luas bukaan permanen minimal 10% dari total luas lantai ruangan guna menjamin terjadinya pertukaran udara alami yang optimal. Desain ventilasi yang tidak memadai dapat menyebabkan stagnasi udara, peningkatan konsentrasi karbon dioksida (CO₂), dan akumulasi kelembapan tinggi yang memperpanjang masa hidup kuman TB di dalam rumah (WHO, 2023; Zewdie et al., 2022).

3. Jendela

Jendela memiliki fungsi ganda yang strategis, yaitu sebagai sarana pertukaran udara dinamis sekaligus jalan masuk utama bagi cahaya matahari alami ke dalam ruang interior. Keberadaan jendela secara fisik tidak akan memberikan dampak protektif apabila jarang dibuka oleh penghuninya atau jika akses cahayanya terhalang oleh bangunan lain di sekitarnya. Oleh karena itu, perilaku pemanfaatan dan pembukaan jendela secara rutin setiap hari menjadi komponen perilaku lingkungan yang sangat penting dalam upaya pencegahan penularan infeksi TB di tingkat rumah tangga (Tadesse et al., 2021).

4. Kelembapan

Kelembapan udara di dalam rumah yang ideal untuk kesehatan paru manusia berkisar antara 40–70%. Kondisi kelembapan yang tinggi (70%) menciptakan lingkungan mikro yang sangat mendukung pertumbuhan dan persistensi jangka panjang mikroorganisme patogen,

termasuk *Mycobacterium tuberculosis*. Tingginya kelembapan ini umumnya dipicu oleh kombinasi sistem ventilasi yang buruk, material lantai yang tidak kedap air, serta minimnya penetrasi pencahayaan alami matahari. Pengendalian tingkat kelembapan melalui rekayasa sirkulasi udara dan optimasi pencahayaan merupakan pilar penting dalam strategi intervensi lingkungan untuk menekan epidemi TB (WHO, 2023; Zewdie et al., 2022).

5. Lantai

Komponen lantai rumah sebaiknya dikonstruksikan menggunakan bahan yang sepenuhnya kedap air, permukaannya rata, dan mudah dibersihkan secara rutin, seperti semen acian, keramik, atau ubin modern. Kondisi lantai yang tidak memenuhi syarat kesehatan, seperti lantai tanah atau papan yang lembap, cenderung menyerap air dari tanah di bawahnya sehingga menaikkan kelembapan ruangan secara konstan. Selain memicu kelembapan ekstrem, jenis lantai yang buruk ini juga menjadi media akumulasi debu yang mempermudah retensi kuman dan meningkatkan risiko infeksi saluran pernapasan, termasuk TB paru (Kementerian Kesehatan RI, 2022; Tadesse et al., 2021).

6. Pembagian Ruangan

Pembagian ruangan yang memadai dan terstruktur di dalam rumah, khususnya untuk ruang tidur, sangat penting untuk meminimalkan penularan penyakit menular melalui kontak erat (*close contact*). Kepadatan ruang tidur yang tinggi tanpa sekat yang jelas meningkatkan frekuensi paparan droplet antaranggota keluarga, terutama jika terdapat salah satu penghuni yang menderita TB paru aktif. Standar kesehatan nasional menegaskan bahwa luas minimum ruang tidur yang sehat adalah minimal 9 m² per orang demi menjamin volume oksigen yang cukup dan membatasi risiko transmisi patogen udara (Kementerian Kesehatan RI, 2022).

7. Dinding

Kondisi dinding rumah yang permanen, kedap air, dan memiliki permukaan yang mudah dibersihkan berperan besar dalam menjaga stabilitas suhu dalam ruang serta menahan rembesan air dari luar. Dinding yang terbuat dari material semipermanen yang rapuh, lembap, atau mengalami kerusakan struktural dapat meningkatkan kelembapan mikro di dalam rumah secara signifikan. Kelembapan pada dinding ini memicu pertumbuhan kapang dan menciptakan mikroekosistem yang mendukung ketahanan hidup bakteri patogen udara (Tadesse et al., 2021).

8. Kepadatan Penghuni

Kepadatan penghuni rumah merupakan salah satu determinan lingkungan dan sosial yang paling dominan dalam memfasilitasi penularan tuberkulosis. Rumah dengan densitas penghuni yang melebihi kapasitas hunian normal secara linear akan meningkatkan frekuensi, intensitas, dan durasi kontak langsung antarpenghuni, sehingga mempermudah transmisi droplet berisi bakteri. WHO menegaskan bahwa fenomena hunian padat (*overcrowding*) merupakan tantangan utama dalam pengendalian dan pemutusan rantai epidemi TB, khususnya di wilayah permukiman kumuh negara berkembang (WHO, 2024; Zewdie et al., 2022).

9. Suhu

Suhu ruangan domestik yang ideal untuk mendukung mekanisme pertahanan tubuh penghuni berkisar antara 20–30 °C. Kondisi suhu interior yang terlalu ekstrem, baik terlalu tinggi maupun terlalu rendah, dapat menurunkan kenyamanan termal dan mengganggu stabilitas daya tahan tubuh penghuninya. Mengingat *Mycobacterium tuberculosis* memiliki ketahanan optimal pada rentang suhu yang dekat dengan suhu tubuh mamalia, kegagalan dalam mengontrol suhu rumah akibat

buruknya tata ruang arsitektur dapat mempertinggi peluang keberhasilan infeksi kuman tersebut (WHO, 2023).

10. Faktor Riwayat Keluarga dan Kontak Serumah

Riwayat kontak erat serumah dengan penderita TB aktif merupakan faktor risiko proksimal yang paling menentukan dalam penularan tuberkulosis. Interaksi yang berlangsung dalam durasi lama, intensif, dan dalam ruang tertutup secara masif meningkatkan probabilitas inhalasi droplet infeksius oleh anggota keluarga yang sehat. Data global menunjukkan bahwa satu individu dengan TB aktif yang tidak terdiagnosis atau tidak diobati secara adekuat dapat menularkan penyakitnya kepada 2–3 kontak serumah dalam kurun waktu satu tahun, sehingga program skrining kontak serumah (*contact tracing*) wajib ditempatkan sebagai strategi prioritas deteksi dini (WHO, 2024).

11. Faktor Budaya dan Perilaku

Selain faktor fisik, dimensi budaya dan perilaku individu turut memegang peranan besar dalam memperpanjang rantai penularan dan menghambat keberhasilan eliminasi TB di masyarakat. Perilaku berisiko seperti kebiasaan merokok terbukti secara klinis merusak sistem pembersihan mukosilier saluran pernapasan dan menurunkan fungsi makrofag alveolar, sehingga perokok memiliki risiko mengalami TB aktif hingga 1,5–3 kali lebih tinggi dibandingkan dengan non-perokok. Faktor budaya yang diwariskan secara turun-temurun juga sangat mengakar di komunitas dan memengaruhi cara pandang serta keputusan klinis pasien dalam menyikapi gejala penyakit yang dialaminya (WHO, 2024).

Stigma sosial dan pengucilan yang melekat pada penyakit TB memicu munculnya *self-stigma* di mana penderita melabeli dirinya atau dicap oleh komunitas sebagai memiliki penyakit kotor dan aib keluarga. Ketakutan akan sanksi sosial dan dikucilkan dari lingkungan kerja atau

pergaulan memaksa pasien untuk menyembunyikan status kesehatannya secara rapat, mengabaikan gejala batuk kronis, dan enggan memeriksakan diri ke Puskesmas secara terbuka (R. J. Siregar et al., 2022).

Tantangan budaya ini diperberat oleh keberadaan mitos dan kepercayaan tradisional di beberapa daerah yang masih mengasosiasikan gejala TB sebagai akibat dari kutukan spiritual, guna-guna, ataupun murni penyakit keturunan yang tidak bisa disembuhkan. Pemahaman keliru yang bias budaya ini menjadi hambatan psikologis yang besar bagi program eliminasi karena menjauhkan masyarakat dari pemahaman berbasis sains medis (Siregar et al., 2024).

Dampak langsung dari bertahannya mitos tersebut adalah kuatnya preferensi masyarakat terhadap budaya pengobatan tradisional. Keyakinan lokal sering kali mengarahkan penderita untuk memprioritaskan konsumsi ramuan herbal, jamu alternatif, atau mendatangi tokoh supranatural/dukun terlebih dahulu alih-alih mengakses pengobatan medis profesional di fasilitas pelayanan kesehatan. Pola pencarian pengobatan yang keliru ini memicu keterlambatan diagnosis (*diagnostic delay*) yang fatal, meningkatkan risiko keparahan penyakit, dan memperluas penularan lokal di komunitas (Lestari dan Raksanagara, 2022).

2.3 Sistem Informasi

2.3.1 Sistem

Sistem adalah sekumpulan elemen yang saling terintegrasi dan dapat dioperasikan secara terstruktur untuk bekerja secara sinergis dalam menghasilkan nilai tambah melalui proses pengolahan data sehingga memungkinkan pengguna mencapai tujuan yang berorientasi pada kebutuhan operasional dalam suatu lingkungan tertentu (Valentine et al., 2024).

2.3.2 Informasi

Informasi adalah data yang telah diproses sehingga memiliki makna dan nilai bagi penerimanya, serta dapat digunakan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan, baik untuk saat ini maupun di masa mendatang (Laudon and Laudon, 2021). Sumber utama informasi adalah data, yang kemudian diolah melalui suatu proses sehingga menghasilkan bentuk yang lebih bermakna (Stair and Reynolds, 2020).

Informasi berperan penting dalam membantu menguraikan masalah, menelusuri penyebab (etiologi), memberikan masukan dalam perencanaan, serta mengevaluasi apakah implementasi suatu kegiatan telah sesuai dengan tujuan yang diharapkan (O'Brien and Marakas, 2022).

2.3.3 Sistem Informasi Kesehatan

Sistem Informasi Kesehatan (SIK) merupakan bagian penting dalam transformasi digital di sektor kesehatan yang berfungsi untuk mengelola data dan informasi guna mendukung pelayanan kesehatan, manajemen, serta pengambilan keputusan. SIK mencakup proses pengumpulan, pengolahan, penyimpanan, dan distribusi informasi kesehatan yang terintegrasi dan berkelanjutan (WHO, 2021).

Menurut (Aqil et al., 2021), Sistem Informasi Kesehatan adalah suatu sistem yang dirancang untuk menghasilkan informasi yang relevan, akurat, dan tepat waktu guna mendukung perencanaan, pelaksanaan, dan evaluasi program kesehatan. SIK berperan dalam meningkatkan efisiensi layanan serta kualitas pengambilan keputusan di berbagai tingkat organisasi kesehatan.

Lebih lanjut, (Lippeveld et al., 2000) menyatakan bahwa Sistem Informasi Kesehatan memiliki beberapa komponen utama, yaitu sumber daya manusia, teknologi, data, prosedur, dan kebijakan yang saling berinteraksi dalam

menghasilkan informasi kesehatan yang berkualitas. Sistem ini juga harus mampu menjamin keamanan, kerahasiaan, serta integritas data pasien.

Perkembangan teknologi informasi mendorong transformasi SIK menjadi sistem berbasis digital seperti *Electronic Health Records (EHR)* dan *Health Information Systems* yang terintegrasi. Menurut (Boonstra et al., 2021), implementasi sistem informasi kesehatan berbasis digital dapat meningkatkan kualitas layanan kesehatan, mempercepat akses data pasien, serta mengurangi kesalahan medis.

Selain itu, Nguyen et al. (2022) menjelaskan bahwa pemanfaatan Sistem Informasi Kesehatan yang optimal dapat meningkatkan efisiensi operasional, memperbaiki koordinasi layanan, serta mendukung pengambilan keputusan berbasis data (*data-driven decision making*). Hal ini sangat penting terutama dalam penanganan penyakit dan pengelolaan layanan kesehatan masyarakat.

Namun demikian, implementasi SIK juga menghadapi berbagai tantangan seperti keterbatasan infrastruktur, kurangnya sumber daya manusia yang terampil, serta masalah interoperabilitas sistem. Oleh karena itu, diperlukan perencanaan yang matang dan dukungan kebijakan untuk memastikan keberhasilan implementasi Sistem Informasi Kesehatan (WHO, 2021; Aqil et al., 2021).

2.4 *Expert System*

Expert System atau yang lebih dikenal dengan sistem pakar merupakan sistem yang berusaha mengadopsi pengetahuan manusia ke dalam komputer yang dirancang untuk memodelkan kemampuan dalam menyelesaikan masalah seperti layaknya seorang pakar (Herlina dkk., 2024). Sistem pakar memanfaatkan pengetahuan dan pengalaman seorang ahli yang direpresentasikan dalam bentuk basis pengetahuan (*knowledge base*) serta

menggunakan mesin inferensi (*inference engine*) untuk menghasilkan keputusan atau rekomendasi.

Menurut (Giarratano and Riley, 2020), sistem pakar adalah sistem berbasis kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) yang mampu meniru proses berpikir seorang ahli dalam memecahkan masalah tertentu. Sistem ini bekerja dengan menggunakan aturan-aturan (*rule-based system*) yang diperoleh dari pakar di bidang tertentu. Dengan demikian, sistem pakar dapat digunakan untuk membantu pengambilan keputusan secara cepat dan konsisten.

Lebih lanjut, Durkin (2021) menyatakan bahwa komponen utama dalam sistem pakar terdiri dari basis pengetahuan, mesin inferensi, antarmuka pengguna, serta fasilitas penjelasan (*explanation facility*). Basis pengetahuan berisi fakta dan aturan yang digunakan dalam proses penalaran, sedangkan mesin inferensi bertugas untuk memproses data dan menghasilkan kesimpulan berdasarkan aturan yang ada.

Perkembangan teknologi informasi saat ini mendorong penerapan sistem pakar dalam berbagai bidang, terutama di bidang kesehatan. Menurut (Kumar et al., 2022), sistem pakar dalam bidang kesehatan dapat digunakan untuk membantu diagnosis penyakit berdasarkan gejala yang dialami pasien. Sistem ini mampu meningkatkan akurasi diagnosis serta mempercepat proses pengambilan keputusan medis.

Selain itu, Rahman et al. (2023) menjelaskan bahwa penggunaan sistem pakar memberikan beberapa keuntungan, seperti efisiensi waktu, konsistensi dalam pengambilan keputusan, serta kemampuan untuk digunakan kapan saja tanpa bergantung pada kehadiran pakar secara langsung. Namun, sistem pakar juga memiliki keterbatasan, seperti ketergantungan pada kualitas pengetahuan yang dimasukkan serta kesulitan dalam menangani masalah yang kompleks dan dinamis.

Dengan demikian, sistem pakar merupakan salah satu teknologi kecerdasan buatan yang sangat bermanfaat dalam membantu penyelesaian masalah, khususnya dalam bidang kesehatan, dengan mengadopsi pengetahuan dan kemampuan seorang ahli ke dalam sistem komputer.

2.4.1 Sistem Pakar Berdasarkan Berbagai Mekanisme Penalaran

Aturan-aturan tersebut disusun berdasarkan pengetahuan dan pengalaman para ahli dalam domain tertentu, sehingga mampu menghasilkan keputusan secara sistematis dan transparan. Keunggulan utama sistem ini adalah kemudahan dalam memahami dan menjelaskan proses penalarannya karena setiap keputusan dapat ditelusuri berdasarkan aturan yang digunakan (Yang and Zhu, 2024).

Namun demikian, sistem berbasis aturan memiliki keterbatasan, terutama dalam hal fleksibilitas. Sistem ini sulit menangani kasus baru yang tidak tercakup dalam aturan yang telah dibuat, serta mengalami kompleksitas tinggi ketika jumlah aturan semakin banyak. Oleh karena itu, perkembangan terbaru menunjukkan adanya integrasi dengan teknik pembelajaran mesin untuk meningkatkan kemampuan adaptasi dan dinamika sistem (Matsuzaka and Yashiro, 2023).

2.4.2 Metode Inferensi pada Sistem Pakar

Metode inferensi merupakan komponen utama dalam sistem pakar yang berfungsi untuk melakukan proses penalaran terhadap pengetahuan yang tersimpan dalam basis pengetahuan. Metode ini memungkinkan sistem untuk menarik kesimpulan berdasarkan fakta atau data yang diberikan oleh pengguna. Dua metode inferensi yang umum digunakan dalam sistem pakar adalah *Forward Chaining* dan *Certainty Factor* (Yang and Zhu, 2024).

1. *Forward Chaining*

Forward Chaining merupakan metode inferensi berbasis *data-driven* yang memulai proses penalaran dari fakta-fakta yang diketahui untuk menghasilkan suatu kesimpulan. Metode ini bekerja dengan mencocokkan

fakta yang diberikan pengguna dengan aturan-aturan dalam basis pengetahuan yang berbentuk IF-THEN, kemudian menghasilkan fakta baru hingga mencapai kesimpulan akhir (Fitri dkk., 2022; Wirasbawa dkk., 2022).

Secara umum, proses *Forward Chaining* dimulai dengan memasukkan fakta awal ke dalam *working memory*. Sistem kemudian melakukan pencocokan dengan aturan yang tersedia. Jika kondisi dalam aturan terpenuhi, maka bagian konsekuensi (THEN) akan dijalankan dan menghasilkan fakta baru. Proses ini berlangsung secara iteratif hingga tidak ada lagi aturan yang dapat dijalankan atau tujuan telah tercapai (Irfan et al., 2022).

Keunggulan metode *Forward Chaining* adalah kemampuannya dalam memberikan proses penalaran yang sistematis dan transparan, sehingga mudah dipahami dan ditelusuri. Hal ini menjadikannya sangat cocok untuk sistem diagnosis dan pengambilan keputusan berbasis aturan. Namun, metode ini memiliki kelemahan dalam hal efisiensi ketika jumlah aturan yang digunakan sangat banyak, karena proses pencocokan aturan dapat menjadi kompleks (Fitri dkk., 2022).

2. *Certainty Factor*

Certainty Factor (CF) merupakan metode yang digunakan dalam sistem pakar untuk mengatasi ketidakpastian dalam proses pengambilan keputusan. Metode ini diperkenalkan untuk merepresentasikan tingkat keyakinan seorang pakar terhadap suatu hipotesis berdasarkan evidence atau fakta yang tersedia (Yanti dkk., 2025).

Certainty Factor dinyatakan dalam bentuk nilai numerik yang berada pada rentang -1 hingga 1, di mana nilai positif menunjukkan tingkat kepercayaan, sedangkan nilai negatif menunjukkan ketidakpercayaan. Dalam praktiknya, nilai CF diperoleh dari kombinasi bobot yang diberikan oleh pakar dan tingkat keyakinan pengguna terhadap gejala yang dialami.

Nilai CF dari beberapa aturan dapat digabungkan menggunakan persamaan:

$$[CF_{\text{combine}} = CF_1 + CF_2 \times (1 - CF_1)]$$

Metode *Certainty Factor* memiliki keunggulan dalam menangani ketidakpastian yang sering terjadi dalam domain medis atau diagnosis. Selain itu, metode ini mampu memberikan hasil berupa tingkat keyakinan, sehingga membantu pengguna dalam memahami tingkat keakuratan keputusan yang dihasilkan sistem. Namun, kelemahannya terletak pada ketergantungan terhadap nilai bobot yang diberikan oleh pakar, sehingga kualitas hasil sangat bergantung pada akurasi pengetahuan yang dimasukkan ke dalam sistem (Wanti dkk., 2023).

2.5 *Software Development Life Cycle (SDLC)*

Software Development Life Cycle (SDLC) merupakan kerangka kerja sistematis yang digunakan dalam pengembangan perangkat lunak untuk memastikan bahwa sistem yang dihasilkan memenuhi kebutuhan pengguna dan memiliki kualitas yang baik. SDLC mencakup seluruh proses pengembangan, mulai dari perencanaan hingga pemeliharaan sistem (Yang and Zhu, 2024).

SDLC bertujuan untuk menghasilkan perangkat lunak yang efisien, terstruktur, dan mudah dipelihara. Dengan mengikuti tahapan yang sistematis, risiko kesalahan dalam pengembangan dapat diminimalkan, serta kualitas sistem dapat ditingkatkan.

Tahapan umum dalam SDLC meliputi:

1. Perencanaan (*Planning*)

Menentukan tujuan sistem, ruang lingkup, serta kebutuhan awal yang diperlukan dalam pengembangan.

2. Analisis Kebutuhan (*Requirement Analysis*)

Mengidentifikasi kebutuhan pengguna baik secara fungsional maupun nonfungsional.

3. Perancangan Sistem (*System Design*)
Mendesain arsitektur sistem, database, serta antarmuka pengguna.
4. Implementasi (*Coding*)
Menerjemahkan desain sistem ke dalam kode program menggunakan bahasa pemrograman tertentu.
5. Pengujian (*Testing*)
Menguji sistem untuk memastikan bahwa semua fungsi berjalan sesuai dengan kebutuhan.
6. Pemeliharaan (*Maintenance*)
Melakukan perbaikan dan pengembangan sistem setelah digunakan.
Dalam konteks pengembangan sistem pakar, SDLC digunakan sebagai kerangka umum, sedangkan ESDLC digunakan untuk menangani aspek khusus terkait pengetahuan dan inferensi. Kombinasi kedua pendekatan ini memungkinkan pengembangan sistem yang tidak hanya terstruktur secara teknis. Tetapi juga memiliki kualitas pengetahuan yang tinggi (Barisic, 2025).

2.5.1 Metode Pengembangan Sistem

1. Metode Pengembangan Sistem

System Development Life Cycle (SDLC) merupakan suatu proses terstruktur dalam pengembangan sistem informasi yang mencakup identifikasi kebutuhan, perancangan, pembangunan, hingga implementasi sistem kepada pengguna. Pendekatan ini digunakan untuk memastikan bahwa sistem yang dikembangkan mampu memenuhi kebutuhan organisasi secara efektif, sistematis, dan berkualitas tinggi (Sommerville, 2020; ISO/IEC/IEEE, 2023).

Secara umum, SDLC terdiri dari beberapa tahapan utama, yaitu perencanaan (*planning*), analisis (*analysis*), perancangan (*design*), dan implementasi (*implementation*). Pada tahap perencanaan dilakukan identifikasi tujuan dan ruang lingkup sistem, kemudian dilanjutkan

dengan analisis kebutuhan pengguna secara mendalam. Tahap desain berfokus pada perancangan arsitektur dan komponen sistem, sedangkan tahap implementasi mencakup pembangunan, pengujian, serta penerapan sistem kepada pengguna (Pressman & Maxim, 2020; ISO/IEC/IEEE, 2023).

Dalam praktiknya, pengembangan sistem informasi memerlukan metode pendekatan yang tepat agar proses berjalan efektif dan efisien. Secara umum, terdapat tiga pendekatan utama dalam pengembangan sistem, yaitu *waterfall development*, *rapid application development (RAD)*, dan *agile development*.

2.5.2 Tahapan Pengembangan Sistem

Pengembangan sistem dibagi ke dalam beberapa tahapan, salah satunya adalah tahap perencanaan yang menjadi fondasi awal dalam siklus pengembangan sistem.

a. Tahap Perencanaan

Tahap perencanaan merupakan bagian penting dalam pengembangan sistem informasi karena menentukan arah, ruang lingkup, serta strategi pengembangan sistem yang akan dibangun. Pada tahap ini dilakukan identifikasi kebutuhan sistem, penentuan tujuan, serta perumusan pendekatan pengembangan yang sesuai agar sistem dapat dibangun secara efektif dan efisien (ISO/IEC/IEEE, 2023; Sommerville, 2020).

Selain itu, tahap perencanaan juga mencakup penentuan kualitas data, standar data yang digunakan, proses otomatisasi, desain alur kerja (*workflow*), serta mekanisme validasi sistem. Aspek-aspek tersebut sangat penting untuk memastikan bahwa sistem yang dikembangkan memiliki kualitas yang baik dan mampu mendukung kebutuhan organisasi secara optimal (Ahmad et al., 2021).

Tahap awal dalam perencanaan SDLC melibatkan kegiatan analisis awal untuk mengidentifikasi kebutuhan informasi yang relevan serta menentukan kelayakan pengembangan sistem, baik dari segi teknis, ekonomi, maupun operasional. Proses ini bertujuan untuk memutuskan apakah pengembangan sistem perlu dilanjutkan atau tidak (Tripp et al., 2022).

b. Tahap Analisis

Tahap analisis merupakan proses untuk mengidentifikasi dan memahami kebutuhan sistem secara menyeluruh, termasuk menentukan jenis sistem yang akan dibangun, lokasi implementasi, serta waktu penggunaan sistem. Tahap ini berfokus pada pengumpulan dan pendefinisian kebutuhan pengguna (*user requirements*) agar sistem yang dikembangkan sesuai dengan kebutuhan organisasi (Sommerville, 2020; ISO/IEC/IEEE, 2023).

Salah satu pendekatan yang umum digunakan dalam tahap analisis adalah *use case*, yang menggambarkan interaksi antara pengguna dan sistem dalam menghasilkan keluaran tertentu. *Use case* membantu menjelaskan bagaimana pengguna memicu respons sistem melalui berbagai aktivitas, serta menggambarkan fungsi sistem dari sudut pandang pengguna. Penyusunan *use case* biasanya dilakukan setelah proses wawancara dengan pengguna dan dapat menjadi bagian dari metode *Joint Application Development (JAD)*, yang menekankan kolaborasi antara pengguna dan pengembang dalam mendefinisikan kebutuhan sistem (Ahmad et al., 2021).

Dalam analisis sistem, terdapat beberapa aspek utama yang perlu diperhatikan, yaitu entitas (data atau objek yang terlibat dalam sistem), batasan sistem (*system boundaries*), serta kontrol sistem yang mengatur alur proses. Ketiga aspek ini penting untuk memastikan bahwa sistem

memiliki struktur yang jelas dan dapat diimplementasikan secara efektif (Tripp et al., 2022).

Menurut pendekatan modern dalam rekayasa perangkat lunak, tahap analisis umumnya mencakup tiga langkah utama, yaitu:

1. Analisis Strategi

Analisis strategi mencakup identifikasi tujuan pengembangan sistem, permasalahan yang ada, serta penentuan arah solusi melalui perancangan konsep sistem baru. Tahap ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem yang dikembangkan selaras dengan kebutuhan bisnis dan strategi organisasi (ISO/IEC/IEEE, 2023).

2. *Requirement Gathering* (Pengumpulan Kebutuhan)

Tahap ini melibatkan proses pengumpulan informasi terkait kebutuhan sistem, baik dari sisi data maupun proses bisnis. Kebutuhan tersebut kemudian dimodelkan dalam bentuk representasi sistem yang mencerminkan kondisi nyata organisasi (Sommerville, 2020).

3. Proposal Sistem

Proposal sistem merupakan hasil integrasi dari analisis strategi, kebutuhan sistem, dan model yang telah disusun. Dokumen ini digunakan oleh pemangku kepentingan (*stakeholders*) untuk mengambil keputusan terkait kelanjutan proyek pengembangan sistem (Tripp et al., 2022).

- c. Tahap Desain (*Design*)

Tahap desain merupakan proses perancangan sistem yang akan dioperasikan dengan memanfaatkan komponen teknologi seperti perangkat keras (*hardware*), perangkat lunak (*software*), dan infrastruktur jaringan. Pada tahap ini, sistem dirancang secara menyeluruh mencakup antarmuka pengguna (*user interface*), formulir (*forms*), serta laporan (*reports*) yang akan digunakan, termasuk

spesifikasi program, basis data (*database*), dan struktur file (Sommerville, 2020; ISO/IEC/IEEE, 2023).

Tahap desain bertujuan untuk menyempurnakan model logika sistem yang telah dihasilkan pada tahap analisis, kemudian mentransformasikannya ke dalam rancangan fisik yang dapat diimplementasikan menggunakan teknologi komputer. Dengan kata lain, tahap ini menjembatani antara kebutuhan sistem (logis) dengan solusi teknis (fisik) agar sistem dapat dioperasikan secara optimal (Pressman & Maxim, 2020).

Secara umum, tahap desain dalam pengembangan sistem meliputi beberapa langkah utama, yaitu:

1. Pengembangan Desain Strategi
Menentukan pendekatan desain sistem yang sesuai dengan kebutuhan bisnis dan tujuan organisasi (ISO/IEC/IEEE, 2023).
2. Perancangan Arsitektur Sistem
Meliputi penentuan struktur sistem yang terdiri dari perangkat keras, perangkat lunak, serta infrastruktur jaringan yang digunakan (Sommerville, 2020).
3. Perancangan Basis Data dan Spesifikasi File
Mendesain struktur data, relasi antardata, serta mekanisme penyimpanan yang efisien dan aman (Pressman & Maxim, 2020).
4. Perancangan Program
Menentukan spesifikasi teknis program, termasuk algoritma, modul, serta integrasi antarkomponen sistem (Tripp et al., 2022).

d. Tahap Implementasi

Tahap implementasi merupakan proses realisasi dari desain sistem menjadi sistem yang siap digunakan. Tahap ini biasanya memerlukan waktu yang cukup signifikan karena melibatkan pembangunan,

pengujian, serta penerapan sistem secara langsung pada lingkungan operasional (ISO/IEC/IEEE, 2023).

Secara umum, tahap implementasi terdiri dari beberapa langkah utama, yaitu:

1. **Konstruksi Sistem (*System Construction*)**

Pada tahap ini dilakukan proses pengkodean (*coding*) dan pengujian sistem untuk memastikan bahwa sistem yang dibangun telah sesuai dengan desain yang telah dirancang sebelumnya (Pressman & Maxim, 2020).

2. **Instalasi Sistem (*System Installation*)**

Merupakan proses penggantian sistem lama dengan sistem baru, termasuk migrasi data dan konfigurasi sistem agar dapat berjalan dengan baik di lingkungan operasional (Sommerville, 2020).

3. **Perencanaan Sistem Pendukung (*Support Planning*)**

Meliputi kegiatan evaluasi implementasi, baik secara formal maupun informal, untuk mengidentifikasi kebutuhan perbaikan sistem, baik yang bersifat mayor maupun minor, serta memastikan keberlanjutan operasional sistem (Tripp et al., 2022).

Selain itu, dalam praktik modern, pendekatan *prototyping* sering digunakan untuk mempercepat proses pengembangan sistem. Prototipe memungkinkan dilakukan iterasi antara tahap analisis, desain, dan implementasi secara cepat, sehingga pengguna dapat memberikan umpan balik (*feedback*) secara langsung untuk penyempurnaan sistem (Ahmad et al., 2021).

2.6 Expert System Development Life Cycle (ESDLC)

Expert System Development Life Cycle (ESDLC) merupakan metode pengembangan sistem yang secara khusus dirancang untuk membangun sistem pakar berbasis pengetahuan (*knowledge-based system*). Berbeda dengan pengembangan perangkat lunak konvensional, ESDLC menekankan pada

proses akuisisi, representasi, dan pengolahan pengetahuan dari pakar manusia ke dalam sistem komputer (Barisic, 2025; Yang and Zhu, 2024).

ESDLC bertujuan untuk menghasilkan sistem yang mampu meniru proses pengambilan keputusan seorang pakar melalui integrasi basis pengetahuan dan mesin inferensi. Dalam prosesnya, pengembangan sistem pakar tidak hanya berfokus pada aspek teknis, tetapi juga pada kualitas dan struktur pengetahuan yang diperoleh dari domain tertentu (Choi and Kim, 2021).

Secara umum, tahapan dalam ESDLC meliputi:

1. Akuisisi Pengetahuan (*Knowledge Acquisition*)

Tahap ini melibatkan pengumpulan pengetahuan dari pakar, literatur, maupun data empiris. Teknik yang digunakan dapat berupa wawancara, observasi, dan analisis dokumen.

2. Representasi Pengetahuan (*Knowledge Representation*)

Pengetahuan yang telah diperoleh kemudian direpresentasikan dalam bentuk aturan (rule-based), frame, atau model lain agar dapat diproses oleh sistem.

3. Perancangan Mesin Inferensi (*Inference Engine Design*)

Tahap ini menentukan metode penalaran yang digunakan, seperti Forward Chaining atau metode lainnya, untuk menghasilkan keputusan berdasarkan pengetahuan yang tersedia.

4. Implementasi Sistem

Pada tahap ini dilakukan pengkodean sistem pakar ke dalam aplikasi yang dapat digunakan oleh pengguna.

5. Pengujian dan Validasi

Sistem diuji untuk memastikan bahwa hasil yang diberikan sesuai dengan keputusan pakar dan memiliki tingkat akurasi yang baik.

Pendekatan ESDLC sangat penting dalam pengembangan sistem pakar karena memastikan bahwa pengetahuan yang digunakan dalam sistem bersifat valid, terstruktur, dan dapat diandalkan. Selain itu, integrasi antara pengetahuan

pakar dan teknologi modern seperti pembelajaran mesin juga menjadi tren dalam pengembangan sistem pakar saat ini (Yang and Zhu, 2024).

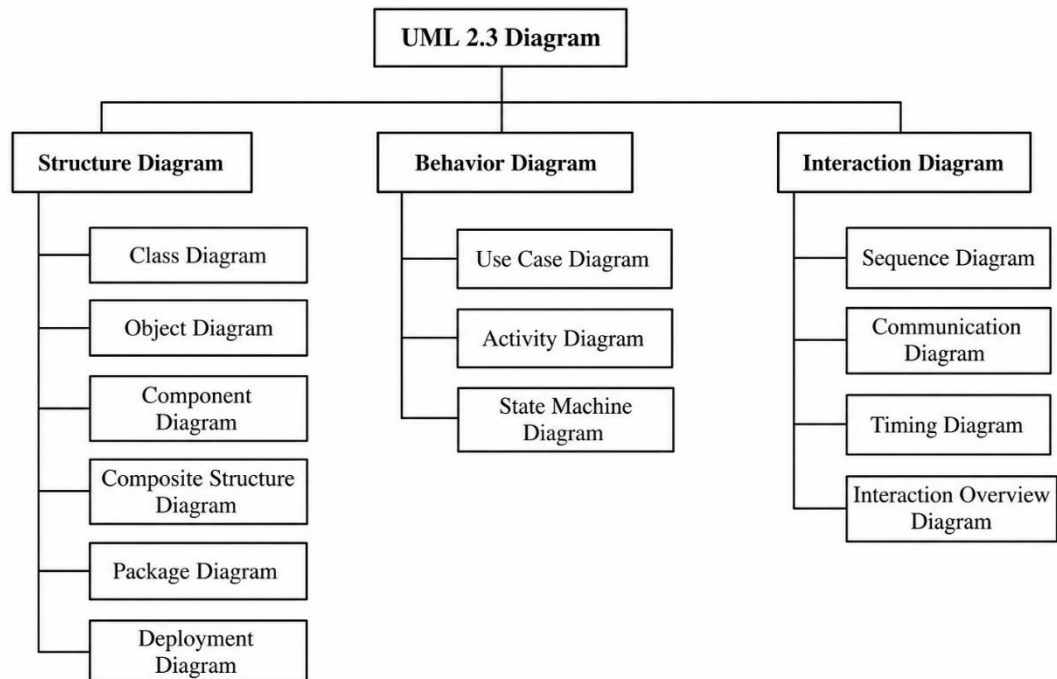
2.6.1 Perancangan UML (*Unified Modeling Language*)

Unified Modeling Language (UML) merupakan bahasa pemodelan visual yang digunakan untuk merepresentasikan, merancang, dan mengomunikasikan struktur serta perilaku suatu sistem melalui diagram dan elemen pendukung lainnya. UML berperan penting dalam proses pengembangan sistem karena membantu pengembang dalam memahami, mendokumentasikan, serta menyampaikan desain sistem secara terstruktur dan mudah dipahami (Booch et al., 2021; ISO/IEC/IEEE, 2023).

Penggunaan UML tidak terbatas pada satu metodologi tertentu, namun sangat umum diterapkan dalam pendekatan berorientasi objek karena kemampuannya dalam menggambarkan hubungan antarobjek dan komponen sistem secara jelas. Meskipun demikian, UML juga dapat digunakan dalam berbagai pendekatan pengembangan sistem lainnya, tergantung pada kebutuhan dan konteks penggunaannya (Sommerville, 2020).

Selain itu, penerapan UML sangat bergantung pada tingkat abstraksi yang diinginkan oleh pengguna. Perbedaan dalam cara penggunaan UML bukanlah suatu kesalahan, melainkan mencerminkan perbedaan perspektif dalam memodelkan sistem. Oleh karena itu, penting untuk memahami tujuan penggunaan UML serta aspek sistem yang ingin divisualisasikan agar model yang dihasilkan tetap relevan dan efektif (Brambilla et al., 2021).

UML Gambar 3 terdiri dari 13 macam diagram yang dikelompokkan dalam 3 kategori. Pembagian kategori dan macam-macam diagram tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah.



Sumber: Adapted from Booch et al. (2020); Kumar et al. (2021)

Gambar 3 Diagram UML.

Berikut ini penjelasan singkat tentang pembagian kategori tersebut.

1. *Structure diagram* yaitu kumpulan diagram yang digunakan untuk menggambarkan suatu struktur statis dari sistem yang dimodelkan.
2. *Behavior diagram* yaitu kumpulan diagram yang digunakan untuk menggambarkan kelakuan sistem atau rangkaian perubahan yang terjadi pada sebuah sistem.
3. *Interaction diagram* yaitu kumpulan diagram yang digunakan untuk menggambarkan interaksi sistem dengan sistem lain maupun interaksi antarsubsystem pada suatu sistem.

1. *Use Case Diagram*

Use case diagram merupakan salah satu bentuk pemodelan dalam UML yang digunakan untuk menggambarkan perilaku (*behavior*)

sistem informasi yang akan dikembangkan. Diagram ini berfungsi untuk merepresentasikan interaksi antara aktor (pengguna atau sistem eksternal) dengan sistem, sehingga dapat menunjukkan bagaimana sistem merespons setiap aktivitas yang dilakukan oleh pengguna (Sommerville, 2020; Brambilla et al., 2021).

Secara umum, *use case diagram* digunakan untuk mengidentifikasi dan mendeskripsikan fungsi-fungsi utama yang terdapat dalam suatu sistem serta pihak-pihak yang memiliki hak akses terhadap fungsi tersebut. Dengan demikian, diagram ini membantu dalam memahami kebutuhan pengguna (*user requirements*) serta batasan sistem secara lebih jelas dan terstruktur (ISO/IEC/IEEE, 2023).

Selain itu, *use case diagram* juga berperan sebagai alat komunikasi antara pengembang dan pemangku kepentingan karena mampu menyajikan gambaran sistem secara sederhana namun informatif. Hal ini menjadikan *use case diagram* sangat penting pada tahap analisis kebutuhan dalam pengembangan sistem (Ahmad et al., 2021).



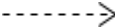



Syarat penamaan pada *use case* adalah nama didefinisikan sesimpel mungkin dan dapat dipahami. Ada dua hal utama pada *use case*, yaitu pendefinisian apa yang disebut aktor dan *use case*.

Aktor merupakan orang, proses, atau sistem lain yang berinteraksi dengan sistem informasi yang akan dibuat di luar sistem informasi yang akan dibuat itu sendiri, jadi walaupun simbol dari aktor adalah gambar orang, aktor belum tentu merupakan orang.

Use case merupakan fungsionalitas yang disediakan sistem sebagai unit-unit yang saling bertukar pesan antar unit atau aktor.

Berikut adalah simbol-simbol yang ada pada diagram *use case*:

Tabel 4. Simbol-simbol *Use Case Diagram* Pressman, R. S., and Maxim, B. R. (2020)

Simbol	Fungsi	Keterangan
	<i>Actor</i>	Orang, proses, atau sistem lain yang berinteraksi dengan sistem informasi yang akan dibuat di luar sistem informasi yang akan dibuat itu sendiri, jadi walaupun simbol dari aktor adalah gambar orang, biasanya dinyatakan menggunakan kata benda di awal frase nama aktor.
	<i>Generalization</i>	Disebut juga <i>inheritance</i> (pewarisan), sebuah elemen dapat merupakan spesialisasi dari elemen lainnya
	<i>Include</i>	Relasi <i>use case</i> tambahan ke sebuah <i>use case</i> dimana <i>use case</i> yang ditambahkan memerlukan <i>use case</i> ini untuk menjalankan Fungsinya atau syarat untuk menjalankan <i>use case</i> ini.
	<i>Extend</i>	Relasi <i>use case</i> tambahan ke sebuah <i>use case</i> di mana <i>use case</i> yang ditambahkan dapat berdiri sendiri walau tanpa <i>use case</i> tambahan.
	<i>Association</i>	Komunikasi antara aktor dan <i>use case</i> yang berpartisipasi pada <i>use case</i> atau <i>use case</i> memiliki interaksi dengan aktor
	<i>Use Case</i>	Fungsionalitas yang disediakan sistem sebagai unit-unit yang saling bertukar pesan antara unit atau aktor biasanya dinyatakan dengan menggunakan kata kerja diawal frase nama <i>use case</i> .

2. *Activity Diagram*

Activity Diagram digunakan untuk menggambarkan alur aktivitas atau proses bisnis dalam suatu sistem secara berurutan dari awal hingga akhir. Diagram ini menunjukkan bagaimana aktivitas dilakukan, keputusan yang terjadi, serta aliran kontrol dalam sistem.

Menurut penelitian terbaru, *Activity Diagram* merupakan bagian dari *Unified Modeling Language* (UML) yang digunakan untuk memodelkan alur kerja sistem secara dinamis dan memberikan gambaran proses yang lebih jelas dibandingkan dengan diagram statis.

Selain itu, penggunaan *Activity Diagram* dalam pengembangan perangkat lunak dapat membantu meningkatkan pemahaman terhadap proses sistem dan meminimalkan kesalahan dalam tahap implementasi (Kumar et al., 2021).

3. *Sequence Diagram*

Sequence Diagram merupakan salah satu diagram dalam *Unified Modeling Language* (UML) yang digunakan untuk menggambarkan interaksi antar objek dalam sistem berdasarkan urutan waktu. Diagram ini menunjukkan bagaimana pesan dikirim dari satu objek ke objek lainnya untuk menjalankan suatu proses.

Menurut penelitian terbaru, *Sequence Diagram* sangat efektif dalam memodelkan alur komunikasi antar komponen sistem dan membantu dalam memahami proses eksekusi sistem secara detail (Kumar et al., 2021).

Selain itu, penggunaan *Sequence Diagram* dapat meningkatkan kualitas desain sistem dengan memberikan gambaran interaksi yang lebih jelas dibandingkan dengan model statis (Dharmawan et al., 2022).

2.6.2 Pengujian

Tahap pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah sistem yang telah berhasil diimplementasikan sesuai dengan rancangan sistem pakar yang telah dibuat. Apabila hasil pengujian menunjukkan terdapat suatu bagian yang belum sesuai, maka dapat dilakukan evaluasi sehingga sistem dapat bekerja sesuai dengan rancangan yang telah dibuat.

1. *Black Box Testing*

Black box testing merupakan metode pengujian perangkat lunak yang berfokus pada fungsionalitas sistem tanpa memperhatikan struktur internal atau kode program. Pengujian ini dilakukan dengan memberikan input tertentu dan mengevaluasi apakah output yang dihasilkan sesuai dengan yang diharapkan.

Menurut penelitian terbaru, *black box testing* efektif digunakan untuk mengidentifikasi kesalahan pada fungsi sistem, seperti kesalahan input, proses, dan output, serta memastikan sistem berjalan sesuai dengan kebutuhan pengguna (Sharma et al., 2022; Javed et al., 2021).

Penelitian menunjukkan bahwa pendekatan black box testing masih menjadi metode utama dalam validasi sistem berbasis web dan aplikasi karena kemudahannya dalam implementasi dan kemampuannya mendeteksi kesalahan fungsional secara efektif (Kumar & Singh, 2023; Patel et al., 2021).

2. *User Acceptance Test*

User Acceptance Test (UAT) merupakan tahap pengujian yang dilakukan oleh pengguna akhir (*end-user*) untuk memastikan bahwa sistem yang dikembangkan telah memenuhi kebutuhan dan harapan pengguna.

UAT berfokus pada validasi sistem dari sisi pengguna, bukan dari sisi teknis. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan skenario nyata yang sesuai dengan penggunaan sistem di lapangan.

Menurut penelitian terbaru, UAT berperan penting dalam meningkatkan kualitas sistem dan tingkat kepuasan pengguna karena melibatkan pengguna secara langsung dalam proses evaluasi (Alshammari et al., 2021; Hassan et al., 2022).

Beberapa metode yang digunakan dalam UAT antara lain:

- a. Pengujian berbasis skenario
- b. Kuesioner kepuasan pengguna
- c. Skala *Likert*

Penelitian juga menunjukkan bahwa UAT membantu mengurangi risiko kegagalan sistem saat implementasi serta meningkatkan keberhasilan penerapan sistem secara keseluruhan (Rahman et al., 2023; Nguyen et al.)

BAB III

METODE PENELITIAN

Penelitian ini terdiri dari dua tahap, yaitu tahap pertama berupa penyusunan model prediksi dan tahap dua pengembangan sistem web

3.1 Tahap I. Model Deteksi Dini TB

3.1.1 Desain Penelitian

Rancangan penelitian yang digunakan rancangan penelitian *case control* menggunakan metode kuantitatif.

3.1.2 Populasi dan Sampel

1. Populasi

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh penderita TB di Kabupaten Lampung Tengah tahun 2025. Jumlah populasi kasus TB sebanyak 2054 kasus dengan hasil pemeriksaan BTA positif pada 6 bulan terakhir.

2. Sampel

Sampel pada penelitian terbagi menjadi kelompok kasus dan kelompok kontrol sebagai berikut.

- a. Kelompok kasus dalam penelitian ini adalah penderita tuberkulosis yang ada di Kabupaten Lampung Tengah tahun 2025 yang rutin berobat ke puskesmas.
- b. Kelompok kontrol dalam penelitian ini adalah orang yang tinggal berdekatan dengan kasus dan tidak mengalami tuberkulosis di Kabupaten Lampung Tengah tahun 2025

3.1.3 Teknik Sampling

Teknik pengambilan sampel dalam penelitian ini adalah menggunakan *Proportional Random Sampling*, yaitu cara pengambilan sampel dengan cara acak. Teknik penentuan sampling yang berdasarkan pertimbangan peneliti tentang sampel yang sesuai dan dianggap mempunyai sifat representatif. Peneliti mengambil penderita TB yang berada di wilayah kerja Puskesmas yang telah didiagnosis oleh dokter penanggung jawab di Kabupaten Lampung Tengah. Pada perhitungan sampel dibawah ini menggunakan hasil rumus *Lemeshow* untuk *case-control* dibawah ini:

$$n = \frac{(Z_{1-\alpha/2} \times \sqrt{2\bar{p}(1-\bar{p})} + Z_{1-\beta} \times \sqrt{(p_1(1-p_1) + p_2(1-p_2))})^2}{(p_1 - p_2)^2}$$

Proporsi paparan pada kelompok kasus (p_1), digunakan konversi nilai Odds Ratio (OR) dengan rumus sebagai berikut:

$$p_1 = \frac{(OR \times p_2)}{(OR \times p_2) + (1 - p_2)}$$

Sedangkan untuk menghitung rata-rata proporsi kedua kelompok (\bar{p}), digunakan rumus:

$$\bar{p} = \frac{(p_1 + p_2)}{2}$$

Keterangan

- n : Jumlah sampel minimal untuk masing-masing kelompok (kelompok kasus dan kelompok kontrol).
- $Z_{1-\alpha/2}$: Nilai standar distribusi normal pada Tingkat Kepercayaan (*Confidence Interval*) 95% = 1,96.
- $Z_{1-\beta}$: Nilai standar distribusi normal pada Kekuatan Uji (*Power of Test*) 80% = 0,84.
- p_2 : Perkiraan proporsi paparan faktor risiko pada kelompok kontrol = 0,30 (maka nilai $q_2 = 1 - p_2 = 0,70$).
- OR : Odds Ratio minimal yang dianggap bermakna secara epidemiologi/klinis = 2,0.
- p_1 : Proyeksi proporsi paparan faktor risiko pada kelompok kasus yang dihitung dari nilai OR.

$$p_1 = (2,0 \times 0,30) / ((2,0 \times 0,30) + 0,70) = 0,60 / 1,30 = 0,4615$$

$$\bar{p} = (0,4615 + 0,30) / 2 = 0,3808$$

Dari rumus perhitungan besar sampel di atas diperoleh besar sampel kasus TB sebesar 139. Penelitian ini menggunakan rancangan penelitian kasus-kontrol, maka ditetapkan perbandingan kasus dengan kontrol yaitu 1 banding 1, artinya 139 kasus, jumlah sampel kelompok kontrol sebesar 139. Jadi, besar sampel minimal yang harus diteliti adalah 278 responden. Sampel penelitian harus sesuai dengan kriteria Inklusi berikut ini:

1. Kriteria inklusi

a. Kelompok kasus

1. Penderita tuberkulosis (kasus) yang sudah didiagnosis oleh dokter penanggung jawab yang dilihat dari rekam medik
2. Responden yang mampu berkomunikasi dengan baik
3. Responden yang menjalani pengobatan TB rutin di Puskesmas Kabupaten Lampung Tengah

b. Kelompok kontrol

1. Individu yang tidak menderita tuberkulosis, dibuktikan melalui diagnosis dokter penanggung jawab yang dilihat di rekam medik, dan bertempat tinggal disekitar rumah kasus
2. Responden yang mampu berkomunikasi dengan baik
3. Responden yang berada di wilayah kerja Puskesmas Kabupaten Lampung Tengah
4. Bukan bekas penderita TB

2. Kriteria Eksklusi

a. Kelompok kasus

1. Penderita tuberkulosis yang gagal dalam pengobatan
2. Responden menolak dalam keterlibatan dengan penelitian

b. Kelompok kontrol

Responden menolak dalam keterlibatan dengan penelitian

3.1.4 Tehnik Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini adalah menggunakan lembar kuesioner yaitu responden diberi kebebasan untuk memilih jawaban yang sesuai dengan apa yang dikatakan, dilihat, dipunyai, atau pendapatnya, penelitian ini juga melakukan wawancara.

Pengumpulan data untuk variabel umur, jenis kelamin, pendidikan, pekerjaan, pendapatan, status gizi khususnya berat badan, penyakit komorbid DM dan HIV. Data diambil dari catatan medik yang ditulis oleh dokter penanggung jawab, kemudian dimasukkan ke dalam checklist variabel yang diteliti.

3.1.5 Variabel Penelitian

Pada tahap pertama penelitian ini dilakukan pengumpulan data untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang berhubungan dengan kejadian tuberkulosis (TB). Variabel yang diteliti dikelompokkan menjadi beberapa kategori, yaitu faktor host, komorbid, faktor lingkungan, perilaku, dan akses pelayanan kesehatan. Data yang diperoleh pada tahap ini akan digunakan sebagai dasar dalam penyusunan basis pengetahuan pada sistem pakar.

Pengumpulan data untuk variabel faktor *host* (umur, jenis kelamin, pendidikan, pendapatan, pekerjaan, status gizi, riwayat kontak) Komorbid (DM, HIV/AIDS), Faktor Lingkungan (ventilasi udara, jenis lantai, kelembaban, pencahayaan, kepadatan penghuni) perilaku merokok, dan Jarak Fasilitas Kesehatan.

3.1.6 Definisi Operasional

Definisi operasional penelitian ini tampak pada tabel 5.

Tabel 5. Definisi operasional variabel

No	Variabel	Definisi operasional	Cara ukur	Alat ukur	Hasil ukur	Skala
Variabel Dependen						
1.	Tuberkulosis Paru	TB Paru adalah penyakit infeksi yang disebabkan oleh bakteri Mycobakterium tuberculosis yang menyerang Paru berdasarkan diagnosis dokter	Observasi Rekam Medik	Rekam Medik	1. Kasus (penderita TB) 0. Kontrol (bukan penderita TB)	Nominal
	Bukan Penderita Tuberkulosis	Orang sehat bukan penderita TB yang memiliki karakteristik yang sama dengan penderita TB Paru	Wawancara / riwayat rekam medis	Kuisisioner		
Variabel Independen						
1.	Umur	Umur adalah lamanya hidup yang dihitung dari tanggal lahir sampai ulang tahun terakhir.	Ceklist, wawancara	Kuesioner	1 > 41 Tahun 0. ≤ 41 Tahun	Nominal
2.	Jenis kelamin	Jenis kelamin adalah fisik yang membedakan antara laki-laki dan perempuan.	Ceklist, wawancara	Kuesioner	1. Laki-laki 0. Perempuan	Nominal
3.	Pendidikan	Pendidikan formal yang diperoleh dengan kepemilikan ijazah Rendah=SD, SMP, SMA Tinggi= D3, S1, dst	Ceklist, wawancara	Kuesioner	1. Tidak bekerja, 0. Bekerja,	Nominal
4.	Pekerjaan	Pekerjaan adalah mata pencaharian utama untuk	Ceklist, wawancara	Kuesioner	1. Rendah 0. Tinggi	Nominal

Tabel 5. Definisi operasional variabel (Lanjutan)

No	Variabel	Definisi operasional	Cara ukur	Alat ukur	Hasil ukur	Skala
		menghidupi keluarga dan segala kebutuhan melalui kegiatan yang mendapatkan upah				
6.	Pendapatan	Penghasilan berupa uang dari usaha yang dikerjakan sesuai dengan UMR. Rendah < Rp 2.112.515 Tinggi Diatas Rp 2.112.515	wawancara	Kuesioner	1. Rendah 0. Tinggi	Nominal
7.	Status Gizi	Status Gizi adalah ukuran keberhasilan dalam pemenuhan kebutuhan nutrisi yang diindikasikan oleh berat badan dan tinggi badan	Pengukuran tinggi badan dan berat badan	Kuesioner	1. IMT <18,5 0. IMT \geq 18,5	Nominal
8.	Riwayat kontak	Adanya kontak dengan penderita TB	Wawancara	Kuesioner	1. Ya 0. Tidak	Nominal

Tabel 5. Definisi operasional variabel (Lanjutan)

No	Variabel	Definisi operasional	Cara ukur	Alat ukur	Hasil ukur	Skala
9.	Penyakit DM	Responden dinyatakan memiliki DM apabila berdasarkan penegakan diagnosis medis atau pemeriksaan klinis menunjukkan kadar glukosa darah puasa ≥ 126 mg/dL, atau kadar glukosa darah sewaktu ≥ 200 mg/dL disertai gejala klinis diabetes (poliuria, polidipsia, dan penurunan berat badan).	Wawancara (rekam medis)	Kuisisioner	1.Memiliki DM 0.Tidak memiliki DM	Nominal
10.	Penyakit HIV	Responden dinyatakan memiliki HIV apabila telah terkonfirmasi positif melalui pemeriksaan laboratorium atau memiliki dokumentasi rekam medis yang menyatakan positif	Wawancara (Rekam Medik)		1.Memiliki HIV 0.Tidak Memiliki HIV	Nominal

Tabel 5. Definisi operasional variabel (Lanjutan)

No	Variabel	Definisi operasional	Cara Ukur	Alat ukur	Hasil ukur	Skala
11.	Kepadatan penghuni	status HIV Jumlah penghuni rumah yaitu perbandingan antara luas ruangan dengan jumlah penghuni yang berada di dalam rumah tersebut. Memenuhi syarat kepadatan apabila $\geq 9\text{m}^2$ perorang	Wawancara	Kuisisioner	1.Tidak memenuhi syarat 0. Memenuhi syarat	Nominal
12.	Luas Ventilasi	Presentasi perbandingan antara total luas lubang angin (ventilasi) yang dapat dimasuki udara dengan luas lantai bangunan rumah (dinyatakan memenuhi syarat jika luas ventilasi $< 10\%$ dari luas lantai). Pengukuran dilakukan di ruangan tempat responden menghabiskan	Pengukuran	Meteran	1.Tidak Memenuhi syarat 0.memenuhi syarat ventilasi	Nominal

Tabel 5. Definisi operasional variabel (Lanjutan)

No	Variabel	Definisi operasional	Cara Ukur	Alat ukur	Hasil ukur	Skala
13	Pencahayaan alami	Intensitas cahaya yang berasal dari sinar matahari, diukur pada tempat dimana penghuni menghabiskan sebagian besar waktunya di rumah dengan menggunakan Lux meter pada siang hari antara jam 08.00 WIB sampai dengan jam 12.00 (memenuhi syarat pencahayaan > 60 Lux)	Lux	Lux meter	1. Tidak memenuhi syarat pencahayaan 0. Memenuhi syarat pencahayaan	Nominal
14	Jenis Lantai	Tempat berpijak di dalam rumah yang diukur dengan kondisi kedap air (dilapisi semen atau tegel/ubin/keramik/teraso), tidak kedap air apabila lantai terluas dari dalam rumah masih berupa tanah.	Wawancara	Kuisi on er	1. Tidak Kedap air 0. Kedap air	Nominal

Tabel 5. Definisi operasional variabel (Lanjutan)

No	Variabel	Definisi operasional	Cara Ukur	Alat ukur	Hasil ukur	Skala
15	Kelembapan ruangan	Tingkat kelembapan relative dalam satu ruangan tinggal, ditentukan berdasarkan presentasi uap air terhadap kapasitas maksimal udara Menampung uap air	Pengukuran	Higrometer	1. Kelembapan tinggi $\geq 60\%$ 0. Kelembapan Rendah $< 59\%$	Nominal
16	Merokok	Merokok adalah kegiatan menghisap rokok baik berupa kretek maupun tembakau	Ceklist Wawancara	Kuesioner	0. Ya 1. Tidak	Nominal
17	Jarak Faskes	Jarak yang ditempuh responden untuk mendapatkan pelayanan Kesehatan ≥ 3 km beresiko < 3 km tidak beresiko	Ceklist Wawancara	Kuesioner	1 > 3 km 0 < 3 km	Nominal

3.1.7 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam dua tahap, yaitu tahap penelitian kuantitatif dan tahap pengembangan aplikasi sistem pakar, tampak pada gambar



Gambar 3. Prosedur penelitian

3.1.8 Pengolahan dan Analisis Data

1. Pengolahan Data

Setelah data terkumpul dari hasil rekam medik dan wawancara, maka dilakukan pengolahan data dengan langkah-langkah sebagai berikut:

a. *Editing data*

Hasil pengumpulan dari lapangan harus dilakukan penyuntingan (*editing*) terlebih dahulu. Proses *editing* data dilakukan minimal oleh dua orang, yaitu peneliti sendiri dan teman peneliti yang telah diberikan pelatihan sebelumnya, bertujuan untuk menghindari kesalahan pengisian.

b. *Coding data*

Setelah semua pertanyaan diedit atau disunting, selanjutnya dilakukan pengkodean atau “coding”, yakni mengubah data berbentuk kalimat atau huruf menjadi angka atau bilangan seperti variabel dependen (kasus=0, variabel kontrol=1) dan variabel independen (berisiko=0 dan tidak berisiko=1)

c. Memasukkan Data (*Data Entry*)

Pernyataan responden yang telah diberi “kode” (angka atau huruf) dimasukkan kedalam program atau “*software*” computer untuk dilakukan analisis paket program SPSS for window.

d. Pembersih Data (*Cleaning*)

Setelah semua data atau responden selesai dimasukkan, perlu dicek kembali untuk melihat adanya kemungkinan kesalahan pemberian kode, ketidak lengkapan, dan sebagainya, kemudian dilakukan perbaikan.

2. Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak, statistic program komputer, analisa data dilakukan secara bertahap yaitu univariat, *bivariat*, dan *multivariat* dengan tahapan sebagai berikut:

1. Analisis univariat

Pada penelitian ini, analisis univariat dilakukan untuk mendeskripsikan karakteristik masing-masing variabel yang akan diteliti. Perubahan menjadi persentase dilakukan dengan membagi frekuensi (f) dengan jumlah responden (n) dan dikalikan 100% dengan rumus :

$$P = \frac{F}{n} \times 100\%$$

Keterangan:

P = hasil yang dicari

F = frekuensi

n = jumlah responden

2. Analisis bivariat

Analisis bivariat adalah analisis yang dilakukan untuk menguji hubungan antara variabel independen dengan variabel dependen. Analisis yang digunakan uji komparatif kategorik dua kelompok tidak berpasangan yaitu *Chi Square* (x^2) dan *OR* (*Odds Ratio*). Uji ini digunakan untuk menemukan hubungan asosiatif antara variabel independen dan variabel dependen, bila hasil pengujian berupa penerimaan hipotesis berarti antara dua variabel tersebut ada hubungannya secara bermakna, sebaliknya bila pengujian berupa penolakan hipotesis berarti tidak ada hubungan antar kedua variabel tersebut.

Analisis bivariat dilakukan pada variabel yang telah dikategorikan dengan menggunakan uji *chi square* (x^2), menggunakan $\alpha = 0,05$ dan *95% Confidence Interval* (CI). Uji *chi square* (x^2) digunakan bila data penelitian berupa frekuensi-frekuensi dalam bentuk kategori baik itu nominal atau ordinal, uji ini juga digunakan untuk menentukan signifikansi dua variabel atau lebih.

Rumus yang digunakan yaitu:

$$X^2 = \sum \frac{(O - E)^2}{E}$$

Keterangan:

X^2 : *Chi Square*

Σ : Jumlah semua pertanyaan

O : Frekuensi observasi

E : Frekuensi harapan

Selain itu, untuk menghitung estimasi besar risiko masing-masing variabel bebas terhadap variabel terkait, digunakan nilai Odds Ratio (OR). rumus odd ratio, yaitu:

$$\frac{a \times d}{b \times c}$$

3. Analisis *multivariat*

Analisis *multivariat* dalam penelitian ini merupakan teknik analisis perluasan dari analisis sederhana, bertujuan untuk melihat atau mempelajari hubungan beberapa variabel independen secara bersamaan dengan satu atau beberapa variabel dependen (umumnya satu variabel dependen) (Sutanto, 2016).

Analisis *multivariat* merupakan variabel yang menunjukkan adanya hubungan yang bermakna ($p < 0,05$) yaitu dengan menggunakan uji regresi logistik ganda. Keuntungan regresi logistik ganda adalah kemampuannya untuk memasukkan beberapa variabel dalam satu model. Pada regresi logistik ganda, variabel independennya boleh campuran antara variabel kategorik dan numerik.

Dalam analisis *multivariat* dengan uji regresi logistik ganda, akan melalui suatu tahapan pemodelan dimana langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

1. Melakukan analisis bivariat antara masing-masing variabel independen dengan variabel dependennya. Bila hasil uji bivariat

mempunyai nilai $p \text{ value} < 0,25$ maka variabel tersebut dapat masuk model multivariat sedangkan variabel $p \text{ value} \geq 0,25$ tidak dimasukkan kedalam model multivariat.

2. Memasukan atau mengeluarkan variabel yang masuk dalam model. Variabel yang dimasukkan adalah variabel dengan nilai $p < 0,05$ dan variabel yang dikeluarkan adalah variabel dengan nilai $p > 0,05$. Hal ini dilakukan secara bertahap, yaitu dimulai dari variabel yang mempunyai nilai p terbesar, kemudian dihitung perubahan OIR. Jika perubahan OR melebihi 10% maka variabel yang telah dikeluarkan dimasukkan kembali dalam pemodelan.

Rumus Perubahan OR:

$$\frac{(\text{ada OR} - \text{tidak ada OR})}{\text{ada OR}} 100\%$$

Keterangan:

Ada OR : artinya, nilai Odd Ratio pada variabel $\leq 0,05$ sebelum variabel nilai $p > 0,05$ dikeluarkan

Tidak ada OR : Artinya, nilai Odd Ratio pada variabel $\leq 0,05$ setelah variabel nilai $p > 0,05$ dikeluarkan

3. Setelah memperoleh model yang memuat variabel-variabel penting, maka langkah terakhir adalah memeriksa kemungkinan interaksi variabel ke dalam model. Penelitian variabel interaksi dilihat dari kemungkinan uji statistik. Jika variabel mempunyai nilai bermakna, maka variabel interaksi penting dimasukkan kedalam model.

3.2 Tahap Pengembangan Sistem

Penelitian ini menggunakan metode rekayasa perangkat lunak (*software engineering*) dengan pendekatan pengembangan sistem pakar berbasis aturan. Metode pengembangan yang digunakan adalah *Expert System Development Life Cycle* (ESDLC), yaitu model pengembangan sistem pakar yang menekankan pada proses akuisisi dan representasi pengetahuan.

Menurut penelitian terbaru, ESDLC merupakan pendekatan yang efektif dalam pengembangan sistem berbasis pengetahuan karena mampu mengintegrasikan proses analisis, akuisisi pengetahuan, serta validasi sistem secara sistematis (Alshammari et al., 2021; Kusriani et al., 2022).

3.2.1 Penerapan *Forward Chaining*

Metode inferensi yang digunakan dalam penelitian ini adalah Forward Chaining, yaitu metode penalaran berbasis data (*data-driven reasoning*) yang dimulai dari fakta-fakta yang diketahui, kemudian diproses menggunakan aturan (*rule*) untuk menghasilkan suatu kesimpulan.

Forward chaining banyak digunakan dalam sistem pakar karena mampu melakukan proses penelusuran dari data awal menuju solusi secara sistematis dan sesuai dengan pengetahuan yang dimasukkan ke dalam sistem.

Forward chaining bekerja dengan cara mencocokkan fakta yang diberikan pengguna dengan premis pada aturan berbentuk IF-THEN. Jika kondisi pada bagian IF terpenuhi, maka sistem akan mengeksekusi bagian THEN untuk menghasilkan fakta baru atau kesimpulan. Proses ini berlangsung secara iteratif hingga diperoleh hasil akhir berupa diagnosis atau keputusan.

Representasi Pengetahuan dalam sistem direpresentasikan dalam bentuk aturan produksi (*production rules*) sebagai berikut:

1. *Rule*

G1 = YA (Kontak TB)

G2 = YA (Status Gizi Kurang)

G3 = YA (Ventilasi Buruk)

G4 = YA TIDAK (Merokok)

2. *Rule Tunggal*

R1: IF G1 THEN Risiko_TB (CF = 0.57)

R2: IF G2 THEN Risiko_TB (CF = 0.53)

R3: IF G3 THEN Risiko_TB (CF = 0.51)

R4: IF G4 THEN Risiko_TB (CF = 0.44)

3. Rule Kombinasi

R5: IF G1 AND G2 AND G3 THEN Risiko_TB_Tinggi

R6: IF G1 AND G3 THEN Risiko_TB_Tinggi

R7: IF G2 AND G3 THEN Risiko_TB_Tinggi

R8: IF G3 AND G4 THEN Risiko_TB_Sedang

R9: IF G1 AND G4 THEN Risiko_TB_Tinggi

4. Rule Klasifikasi

R10: IF $CF \geq 0.80$ THEN Risiko Tinggi

R11: IF $0.40 \leq CF < 0.80$ THEN Risiko Sedang

R12: IF $CF < 0.40$ THEN Risiko Rendah

Nilai *Certainty Factor* (CF) pada penelitian ini diperoleh dari hasil analisis Odds Ratio (OR) yang kemudian dinormalisasi menggunakan rumus $CF = (OR - 1) / OR$. Hasil perhitungan tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam menentukan bobot keyakinan pada setiap faktor risiko dalam sistem pakar.

Rumus $CF(H,E)=MB(H,E)-MD(H,E)$

Dimana:

MB = *Measure of Belief* (tingkat kepercayaan)

MD = *Measure of Disbelief* (tingkat ketidakpercayaan)

Transformasi nilai OR ke CF

Riwayat Kontak	OR = 2.3		
	$CF = \frac{2.3-1}{2.3}$	$= \frac{1.3}{2.3}$	= 0,57
Status Gizi	OR = 2.129		
	$CF = \frac{2.129-1}{2.129}$	$= \frac{1.129}{2.129}$	= 0,53
Ventilasi	OR = 2.061		
	$CF = \frac{2.061-1}{2.061}$	$= \frac{1.061}{2.061}$	= 0,51

Merokok OR = 1.775

$$CF = \frac{1.775}{1.775} - 1 = \frac{0.775}{1.775} = 0,44$$

Penilaian Risiko tinggi, Risiko sedang dan Risiko rendah berasal dari penghitungan kombinasi nilai CF

Contoh implementasi

Input User:

1. G1 = YA
2. G2 = YA
3. G3 = TIDAK
4. G4 = YA

Proses CF:

Gabungkan:

$$CF1 = 0.53$$

$$CF2 = 0.51$$

$$CF4 = 0.41$$

Langkah:

CFcombine1

$$= 0.53 + 0.51(1 - 0.53)$$

$$= 0.53 + 0.2397$$

$$= 0.77$$

CFcombine2

$$= 0.77 + 0.41(1 - 0.77)$$

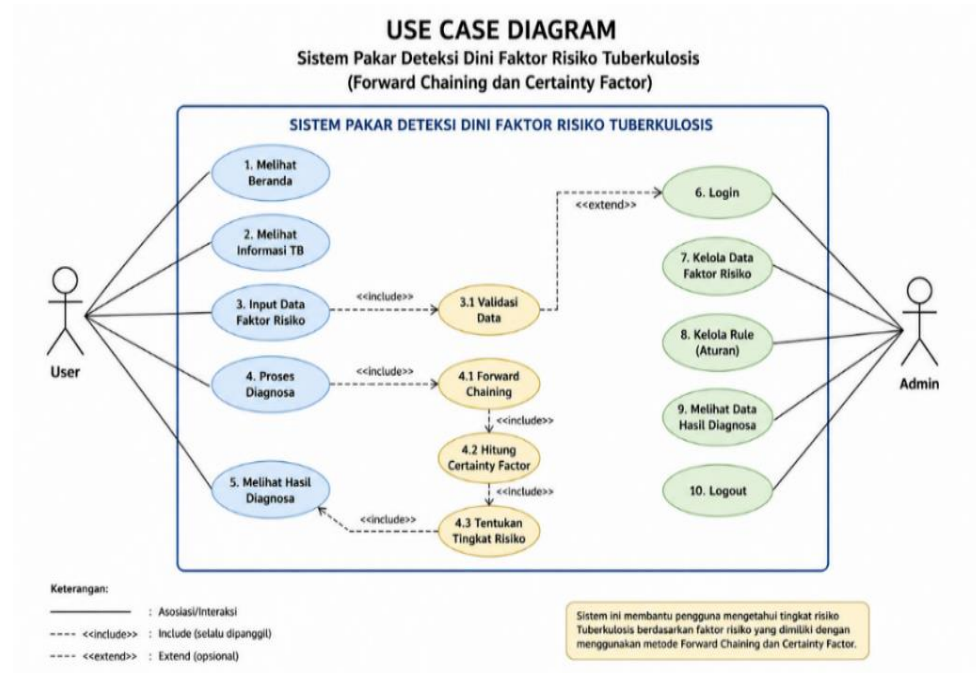
$$= 0.77 + 0.0943$$

$$= 0.86$$

CF = 0.86 → Risiko TB Tinggi

3.2.2 Use Case Diagram

Use Case Diagram digunakan untuk menggambarkan interaksi antara aktor dengan sistem.



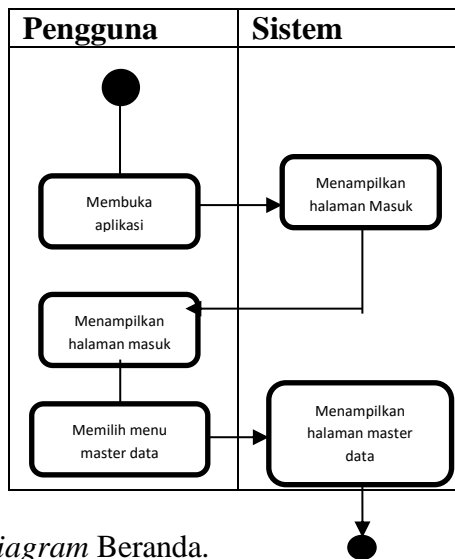
Gambar 4. Use Case Diagram.

3.2.3 Activity Diagram

Activity diagram menggambarkan berbagai aliran aktivitas dalam sistem yang sedang dirancang (Kurniawan, 2020). Activity diagram dari sistem deteksi faktor risiko yang akan dikembangkan adalah sebagai berikut.

a. Activity Diagram Beranda

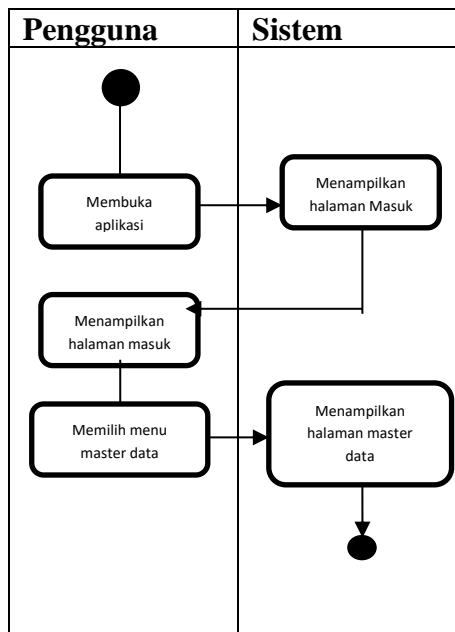
Activity Diagram Beranda dimulai saat pengguna membuka aplikasi ini, kemudian menekan tombol Masuk. Secara otomatis sistem akan menampilkan halaman Beranda. Activity Diagram beranda dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. *Activity Diagram Beranda*.

b. *Activity Diagram Master Data*

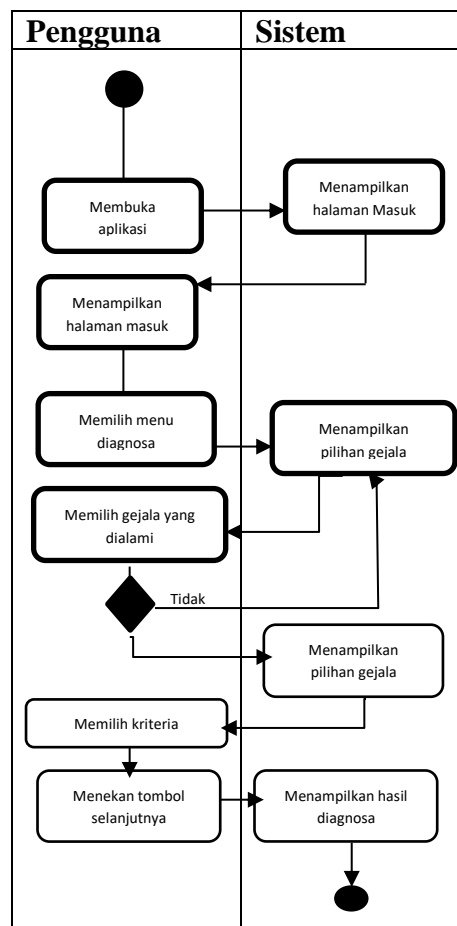
Pada *Activity Diagram Master Data*. Sistem akan menampilkan halaman Master Data yang berisi data penyakit dan data gejala yang terdapat pada sistem pakar ini. *Activity Diagram Master Data* dapat dilihat pada gambar



Gambar 6. *Activity Diagram Master Data*.

c. *Activity Diagram* Faktor risiko

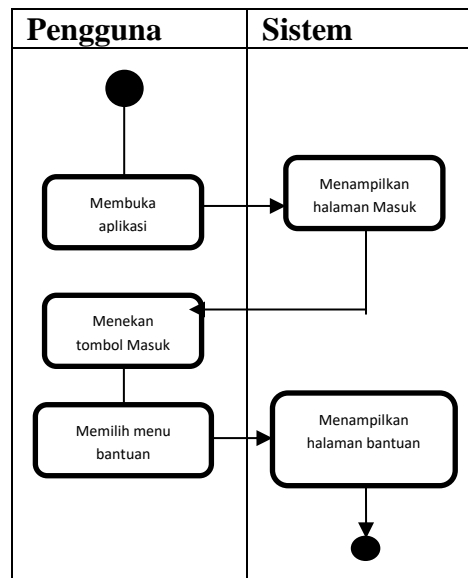
Activity Diagram faktor risiko dimulai ketika pengguna memilih menu faktor risiko. Sistem akan menampilkan faktor- faktor risiko dan pilihan kriteria, kemudian pengguna dapat menekan tombol YA atau pilihan kriteria faktor risiko jika mengalami gejala tersebut, kemudian sistem akan menampilkan faktor risiko berikutnya setelah pengguna menekan tombol SELANJUTNYA. Apabila pengguna menekan tombol TIDAK pada pilihan gejala, maka sistem akan menampilkan pilihan faktor risiko berikutnya. *Activity Diagram kriteria faktor risiko* dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. *Activity Diagram* kriteria faktor risiko.

d. *Activity Diagram* Bantuan

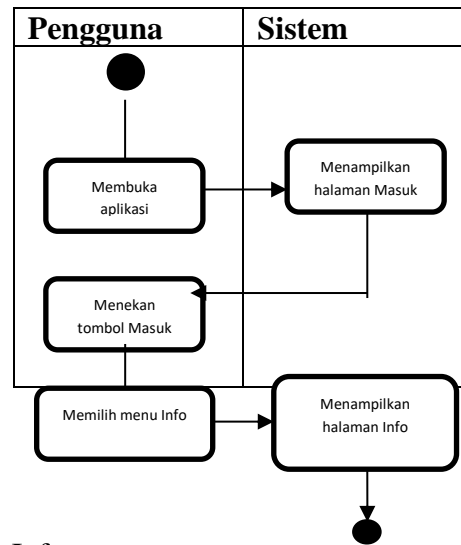
Activity Diagram Bantuan dimulai ketika pengguna memilih menu Bantuan dan sistem akan menampilkan halaman Bantuan yang berisi gambar dan penjelasan dari setiap menu pada sistem. *Activity Diagram* Bantuan dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. *Activity Diagram* Bantuan.

e. *Activity Diagram* Info

Activity Diagram Info dimulai ketika pengguna memilih menu Info dan sistem akan menampilkan halaman menu Info yang berisi mengenai penjelasan sistem pakar diagnosa penyakit TB ini, dan info terkait data diri singkat dari pengembang. *Activity Diagram* Info dapat dilihat pada Gambar 9.



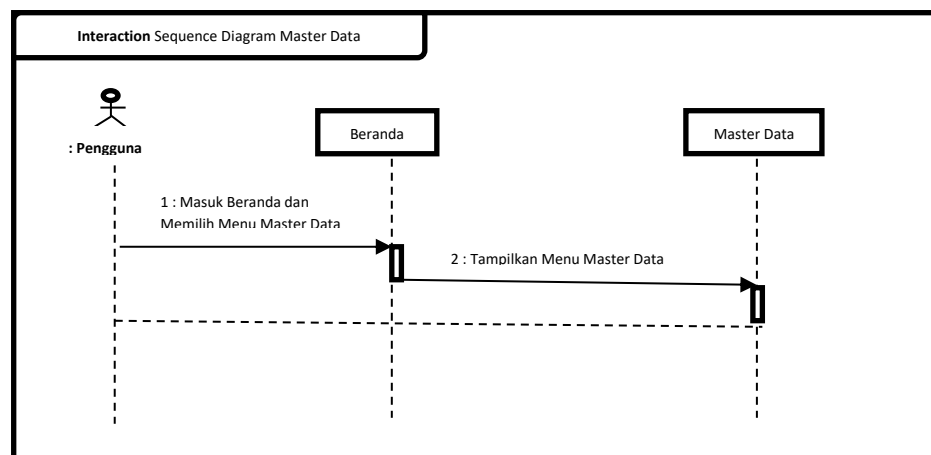
Gambar 9. *Activity Diagram Info.*

3.2.4 Sequence Diagram

Sequence diagram digunakan untuk menggambarkan interaksi antar objek didalam dan disekitar sistem yang berupa *message* yang digambarkan terhadap waktu (Kurniawan, 2020). *Sequence diagram* dari sistem pakar diagnosa penyakit TB yang akan dikembangkan adalah sebagai berikut.

1. *Sequence diagram* Master Data

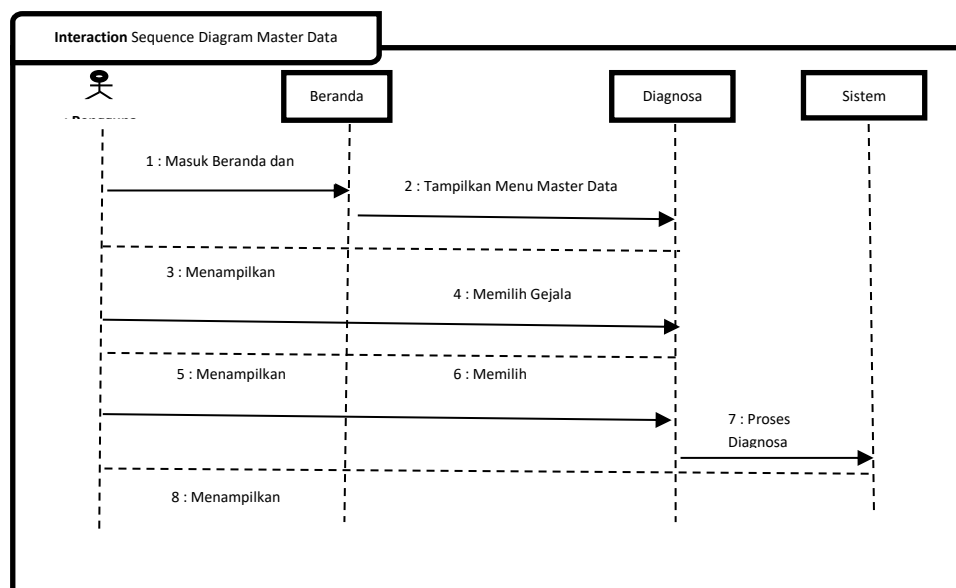
sequence diagram Master Data dimulai ketika pengguna memilih menu Master Data dan sistem akan menampilkan halaman yang berisi data-data pada sistem. *Siklus diagram Master Data* dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. *Sequence Diagram Master Data.*

2. *Sequence diagram* Diagnosis

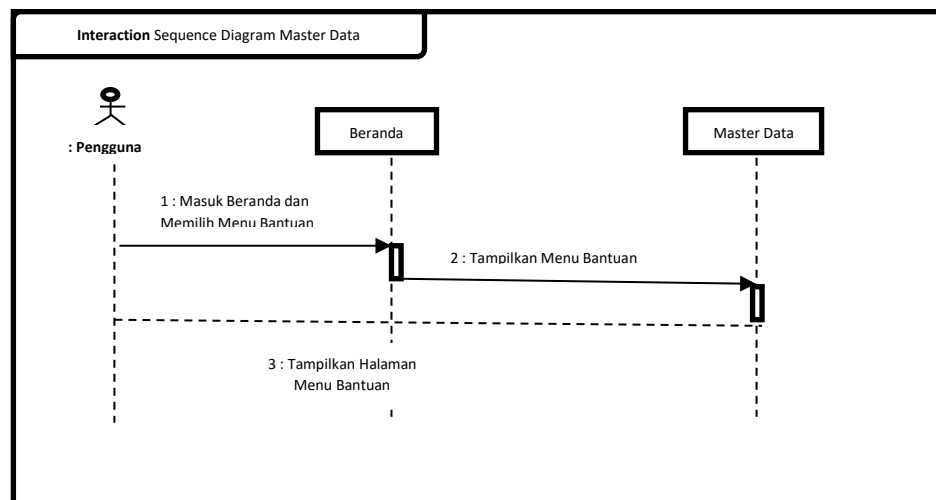
Sequence diagram Diagnosa dimulai ketika pengguna memilih menu Diagnosa, kemudian sistem akan menampilkan halaman menu kriteria faktor risiko. Pada halaman menu faktor risiko ini, pengguna dapat memilih faktor risiko dan kriteria faktor risiko sesuai dengan yang dialami. Selanjutnya, sistem akan menampilkan hasil. Siklus *diagram faktor risiko* dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. *Sequence Diagram* faktor risiko.

3. *Sequence diagram* Bantuan

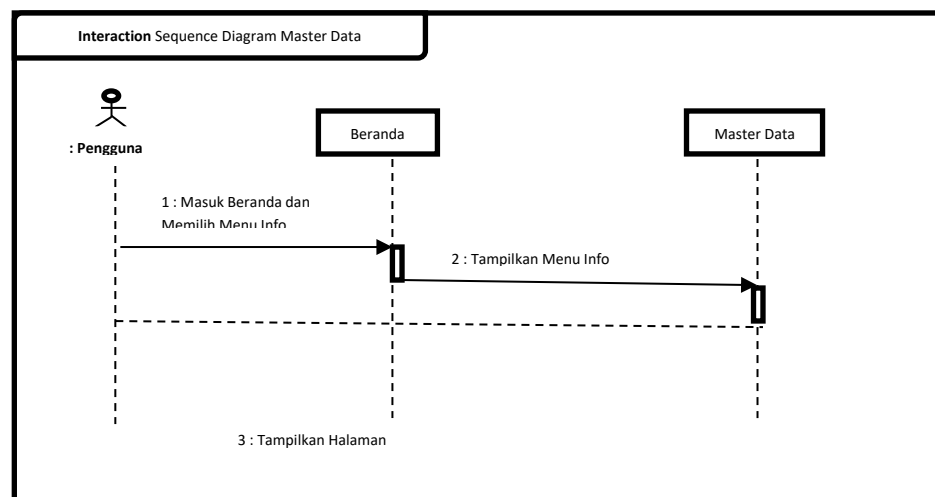
Diagram Bantuan dimulai ketika pengguna memilih menu Bantuan, maka selanjutnya sistem akan menampilkan penjelasan mengenai cara melakukan konsultasi pada sistem. Siklus *diagram bantuan* dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. *Sequence Diagram* Bantuan.

4. Sequence diagram Info

Sequence diagram Info dimulai ketika pengguna memilih menu Info. Setelah itu sistem akan menampilkan halaman berisi info-info singkat terkait penjelasan sistem faktor risiko ini, serta info terkait data pengembang sistem. *Sequence diagram* Info dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. *Sequence Diagram* Info.

5. Desain *Interface*

Desain *interface* merupakan gambaran awal sistem yang nantinya akan dikembangkan. Berikut ini merupakan desain *interface* pada sistem pakar deteksi dini faktor risiko penyakit TB berbasis website.

a. Rancangan Tampilan Halaman Masuk

Gambar 14 adalah rancangan tampilan halaman awal aplikasi sistem pakar yang akan dikembangkan, yaitu halaman Masuk. Pada halaman ini, pengguna hanya menekan tombol Masuk untuk dapat mulai menggunakan sistem deteksi dini faktor risiko.



Gambar 14. Desain *Interface* Halaman Masuk.

b. Rancangan Tampilan Halaman Beranda

Gambar 15 merupakan aktivitas ketika pengguna sudah masuk ke dalam aplikasi. Kemudian sistem akan menampilkan tampilan halaman Beranda, pada halaman ini terdapat beberapa menu, yaitu menu bantuan, menu master data, menu kriteria faktor risiko, dan menu info.

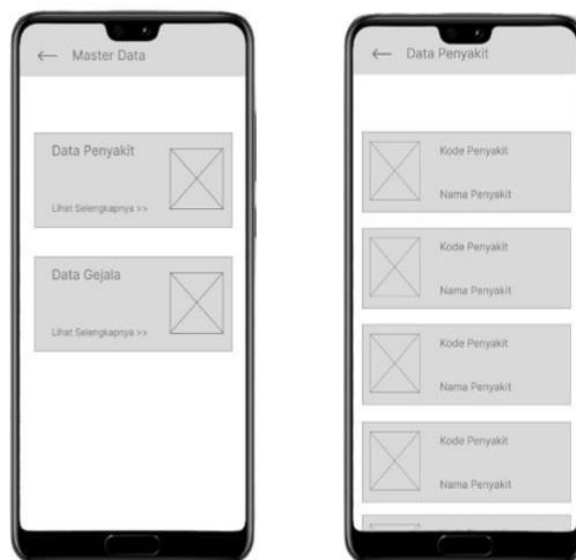


Gambar 15. Desain *Interface* Halaman Beranda.

c. Rancangan Tampilan Halaman Master Data

Halaman Master Data berisi data yang memberikan informasi kepada pengguna terkait daftar faktor faktor risiko disediakan oleh sistem deteksi dini ini.

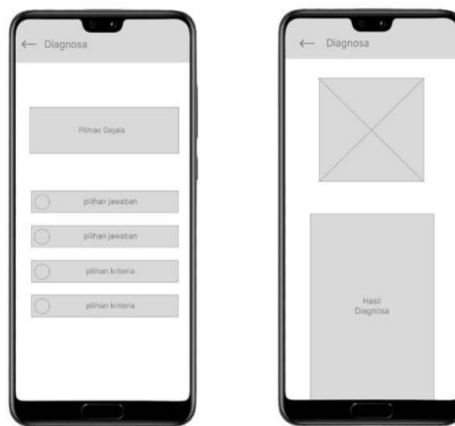
Rancangan tampilan halaman Master Data dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Desain *Interface* Halaman Master Data.

d. Rancangan Tampilan Halaman faktor risiko

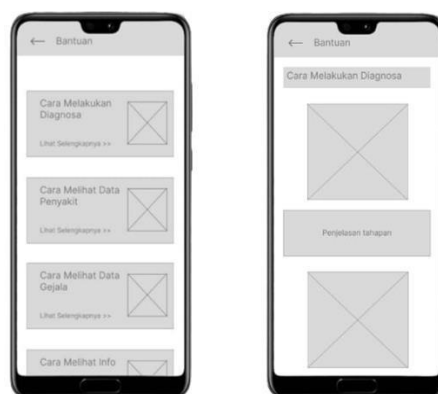
Gambar 17 adalah rancangan tampilan halaman faktor risiko, di mana pada halaman ini terdapat beberapa langkah yang dilakukan. Langkah pertama, pengguna dapat memilih gejala yang dialami. Selibuhnya, pengguna dapat memilih kriteria gejala. Kemudian pada tahap selanjutnya sistem akan menampilkan hasil kriteria faktor risiko sesuai gejala.



Gambar 17. Desain *Interface* Halaman Diagnosa.

e. Rancangan Tampilan Halaman Bantuan

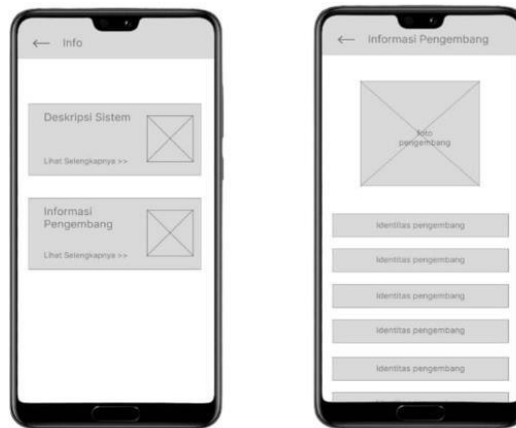
Gambar 18 menunjukkan rancangan tampilan halaman Bantuan yang berisikan info berupa langkah-langkah dan penjelasan terkait menu yang disediakan oleh sistem agar memudahkan pengguna menggunakan sistem untuk melakukan diagnosa penyakit.



Gambar 18. Desain *Interface* Halaman Bantuan.

f. Rancangan Tampilan Halaman Info

Halaman Info adalah halaman yang memuat informasi singkat terkait aplikasi sistem deteksi dini ini, dan berisi identitas singkat dari pengembang sistem. Rancangan halaman Tentang dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 19. Desain *Interface* Halaman Info.

3.2.5 Rancangan Mock UP

0. Rancangan halaman Beranda

Halaman beranda merupakan tampilan awal yang muncul ketika pengguna mengakses sistem. Halaman ini berfungsi sebagai pintu masuk utama yang memberikan informasi umum mengenai sistem serta navigasi menuju fitur yang tersedia. Komponen yang terdapat pada halaman beranda meliputi:

1. Judul sistem pakar
2. Deskripsi singkat aplikasi
3. Tombol mulai skrining
4. Menu navigasi

Rancangan halaman ini dibuat sederhana agar pengguna dapat langsung memahami fungsi utama sistem.

1. Rancangan halaman Input Data

Halaman input data digunakan untuk mengumpulkan informasi dari pengguna berupa faktor risiko tuberkulosis. Input yang diberikan oleh

pengguna berupa pilihan jawaban “Ya” atau “Tidak” terhadap setiap pertanyaan yang tersedia.

Komponen pada halaman ini meliputi:

1. Daftar pertanyaan faktor risiko
2. Pilihan jawaban (Ya/Tidak)
3. Tombol proses diagnosis

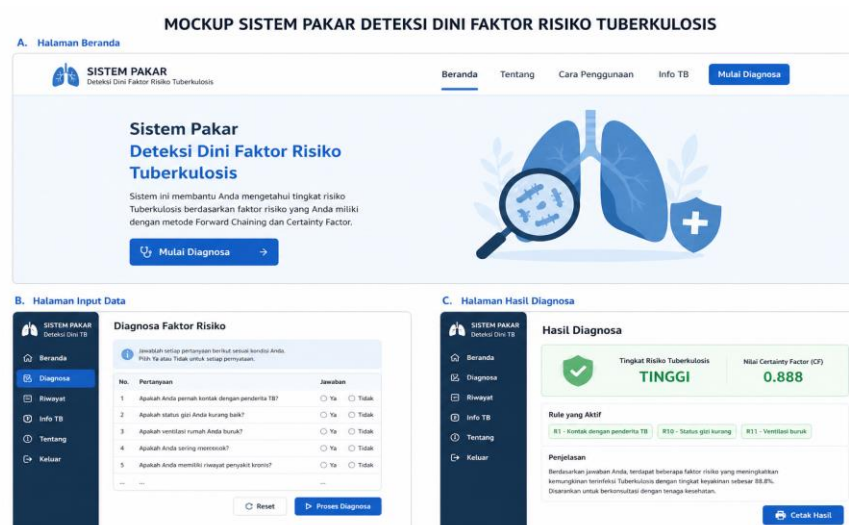
Setiap pertanyaan mewakili gejala atau faktor risiko yang akan diproses menggunakan metode *Forward Chaining* dan *Certainty Factor* untuk menghasilkan kesimpulan.

2. Rancangan halaman Hasil

Halaman hasil diagnosis menampilkan hasil akhir dari proses perhitungan sistem pakar. Hasil yang ditampilkan berupa nilai *Certainty Factor* dan kategori tingkat risiko tuberkulosis. Komponen yang terdapat pada halaman hasil meliputi:

1. Nilai *Certainty Factor* (CF)
2. Kategori risiko (rendah, sedang, tinggi)
3. Daftar rule yang aktif (fired rules)
4. Penjelasan hasil diagnosa

Halaman ini dirancang untuk memberikan informasi yang jelas dan mudah dipahami oleh pengguna terkait hasil analisis sistem.



Gambar 20. Mocup

3.2.6 Rancangan Pengujian

1. *Black Box Testing*

Black Box Testing merupakan metode pengujian perangkat lunak yang berfokus pada pengujian fungsionalitas sistem tanpa melihat struktur internal kode program. Pengujian ini dilakukan dengan cara memberikan input pada sistem dan mengamati output yang dihasilkan untuk memastikan bahwa sistem telah berjalan sesuai dengan kebutuhan yang telah ditentukan.

Pada penelitian ini, *Black Box Testing* digunakan untuk menguji setiap fitur pada sistem pakar deteksi dini faktor risiko Tuberkulosis. Pengujian dilakukan pada beberapa halaman utama, seperti halaman beranda, halaman input data, serta halaman hasil diagnosis.

Adapun aspek yang diuji meliputi:

1. Kesesuaian fungsi tombol dan navigasi
2. Validasi input pengguna
3. Proses perhitungan *Certainty Factor*
4. Kesesuaian hasil output sistem

Hasil pengujian dinyatakan berhasil apabila output yang dihasilkan sesuai dengan yang diharapkan berdasarkan skenario pengujian yang telah dibuat.

2. *User Acceptance Test*

User Acceptance Test (UAT) merupakan tahap pengujian akhir yang dilakukan untuk mengetahui tingkat penerimaan dan kepuasan pengguna terhadap perangkat lunak yang telah dikembangkan. Pengujian ini bertujuan untuk memvalidasi secara langsung bahwa sistem yang dibuat telah sesuai dengan spesifikasi kebutuhan pengguna, fungsional, serta mudah dioperasikan dalam kondisi yang sebenarnya (Purnomo dkk., 2023).

Pada penelitian ini, UAT dilakukan secara langsung dengan melibatkan responden yang terdiri dari calon pengguna sistem (seperti tenaga kesehatan, kader TB, atau masyarakat umum). Pengujian dilakukan dengan cara memberikan kuesioner kepada responden setelah mereka selesai menyimulasikan dan menggunakan aplikasi sistem pakar deteksi dini faktor risiko tuberkulosis. Langkah ini krusial untuk memastikan bahwa alur diagnosis dan rekomendasi yang diberikan oleh sistem dapat dipahami dengan baik oleh pengguna akhir (Wijaya dan Kusuma, 2024).

Instrumen yang digunakan dalam UAT berupa kuesioner tertutup yang diukur menggunakan metode skala Likert. Indikator pertanyaan pada kuesioner mencakup beberapa aspek utama kelayakan perangkat lunak, seperti aspek kemanfaatan (*usefulness*), kemudahan penggunaan (*ease of use*), dan kualitas antarmuka sistem (Radinal dan Hakim, 2023). Skala Likert digunakan untuk mengukur sikap, pendapat, dan persepsi responden terhadap sistem, di mana setiap pilihan jawaban memiliki bobot nilai sebagai berikut (Sugiyono, 2023):

Data bobot nilai yang terkumpul dari instrumen UAT ini kemudian akan direkapitulasi dan diakumulasikan untuk dihitung persentase kelayakannya pada tahap analisis data.

Pada penelitian ini, UAT dilakukan dengan melibatkan responden yang terdiri dari pengguna sistem. Pengujian dilakukan dengan cara memberikan kuesioner kepada responden setelah mereka menggunakan sistem pakar deteksi dini faktor risiko Tuberkulosis. Instrumen yang digunakan dalam UAT berupa kuesioner dengan skala *Likert* yang terdiri dari beberapa indikator, antara lain:

1. Kemudahan penggunaan sistem
2. Kejelasan tampilan antarmuka
3. Kecepatan sistem dalam memberikan hasil
4. Kesesuaian hasil diagnosa

5. Kepuasan pengguna terhadap sistem

Setiap pernyataan dalam kuesioner diberikan skor dengan rentang nilai sebagai berikut:

1 = Sangat Tidak Setuju

2 = Tidak Setuju

3 = Cukup Setuju

4 = Setuju

5 = Sangat Setuju

Hasil dari UAT kemudian diolah untuk memperoleh nilai rata-rata tingkat kepuasan pengguna. Nilai tersebut digunakan untuk menentukan apakah sistem telah memenuhi kebutuhan pengguna atau masih memerlukan perbaikan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, pengembangan dan penerapan model deteksi dini faktor risiko Tuberkulosis berbasis *Host* dan *Environment*, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Model Deteksi Dini Faktor Risiko TB berdasarkan hasil multivariat diperoleh bahwa faktor yang berpengaruh secara signifikan adalah kontak TB, status gizi, ventilasi udara, dan kebiasaan merokok.
2. Perancangan sistem pakar deteksi dini faktor risiko TB berbasis Web dilakukan dengan menggunakan metode *Expert System Development Life Cycle* (ESDLC) yang terdiri dari tahap penilaian, akuisisi pengetahuan, perancangan, pengujian, serta dokumentasi. Metode yang digunakan pada sistem pakar ini adalah metode *forward chaining* sebagai mesin inferensi, serta metode *certainty factor* untuk menghitung nilai keyakinan pakar terhadap hasil diagnosis yang diberikan oleh sistem. Berdasarkan hasil pengujian kelayakan menunjukkan bahwa aplikasi berada pada kategori "Sangat Layak" untuk digunakan sebagai alat bantu pendeteksian dini risiko TB.

5.2 Saran

Adapun saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Sistem dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan metode lain seperti *Machine Learning* atau *Deep Learning* untuk meningkatkan akurasi diagnosis.

2. Perlu sosialisasi ke masyarakat melalui pelayanan Kesehatan primer dan fasilitas kesehatan yang ada
3. Penambahan fitur Dashboard yang akan digunakan oleh manajemen untuk pemantauan hasil skrining.
4. Penambahan jumlah data gejala dan jenis penyakit lain yang berkaitan dengan sistem pernapasan agar sistem menjadi lebih komprehensif.
5. Integrasi dengan database rekam medis atau sistem kesehatan untuk mendukung implementasi di fasilitas pelayanan kesehatan.
6. Pengembangan aplikasi dalam bentuk mobile (Android/iOS) agar lebih mudah diakses oleh masyarakat luas.
7. Perlu dilakukan pengujian lebih lanjut dengan jumlah responden yang lebih besar untuk mendapatkan hasil evaluasi yang lebih akurat dan representatif.
8. Perlu menambahkan kriteria pilihan jawaban selain ya dan tidak pada pengguna, sehingga penghitungan *forward Chaining* baik lagi

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, N., Hussin, M., & Rahman, S. A. (2021). *Modern prototyping approaches in agile software development: Accelerating iterative analysis, design, and implementation through user feedback*. *Journal of Systems and Software*, 175, 110920. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2021.110920>
- Alshammari, M., Al-Sultan, A., & Al-Anzi, A. (2021). *The impact of User Acceptance Testing (UAT) on software quality and end-user satisfaction*. *Journal of Systems and Software*, 178, 110963. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2021.110963>
- Alshammari, M., Alshammari, A., & Al-Mubarak, A. (2021). *Developing knowledge-based expert systems using the Expert System Development Life Cycle (ESDLC): A review and implementation*. *Journal of Computer Science and Information Technology*, 9(1), 12–25. <https://doi.org/10.15640/jcsit.v9n1a2>
- Aqil, A., Malik, M. A., & Khan, H. (2021). *Evaluation of health information systems implementation: Challenges of infrastructure, human resources, and interoperability*. *Health Policy and Technology*, 10(3), 100512. <https://doi.org/10.1016/j.hlpt.2021.100512>
- Arjuna, & Sukihananto. (2018). *Mobile Health Upaya Dalam Meningkatkan Keberhasilan Pengobatan Pasien Tuberkulosis (Tb) Paru: Kajian Literatur*. *Jurnal Fakultas Ilmu Keperawatan Universitas Indonesia*, 1–7.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Lampung Tengah. 2024. *Kabupaten Lampung Tengah Dalam Angka 2024*.
- Bahtiar, A. (2025). *Efektivitas aplikasi active case finding berbasis android terhadap peningkatan partisipasi skrining mandiri gejala tuberkulosis*. *Jurnal Kesehatan Komunitas*, 11(1), 45–53. <https://jurnal.htu.ac.id/>

- Barisic, M. (2025). *Integrating SDLC and ESDLC methodologies: A hybrid framework for structural and knowledge excellence in expert systems development. International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering*, 35(2), 189–204.
<https://doi.org/10.1142/s021819402500112x>
- Booch, G., Rumbaugh, J., & Jacobson, I. (2021). *The Unified Modeling Language User Guide* (3rd ed.). Addison-Wesley Professional.
- Boonstra, A., Vos, J., & Rosenberg, L. (2021). *The effect of Electronic Health Records on the quality and safety of healthcare services: A systematic literature review. Procedia Computer Science*, 196, 272–279.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.12.015>
- Brambilla, M., Cabot, J., & Wimmer, M. (2021). *Model-driven software engineering in practice* (3rd ed.). Morgan & Claypool Publishers.
<https://doi.org/10.1007/978-3-031-02483-2>
- Choi, J. H., & Kim, S. B. (2021). *Structured knowledge acquisition and inference modeling in expert systems: An ESDLC approach. International Journal of Expert Systems with Applications*, 172, 114612.
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.114612>
- Darwis, D., Sulistiani, H., & Prasetyawan, P. (2021). Penerapan Metode *Expert System Development Life Cycle (ESDLC)* dalam Pengembangan Sistem Pakar Deteksi Dini Penyakit. *Jurnal Teknoinfo*, 15(1), 35–42.
- Dharmawan, A., Setiawan, B., & Cahyono, D. (2022). Peningkatan kualitas desain perangkat lunak menggunakan *sequence diagram* dalam pemodelan interaksi dinamis sistem. *Jurnal Rekayasa Sistem Dan Teknologi Informasi*, 6(3), 415–422. <https://doi.org/10.29207/resti.v6i3.3982>
- Durkin, J. (2021). *Expert Systems: Design and Development* (International ed.). Macmillan Publishing Company.
- Faizal, I. A., Pangesti, I., & Setia P, D. A. (2021). *House environments as risk factors of tuberculosis in Cilacap district. Jurnal Riset Kesehatan*, 10(1), 65–70. <https://doi.org/10.31983/jrk.v10i1.6694>

- Fatemeh, P., Mohammad, K., Siavosh, A., Fatemeh, R., Saeed, B., & Mahmood, M. (2023). *Relationship between Smoking and Tuberculosis Recurrence: A Systematic Review and Meta-Analysis*. *The Indian Journal of Tuberculosis*, 70(4), 475–482. <https://doi.org/10.1016/j.ijtb.2023.04.005>
- Fatimah, D. D. S., Septiana, Y., Ramadhan, G., & Pariyatin, Y. (2022). Rancang Bangun Aplikasi Sistem Pakar Diagnosa Penyakit *Stunting* Berbasis Web Menggunakan Metode *Certainty Factor*. *Jurnal Algoritma*, 19(2), 547–557. <https://doi.org/10.33364/algoritma/v.19-2.1144>
- Fitri, R., Rahmawati, E., & Handayani, T. (2022). Penerapan metode *forward chaining* dalam sistem pakar berbasis *data-driven* untuk penarikan kesimpulan gejala penyakit. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 9(4), 721–728.
- Ghosh, K., & Lama, M. (2022). *Assessment of demographic characteristics of patients with tuberculosis and treatment profile of revised national tuberculosis control programme in Purba Bardhaman district of West Bengal*. *HAL Open Science*, HAL Id: hal-03739597, 1–12.
- Giarratano, J. C., & Riley, G. D. (2020). *Expert Systems: Principles and Programming* (4th ed.). *Cengage Learning* (Adaptasi dalam Jurnal Edukasi dan Penelitian Informatika, 8(2)).
- Goletti, D., Meintjes, G., Andrade, B. B., Zumla, A., & Shan, S. (2025). *Insights from the 2024 WHO Global Tuberculosis Report – More Comprehensive Action, Innovation, and Investments required for achieving WHO End TB goals*. *International Journal of Infectious Diseases*, 150, 107325. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2024.107325>
- Gordon, J. E. (1949). *The Epidemiology of Accidents*
- Harlina, S., Dita, A., & Opu, D. (2024). *Implementation of The Certainty Factor Algorithm and Forward Chaining For Food Recommendations and Prohibitions* (Implementasi Algoritma *Certainty Factor* dan *Forward Chaining* untuk Rekomendasi dan Larangan Makanan). *Jurnal Ilmiah Komputer*, 4(1), 340–349.

- Hassan, S., Ahmad, R., & Mohamad, N. (2022). *User involvement in software development: Evaluation of system quality and user satisfaction through UAT. International Journal of Computer Science and Information Security*, 20(3), 45–54.
- Hemalatha, S., et al. (2023). *Diabetes and TB: Confluence of Two Epidemic and Its Effect on Clinical Presentation. Endocrine, Metabolic & Immune Disorders - Drug Targets*, 23(8), 1-8.
<https://doi.org/10.2174/1573399819666230331113156>
- Hibatulloh, M. R., & Zaky, A. (2025). Penerapan metode *certainty factor* pada sistem pakar deteksi kesehatan mandiri. *Journal of Applied Informatics and Software Engineering (JAISE)*, 5(1), 12–21.
- Horton, K. C., Sumner, T., Houben, R. M., Corbett, E. L., & White, R. G. (2021). *Sex differences in tuberculosis burden and notifications: an analysis of national prevalence surveys and registry data. The Lancet Global Health*, 9(4), e532–e541. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(20\)30514-4](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(20)30514-4)
- ISO/IEC/IEEE. (2023). *Systems and software engineering — Lifecycle profiles for Very Small Entities (VSEs) — Part 5-1-2: Management and engineering guide: Generic profile (ISO/IEC/IEEE International Standard No. 29110-5-1-2:2023). International Organization for Standardization.*
- Irfan, M., Rahman, A., & Saputra, H. (2022). Analisis mekanisme *working memory* dan pencocokan aturan pada mesin inferensi *forward chaining*. *Jurnal Media Informatika Budidarma*, 6(1), 215–222.
<https://doi.org/10.30865/mib.v6i1.3412>
- Jannah, R. Z., Azizah, R., Jalaludin, J. B., Sulistyorini, L., & Lestari, K. S. (2023). *Meta-analysis study: Environmental risk factors of tuberculosis (TB). Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 15(2), 84–91.
<https://doi.org/10.20473/jkl.v15i2.2023.84-91>
- Javed, A., Khan, M. N., & Mahmood, S. (2021). *Empirical evaluation of black-box testing techniques in functional requirements verification. Software Quality Journal*, 29(3), 615–632. <https://doi.org/10.1007/s11219-021-09552-w>

- Kementerian Kesehatan RI. (2020). Petunjuk Teknis Pendampingan Pasien TBC Resistan Obat Oleh Komunitas. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.
- Keutzer, L., Wicha, S. G., & Simonsson, U. S. H. (2020). *Mobile health apps for improvement of tuberculosis treatment: Descriptive review. JMIR mHealth and uHealth*, 8(4), e17246. <https://doi.org/10.2196/17246>
- Kumar, R., & Singh, A. (2023). *Validation of web-based applications using functional black-box testing techniques: An empirical study. Computer Science Review*, 48, 100547. <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2023.100547>
- Kumar, S., India, M., & Rao, P. V. (2022). *Expert systems in healthcare: A review of applications, opportunities, and challenges in medical diagnosis. International Journal of Medical Informatics*, 158, 104652. <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2021.104652>
- Kusrini, K., Amalia, R., & Hartati, S. (2022). Penerapan metode *Expert System Development Life Cycle (ESDLC)* dalam membangun sistem berbasis pengetahuan yang sistematis. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer (JTIK)*, 9(3), 511–518. <https://doi.org/10.25126/jtiik.2022934321>
- Lei, Z., Yang, Y., & Zhang, B. (2023). *Effect of persistent malnutrition on pulmonary tuberculosis treatment: A cross-sectional study in Weifang, China. Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 32(2), 206–214. <https://doi.org/10.6133/apjcn.202306>
- Lestari, W., & Raksanagara, A. S. (2022). Pengaruh kepercayaan budaya dan pengobatan tradisional terhadap keterlambatan pencarian pelayanan kesehatan pada pasien tuberkulosis paru. *Jurnal Kesehatan Komunitas*, 8(2), 145–152. <https://jurnal.htu.ac.id/>
- Lester, R., Jh, J., Bolten, L. M., Enjetti, A., Johnston, J. C., Schwartzman, K., Tilahun, B., & Von Delft, A. (2019). *Mobile phone short message service for adherence support and care of patients with tuberculosis infection: Evidence and opportunity. Journal of Clinical Tuberculosis and Other*

- Mycobacterial Diseases*, 16, 100108.
<https://doi.org/10.1016/j.jctube.2019.100108>
- Lippeveld, T., Sauerborn, R., & Bodart, C. (2000). *Design and implementation of health information systems*. World Health Organization.
- Maka, A., Mbululo, L., & Mfinanga, S. (2021). *Evaluation of tuberculosis infection control measures in healthcare facilities: A cross-sectional study*. *BMC Infectious Diseases*, 21(1), 412. <https://doi.org/10.1186/s12879-021-06103-w>
- Mandal, M., Pires, D., Azevedo-pereira, J. M., & Anes, E. (2025). *Host-Directed Therapies Based on Protease Inhibitors to Control Mycobacterium tuberculosis and HIV Coinfection*. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 15, 1–15. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2025.101234>
- Martinez, N., & Kornfeld, H. (2014). *Diabetes and immunity to tuberculosis*. *European Journal of Immunology*, 44(3), 617–626.
<https://doi.org/10.1002/eji.201344301>
- Matsuzaka, T., & Yashiro, K. (2023). *Hybrid expert systems: Integrating rule-based reasoning with machine learning for dynamic adaptation*. *Knowledge-Based Systems*, 265, 110374.
<https://doi.org/10.1016/j.knosys.2023.110374>
- Migliori, G. B., Thomsen, V. Ø., Alffenaar, J. W., Bruchfeld, J., Carrara, S., Codecasa, L. R., & Ditiu, L. (2022). *European Respiratory Society/European Centre for Disease Prevention and Control international standards for tuberculosis care: 2022 update*. *European Respiratory Journal*, 59(4), 2200537.
<https://doi.org/10.1183/13993003.00537-2022>
- Miladi, Q. N. (2025). *Effectiveness of Digital Health Interventions to Enhance Continuity of Care in Patients with Pulmonary Tuberculosis: A Systematic Review of Randomized Controlled Trials*. *Journal of Medical Internet Research*, 27, 1807–1823.
- Myers, B., Carney, T., Rooney, J., Malatesta, S., Ragan, E. J., White, L. F., Natcheva, H., Bouton, T. C., Weber, S. E., Farhat, M., Mcilleron, H.,

- Theron, D., Parry, C. D. H., Horsburgh, C. R., Warren, R. M., & Jacobson, K. R. (2023). *Smoked drug use in patients with TB is associated with higher bacterial burden. The International Journal of Tuberculosis and Lung Disease*, 27(6), 444–450. <https://doi.org/10.5588/ijtld.22.0650>
- Nabila, A. A., & Desiani, A. (2023). Sistem Pakar Diagnosa Penyakit Tuberkulosis Dengan Metode *Certainty Factor*. *Jurnal Sistem Informasi dan Ilmu Komputer*, 7(1), 1–6.
- Nguyen, O. T., Jenkins, N. J., Khanna, N., & Turner, K. (2022). *Primary care physicians' electronic health record proficiency and efficiency behaviors: Supporting data-driven decision making in public health systems. Journal of Medical Systems*, 46(5), 416–423. <https://doi.org/10.1007/s10916-022-01824-3>
- O'Brien, J. A., & Marakas, G. M. (2022). *Management Information Systems* (11th ed.). *McGraw-Hill Education*.
- Pamungkas, A., dkk. (2021). Sistem Pakar Deteksi Dini HIV/AIDS Dengan Metode *Forward Chaining* Dan *Certainty Factor*. *Journal of Technology, Information Science, and Computer*, 4(2), 115–123.
- Patel, K., Shah, M., & Patel, S. (2021). *Black box testing methodologies for mobile and web applications: A comparative analysis on functional error detection. IEEE Access*, 9, 114250–114262. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3104523>
- Paucar, I. R., Yactayo-arias, C., & Andrade-arenas, L. (2025). *Expert Systems in Tuberculosis Prevention Established in Certainty Factor. International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 16(10), 450–458.
- Pedrazzoli, D., Boccia, D., Siriwardhana, C., Khan, M. S., & Lönnroth, K. (2021). *Social determinants of tuberculosis: Modifiable socio-economic risk factors. The International Journal of Tuberculosis and Lung Disease*, 25(12), 970–977. <https://doi.org/10.5588/ijtld.21.0310>

- Perriot, J. (2023). *Smoking cessation support in patients with active tuberculosis: Challenges and clinical workflows*. *HAL Open Science*, HAL Id: hal-05220470, 1–8.
- Pramono, A., Utomo, B., & Rahmawati, L. (2023). Pemanfaatan teknologi *mobile health (mHealth)* untuk *active case finding* tuberkulosis di kawasan padat penduduk. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Indonesia*, 18(1), 34–42. <https://doi.org/10.26714/jkmi.v18i1.7654>
- Pramono, D., Sutomo, R., & Wibowo, T. (2023). Aplikasi deteksi dini suspek tuberkulosis berbasis *mobile health (mHealth)* di antara kontak serumah: Tinjauan sistematis. *Jurnal Kesehatan Vokasional*, 8(3), 163–172. <https://doi.org/10.22146/jkesvo.83119>
- Pressman, R. S., & Maxim, B. R. (2020). *Software Engineering: A Practitioner's Approach* (9th ed.). *McGraw-Hill Education*.
- Purnomo, A., Setiawan, H., & Nugroho, R. (2023). Pengembangan dan Pengujian Sistem Informasi Menggunakan Metode *User Acceptance Testing (UAT)*. *Jurnal Teknologi Dan Sistem Informasi*, 9(2), 115–123.
- Rachman, I. A., Wahyudi, T., & Lestari, S. (2026). Pengujian *black box* dan standarisasi logika fungsional pada aplikasi skrining kesehatan berbasis web. *Jurnal Informatika Medis*, 4(1), 29–38.
- Radinal, M. R., & Hakim, L. (2023). Analisis kelayakan dan tingkat penerimaan pengguna terhadap perangkat lunak menggunakan metode *User Acceptance Testing (UAT)*. *Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 5(2), 88–96.
- Rahman, M. A., Hasan, M. M., & Uddin, M. S. (2023). *Advantages and limitations of expert systems in clinical decision making: A comparative study*. *Journal of Artificial Intelligence and Healthcare Technology*, 6(1), 45–54. <https://doi.org/10.11591/jaiht.v6i1.p45-54>
- Russell, S., & Norvig, P. (2021). *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (4th global ed.). *Pearson Education*.
- Sidqiyah, E. D., Mustafidah, H., Fitriani, M. A., & Hamka, M. (2025). *Jurnal Informatika : Jurnal pengembangan IT Pengembangan Sistem Pakar*

- untuk Skrining Awal Penderita Penyakit Tuberkulosis Menggunakan Forward Chaining*. 10(2), 348–358. <https://doi.org/10.30591/jpit.v9ix.xxx>
- Sharma, R., & Jain, S. (2021). *Historical perspective and evolving architecture of rule-based expert systems*. *Expert Systems with Applications*, 165, 113942. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113942>
- Sharma, R., Kumar, S., & Yadav, P. (2022). *Effectiveness of black box testing methodologies in modern software development lifecycles*. *Journal of Systems and Software*, 184, 111123. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2021.111123>
- Sinha, P., Lönnroth, K., Bhargava, A., Heysell, S. K., Sarkar, S., Salgame, P., Rudgard, W., Boccia, D., Van Aartsen, D., & Hochberg, N. S. (2021). *Food for thought: addressing undernutrition to end tuberculosis*. *The Lancet Infectious Diseases*, 21(10), e318–e325. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30792-1](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30792-1)
- Siregar, M. H. (2024). Implementasi fuzzy inference system tsukamoto dalam diagnosa penyakit tuberkulosis. *Jurnal Sistem Informasi Dan Ilmu Komputer*, 3(2), 115–124.
- Siregar, R. J., Yusuf, S. F., & Fernaldy, D. (2022). *The Relationship between Physical Conditions of the House and the Incidence of Tuberculosis*. *International Journal of Public Health Excellence (IJPHE)*, 1(1), 01–05. <https://doi.org/10.55299/ijphe.v1i1.2>
- Sommerville, I. (2020). *Software Engineering* (10th ed.). Pearson Education.
- Sugiyono. (2023). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D* (3rd ed.). Alfabeta.
- Sutisna, U., Fiorenza, A., Sofia, D., & Fitri, S. (2025). Sistem Pakar Diagnosa Penyakit TBC Menggunakan Algoritma *Forward Chaining* dan *Certainty Factor* Berbasis Android di Puskesmas Kedaung Barat. *Jurnal Teknik Informatika*, 8(2), 120–129.
- Sutojo, T., Mulyanto, E., & Suhartono, V. (2011). *Kecerdasan Buatan*. Penerbit Andi.

- Sutriyawan, A., Anri, A., Imbar, A. W. J., Natsir, R. M., & Pangeran, P. (2023). *Prediction of pulmonary tuberculosis incidence based on epidemiological triad as a preventive measure. International Journal of Public Health Science (IJPHS)*, 12(3), 917–923. <https://doi.org/10.11591/ijphs.v12i3.22792>
- Syamsudin, I., & Sudarsono, E. (2022). Penerapan metode *certainty factor* pada sistem pakar mendiagnosa penyakit *tuberculosis* (TB) paru berbasis web. *Jurnal Sistem Informasi Dan Sains Teknologi*, 7(2), 126–135.
- Tadesse, S., Mulu, A., & Dereje, W. (2021). *Housing conditions and risk of tuberculosis: A case-control study in high-burden settings. BMC Public Health*, 21(1), 1014. <https://doi.org/10.1186/s12889-021-11044-w>
- Tripp, J. F., Saltz, J., & Turk, D. (2022). *System support planning and post-implementation evaluation: A framework for long-term system sustainability and operational continuity. Information and Software Technology*, 144, 106811. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2021.106811>
- Turner, R. D., Chiu, C., Churchyard, G. J., Esmail, H., Lewinsohn, D. M., Gandhi, N. R., & Fennelly, K. P. (2023). *Aerosol generation and Mycobacterium tuberculosis transmission. The Lancet Respiratory Medicine*, 11(7), 621–632. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(23\)00097-4](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(23)00097-4)
- Usmanto, B., & Andriyani, N. (2024). *Data-Driven Expert System for Tuberculosis (TB) Diagnosis Using the Forward Chaining Method. Journal of Computer Science and Engineering*, 5(2), 140–149.
- Valentine, H. M., Arum, L., & Thyas, K. (2024). Konsep Dasar Sistem Informasi Manajemen. *Jurnal Manajemen Dan Akuntansi*, 2(2), 135–144.
- Vergeer, P., Khan, A. J., & Lönnroth, K. (2022). *Geographic accessibility and financial barriers to tuberculosis care in high-burden settings. The Lancet Global Health*, 10(5), e611–e612. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(22\)00084-2](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(22)00084-2)
- Vergeer, S. B., Oldenkamp, R., Senkoro, M., Mfinanga, S., Hinderaker, S. G., & Van Leth, F. (2026). *Does distance to healthcare facility affect care-*

- seeking for tuberculosis symptoms?. Tropical Medicine & International Health*, 31(1), 45–54.
- Wahyudi, A., Pratama, R., & Handayani, P. (2025). Sistem pakar diagnosa penyakit TBC menggunakan algoritma *forward chaining* dan *certainty factor*. *Jurnal Ilmiah Komputer Dan Informatika*, 14(1), 74–83.
- Wanti, M., Saputra, R., & Handayani, D. (2023). Analisis kelebihan dan kelemahan metode *certainty factor* dalam sistem pakar diagnosis medis berbasis tingkat keyakinan. *Jurnal Sistem Informasi Dan Ilmu Komputer*, 7(2), 112–120. <https://doi.org/10.30865/jsik.v7i2.5432>
- Wardani, K. A., & Wahono, B. (2019). Analisis faktor risiko kumulatif terhadap kerentanan kejadian tuberkulosis paru. *Jurnal Epidemiologi Dan Kesehatan Komunitas (Journal of Epidemiology and Community Health)*, 4(2), 85–93. <https://doi.org/10.14710/jekkk.v4i2.4821>
- Wijaya, A., & Kusuma, H. (2024). Evaluasi penerimaan pengguna sistem pakar deteksi dini faktor risiko tuberkulosis menggunakan *User Acceptance Testing (UAT)*. *Jurnal Sistem Informasi Dan Teknologi Kesehatan*, 6(1), 45–53.
- Wirasbawa, G. A., Putra, I. K. G. D., & Sukarsa, I. M. (2022). Implementasi mesin inferensi *forward chaining* dengan arsitektur aturan *IF-THEN* pada sistem pakar. *Jurnal Ilmiah Teknologi Infomasi Terapan*, 8(3), 345–352.
- World Health Organization. (2021). *Global strategy on digital health 2020-2025*. World Health Organization. <https://iris.who.int/handle/10665/344249>
- World Health Organization. (2024). *Global tuberculosis report 2024*. World Health Organization.
- Wulan, D., & Rengganis, S. (2023). Determinan Kondisi Rumah Penderita Tuberkulosis Paru di Kota Bandar Lampung. *Jurnal Kedokteran Universitas Lampung*, 7(1), 55–63.
- Yang, X., & Zhu, Y. (2024a). *Explainable artificial intelligence: Transparency and traceability in rule-based expert systems*. *Journal of Computer and System Sciences*, 140, 103482. <https://doi.org/10.1016/j.jcss.2023.103482>

- Yang, X., & Zhu, Y. (2024b). *Inference engines in expert systems: A comparative study of Forward Chaining and Certainty Factor mechanisms*. *Journal of Computer and System Sciences*, 141, 103512.
<https://doi.org/10.1016/j.jcss.2023.103512>
- Yanti, N., Lestari, F., & Ramadhan, A. (2025). Penerapan metode *certainty factor* untuk pemodelan ketidakpastian dalam sistem pakar penanganan keputusan klinis. *Jurnal Informatika Dan Rekayasa Komputer*, 9(1), 74–82.
- Zewdie, A., Amare, G., & Enten, S. (2022). *Environmental and household-related risk factors of tuberculosis in high-burden contexts: A systematic review and meta-analysis*. *PLOS ONE*, 17(5), e0268387.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0268387>