ANALISIS FAKTOR RISIKO DAN PENCEGAHAN INFEKSI TB PADA PEKERJA TAMBANG BATU KAPUR

UNIVERSITAS TRISAKTI

Disusun Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Mencapai Derajat Sarjana Kedokteran

Fidella Aristawidya Naomi, 030002300150

PROGRAM STUDI KEDOKTERAN
FAKULTAS KEDOKTERAN
UNIVERSITAS TRISAKTI

JAKARTA, JULI 2026

Bidang Ilmu : Komunitas

PROPOSAL SKRIPSI

ANALISIS FAKTOR RISIKO DAN PENCEGAHAN INFEKSI TB PADA PEKERJA TAMBANG BATU KAPUR



Disusun Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Mencapai Derajat Sarjana Kedokteran

Fidella Aristawidya Naomi, 030002300150

PROGRAM PENDIDIKAN SARJANA KEDOKTERAN
UNIVERSITAS TRISAKTI
FAKULTAS KEDOKTERAN

JAKARTA, JULI 2026

PERSETUJUAN

Proposal Skripsi

Judul:

ANALISIS FAKTOR RISIKO DAN PENCEGAHAN INFEKSI TB PADA PEKERJA TAMBANG BATU KAPUR

Fidella Aristawidya Naomi

030002300150

Telah disetujui untuk diuji di hadapan

Tim Penguji Proposal Skripsi

Fakultas Kedokteran Universitas Trisakti

Pada Hari …, Tanggal … 2026

Pembimbing



dr. Nany Hairunisa, MCHSc

PENGESAHAN PROPOSAL SKRIPSI

Judul:

ANALISIS FAKTOR RISIKO DAN PENCEGAHAN INFEKSI TB PADA PEKERJA TAMBANG BATU KAPUR

Fidella Aristawidya Naomi

030002300150

Telah diuji dan disahkan di hadapan **Dewan Penguji Proposal Skripsi**

Fakultas Kedokteran Universitas Trisakti

Pada Hari Senin, Tanggal 13 Juli 2026

Ketua Penguji

Nama : dr. Yohana, M. Biomed ……

NIK : 3608/USAKTI

Anggota Penguji I

Nama : dr. Nany Hairunisa, MCHSc ……

NIK : 3676/USAKTI

Anggota Penguji II

Nama : dr. Adrianus Kosasih, Sp.JP, Subs.K.I (K) ……

NIK : 2491/USAKTI

Jakarta, 13 Juli 2026

Dekan Fakultas Kedokteran Universitas Trisakti

Dr.dr. Yenny, Sp.FK

NIK: 2613/USAKTI

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	: Fidella Aristawidya Naomi
NIM	: 030002300150
Program Studi	: Kedokteran
Alamat Korespondensi	: Jl. Tawakal XI No.41a, Grogol Jakarta Barat.
Telepon / mobile	: 081213244178
E-mail	: 030002300150@std.trisakti.ac.id
Judul skripsi	: Analisis Faktor Risiko dan Pencegahan Infeksi TB pada Pekerja Tambang Batu Kapur

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang saya tulis ini adalah benar-benar merupakan hasil karya ilmiah saya sendiri. Skripsi ini belum pernah diajukan sebagai suatu karya ilmiah untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini merupakan hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut sesuai dengan SK Permendiknas No.17 tahun 2010 tentang pencegahan dan penanggulangan plagiat di perguruan tinggi.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya, agar dapat dimanfaatkan sebagaimana mestinya.

Jakarta, 13 Juli 2026



Fidella Aristawidya Naomi
NIM 030002300150

KATA PENGANTAR

Puji syukur yang sedalam-dalamnya penulis haturkan kepada Allah SWT atas segala limpahan rahmat, anugerah, serta petunjuk-Nya, sehingga penyusunan proposal skripsi yang berjudul "Analisis Faktor Risiko dan Pencegahan Infeksi TB pada Pekerja Tambang Batu Kapur" dapat diselesaikan dengan baik. Proposal ini disusun sebagai salah satu persyaratan akademik untuk memperoleh gelar Sarjana Kedokteran di Fakultas Kedokteran Universitas Trisakti.

Kajian yang dilakukan dalam penelitian ini menitikberatkan pada identifikasi berbagai determinan yang berpotensi meningkatkan kejadian infeksi tuberkulosis serta strategi pencegahannya pada tenaga kerja yang beraktivitas di sektor pertambangan. Lingkungan kerja dengan tingkat paparan yang relatif tinggi menjadikan kelompok pekerja tersebut rentan terhadap infeksi TB. Oleh sebab itu, hasil penelitian ini diharapkan mampu memperkaya khazanah keilmuan di bidang kesehatan kerja sekaligus mendukung berbagai upaya pengendalian tuberkulosis pada kawasan pertambangan.

Tersusunnya proposal penelitian ini tentu tidak dapat dipisahkan dari partisipasi, bantuan, serta dukungan yang diberikan oleh berbagai pihak. Untuk itu, penulis menyampaikan penghargaan dan rasa syukur yang mendalam kepada Allah SWT yang senantiasa melimpahkan kekuatan, kemudahan, serta tuntunan selama menempuh proses pembelajaran dan pelaksanaan penelitian ini.

Rasa hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya juga penulis persembahkan kepada kedua orang tua tercinta yang tanpa henti memberikan doa, perhatian, kasih sayang, serta dukungan moral sepanjang perjalanan akademik penulis. Penghargaan khusus turut penulis sampaikan kepada dosen pembimbing, dr. Nany Hairunisa, MCHSc, atas segala arahan, masukan, pendampingan, dan dorongan yang diberikan selama proses penyusunan proposal ini. Selain itu, penulis juga mengucapkan terima kasih kepada para dosen penguji yang telah meluangkan waktu untuk memberikan saran serta evaluasi yang sangat bermanfaat bagi penyempurnaan penelitian.

Tidak ketinggalan, apresiasi yang tulus penulis berikan kepada rekan-rekan, sahabat, serta seluruh pihak yang telah berkontribusi, baik secara langsung maupun tidak langsung. Dukungan tersebut mencakup bantuan dalam memperoleh data dan informasi, dukungan teknis selama penelitian berlangsung, hingga motivasi yang terus diberikan sehingga seluruh tahapan penelitian dapat berjalan dengan baik.

Penulis memahami bahwa proposal penelitian ini masih memiliki sejumlah kekurangan dan belum sepenuhnya sempurna. Oleh karena itu, berbagai masukan, kritik, serta saran yang bersifat konstruktif sangat diharapkan sebagai bahan perbaikan pada tahap penelitian berikutnya. Besar harapan penulis agar proposal ini dapat memberikan nilai guna bagi perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang kesehatan, serta berkontribusi terhadap peningkatan derajat kesehatan masyarakat.

DAFTAR ISI

HALAMAN

PERSETUJUAN ..... **i**
PENGESAHAN PROPOSAL SKRIPSI ..... **ii**
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI ..... **iii**
KATA PENGANTAR ..... **iv**
DAFTAR ISI ..... **vi**
DAFTAR TABEL ..... **viii**
DAFTAR GAMBAR ..... **ix**
DAFTAR LAMPIRAN ..... **x**
DAFTAR SINGKATAN ..... **xi**

BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar belakang 1
1.2 Perumusan masalah 2
1.3 Tujuan 2
1.3.1 Tujuan umum **2**
1.4 Hipotesis 3
1.5 Manfaat 3
1.5.1 Bagi Pengembangan Ilmu Pengetahuan 3
1.5.2 Bagi Profesi/institusi 3
1.5.3 Bagi masyarakat 3

BAB II TINJAUAN, RINGKASAN PUSTAKA, KERANGKA TEORI **5**
2.1 Tinjauan Pustaka 5
2.1.2 Pekerja Tambang 5
2.1.2.1 Definisi 5
2.1.2.2 Prevalensi Pekerja Tambang Batu Kapur 5
2.1.2.3 Karakteristik Pekerja Tambang Batu Kapur 5
2.1.2.4 Risiko Kesehatan pada Sektor Pertambangan 6
2.1.3 Infeksi TB 6
2.1.3.1 Anatomi Paru-paru 6
2.1.3.2 Definisi Penyakit TB 7
2.1.3.3 Epidemiologi TB 8
2.1.3.4 Etiologi TB 8
2.1.3.5 Patofisiologi TB 8
2.1.3.6 Faktor Risiko pada Pekerja Tambang Batu Kapur 9
2.1.4 Paparan Debu Silika 10
2.1.4.2 Sumber Paparan Debu Silika 10
2.1.5 Masa Kerja 10
2.1.5.2 Akumulasi Paparan 10

2.1.5.3 Klasifikasi Masa Kerja 11
2.1.6 Alat Pelindung Diri (APD) 11
2.1.6.1 Definisi 11
2.1.6.2 Peran Protektif APD 11
2.1.7 Riwayat Kontak dengan Penderita TB 12
2.1.7.1 Definisi 12
2.1.7.2 Mekanisme Penularan dan Investigasi Kontak 12
2.1.8 Hubungan antara Faktor Risiko Infeksi TB dengan kejadian infeksi TB 12
2.1.9 Hubungan antara pencegahan Infeksi TB dengan kejadian infeksi TB 13
2.2 Ringkasan pustaka 15
2.3 Kerangka teori 17

BAB III KERANGKA KONSEP DAN DEFINISI OPERASIONAL 18
3.1 Kerangka Konsep 18
3.1.1 Variabel Bebas/Independen 18
3.1.2 Variabel Tergantung 18
3.2. Definisi operasional 19

BAB IV METODE 20
4.1 Desain 20
4.2 Lokasi dan waktu 20
4.3 Populasi dan subjek 20
4.3.1 Populasi 20
4.3.1.1 Populasi target 20
4.3.1.2 Populasi terjangkau 20
4.3.1.3 Subjek 20
4.3.1.3.1 Kriteria pemilihan subjek 21
4.3.1.3.2 Perhitungan jumlah subjek 21
4.4 Bahan dan instrumen 24
4.5 Analisis statistik 24
4.6 Alur kerja penelitian 26
4.7 Etika penelitian 26

DAFTAR PUSTAKA 29

LAMPIRAN 35

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Ringkasan pustaka..... 15
Tabel 2. Definisi operasional 19
Tabel 3. Penjadwalan penelitian 28

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Anatomi Paru..... 7
Gambar 3. Patofisiologi TB 9
Gambar 4. Kerangka teori 17
Gambar 5. Kerangka konsep 18

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. *Dummy table* 35
Lampiran 2. Lembar *Informed Consent* 36
Lampiran 3. Lembar Persetujuan 37

DAFTAR SINGKATAN

APD	=	Alat Pelindung Diri
ASM	=	*Artisanal and Small-scale Mining*
BTA	=	Basil Tahan Asam
DNA	=	*Deoxyribonucleic Acid*
ESDM	=	Energi dan Sumber Daya Mineral
FEV1	=	*Forced Expiratory Volume in One Second*
HIV	=	*Human Immunodeficiency Virus*
HVAS	=	*High Volume Air Sampler*
ILO	=	*International Labour Organization*
Kesling	=	Kesehatan Lingkungan
MTB	=	*Mycobacterium tuberculosis*
MTBC	=	*Mycobacterium tuberculosis complex*
NAAT	=	*Nucleic Acid Amplification Test*
NAB	=	Nilai Ambang Batas
NIOSH	=	*National Institute for Occupational Safety and Health*
PPOK	=	Penyakit Paru Obstruktif Kronis
RCS	=	*Respirable Crystalline Silica*
RIF	=	Rifampisin
TB	=	*Tuberculosis*
TCM	=	Tes Cepat Molekuler
TWA	=	*Time-Weighted Average*
WHO	=	*World Health Organization*

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Pekerja tambang batu kapur merupakan kelompok tenaga kerja yang secara rutin terpapar kondisi lingkungan kerja berisiko tinggi. Kegiatan penambangan batu kapur, yang meliputi pengeboran, peledakan, pengangkutan, dan pengolahan batuan, menghasilkan debu mineral dalam jumlah besar yang mengandung silika dioksida (SiO_2) bebas. Partikel silika respirabel berdiameter <10 μm—khususnya fraksi berdiameter <4 μm—mampu menembus saluran napas bawah dan mengendap di alveolus.(1)

Menurut laporan *World Health Organization* (WHO) tahun 2023, jumlah kasus baru tuberkulosis secara global mencapai sekitar 10,8 juta kasus setiap tahun. Indonesia tercatat sebagai negara dengan jumlah kasus tertinggi kedua di dunia, dengan estimasi sekitar 969.000 kasus TB.(2) Pada Provinsi Jawa Barat termasuk daerah dengan beban kasus TB yang sangat tinggi, yaitu melebihi 200.000 kasus yang tercatat sepanjang tahun 2023.(3) Tingginya beban TB dipengaruhi oleh kondisi lingkungan kerja pada berbagai sektor industri, salah satunya sektor pertambangan yang pekerjanya secara rutin terpapar debu silika respirabel.(4)

Paparan debu silika respirabel diketahui dapat menyebabkan inflamasi paru serta menurunkan fungsi makrofag alveolar sehingga meningkatkan kerentanan terhadap infeksi *Mycobacterium tuberculosis*.(4) Paparan ini bersifat kumulatif; semakin lama masa kerja seorang pekerja tambang, semakin tinggi akumulasi debu respirabel yang terhirup ke dalam paru-paru, yang pada akhirnya memperburuk kerusakan jaringan paru.(5) Pemanfaatan alat pelindung diri (APD), terutama masker jenis respirator, merupakan salah satu langkah preventif yang memiliki peranan penting dalam mengurangi tingkat pajanan partikel debu di area pertambangan.(6,7)

Penelitian Leung *et al*., Rees & Murray, Vosoughi *et al*., dan Corbett *et al*. menunjukkan bahwa pajanan debu silika, masa kerja, penggunaan APD, dan riwayat kontak TB masing-masing meningkatkan risiko kejadian TB pada pekerja

tambang. Namun, penelitian-penelitian tersebut umumnya hanya menilai masing-masing faktor secara terpisah, sehingga pengaruh keempat faktor tersebut terhadap kejadian TB belum banyak dianalisis secara simultan, khususnya pada pekerja tambang batu kapur di Indonesia.[1,8–10] Salah satu penelitian yang mencoba menganalisis faktor-faktor risiko tersebut secara multivariat, yaitu penelitian Naidoo *et al*., menemukan hasil yang berbeda yaitu paparan debu kumulatif kategori sedang tidak menunjukkan hubungan yang bermakna terhadap kejadian TB setelah dikendalikan variabel perancu seperti status merokok, usia, dan jenis kelamin, meskipun paparan kategori tinggi tetap menunjukkan hubungan yang signifikan. Oleh karena itu, masih terdapatnya perbedaan hasil studi mengenai faktor-faktor risiko TB pada pekerja tambang, maka saya tertarik untuk meneliti lebih lanjut mengenai analisis faktor risiko dan pencegahan infeksi TB pada pekerja tambang batu kapur.[11]

1.2 Perumusan masalah

Apakah terdapat keterkaitan antara berbagai faktor yang berpotensi meningkatkan risiko meliputi pajanan debu silika terhadap kejadian infeksi TB pada pekerja tambang batu kapur di wilayah Cirebon?

1.3 Tujuan

1.3.1 Tujuan umum

Untuk meningkatkan upaya pencegahan infeksi TB pada pekerja tambang batu kapur dengan menentukan faktor risiko dan pencegahan infeksi TB pada pekerja tambang batu kapur.

1.3.2 Tujuan khusus

- Untuk mengetahui proporsi faktor risiko (paparan debu silika) dan kejadian infeksi TB pada pekerja tambang batu kapur.
- Untuk menentukan hubungan antara faktor risiko (paparan debu silika) dengan kejadian infeksi TB pada pekerja tambang batu kapur.
- Untuk menentukan hubungan antara pencegahan Infeksi TB dengan kejadian infeksi TB pada pekerja tambang batu kapur.

1.4 Hipotesis

- Terdapat hubungan antara faktor risiko (paparan debu silika) dengan kejadian infeksi TB pada pekerja tambang batu kapur.
- Terdapat hubungan antara pencegahan infeksi TB dengan kejadian infeksi TB pada pekerja tambang batu kapur.

1.5 Manfaat

1.5.1 Bagi Pengembangan Ilmu Pengetahuan

Diharapkan penelitian ini mampu memberikan manfaat akademik berupa tambahan bukti ilmiah dalam pengembangan bidang kesehatan masyarakat, terutama yang berkaitan dengan kesehatan kerja dan penyakit infeksi. Selain memperluas literatur mengenai determinan risiko serta langkah pencegahan TB pada pekerja pertambangan, hasil penelitian ini juga berpotensi menjadi landasan bagi penelitian lanjutan yang membahas pengendalian penyakit akibat pekerjaan, khususnya TB pada lingkungan pertambangan.

1.5.2 Bagi Profesi/institusi

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi sumber informasi bagi tenaga kesehatan kerja, perusahaan pertambangan, dan institusi terkait dalam upaya meningkatkan program pencegahan dan pengendalian infeksi TB di lingkungan kerja. Hasil penelitian ini juga dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam penyusunan kebijakan, pelaksanaan skrining kesehatan berkala, peningkatan penggunaan alat pelindung diri, serta perbaikan kondisi lingkungan kerja guna meningkatkan derajat kesehatan dan keselamatan pekerja.

1.5.3 Bagi masyarakat

Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan pengetahuan dan kesadaran masyarakat, khususnya pekerja tambang batu kapur, mengenai faktor risiko dan pentingnya pencegahan infeksi TB. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat mendorong perilaku pencegahan yang lebih baik, seperti penggunaan alat pelindung diri dan menjaga kesehatan pernapasan, sehingga dapat mengurangi risiko

penularan TB dan meningkatkan kualitas hidup pekerja serta masyarakat secara umum.

BAB II
TINJAUAN, RINGKASAN PUSTAKA, KERANGKA TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

2.1.2 Pekerja Tambang

2.1.2.1 Definisi

Pekerja tambang batu kapur adalah individu yang bekerja pada kegiatan penambangan dan pengolahan batu kapur (*limestone*), baik pada skala besar dengan alat mekanis maupun skala kecil dan tradisional (*artisanal and small-scale mining*/ASM), yang dalam pekerjaannya berisiko terpapar debu mineral termasuk silika kristalin bebas (*respirable crystalline silica*/RCS) secara terus-menerus.[5] Kegiatan tersebut mencakup proses pengeboran, peledakan, pemecahan batu, penggilingan, hingga pengangkutan hasil tambang, yang seluruhnya berpotensi menimbulkan paparan debu tinggi bagi pekerja.[12]

2.1.2.2 Prevalensi Pekerja Tambang Batu Kapur

Secara global, sektor pertambangan merupakan salah satu sektor industri ekstraktif yang menyerap tenaga kerja dalam jumlah besar. Data *International Labour Organization* (ILO) tahun 2025 menunjukkan bahwa jumlah pekerja di sektor pertambangan dunia diperkirakan mencapai sekitar 21,4 juta orang. Angka ini mencakup pekerja pada pertambangan mineral logam, batubara, dan bahan galian lainnya di berbagai negara.[13] Salah satu negara dengan sektor pertambangan yang berkembang pesat, jumlah tenaga kerja yang terserap pada sektor pertambangan juga tidak sedikit yaitu Indonesia. Menurut data yang diterbitkan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) tahun 2023, sektor pertambangan nasional menyerap kurang lebih 308.107 pekerja berkewarganegaraan Indonesia dan sekitar 2.074 pekerja asing yang tersebar pada berbagai subsektor industri pertambangan.[14,15]

2.1.2.3 Karakteristik Pekerja Tambang Batu Kapur

Pekerja tambang batu kapur umumnya berjenis kelamin laki-laki, berada pada rentang usia produktif (18–59 tahun), bekerja secara informal tanpa jaminan

sosial yang memadai, serta memiliki tingkat pendidikan yang relatif rendah.[16] Studi pada pekerja tambang bijih besi di Iran menunjukkan bahwa pekerja yang terpapar debu tambang dalam jangka waktu lama cenderung mengalami gejala pernapasan seperti batuk kronis dan penurunan fungsi paru dibandingkan kelompok kontrol.[12,17,18] Penggunaan alat pelindung diri pada kelompok pekerja ini umumnya masih minim, sehingga meningkatkan risiko paparan debu silika kristalin yang merupakan faktor risiko independen bagi penyakit paru, termasuk silikosis dan TB.[12,18]

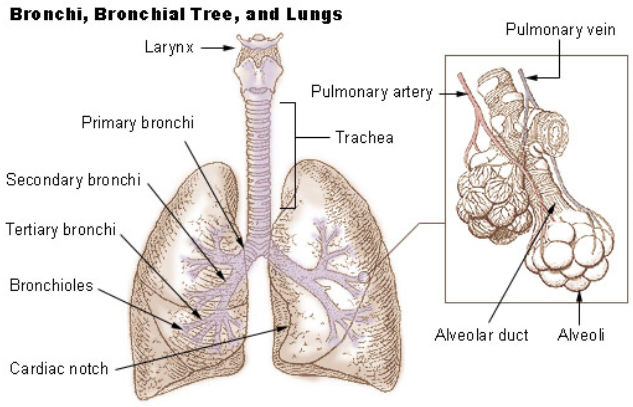
2.1.2.4 Risiko Kesehatan pada Sektor Pertambangan

Sektor pertambangan memiliki risiko kesehatan kerja tinggi akibat paparan debu respirabel dari kegiatan pengeboran, peledakan, penghancuran, dan pengangkutan material, yang partikelnya dapat terhirup hingga alveoli. Komponen paling berbahaya adalah silika kristalin respirabel, yang paparan jangka panjangnya berkaitan dengan silikosis, penurunan fungsi paru, PPOK, hingga peningkatan risiko tuberkulosis. Silika memicu inflamasi kronis dan fibrosis paru serta mengganggu fungsi makrofag alveolar terhadap infeksi *Mycobacterium tuberculosis*, sehingga pekerja tambang lebih rentan terhadap infeksi saluran napas dibanding populasi umum. Hal ini diperkuat oleh Ehrlich *et al*. dan Howlett *et al*. yang menunjukkan bahwa pajanan silika respirabel secara kumulatif berhubungan dengan meningkatnya risiko TB, silikosis, dan gangguan respirasi pada pekerja tambang.[5,12]

2.1.3 Infeksi TB

2.1.3.1 Anatomi Paru-paru

Paru-paru berada di dalam rongga toraks dan berbentuk seperti kerucut, dengan puncaknya mencapai bagian atas iga pertama serta dasarnya bertumpu pada diafragma. Paru tersusun atas sepasang organ, yaitu paru kanan dengan tiga lobus dan paru kiri dengan dua lobus, sehingga secara keseluruhan terdapat lima lobus yang dapat dikenali dengan batas anatomis yang tegas. Setiap lobus selanjutnya terbagi menjadi segmen bronkopulmoner, yaitu sekitar 10 segmen pada paru kanan dan 8–10 segmen pada paru kiri.[19]



Gambar 1. Anatomi Paru.[20]

Paru-paru diselubungi oleh membran tipis yang disebut pleura, terdiri atas pleura viseralis yang melekat langsung pada permukaan paru dan pleura parietalis yang melapisi dinding rongga dada, dengan kavum pleura sebagai ruang sempit berisi cairan tipis di antara keduanya untuk mengurangi gesekan selama pergerakan respirasi. Trakea bercabang di daerah karina menjadi bronkus utama kanan dan kiri, kemudian bercabang lagi menjadi bronkus lobaris, bronkus segmentalis, bronkiolus, hingga bronkiolus terminal dan respiratorius yang berakhir pada alveoli sebagai tempat pertukaran gas.[19]

2.1.3.2 Definisi Penyakit TB

Tuberkulosis (TB) adalah penyakit infeksi menular yang disebabkan oleh bakteri kompleks *Mycobacterium tuberculosis*, yang paling sering menyerang paru namun juga dapat menyerang organ lain seperti kelenjar getah bening, tulang, ginjal, dan susunan saraf pusat.[21] Penularan TB terutama terjadi melalui inhalasi percikan (droplet) yang mengandung basil tahan asam (BTA) yang dikeluarkan oleh penderita TB paru aktif saat batuk atau bersin.[22] Infeksi *M. tuberculosis* dapat berkembang dari kondisi laten, ketika bakteri terkontainmen dalam granuloma tanpa menimbulkan gejala, menjadi TB aktif yang bersifat menular dan menimbulkan manifestasi klinis. Hingga saat ini, TB masih tergolong salah satu penyakit infeksi dengan beban morbiditas dan mortalitas tertinggi di dunia.[2]

2.1.3.3 Epidemiologi TB

Tuberkulosis (TB) hingga saat ini masih menjadi salah satu tantangan kesehatan masyarakat terbesar di dunia. Berdasarkan data yang dipublikasikan dalam *WHO Global Tuberculosis Report*, diperkirakan terdapat sekitar 10,8 juta kasus baru TB pada tahun 2023 dengan angka insidensi mencapai 134 kasus per 100.000 penduduk.[2] Pada lingkup nasional, Indonesia juga masih menghadapi persoalan TB yang cukup serius dengan estimasi lebih dari satu juta kasus baru setiap tahunnya.[3] Laporan WHO menunjukkan bahwa Indonesia menempati posisi ke-2 sebagai negara dengan jumlah beban TB tertinggi di dunia setelah India. Kondisi tersebut menggambarkan bahwa upaya penemuan kasus, pencatatan, pelaporan, serta pengendalian penyakit masih menghadapi berbagai tantangan yang kompleks.[2]

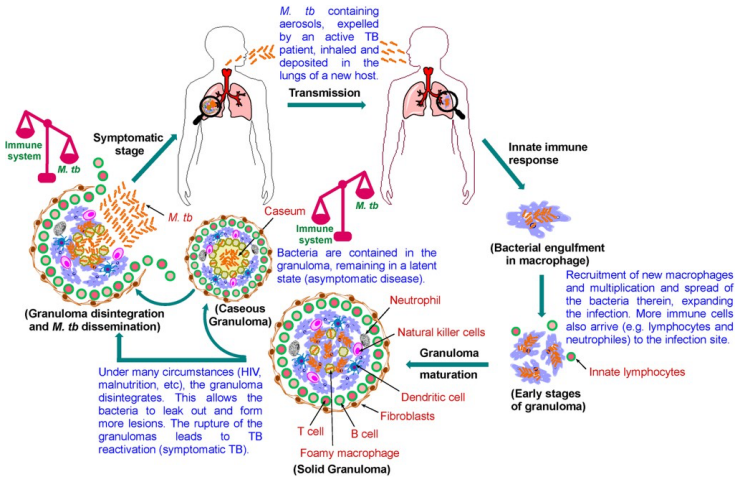
2.1.3.4 Etiologi TB

Tuberculosis (TB) disebabkan oleh bakteri dari kelompok *Mycobacterium tuberculosis complex* (MTBC), yaitu sekumpulan spesies mikobakterium dengan kemiripan genetik tinggi yang mampu menimbulkan penyakit pada manusia maupun hewan. Spesies yang paling sering menjadi penyebab TB pada manusia adalah *Mycobacterium tuberculosis*, meskipun anggota kompleks lain dalam kondisi tertentu juga dapat menginfeksi manusia meski dengan angka kejadian yang jauh lebih rendah.[23] Secara morfologis, bakteri ini berbentuk basil, bersifat aerob obligat, tidak berspora, tidak motil, serta memiliki dinding sel yang kaya lipid dan asam mikolat sehingga bersifat basil tahan asam (BTA) sekaligus meningkatkan daya tahan bakteri di dalam tubuh pejamu. *Mycobacterium tuberculosis* tumbuh sangat lambat dengan waktu pembelahan sekitar 20 jam, sehingga pemeriksaan kultur di laboratorium dapat memerlukan waktu beberapa minggu hingga hasil dapat diamati, yang menyebabkan diagnosis TB sering membutuhkan waktu relatif lama.[24]

2.1.3.5 Patofisiologi TB

Infeksi TB diawali dengan terhirupnya droplet yang mengandung *Mycobacterium tuberculosis* hingga mencapai alveoli, tempat bakteri kemudian

difagositosis oleh makrofag alveolar sebagai lini pertahanan pertama. Bakteri yang bertahan dan bereplikasi di dalam makrofag memicu pelepasan mediator inflamasi serta pembentukan granuloma sebagai mekanisme pertahanan lanjutan, yang berfungsi membatasi penyebaran bakteri dan dapat menyebabkan infeksi laten tanpa gejala klinis.[25]



Gambar 3. Patofisiologi TB.[26]

Pada individu dengan paparan debu silika kristalin, mekanisme pertahanan ini mengalami gangguan signifikan. Partikel silika yang turut terfagositosis oleh makrofag alveolar bersifat sitotoksik dan merusak membran fagolisosom, sehingga memicu kematian makrofag serta pelepasan mediator inflamasi kronis yang justru mengganggu kemampuan makrofag dalam mengeliminasi *M. tuberculosis*. Kondisi ini menurunkan efektivitas granuloma dalam mengontainmen bakteri, sehingga meningkatkan risiko reaktivasi TB laten menjadi TB aktif pada pekerja dengan paparan debu silika kronis.[12,18]

2.1.3.6 Faktor Risiko pada Pekerja Tambang Batu Kapur

Pekerja di sektor pertambangan menghadapi risiko spesifik yang jauh lebih tinggi dibandingkan populasi umum, terutama terkait paparan debu silika. Silikosis, penyakit paru akibat penumpukan debu silika, merupakan faktor risiko independen yang sangat signifikan bagi pekerja tambang. Debu silika yang terhirup

akan merusak fungsi makrofag alveolar, yang merupakan pertahanan utama tubuh terhadap bakteri TB, sehingga memicu proses inflamasi kronis yang memudahkan bakteri berkembang biak.[27] Selain paparan debu, kondisi kerja di tambang sering kali melibatkan ventilasi yang buruk, kepadatan tempat tinggal pekerja yang tinggi (khususnya di area *camp*), serta mobilitas pekerja yang tinggi yang dapat memfasilitasi penularan antarwilayah.[4,28] Studi kesehatan kerja menunjukkan bahwa prevalensi TB pada pekerja tambang jauh lebih tinggi dibandingkan pekerja sektor lain, dan durasi paparan debu silika berbanding lurus dengan risiko kejadian TB, bahkan pada pekerja yang tidak memiliki silikosis klinis yang parah.[28]

2.1.4 Paparan Debu Silika

2.1.4.2 Sumber Paparan Debu Silika (Ambang Batas Paparan Debu)

Sumber utama paparan debu silika di lingkungan kerja berasal dari kegiatan pengeboran batuan, peledakan tambang, pemecahan batu, penggilingan mineral, serta proses konstruksi berbasis batuan. Partikel silika respirabel dapat melayang di udara dan terhirup dalam jangka waktu lama apabila sistem pengendalian debu tidak optimal. Organisasi kesehatan kerja seperti NIOSH merekomendasikan batas paparan silika respirabel sebesar 0,05 mg/m³ sebagai nilai rata-rata tertimbang waktu kerja (*time weighted average*/TWA). Paparan kronis yang melebihi ambang batas tersebut diketahui berhubungan dengan peningkatan risiko silikosis dan TB paru. Studi epidemiologi terbaru juga menunjukkan bahwa risiko TB meningkat seiring tingginya paparan kumulatif silika di tempat kerja.[29,30]

2.1.5 Masa Kerja

2.1.5.2 Akumulasi Paparan

Akumulasi paparan menggambarkan efek paparan kumulatif terhadap risiko penyakit dari waktu ke waktu. Dalam epidemiologi pankombinasi, pekerja dengan masa kerja yang lebih panjang menunjukkan akumulasi paparan debu respirabel yang lebih besar, yang meningkatkan risiko terjadinya TB aktif melalui kerusakan struktural paru dan terganggunya mekanisme imun pernapasan.[4]

2.1.5.3 Klasifikasi Masa Kerja

Dalam berbagai penelitian epidemiologi kesehatan kerja, masa kerja umumnya dikategorikan menjadi dua kelompok menggunakan titik potong (*cut-off*) 5 tahun, yaitu masa kerja singkat (<5 tahun) dan masa kerja lama (≥5 tahun). Titik potong ini didasarkan pada pertimbangan bahwa periode sekitar lima tahun dianggap sebagai ambang waktu yang relevan untuk mulai memperlihatkan efek kumulatif paparan debu terhadap fungsi paru, meskipun beberapa penelitian lain menggunakan titik potong yang lebih panjang, misalnya 10 tahun, tergantung pada intensitas paparan dan jenis industri yang diteliti. Klasifikasi dua kelompok ini banyak digunakan pada penelitian potong lintang karena kemudahan interpretasi hubungan antara durasi pajanan dan luaran kesehatan pekerja.[31]

2.1.6 Alat Pelindung Diri (APD)

2.1.6.1 Definisi

Alat Pelindung Diri (APD) merupakan seperangkat perlengkapan keselamatan yang dikenakan tenaga kerja untuk meminimalkan risiko akibat berbagai potensi bahaya di area pekerjaan. Dalam kaitannya dengan paparan debu yang dapat masuk ke saluran pernapasan, pemakaian respirator atau masker pelindung seperti masker N95 memiliki peranan penting dalam membatasi masuknya partikel-partikel berbahaya ke dalam sistem respirasi sehingga risiko gangguan kesehatan dapat ditekan. Penggunaan APD merupakan langkah perlindungan terakhir dalam pengendalian bahaya di tempat kerja.[32]

2.1.6.2 Peran Protektif APD

Respirator partikulat memberikan perlindungan terhadap paparan debu respirabel dan droplet nuklei *Mycobacterium tuberculosis* ketika pengendalian teknik dan administratif belum mampu mengendalikan paparan secara optimal. Penggunaan respirator diketahui dapat menurunkan risiko transmisi TB dan penyakit paru akibat partikel halus, namun efektivitasnya sangat dipengaruhi oleh pemilihan respirator yang tepat, pelatihan penggunaan, *fit testing*, serta kepatuhan pekerja dalam menggunakan APD secara benar.[7,33]

2.1.7 Riwayat Kontak dengan Penderita TB

2.1.7.1 Definisi

Riwayat kontak dengan penderita tuberkulosis (TB) merupakan kondisi seseorang yang pernah memiliki kontak erat dengan penderita TB aktif, baik dalam bentuk kontak serumah maupun kontak erat di lingkungan kerja/sekitar tempat tinggal, dalam kurun waktu tertentu (umumnya 12 bulan terakhir). Kontak erat didefinisikan sebagai kontak yang tinggal serumah atau berada dalam satu ruangan dengan penderita TB aktif dalam durasi dan frekuensi tertentu yang memungkinkan terjadinya penularan melalui droplet *nuclei*.[34,35]

2.1.7.2 Mekanisme Penularan dan Investigasi Kontak

Penularan TB terjadi melalui droplet nuklei yang dikeluarkan oleh penderita TB aktif saat batuk, bersin, atau berbicara, yang kemudian terhirup oleh individu yang berada di sekitarnya. Risiko penularan dipengaruhi oleh intensitas dan durasi kontak, status infeksius penderita indeks (BTA positif/terkonfirmasi bakteriologis), serta kondisi ventilasi lingkungan. Sebagai upaya pengendalian penularan, dilakukan investigasi kontak (*contact investigation*) terhadap seluruh kontak erat penderita TB terkonfirmasi menggunakan Formulir Investigasi Kontak TB (TBC.16K), yang mendokumentasikan identitas kontak, hasil skrining gejala, faktor risiko individu, serta hasil pemeriksaan lanjutan. Investigasi kontak merupakan salah satu strategi inti dalam eliminasi TB karena memungkinkan deteksi dini kasus baru maupun infeksi laten pada populasi berisiko tinggi. Gejala klinis TB yang umum ditemukan meliputi batuk kronis (≥2 minggu), demam, keringat malam, dan penurunan berat badan, yang menjadi dasar skrining gejala pada proses investigasi kontak tersebut.[36]

2.1.8 Hubungan antara Faktor Risiko Infeksi TB dengan kejadian infeksi TB

Paparan debu silika merujuk pada inhalasi partikel kristal silika bebas berukuran respirabel (*respirable crystalline silica*/RCS) yang berukuran kurang dari 10 μm, sehingga mampu menembus saluran napas bawah hingga mencapai alveoli paru. Silika kristalin, terutama dalam bentuk kuarsa, banyak ditemukan pada aktivitas pertambangan, pemotongan batu, pengeboran, dan pengolahan mineral.

Pekerja yang terpapar debu silika secara terus-menerus tanpa pengendalian yang memadai berisiko mengalami akumulasi partikel pada jaringan paru, yang pada akhirnya memicu respons patologis kronis.[37]

Pekerja dengan masa kerja yang lebih panjang memiliki risiko TB yang lebih tinggi dibandingkan pekerja dengan masa kerja yang lebih singkat karena dua mekanisme utama. Pertama, akumulasi partikel silika yang semakin besar menyebabkan kerusakan makrofag alveolar yang semakin masif sehingga kapasitas eliminasi *M. tuberculosis* semakin menurun. Kedua, durasi kerja yang panjang juga berarti durasi paparan terhadap kemungkinan kontak dengan sumber penularan TB di lingkungan kerja yang sama turut meningkat, terutama pada area kerja dengan ventilasi terbatas dan mobilitas pekerja yang tinggi.[38]

Kontak erat dengan penderita TB didefinisikan sebagai kondisi tinggal serumah atau berada dalam satu ruangan dengan penderita TB aktif terkonfirmasi bakteriologis selama durasi tertentu, umumnya empat jam atau lebih per hari selama minimal lima hari per minggu dalam periode dua belas bulan terakhir. Definisi ini menjadi dasar penting dalam investigasi kontak dan penentuan kelompok berisiko tinggi tertular tuberculosis. Kontak serumah maupun kontak di lingkungan kerja sama-sama meningkatkan risiko infeksi TB karena keduanya melibatkan keberadaan individu dalam jangka waktu lama pada ruang yang sama dengan sumber penularan. Pada konteks pekerja tambang, kontak kerja menjadi relevan mengingat tingginya kepadatan tempat tinggal pekerja, khususnya pada area camp atau mes pekerja, serta mobilitas pekerja yang tinggi antarwilayah tambang yang dapat memfasilitasi penyebaran penularan antarindividu.[5]

2.1.9 Hubungan antara pencegahan Infeksi TB dengan kejadian infeksi TB

Alat pelindung diri (APD) berupa respirator partikulat, seperti masker N95 atau setara, merupakan instrumen pengendalian risiko terakhir dalam hierarki pengendalian bahaya di tempat kerja (*hierarchy of controls*). Respirator jenis ini dirancang khusus untuk menyaring partikel berukuran submikron, termasuk debu silika respirabel dan droplet nuklei yang mengandung *Mycobacterium tuberculosis*.[33] Secara mekanistis, respirator N95 bekerja melalui kombinasi

mekanisme filtrasi mekanik, yaitu impaksi inersia, *interception*, dan difusi *Brown*, yang secara bersama-sama mampu menangkap partikel hingga ukuran submikron dengan efisiensi filtrasi minimal 95 persen apabila digunakan secara tepat. Efektivitas filtrasi ini menjadikan respirator sebagai penghalang fisik yang signifikan terhadap masuknya partikel debu maupun droplet infeksius ke dalam saluran napas.[7]

Penggunaan APD yang benar dan konsisten menjadi faktor penentu utama efektivitas perlindungan yang diberikan. Ketepatan pemilihan ukuran respirator, prosedur *fit testing*, pelatihan penggunaan, serta kepatuhan pekerja dalam memakai APD secara terus-menerus selama bekerja sangat memengaruhi tingkat perlindungan aktual yang diperoleh. Penggunaan yang tidak konsisten, meskipun hanya sesekali tidak memakai APD pada area berisiko tinggi, dapat menurunkan efektivitas perlindungan secara signifikan karena paparan kumulatif tetap terjadi.[33]

Berbagai penelitian melaporkan hubungan antara kepatuhan penggunaan APD dengan penurunan risiko gangguan paru maupun infeksi TB pada pekerja berisiko tinggi. *World Health Organization* (2023) dalam pedoman pencegahan dan pengendalian infeksi TB merekomendasikan penggunaan respirator partikulat sebagai salah satu komponen pengendalian administratif dan teknis yang penting, khususnya pada area kerja dengan risiko transmisi tinggi. Pekerja yang menggunakan APD secara konsisten dilaporkan memiliki risiko gangguan paru dan infeksi TB yang lebih rendah dibandingkan pekerja yang tidak konsisten menggunakan APD, meskipun keduanya bekerja pada tingkat paparan debu yang serupa. Berdasarkan temuan tersebut, dapat disimpulkan bahwa penggunaan APD yang tepat dan konsisten berhubungan secara bermakna dengan penurunan risiko kejadian infeksi TB pada pekerja tambang batu kapur.[7,39]

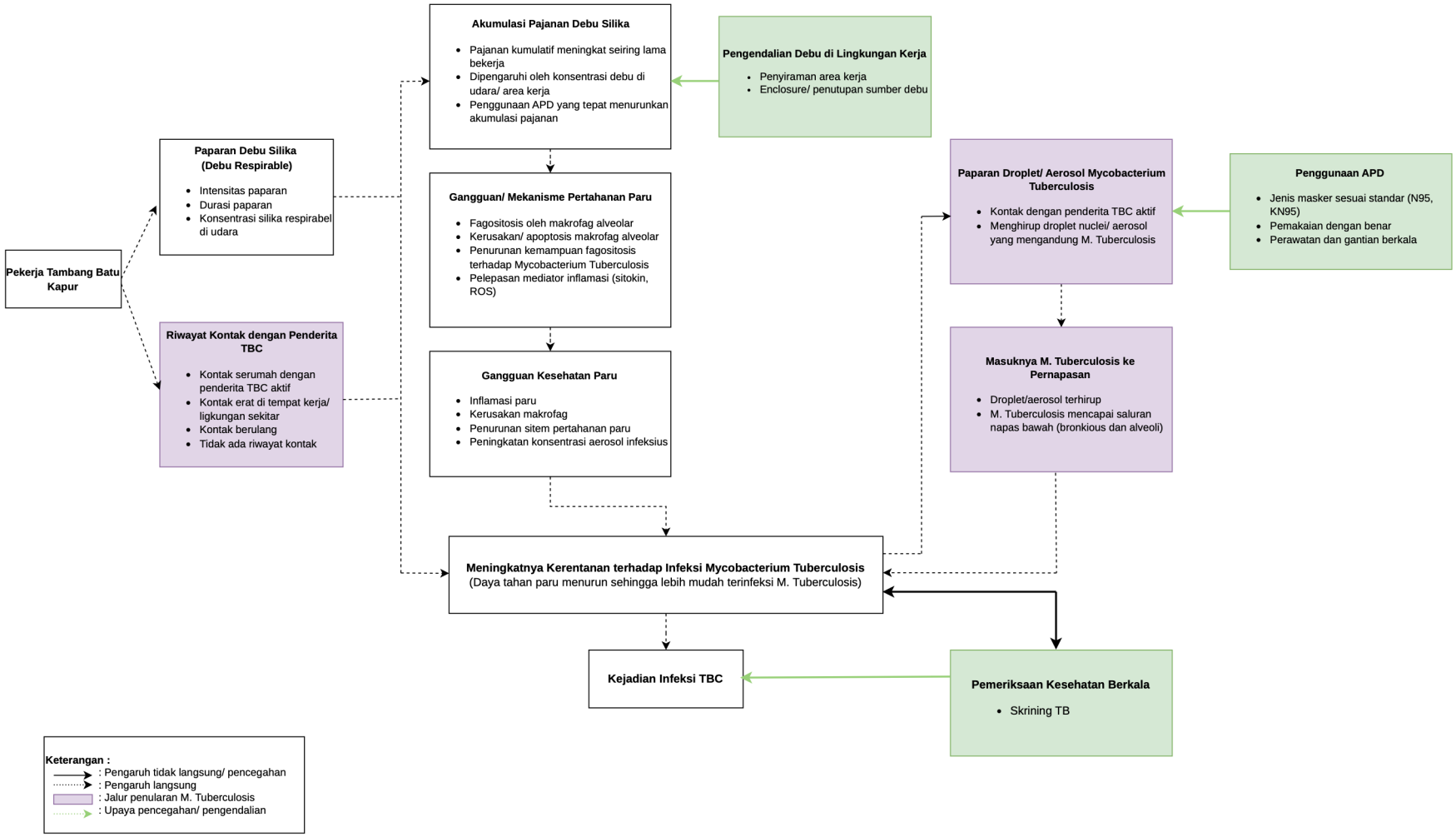
2.2 Ringkasan pustaka

Tabel 1. Ringkasan pustaka

Peneliti	Lokasi & waktu	Desain	Subjek	Variabel yang diteliti	Lama	Hasil
Rajavel *et al*.[40]	India, 2020	*Cross-sectional*	311 pekerja tambang batu pasir	Paparan debu silika, penyakit respirasi, silikotuberkulosis	12 bulan	Paparan debu silika berhubungan dengan peningkatan kejadian silikosis dan TB paru pada pekerja tambang. Risiko meningkat pada pekerja dengan masa kerja lebih lama dan paparan debu tinggi ($p = 0.0001$).
Stacey P *et al*.[41]	Australia, 2020	Kohort prospektif	312 pekerja tambang terbuka	Paparan debu respirabel, fungsi paru, kebiasaan merokok	18 bulan	Paparan debu respirabel berhubungan dengan penurunan nilai FEV1 dan peningkatan gangguan respirasi. Risiko lebih tinggi ditemukan pada pekerja dengan riwayat merokok ($p < 0,01$).
Liao YH *et al*.[42]	Tiongkok, 2019	Potong lintang	340 pekerja tambang batubara	Paparan respirable crystalline silica (RCS), gangguan paru, penggunaan masker	8 bulan	Paparan RCS berkorelasi signifikan dengan tanda awal penyakit paru pada pekerja tambang. Penggunaan respirator N95 berhubungan dengan penurunan gejala respirasi ($p < 0,05$).
Noor *et al*.[43]	Indonesia, 2024	*Cross-sectional*	Pekerja industri dengan paparan debu silika	Masa kerja, penggunaan APD, paparan debu, gejala silikosis	6 bulan	Masa kerja panjang dan paparan debu silika berhubungan dengan peningkatan gejala gangguan paru pada pekerja. Penggunaan APD yang tidak konsisten meningkatkan risiko keluhan respirasi ($p < 0,05$).

Rusibamayila M *et al*.[44]	Tanzania, 2018	*Cross-sectional*	466 pekerja tambang emas (bawah tanah & terbuka)	Paparan debu respirabel, usia, kebiasaan merokok, riwayat pajanan debu, gangguan fungsi paru	Meskipun prevalensi gejala respirasi cukup tinggi, kadar debu respirabel berada di bawah ambang batas dan tidak dapat memprediksi gangguan fungsi paru. Usia, kebiasaan merokok, dan riwayat pajanan debu sebelumnya juga tidak berhubungan signifikan dengan gangguan fungsi paru ($p > 0,05$).
Rambiki E *et al*.[45]	Malawi, 2019–2020	*Cross-sectional*	2.013 pekerja tambang (formal & informal, berbagai jenis tambang)	Jenis tambang (batu bara vs tambang batu/lainnya), status pekerjaan formal/informal, prevalensi TB paru	Pekerja tambang batu bara memiliki kemungkinan TB paru yang secara signifikan lebih rendah dibandingkan pekerja tambang jenis lain, termasuk tambang batu (OR = 0,30; 95% CI: 0,19–0,49; $p < 0,001$), menunjukkan bahwa jenis material tambang bukan satu-satunya penentu risiko TB, melainkan status pekerjaan informal (AOR = 1,50; $p = 0,01$) dan faktor sosial-ekonomi turut berperan.

2.3 Kerangka teori.[22,39]

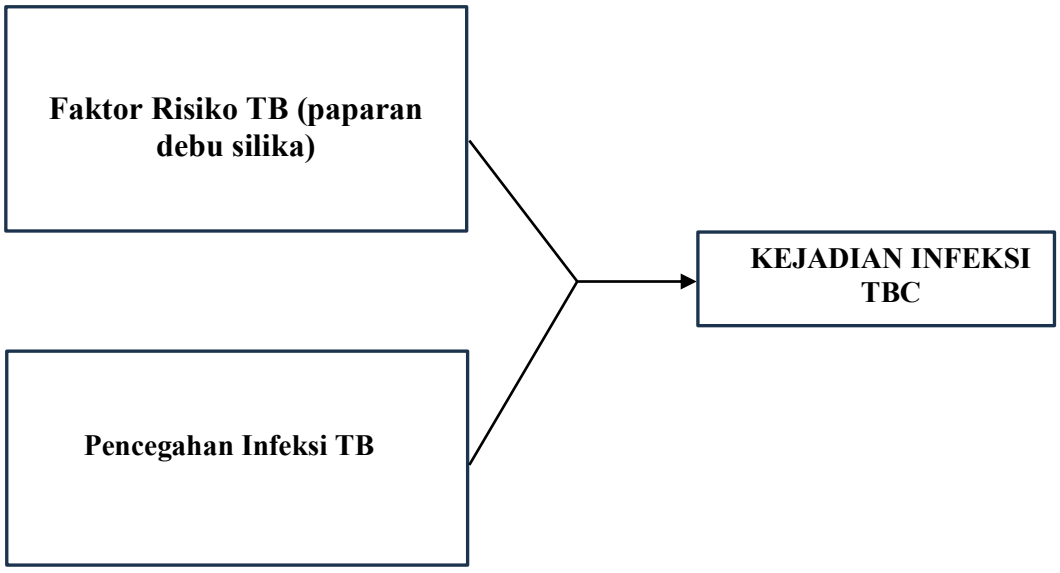


Gambar 2. Kerangka teori.

BAB III
KERANGKA KONSEP DAN DEFINISI OPERASIONAL

3.1 Kerangka Konsep

Kerangka konsep dalam penelitian ini menggambarkan hubungan antara faktor risiko dan upaya pencegahan dengan kejadian infeksi tuberkulosis (TB) pada pekerja tambang batu kapur. Variabel bebas dalam penelitian ini meliputi paparan debu silika dan Pencegahan Infeksi TB. Adapun variabel tergantung dalam penelitian ini adalah kejadian infeksi tuberkulosis (TB) pada pekerja tambang batu kapur.



Gambar 3. Kerangka konsep.

3.1.1 Variabel Bebas/Independen

Faktor Risiko dan Pencegahan Infeksi TB.

3.1.2 Variabel Tergantung

Infeksi TB.

3.2. Definisi operasional

Tabel 2. Definisi operasional

Variabel	Definisi	Alat ukur	Cara mengukur	Hasil	Skala	Referensi
Paparan debu silika	Konsentrasi debu respirabel yang mengandung silika di lingkungan area kerja tambang, diukur oleh petugas kesehatan lingkungan (Kesling) dan dibandingkan dengan Nilai Ambang Batas (NAB) yang berlaku	Data hasil pengukuran debu oleh petugas Kesling menggunakan *High Volume Air Sampler* (HVAS) atau *Low Volume Air Sampler* di area tambang	Peneliti mengambil data hasil pengukuran konsentrasi debu respirabel dari dokumen/laporan Kesling di lokasi tambang, kemudian membandingkan hasilnya dengan NAB silika respirabel	Tinggi ≥ 0,05 mg/m³ / Normal < 0,05 mg/m³	Nominal	NIOSH.[29] Putro *et al.*[46]
Infeksi TB	Kondisi penyakit infeksi yang disebabkan oleh bakteri *Mycobacterium tuberculosis* yang terutama menyerang paru-paru dan dapat ditularkan melalui droplet udara.	Rekam medis/data klinik puskesmas	Status TB diperoleh berdasarkan data diagnosis TB pada rekam medis pekerja tanpa mencantumkan identitas responden.	TB / Tidak TB	Nominal	WHO *Global TB Report.*[2]

BAB IV
METODE

4.1 Desain

Penelitian ini merupakan penelitian observasional analitik dengan pendekatan *cross-sectional***.** Pada desain ini, pengukuran variabel paparan dan variabel kejadian penyakit dilakukan pada waktu yang sama untuk mengetahui hubungan antara faktor risiko dengan kejadian infeksi TB pada pekerja tambang batu kapur.

4.2 Lokasi dan waktu

Penelitian ini akan dilaksanakan pada pekerja tambang batu kapur di wilayah Cirebon, Jawa Barat. Penelitian direncanakan dilaksanakan pada periode Agustus sampai November tahun 2026.

4.3 Populasi dan subjek

4.3.1 Populasi

4.3.1.1 Populasi target

Populasi target yang menjadi cakupan pada studi ini mencakup seluruh tenaga kerja yang berada pada sektor pertambangan dan memiliki potensi mengalami kontak dengan partikel silika di lingkungan kerjanya**.**

4.3.1.2 Populasi terjangkau

Adapun kelompok yang dapat dijangkau dalam kajian ini terdiri atas tenaga kerja pada bidang pertambangan yang menjalankan aktivitas di kawasan operasional penambangan pada lokasi penelitian serta telah memenuhi persyaratan penerimaan dan penolakan subjek yang sebelumnya ditetapkan**.**

4.3.1.3 Subjek

Pelaksanaan riset ini melibatkan rekam medis individu-individu yang berprofesi sebagai tenaga kerja pertambangan dan telah sesuai dengan ketentuan kelayakan maupun kriteria pengecualian yang telah ditentukan sejak awal penelitian.

4.3.1.3.1 Kriteria pemilihan subjek

Kriteria inklusi

Kriteria inklusi pada penelitian ini adalah:

1. Pekerja tambang batu kapur yang sudah bekerja minimal 1 tahun.
2. Usia 18-59 tahun.
3. Bersedia menjadi responden penelitian.
4. Menandatangani *informed consent*.

Kriteria ekslusi

Kriteria ekslusi pada penelitian ini adalah:

1. Pekerja yang sedang cuti atau tidak hadir saat penelitian.
2. Pekerja yang memiliki riwayat penyakit paru selain TB yang telah didiagnosis dokter, seperti PPOK yang memerlukan pengobatan rutin.

Metode Pengambilan Sampel

Metode pemilihan responden yang diterapkan dalam kajian ini adalah *consecutive sampling*, yaitu prosedur penentuan sampel dengan memasukkan seluruh calon responden yang memenuhi persyaratan penelitian dan tidak termasuk dalam kategori yang dikecualikan secara berkesinambungan hingga jumlah partisipan yang diperlukan berhasil terpenuhi sesuai target penelitian.

4.3.1.3.2 Perhitungan jumlah subjek

Perhitungan jumlah subjek pada penelitian *cross-sectional* dapat menggunakan rumus proporsi sebagai berikut:

Rumus Populasi Infinit:

Perhitungan jumlah subjek pada penelitian *cross-sectional* dapat menggunakan rumus proporsi sebagai berikut:

$$n = \frac{\mathrm{Z}^2\mathrm{P}(1-\mathrm{P})}{\mathrm{d}^2}$$

Keterangan:

n= jumlah sampel

Z= nilai standar normal pada tingkat kepercayaan 95% (1,96)

P= estimasi proporsi (0,49), diambil dari prevalensi keluhan pernapasan pada pekerja tambang emas dengan paparan debu silika.[44]

d= tingkat kesalahan yang dapat diterima 7% (0,07)

Perhitungan:

$$n = \frac{3{,}8416 \times 0{,}2499}{0{,}0049}$$
$$n = \frac{0{,}9601}{0{,}0049}$$
$$n = 195{,}92$$
$$n \approx 196$$

Sehingga jumlah sampel minimal menjadi 196 responden.

Rumus Populasi Finit:

Jika jumlah populasi diketahui dan tidak terlalu besar, maka hasil dari rumus infinit dikoreksi menggunakan rumus populasi finit:

$$n_f = \frac{n}{1 + \frac{n-1}{N}}$$

Keterangan:

n_f= jumlah sampel setelah koreksi populasi terbatas

n= jumlah sampel awal dari rumus infinit

N= jumlah populasi sebenarnya (pekerja informal 175 yang diperoleh dari data pra survei oleh Kuwu)

Diketahui:

- n = 196 (dari rumus infinit)
- N = 175 (diperoleh dari data pra survei oleh Kuwu)

Maka:

$$n_f = \frac{196}{1 + \frac{196}{175}}$$
$$n_f = \frac{196}{1 + 1{,}1143} = \frac{196}{2{,}1143} \approx 92{,}7$$

Jadi jumlah sampel setelah koreksi populasi terbatas ≈ 93 orang.

Rumus *Drop out* :

$$n_{\text{akhir}} = \frac{n_f}{1 - \text{drop out}}$$

Diketahui:

$n_f = 92{,}7$

$drop\ out = 15\% = 0{,}15$

Maka:

$$n_{akhir} = \frac{92{,}7}{1 - 0{,}15}$$
$$n_{akhir} = \frac{92{,}7}{0{,}85}$$
$$n_{akhir} \approx 109{,}0$$

Jadi jumlah sampel akhir ≈109 orang, termasuk antisipasi *drop out* 15%.

4.4 Bahan dan instrumen

Pengumpulan data dalam penelitian ini menggunakan data sekunder hasil pengukuran lingkungan kerja, serta data rekam medis. Instrumen yang digunakan disesuaikan dengan masing-masing variabel penelitian sebagai berikut.

Data paparan debu silika diperoleh dari data sekunder yang tersedia di bagian Kesehatan Lingkungan (Kesling) perusahaan. Data tersebut berasal dari hasil pengukuran konsentrasi debu respirabel di area kerja tambang yang telah dilakukan menggunakan *High Volume Air Sampler* (HVAS) atau *Low Volume Air Sampler* oleh petugas Kesling yang berwenang. Peneliti mengambil data hasil pengukuran tersebut dari dokumen/laporan Kesling di lokasi tambang, kemudian membandingkan hasilnya dengan Nilai Ambang Batas (NAB) silika respirabel yang berlaku berdasarkan rekomendasi NIOSH. Penggunaan data sekunder ini dipilih karena karakteristik pekerja tambang yang bersifat informal sehingga tidak memungkinkan dilakukan pemasangan personal dust sampler pada setiap individu responden.

Rekam medis/data klinik puskesmas digunakan untuk memperoleh data variabel infeksi TB. Status TB diperoleh berdasarkan data diagnosis TB pada rekam medis pekerja, tanpa mencantumkan identitas responden untuk menjaga kerahasiaan data.

4.5 Analisis statistik

Pengolahan data dalam penelitian ini dilakukan melalui dua tahap, yaitu analisis univariat dan analisis bivariat, menggunakan perangkat lunak statistik. Analisis univariat digunakan untuk memberikan deskripsi menyeluruh mengenai setiap variabel yang diamati dalam penelitian. Pendekatan ini dimaksudkan untuk mengidentifikasi pola penyebaran data berupa jumlah kejadian maupun persentase pada masing-masing variabel yang dikaji, yaitu tingkat paparan debu silika serta kejadian infeksi TB pada tenaga kerja sektor pertambangan. Temuan dari pengolahan univariat ditampilkan dalam bentuk tabel yang memuat jumlah dan persentase sehingga mampu menyajikan gambaran yang lebih komprehensif

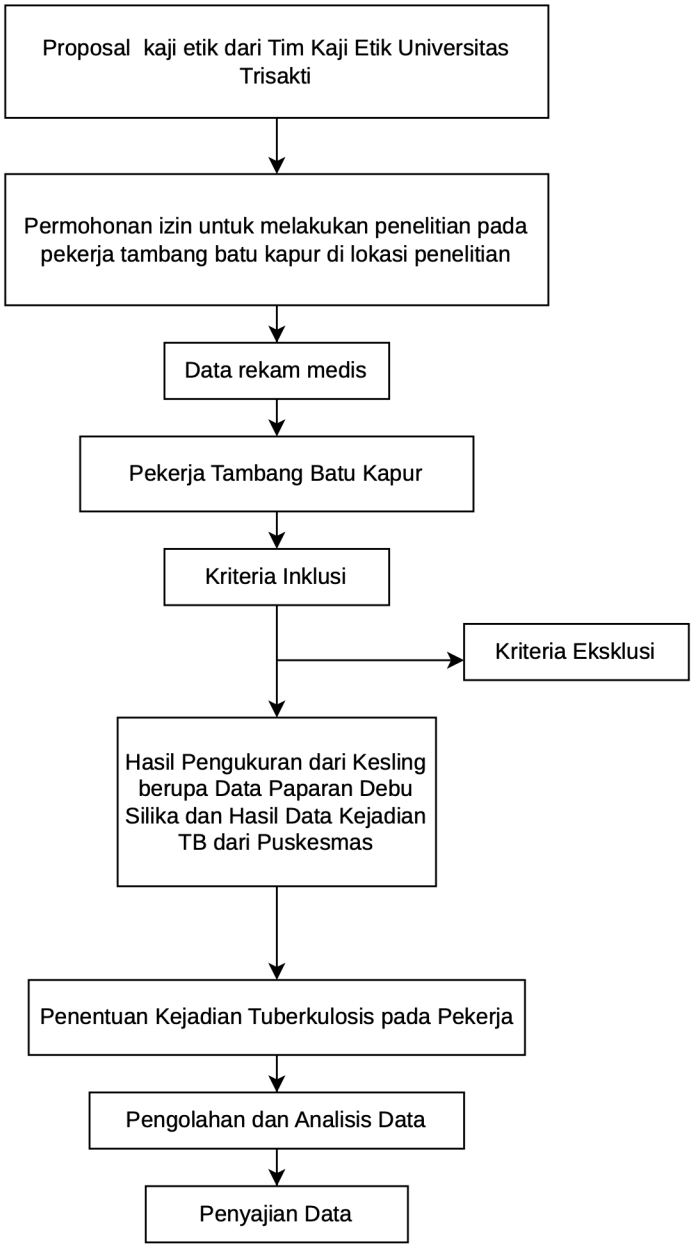
mengenai profil responden beserta karakteristik variabel yang menjadi fokus penelitian.

Analisis bivariat bertujuan untuk mengevaluasi keterkaitan antara variabel independen dengan variabel dependen. Variabel independen dalam penelitian ini meliputi paparan debu silika sedangkan variabel dependen berupa kejadian infeksi TB pada tenaga kerja pertambangan. Mengingat seluruh data yang digunakan berbentuk kategorikal, analisis dilakukan melalui uji Chi-Square.

Uji Chi-Square digunakan untuk menilai apakah terdapat hubungan yang bermakna secara statistik antara dua variabel kategorik. Uji ini dapat digunakan apabila memenuhi syarat, yaitu tidak terdapat sel dengan nilai *expected count* kurang dari 5 pada lebih dari 20% jumlah sel pada tabel kontingensi. Hasil pengujian dianggap menunjukkan hubungan yang signifikan apabila diperoleh nilai $p < 0,05$, yang mengindikasikan adanya keterkaitan nyata antara variabel independen dan variabel dependen. Sebaliknya, apabila nilai $p \geq 0,05$, hubungan yang diamati dinyatakan tidak memiliki signifikansi secara statistik.

Apabila syarat uji Chi-Square tidak terpenuhi, yaitu ditemukan sel dengan nilai *expected count* kurang dari 5 pada lebih dari 20% sel tabel kontingensi 2×2 (kondisi yang umum terjadi pada penelitian dengan jumlah sampel terbatas, seperti pada penelitian ini dengan estimasi sampel akhir sebanyak 56 responden), maka uji alternatif yang digunakan adalah Uji Fisher's Exact. Uji ini dipilih sebagai alternatif karena Fisher's Exact Test menghitung nilai probabilitas secara eksak (bukan estimasi distribusi seperti Chi-Square), sehingga tetap memberikan hasil yang valid meskipun frekuensi harapan pada sel tabel kecil atau ukuran sampel terbatas, kondisi yang sering dijumpai pada penelitian dengan populasi pekerja tambang skala kecil dan informal.

4.6 Alur kerja penelitian



Gambar 6. Alur Kerja

4.7 Etika penelitian

Pelaksanaan penelitian ini baru akan dimulai setelah memperoleh izin dan persetujuan dari Komite Etik Penelitian Fakultas Kedokteran Universitas Trisakti. Sebelum keterlibatan dalam penelitian, setiap partisipan akan memperoleh

penjelasan secara rinci mengenai maksud, tujuan, serta prosedur penelitian, kemudian diminta memberikan persetujuan tertulis melalui lembar *informed consent*. Selain itu, penelitian ini menjunjung tinggi prinsip kerahasiaan dengan menjaga identitas seluruh partisipan agar tidak dapat diketahui pihak lain, serta memastikan bahwa seluruh informasi yang diperoleh hanya dimanfaatkan untuk kebutuhan akademik dan pengembangan ilmu pengetahuan.

4.8 Penjadwalan penelitian

Tabel 3. Penjadwalan penelitian

Kegiatan	WAKTU											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des
Pemilihan topik dan judul												
Penyusunan dan penyelesaian BAB I **(Pendahuluan)**												
Penyusunan dan penyelesaian BAB II **(Tinjauan Pustaka)**												
Penyusunan dan penyelesaian BAB III **(Kerangka konsep & definisi operasional)**												
Penyusunan dan penyelesaian BAB IV **(Metode)**												
Konsultasi												
Penyerahan proposal												
Persiapan ujian												
Ujian proposal												
Pengerjaan sampel												
Analisis data												
Penyusunan skripsi												

REFERENCES

1. Leung CC, YITS, & CW. Silicosis and tuberculosis: Molecular and epidemiological links. Lancet Respir Med. 2022;10(4):e11. doi:10.1016/S2213-2600(21)00551-8
2. World Health Organization. Global Tuberculosis Report 2023 [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2023. Available from: https://www.who.int/teams/global-tuberculosis-programme/tb-reports/global-tuberculosis-report-2023
3. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. Profil Penanggulangan Tuberkulosis Indonesia 2023 [Internet]. Jakarta: Kementerian Kesehatan RI; 2023. Available from: https://tbindonesia.or.id/publikasi/data-tb/
4. Saliba MF, Karam ZZ, Khayat M El, Koka E, Halwani DA, Ghanawi J, et al. Risk factors for silicotuberculosis among miners: a scoping review. BMC Public Health. 2025;25(1):287. doi:10.1186/s12889-025-21362-x
5. Howlett P, Mousa H, Said B, Mbuya A, Kon OM, Mpagama S, et al. Silicosis, tuberculosis and silica exposure among artisanal and small-scale miners: A systematic review and modelling paper. PLOS Global Public Health. 2023;3(9):e0002085. doi:10.1371/journal.pgph.0002085
6. Centers for Disease Control, Prevention. Respiratory Protection [Internet]. Atlanta, Georgia: CDC/NIOSH; 2024. Available from: https://www.cdc.gov/niosh/topics/respirators/default.html
7. World Health Organization. WHO Guidelines on Tuberculosis Infection Prevention and Control [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2023. Available from: https://www.who.int/publications/i/item/9789240060661
8. Rees D, Murray J. Silica, silicosis and tuberculosis. International Journal of Tuberculosis and Lung Disease. 2007;11(5):474–84. doi:10.5588/ijtld.06.0173

9. Vosoughi S, NN, HR, & BA. Risk factors for pulmonary tuberculosis in miners: A case-control study in Iran. Environ Health Prev Med. 2021;26(1):112.
10. Corbett EL, Bandason T, Duong T, Dauya E, Makamure B, Churchyard GJ, et al. Epidemiology of tuberculosis and HIV among adults who work in formal-sector workplaces. Bull World Health Organ. 2020;98(2):85–95. doi:10.2471/BLT.19.240010
11. Naidoo RN, Robins TG, Murray J, Pendleton M, Ramsay L. Silicosis and tuberculosis in South African gold miners: A systematic review. International Journal of Tuberculosis and Lung Disease. 2020;24(8):799–808. doi:10.5588/ijtld.19.0702
12. Ehrlich R, Akugizibwe P, Siegfried N, Rees D. The association between silica exposure, silicosis and tuberculosis: a systematic review and meta-analysis. BMC Public Health. 2021;21(1):953. doi:10.1186/s12889-021-10711-1
13. International Labour Organization. Industries and Sectors: Mining. 2023.
14. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. Sektor Pertambangan Serap Tenaga Kerja Indonesia Tahun 2023. 2024.
15. Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara. Capaian Kinerja Tahun 2023 dan Program Kerja Tahun 2024 Subsektor Minerba. 2024.
16. Moyo D, Kavenga F, Ncube RT, Macheri FP, Mando TC, Moyo F, et al. Knowledge, Attitudes, and Practices of Artisanal and Small-Scale Miners regarding Tuberculosis, Human Immunodeficiency Virus, and Silicosis in Zimbabwe. Int J Environ Res Public Health. 2023;20(23):7116. doi:10.3390/ijerph20237116
17. Gholami A, Tajik R, Atif K, Zarei AA, Abbaspour S, Teimori-Boghsani G, et al. Respiratory Symptoms and Diminished Lung Functions Associated with Occupational Dust Exposure Among Iron Ore Mine Workers in Iran. Open Respir Med J. 2020;14(1):1–7. doi:10.2174/1874306402014010001

18. Konečný P, Ehrlich R, Gulumian M, Jacobs M. Immunity to the Dual Threat of Silica Exposure and Mycobacterium tuberculosis. Front Immunol. 2019;9. doi:10.3389/fimmu.2018.03069
19. Wąsik J, Tubbs RS, Zielinska N, Karauda P, Olewnik Ł. Lung segments from anatomy to surgery. Folia Morphol (Warsz). 2024;83(1):20–34. doi:10.5603/FM.a2023.0011
20. National Cancer Institute. Bronchi, Bronchial Tree, & Lungs [Internet]. 2024. Available from: https://training.seer.cancer.gov/anatomy/respiratory/passages/bronchi.html
21. Zubaydah WOS, others. Sosialisasi Pengenalan Penyakit Menular TBC (Tuberculosis) pada Pasien Poli Paru di RSUD Bahteramas Kendari. Mosiraha: Jurnal Pengabdian Farmasi. 2025;3(2):21–6.
22. Centers for Disease Control, Prevention. Self-Study Modules on Tuberculosis Module 1: Transmission and Pathogenesis of Tuberculosis [Internet]. Atlanta, GA: CDC; 2021. Available from: https://www.cdc.gov/tb/education/corecurr/pdf/module1.pdf
23. Natarajaseenivasan K. Editorial: New insights in Mycobacterium tuberculosis. Front Cell Infect Microbiol. 2022;12. doi:10.3389/fcimb.2022.1020267
24. Miggiano R, Rizzi M, Ferraris DM. Mycobacterium tuberculosis Pathogenesis, Infection Prevention and Treatment. Pathogens. 2020;9(5):385. doi:10.3390/pathogens9050385
25. Cronan MR. In the Thick of It: Formation of the Tuberculous Granuloma and Its Effects on Host and Therapeutic Responses. Front Immunol. 2022;13. doi:10.3389/fimmu.2022.820134
26. Alsayed SSR, Gunosewoyo H. Tuberculosis: Pathogenesis, Current Treatment Regimens and New Drug Targets. Int J Mol Sci. 2023;24(6):5202. doi:10.3390/ijms24065202
27. Meintjes G, Maartens G. HIV-Associated Tuberculosis. New England Journal of Medicine. 2024;391(4):343–55. doi:10.1056/NEJMra2308181

28. Saleh LM, W. A. K3 Pertambangan: Kajian Keselamatan dan Kesehatan Kerja Sektor Pertambangan. Yogyakarta: Deepublish; 2020.
29. Susanto A, N. H, C. BS, D. SL. Analisis Risiko Kesehatan Akibat Paparan Debu pada Pekerja Industri Pengolahan Mineral. Yuliani W, editor. Jakarta: Penerbit Buku Indonesia; 2025.
30. National Institute for Occupational Safety, Health. Silica, Crystalline [Internet]. Atlanta, GA: CDC/NIOSH; 2024. Available from: https://www.cdc.gov/niosh/topics/silica/default.html
31. Ehrlich R, Murray J, Said-Hartley Q, Rees D. Silicotuberculosis: a critical narrative review. European Respiratory Review. 2024;33(174):240168. doi:10.1183/16000617.0168-2024
32. Sukismanto, Prabaningrum YI, Lestari A, Lustiyati ED, Suwarto. Hubungan penggunaan masker, masa kerja, dan waktu kerja dengan kapasitas vital paru pengolah batu kapur di Gunungkidul. Sanitasi: Jurnal Kesehatan Lingkungan. 2023;16(2). doi:10.29238/sanitasi.v16i2.1853
33. Laksono AD. Kepatuhan Menggunakan Alat Pelindung Diri (APD) di Kalangan Pekerja Sektor Informal di Indonesia: A Literature Review. 2024.
34. Young CC, Byrne JD, Wentworth AJ, Collins JE, Chu JN, Traverso G. Respirators in Healthcare: Material, Design, Regulatory, Environmental, and Economic Considerations for Clinical Efficacy. Global Challenges. 2022;6(10). doi:10.1002/gch2.202200001
35. Ntshiqa T, Nagudi J, Hamada Y, Copas A, Stender S, Sabi I, et al. Risk Factors Associated With Tuberculosis Infection Among Household Contacts of Patients With Microbiologically Confirmed Pulmonary Tuberculosis in 3 High Tuberculosis Burden Countries. J Infect Dis. 2025;232(3):e448–58. doi:10.1093/infdis/jiaf320
36. McIntosh AI, Jenkins HE, Horsburgh CR, Jones-López EC, Whalen CC, Gaeddert M, et al. Partitioning the risk of tuberculosis transmission in household contact studies. PLoS One. 2019;14(10):e0223966. doi:10.1371/journal.pone.0223966

37. Wang S. Development of a Predictive Model of Tuberculosis Transmission among Household Contacts. Canadian Journal of Infectious Diseases and Medical Microbiology. 2019;2019:1–7. doi:10.1155/2019/5214124
38. Susanto A, others. Paparan Debu dan Risiko Gangguan Fungsi Pernafasan pada Pekerja di Industri Pengolahan Bijih Mineral: Tinjauan Literatur Sistematis. Journal of Industrial Hygiene and Occupational Health. 2024;9(1):70–88.
39. Stoleski S, Minov J, Mijakoski D, Bislimovska D, Atanasovska A, Karadzinska-Bislimovska J. Lung Function Impairment in Construction Workers – Influence of Smoking and Exposure Duration. Open Access Maced J Med Sci. 2021;9(E):406–14. doi:10.3889/oamjms.2021.6145
40. World Health Organization. WHO Guidelines on Tuberculosis Preventive Interventions [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2021. Available from: https://www.who.int/publications/i/item/9789240022539
41. Rajavel S, Raghav P, Gupta MK, Muralidhar V. Silico-tuberculosis, silicosis and other respiratory morbidities among sandstone mine workers in Rajasthan – a cross-sectional study. PLoS One. 2020;15(4):e0230574. doi:10.1371/journal.pone.0230574
42. Rees D, Stacey P. Silica Exposure, Silicosis and Tuberculosis in Mining Workers. Occupational Medicine (Chicago, Ill). 2020;70(5):355–60.
43. Liao YH, Wu CF, others. Ceramics Manufacturing Contributes to Ambient Silica Air Pollution and Burden of Lung Disease. Int J Environ Res Public Health. 2019;16(18).
44. Noor H, others. Analisis Faktor Risiko terhadap Gejala Silikosis pada Pekerja. Jurnal Public Health. 2024;1(2):45–53.
45. Rusibamayila M, Meshi E, Mamuya S. Respiratory Impairment and Personal Respirable Dust Exposure among the Underground and Open Cast Gold Miners in Tanzania. Ann Glob Health. 2018;84(3):419–28. doi:10.29024/aogh.2323
46. Rambiki E, Dimba A, Banda P, Ng'ambi W, Banda K, Girma B, et al. The Prevalence of Pulmonary Tuberculosis among Miners from the Karonga,

Rumphi, Kasungu and Lilongwe Districts of Malawi in 2019. Malawi Medical Journal. 2020;32(4):184–91. doi:10.4314/mmj.v32i4.2

47. Putro EK, Kusnadi SNF, Susanto A, Zannah M, Mahalisa R, Manuel AA. Penilaian Risiko Paparan Debu Silika terhadap Pekerja di Industri Pengolahan Bijih Mineral. Jurnal Kesehatan Vokasional. 2024;9(1):75–86.

Lampiran 1. *Dummy table*

Tabel 1. *Dummy table* Analisis Univariat

Variabel	Frekuensi (n)	Persentase (%)
Paparan debu Silika		
Tinggi ≥ 0,05 mg/m³		
Normal < 0,05 mg/m³		
Kejadian TB		
Tidak TB		
TB		

Tabel 2. *Dummy table* Analisis Bivariat

Variabel	Kejadian TB				P-value
	TB		Tidak TB		
	N	%	N	%	
Paparan debu Silika					
Tinggi ≥ 0,05 mg/m³					
Normal < 0,05 mg/m³					

Lampiran 2. ***Informed Consent***

INFORMED CONSENT

Saya Fidella Aristawidya Naomi, mahasiswi Fakultas Kedokteran Universitas Trisakti. Saat ini saya sedang mengumpulkan data mengenai faktor risiko dan pencegahan infeksi Tuberkulosis (TB) pada pekerja tambang batu kapur. Pengumpulan data ini merupakan salah satu bahan untuk penyusunan tugas akhir (skripsi) dengan judul: "Analisis Faktor Risiko dan Pencegahan Infeksi Tuberkulosis (TB) pada Pekerja Tambang Batu Kapur." Oleh karena itu, peneliti mengharapkan Saudara/i untuk ikut serta dalam penelitian ini. Jika Saudara/i bersedia menjadi partisipan, Saudara/i akan diminta untuk:

- Bersedia data terkait dirinya — meliputi usia, jenis kelamin, yang tercatat dalam rekam medis Puskesmas, digunakan untuk keperluan penelitian ini tanpa mencantumkan identitas pribadi (anonim).
- Pengumpulan data terkait paparan debu silika berdasarkan data yang tersedia di Kesehatan Lingkungan (Kesling) dan pengumpulan data mengenai riwayat Tuberkulosis (TB) yang tersedia pada Puskesmas.

Seluruh data akan dijaga kerahasiaannya dan hanya digunakan untuk penelitian. Saudara/i berhak menolak atau menghentikan keikutsertaan kapan saja tanpa sanksi apa pun. Pertanyaan dapat diajukan kepada peneliti (Fidella Aristawidya Naomi, 081213244178). Apabila bersedia, mohon menandatangani lembar persetujuan yang telah disediakan.

Jakarta, 13 Juli 2026

Fidella Aristawidya Naomi

Lampiran 3. Lembar persetujuan responden

FORMULIR PERSETUJUAN

Seluruh penjelasan mengenai penelitian ini telah saya terima dan pahami dengan baik. Dengan menandatangani formulir ini, saya menyatakan BERSEDIA untuk berpartisipasi sebagai responden dalam penelitian ini tanpa adanya paksaan dari pihak mana pun.

Nama Responden :
Usia :
Jenis Kelamin : ☐ Laki-laki ☐ Perempuan
Tanda Tangan Responden :

(.....)

Tanggal : ...../...../.....