

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Silika Kristalin

2.1.1 Mineralogi/ morfologi

Silikon dioksida (SiO_2) atau dikenal juga sebagai silika, merupakan senyawa kimia tidak berwarna dan tidak berbau, silika terbentuk melalui reaksi silikon dan oksigen secara alami di kerak bumi (Komang et al., 2024). Kerak bumi terdiri dari 59% mineral ini, selain itu silikon dioksida merupakan komponen utama lebih dari 95% batuan, oleh karena itu banyak bahan konstruksi, seperti beton, pasir, mortar, dan batu, mengandung silikon dioksida dalam bentuk silika kristal bahan-bahan ini digunakan dalam pembuatan produk konsumen seperti kaca, keramik, tembikar, batu bata, dan batu buatan (OSHA, 2022) (Carrieri et al., 2020). Silika bersifat polimorfik, sehingga rumus kimia SiO_2 yang sama dapat terdapat dalam lebih dari satu bentuk struktur kristal. Silika umumnya ditemukan dalam bentuk kuarsa, tridimit, dan kristobalit. Setelah feldspar, kuarsa merupakan mineral paling melimpah kedua di kerak bumi (Hoy & Chambers, 2020)

2.1.2 Silika kristalin respirabel

Silika Kristalin respirabel atau *respirable crystalline silica (RCS)* merupakan fraksi partikel silika kristal yang cukup kecil untuk terhirup mencapai saluran napas distal dan alveoli. Partikel ini biasanya berdiameter kurang dari 10 μm , RCS ini mungkin tidak terlihat di tempat kerja karena tidak berwarna, tidak

berbau, dan tidak mengiritasi, serta tidak menimbulkan dampak kesehatan langsung (Carrieri et al., 2020; Hoy & Chambers, 2020).

Silika kristalin respirabel terbentuk saat melakukan aktivitas industri seperti memotong, menggergaji, menggiling, mengebor, dan menghancurkan batuan, atau material lain yang mengandung silika kristal (granit, beton, bata, dll) mengakibatkan paparan pekerja terhadap debu silika kristal yang dapat terhirup (OSHA, 2022). Dengan standar rata-rata waktu kerja 8 jam, Amerika Serikat dan Australia memiliki batas paparan kerja RCS adalah $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($0,1 \text{ mg}/\text{m}^3$), sedangkan di Inggris dan Uni Eropa adalah $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($0,05 \text{ mg}/\text{m}^3$) (Feary et al., 2024) (Hoy & Chambers, 2020). Namun kenyataan di lapangan masih ditemukan kandungan RCS yang masih jauh di atas standar tersebut.

2.2 Batu Buatan (*Artificial Stone*)

Batu buatan dibuat dengan menyatukan kuarsa yang telah dihancurkan sebagai komposisi utamanya, yang ditambahkan resin sintesis, dan pigmen untuk meniru tampilan batu alami seperti marmer, granit, dan lainnya (León-Jiménez et al., 2020). Kandungan silika kristal pada batu buatan lebih dari 90%, yang jauh lebih tinggi daripada batu alam yang biasa digunakan seperti granit (30%) atau marmer (3%) (Hoy & Chambers, 2020)

Sejak awal tahun 2000-an, batu buatan (*artificial stone*) atau dikenal juga sebagai batu rekayasa (*engineered stone*) telah dengan cepat menjadi bahan yang populer untuk pembuatan meja dapur dan kamar mandi, alasannya karena batu buatan memiliki beberapa sifat yang diinginkan dibandingkan batu alam, yaitu

lebih ringan dan lebih tipis dari batu alam, tidak berpori oleh karena itu memiliki ketahanan mekanis yang kuat. Produsen *countertop* memasarkan bahan baru sebagai anti noda dan gores, tahan asam dan api, ramah lingkungan, dan tidak beracun. Secara estetika bahan-bahan buatan ini hampir tidak bisa dibedakan dari batu alam. Karena sifat-sifatnya yang diinginkan, batu buatan telah menjadi pilihan umum di rumah-rumah untuk *countertops* dapur atau kamar mandi serta bahan konstruksi di gedung-gedung publik (Carrieri et al., 2020; Hoy & Chambers, 2020)

2.3 Silikosis

2.3.1 Gejala dan klasifikasi

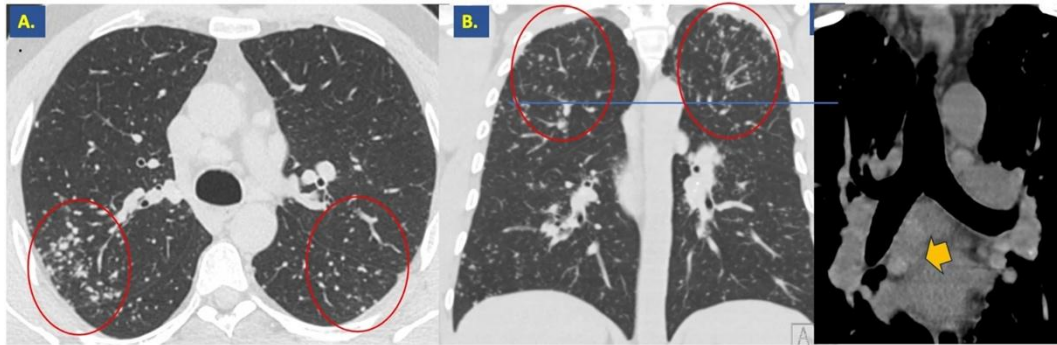
Secara umum gejala dari silikosis terkait batu buatan adalah dispnea, batuk, sputum, nyeri dada (Min, et al. 2023), hal ini sejalan dengan penelitian oleh Chummings, et al (2023) pada pekerja pembuatan meja dapur didapatkan 87% mengalami dipsneu (dengan gejala lainnya seperti batuk, penurunan berat badan, wheezing, dan demam), 13% lainnya tidak terdapat gejala.

Berdasarkan lama paparan (tahun) silika kristalin dan temuan pada gambaran radiografi, silikosis dapat diklasifikasikan menjadi silikosis kronis, silikosis sub akut atau terakselerasi, siliko-proteinosis akut.

2.3.1.1 Silikosis kronis

Silikosis kronis biasanya berkembang perlahan dengan paparan RCS konsentrasi rendah yang berkepanjangan, biasanya muncul 10 - 30 tahun setelah paparan pertama, kategori ini merupakan bentuk yang paling umum ditemukan,

Silikosis kronis dapat dibedakan lagi menjadi *chronic simple (nodular) silicosis* atau *complicated silicosis (progressive massive fibrosis)*.

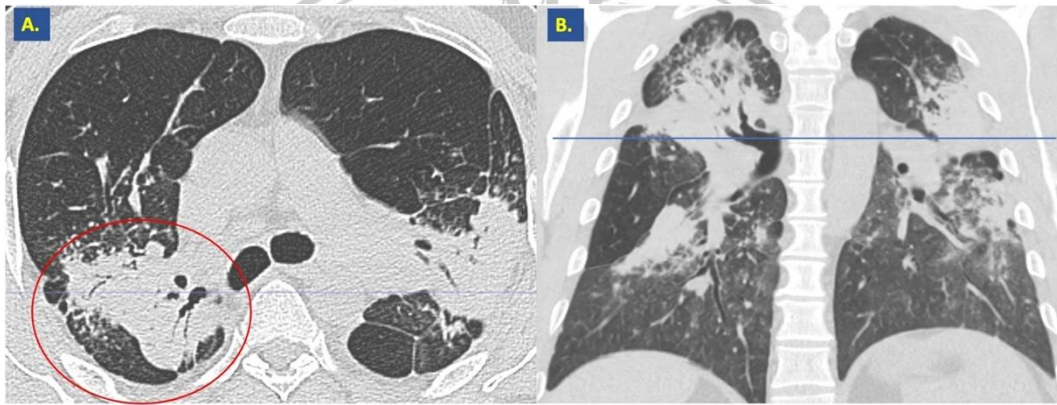


Gambar 2. 1 Silikosis kronik sederhana

chronic simple (nodular) silicosis mungkin tidak bergejala dan hanya terdeteksi dengan radiologi dada, seperti bagian dari program skrining kesehatan kerja. Tingkat keparahan *simple silicosis* dapat dikategorikan berdasarkan luasnya nodularitas di lapang paru (profusi radiologis). Pada *simple silicosis* yang lebih lanjut, sebagian besar akan mengalami gangguan transfer gas dan keterbatasan spirometri. Silikosis sederhana sering kali tidak bergejala tetapi dapat dikaitkan dengan batuk dan produksi sputum. Silikosis sederhana kronis secara radiologis ditandai dengan adanya banyak nodul kecil yang sebagian besar berbentuk bulat 10 mm (biasanya 3-6 mm), dengan distribusi sentrilobular dan perifer (perilimfatik) dan predileksi pada zona atas posterior paru-paru karena pembersihan yang kurang efisien (Fazio et al., 2025; Hoy & Chambers, 2020) (Gambar 2.1)

Complicated silicosis ,silikosis berubah menjadi silikosis *complicated* ketika nodul paru membesar atau menyatu hingga berdiameter minimal 1 cm. Kekeruhan yang lebih besar, juga dikenal sebagai fibrosis masif progresif (PMF),

memiliki dominasi lobus atas dan bentuknya bervariasi (Gambar 2.2) (Hoy & Chambers, 2020) . Pasien yang memiliki PMF secara radiografik lebih mungkin menunjukkan pola restriktif-obstruktif campuran pada spirometri, kapasitas paru total (TLC) yang berkurang, dan kapasitas difusi yang berkurang. PMF memiliki prognosis yang buruk dengan perkembangan cepat menjadi gagal jantung paru tanpa adanya transplantasi paru-paru (Fazio et al., 2025).



Gambar 2.2 *complicated silicosis*

2.3.1.2 Silikosis sub- akut (terakselerasi)

Terjadi karena paparan silika tingkat tinggi dan biasanya berkembang dalam 2 hingga 10 tahun setelah paparan awal. Karakteristik pencitraannya tumpang tindih dengan silikosis akut dan kronis, menunjukkan *ground-glass opacities* yang menunjukkan silikoproteinosis, bersama dengan nodul silikotik dan fibrosis interstisial yang umum terlihat pada bentuk penyakit kronis (Gambar 2.3) (Fazio et al., 2025). Banyak pekerja yang menunjukkan temuan fibrosis dan area silikoproteinosis akut secara bersamaan, konsisten dengan masa kerja mereka yang lebih pendek dan tingkat paparan yang lebih tinggi pada saat diagnosis.



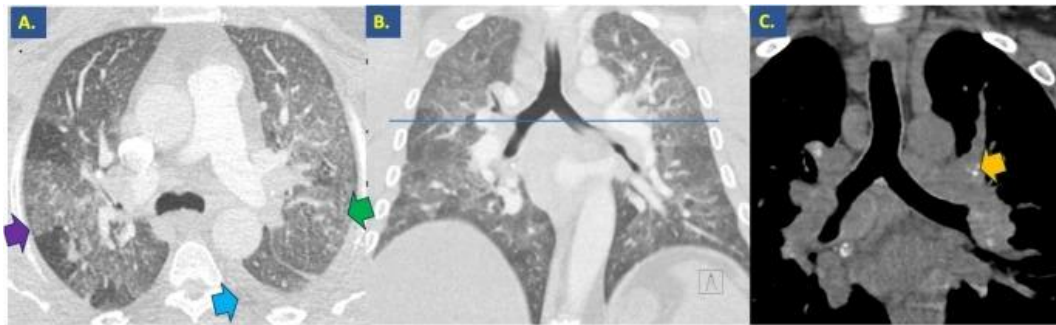
Gambar 2. 3 Silikosis sub-akut (terakselerasi)

2.3.1.3 Silikosis akut (Siliko –proteinosis)

Jenis silikosis yang paling mematikan adalah silikosis akut, yang juga dikenal sebagai silikoproteinosis. Kondisi progresif ini disebabkan oleh paparan paparan intens terhadap RCS dengan konsentrasi silika yang tinggi dan berkembang selama beberapa bulan hingga lima tahun. Silikosis akut berpotensi fatal, dengan prognosis yang sangat buruk (Esha et al., 2024). beberapa rangkaian kasus pembuat batu buatan telah menunjukkan temuan patologis silikoproteinosis pada biopsi paru-paru atau eksplantasi transplantasi (7–9%). Namun, ini mungkin merupakan jumlah yang kurang karena diagnosis silikosis sering kali dibuat tanpa patologi.

Secara patologis, silikoproteinosis akut memiliki tampilan yang mirip dengan proteinosis alveolar paru (PAP) dan ditandai dengan akumulasi bahan lipoprotein aselular di alveoli. Akumulasi material lipoprotein ini disebabkan oleh gangguan kemampuan makrofag alveolar untuk membersihkan lipoprotein dari ruang alveolar. Secara radiografis, silico-proteinosis juga tampak mirip dengan PAP idiopatik, dengan area *ground-glass opacities* peri-hilus dan penebalan septum, sering kali di lobus atas (Gambar 2.4) (Fazio et al., 2025). Namun, tidak

seperti PAP idiopatik, silikoproteinosis cenderung tidak memiliki pola "*crazy paving*", meskipun dapat diidentifikasi. Selain itu, kalsifikasi kelenjar getah bening sangat spesifik untuk silikosis saat membedakannya dari PAP idiopatik.



Gambar 2. 4 Silikosis akut (Silikosis –proteinosis)

2.3.4 Patogenesis

Tahapan awal dalam patogenesis silikosis diketahui dengan cukup baik. *Respirable silica cristaline* yang biasanya berukuran kurang dari 5 μm terhirup saat proses respirasi dan dapat mencapai rongga alveolus, ditelan oleh makrofag alveolus. Makrofag alveolus merupakan garis pertahanan pertama di paru-paru distal tempat mereka memfagositosis mikroba dan debu yang terhirup. Biasanya, sel efektor imun bawaan yang penting ini akan mencerna bahan yang ditelan, yang kemudian dihancurkan, dikeluarkan melalui drainase limfatik ke kelenjar getah bening regional, atau dibersihkan oleh eskalator mukosiliar untuk dimuntahkan atau ditelan (Esha et al., 2024)

Partikel silika kristal dikenali dan dibersihkan oleh reseptor makrofag dengan struktur kolagen (MARCO), jika makrofag alveolus yang telah menelan partikel silika tidak dibersihkan dari paru-paru, partikel yang difagositosis akan

memicu produksi spesies oksigen reaktif (ROS) dan merusak lisosom makrofag. Tumpahan isi lisosom ke dalam sitoplasma memicu aktivasi kuat kompleks multiprotein yang disebut inflammasome, yang kemudian memecah proIL-1 β yang tidak aktif, yang menyebabkan sekresi sitokin proinflamasi prototipe IL-1 β . Jika reseptor MARCO tidak ada, pembersihan silika semakin terganggu, membran lisosom menjadi lebih permeabel, dan terjadi peradangan hebat. makrofag alveolus disfungsi yang tetap berada di ruang alveolar tidak dapat membersihkan glikoprotein alveolar atau mempertahankan homeostasis surfaktan, akan menyebabkan akumulasi material intra-alveolar PAS-positif yang menjadi ciri proteinosis alveolar. Mereka juga merangsang respons profibrotik yang kuat, yang mengarah pada pengendapan kolagen, fibrosis, dan akhirnya menyebabkan PMF. Oleh karena itu, jelas bahwa makrofag alveolar berperan penting dalam fibrosis, baik dalam hal histopatologi maupun dalam hal patogenesis (Esha et al., 2024; Hoy & Chambers, 2020)

Meskipun peristiwa awal ini terdefinisi dengan baik, langkah-langkah yang mengarah pada fibrosis kurang dipahami. makrofag alveolar sulit dipelajari karena autofluoresensi yang intens dan penanda permukaan yang tidak spesifik, yang menghambat upaya untuk menentukan fenotipe melalui pelabelan permukaan dan *flow cytometry* konvensional. Perkembangan teknologi terkini yang kini memungkinkan deskripsi seluruh transkriptom dalam sel tunggal (single-cell RNA sequencing, scRNAseq) telah mengatasi kendala ini, sehingga deskripsi taksonomi seluler yang belum pernah terjadi sebelumnya bahkan dalam jaringan kompleks dan keadaan penyakit kini dapat dideskripsikan. Teknik ini

telah mengungkap keberadaan makrofag alveolar profibrotik abnormal, yang tampaknya menjadi pusat patogenesis fibrosis paru, dan yang dicirikan oleh ekspresi berlebihan fosfoprotein 1 yang disekresikan, yang mengkode osteopontin. Osteopontin diketahui meningkat pada silikosis manusia. scRNAseq juga mengarah pada penemuan bahwa pada pasien dengan fibrosis paru idiopatik, makrofag alveolus yang berasal dari monosit direkrut ke ceruk fibrotik tempat mereka merangsang fibroblas untuk menghasilkan kolagen. Namun, belum diketahui apakah gangguan serupa pada populasi makrofag alveolus mendorong fibrosis pada silikosis.

2.3.5 Diagnosis

2.3.5.1 Riwayat pekerjaan

Riwayat paparan terperinci sangat penting, termasuk tugas pekerjaan, bahan yang digunakan, tindakan pengendalian debu, dan penggunaan alat pelindung diri, riwayat terpapar RCS, lokasi pekerjaan (Feary et al., 2024; Hoy et al., 2021).

2.3.5.2 Tanda dan gejala klinis

Gejala dapat bersifat tidak langsung, dengan periode asimtomatik yang berkepanjangan. Gejala umum meliputi sesak napas, batuk kering kronis, nyeri dada, dan nyeri punggung. Penyakit lanjut dapat disertai dengan penurunan berat badan dan hipoksia (Requena-Mullor et al., 2021).

2.3.5.3 Pengujian fungsi paru

Pola ventilasi restriktif adalah yang paling umum, tetapi banyak pekerja dengan pemindaian CT abnormal mungkin memiliki PFT normal saat diagnosis. PFT kurang sensitif dibandingkan pemindaian CT untuk penyakit dini tetapi berguna untuk memantau perkembangan.

2.3.5.4 Temuan pencitraan

High-resolution Computed tomography (HRCT) adalah metode pencitraan yang lebih disukai untuk mendeteksi silikosis pada pekerja batu yang direkayasa, karena jauh lebih sensitif daripada rontgen dada tradisional. HRCT dapat mengidentifikasi penyakit tahap awal dengan memperlihatkan banyak nodul kecil dan bulat (kurang dari 10 mm) dengan distribusi sentrilobular dan perifer, terutama di zona paru-paru bagian atas dan tengah. Ia juga mendeteksi ciri-ciri khas seperti kelenjar getah bening mediastinum yang membesar dan *hiperdense*, yang sering terlewatkan pada rontgen dada (Hoy et al., 2023). Sensitivitas CXR (X-ray) untuk mendeteksi silikosis dibandingkan HRCT adalah 48%, sedangkan spesifisitasnya adalah 97% (Hoy, et al. 2024)

Karena sensitivitas HRCT yang lebih unggul, pedoman skrining di tempat-tempat seperti Australia dan California telah bergeser dari rontgen dada ke pemindaian CT rutin untuk semua pekerja yang berisiko. Penelitian telah menunjukkan bahwa sebagian besar pekerja dengan silikosis memiliki temuan abnormal pada pemindaian CT meskipun memiliki rontgen dada normal, yang menyoroti pentingnya pencitraan tingkat lanjut untuk deteksi dini dan intervensi (Austin, et al. 2021).



2.4 Gangguan Lain Terkait Silika Kristalin

2.4.1 Penyakit autoimun

Sejak awal hingga pertengahan tahun 1900-an, ketika skleroderma ditemukan pada tukang batu, sklerosis sistemik pada penambang emas Afrika Selatan (Sindrom Erasmus), dan artritis reumatoid pada penambang batu bara (Sindrom Caplan), hubungan antara silikosis dan penyakit autoimun telah terbukti. Selain itu lupus eritematosus sistemik, dermatomiositis, vaskulitis terkait antibodi sitoplasma antineutrofil, dan polimiositis juga telah dikaitkan dengan paparan silika. Prevalensi penyakit autoimun pada pekerja *countertop* batu buatan sebesar 20% yaitu tujuh kali lebih tinggi dari prevalensi yang diharapkan pada populasi umum, yang utamanya berupa artritis reumatoid, sklerosis sistemik, dan lupus eritematosus sistemik tetapi juga termasuk vaskulitis ANCA (Fazio, et al. 2025).

2.4.2 Infeksi mikobakteri

Pekerja yang terpapar RCS terutama memiliki risiko yang jauh lebih tinggi untuk mengembangkan TB laten dan aktif. Sebuah meta-analisis yang dilakukan tahun 2022 menemukan bahwa individu dengan silikosis atau paparan silika tinggi memiliki risiko tuberkulosis sekitar 1,34–1,35 kali lebih besar dibandingkan dengan kelompok kontrol yang tidak terpapar. Analisis sistematis lain di antara penambang tradisional melaporkan bahwa mereka yang mengalami silikosis atau paparan silika memiliki kemungkinan 2,9–5,6 kali lebih besar untuk tertular TB, bahkan mereka yang tidak mengalami silikosis yang jelas menunjukkan

peningkatan risiko TB (Jamshidi, et al.2023) . Akan tetapi, karena silikosis dan tuberkulosis memiliki simptomatologi dan temuan pencitraan yang serupa (pola mikronoduler di bagian atas paru-paru), 10 dari 45 (22%) awalnya salah didiagnosis menderita TB paru aktif, berbeda dengan silikosis, yang akhirnya disingkirkan setelah banyak yang telah menerima terapi multi obat sistemik selama berbulan-bulan untuk TB aktif. Oleh karena itu, meskipun tuberkulosis paru tetap menjadi kondisi komorbid yang relevan pada silikosis ES, kondisi ini dapat disalahartikan sebagai patologi primer karena pola pencitraan mikronodular milier yang serupa. Mekanisme dasar hubungan antara silikosis dan penyakit mikobakteri belum sepenuhnya dipahami. Namun, model *in vitro* telah menunjukkan bahwa paparan makrofag paru terhadap silika kristalin menderegulasi sel (Fazio, et al. 2025)

2.5 Preventif

Industri batu buatan membuat pekerja terpapar pada kadar silika kristalin yang dapat dihirup (RCS) yang sangat tinggi, yang sering kali jauh melebihi batas paparan di tempat kerja. Tugas pemotongan dan *finishing* kering dapat menghasilkan konsentrasi debu silika yang sangat tinggi, terkadang mencapai hingga 3880 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, yang jauh lebih tinggi dari batas yang direkomendasikan. Bahkan saat menggunakan proses basah metode, paparan masih dapat berkisar dari 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ hingga 680 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dan sebagian besar pekerja yang menggunakan perkakas tangan bertenaga air atau melakukan penyelesaian kering terpapar di atas tingkat yang aman. Temuan ini menyoroti risiko paparan berlebih yang terus-menerus dalam industri, terlepas dari metode yang digunakan.

Metode pengendalian dalam industri mengikuti hirarki pengendalian, yang meliputi eliminasi atau substitusi, pengendalian teknik, pengendalian administratif, dan alat pelindung diri (APD). Eliminasi atau substitusi merupakan cara yang paling efektif, dan sebagai respons terhadap epidemi silikosis, Australia telah melarang penggunaan dan impor batu rekayasa. Keputusan ini didasarkan pada bukti bahwa bahkan dengan tindakan pencegahan, pekerja tidak terlindungi secara memadai dari paparan berbahaya. (Heinzerling et al., 2025)

2.5.1 Eliminasi dan substitusi

Di puncak hierarki adalah eliminasi, yang merupakan solusi yang paling utama yaitu dengan menghilangkan bahaya secara menyeluruh. Untuk batu buatan, ini berarti melarang material atau bahan tersebut sepenuhnya, seperti yang telah diterapkan di Australia dengan dikeluarkannya larangan penggunaan dalam negeri pada bulan Juli 2024 dan melarang impor pada tanggal 1 Januari 2025 (Gandhi et al., 2023) Substitusi material dengan batu yang kandungan silikanya lebih rendah atau nol, penelitian menunjukkan bahwa batu rekayasa silika rendah menghasilkan RCS yang jauh lebih sedikit. Namun, keamanan kesehatan dari alternatif ini masih dalam penyelidikan (Kromhout et al., 2024)

2.5.2 *Engineering control*

Bila eliminasi tidak memungkinkan, pengendalian teknik bertujuan untuk mengurangi atau mencegah bahaya agar tidak bersentuhan dengan pekerja, dengan modifikasi alat, ataupun lingkungan kerja. Contoh teknik yang digunakan meliputi pemotongan basah, penekanan air pada alat, ventilasi pembuangan lokal

(LEV) untuk menekan debu, dan penggunaan mesin CNC (*Computer Numerical Control*), gergaji robotik untuk menjaga pekerja tetap jauh (Ramkisson, et al. 2024)

2.5.3 Kontrol administratif

berfokus pada organisasi kerja dan pelatihan untuk mengurangi paparan. Ini termasuk sesi pelatihan, rotasi pekerjaan, protokol tata graha (misalnya, menyapu basah atau menyedot debu dengan HEPA menggantikan menyapu kering), dan membatasi akses ke area berdebu. Di beberapa negara, seperti AS dan Inggris, peraturan mewajibkan pemeriksaan medis dan dokumentasi rutin bagi pekerja yang terpapar di atas tingkat silika tertentu. Langkah-langkah administratif ini membantu mengurangi risiko tetapi bergantung pada perilaku dan pengawasan manusia sehingga membuatnya kurang dapat diandalkan dibandingkan solusi teknis (Mullor, et al. 2021)


2.5.4 Alat pelindung diri

Alat pelindung diri (APD) terutama pelindung pernapasan, adalah garis pertahanan terakhir. Respirator seperti masker N95 atau respirator pemurni udara bertenaga (PAPR) yang lebih canggih direkomendasikan berdasarkan hasil pengambilan sampel udara. Namun, banyak pekerja tidak secara konsisten mengenakan respirator, tidak diuji kecocokannya, atau kurang pelatihan dalam penggunaan dan perawatan yang tepat. Bahkan ketika disediakan, tantangan praktis seperti ketidaknyamanan, visibilitas yang berkurang, dan kurangnya dukungan untuk penggunaan yang tepat dapat membatasi efektivitas. Beberapa

wilayah, seperti California, sekarang mengharuskan PAPR yang pas dan menutupi seluruh wajah untuk semua tugas dengan paparan tinggi, tetapi hambatan untuk penggunaan yang konsisten dan efektif tetap ada.

Assigned Protection Factors (APFs) dikembangkan oleh NIOSH dan ANSI yaitu untuk menilai tingkat perlindungan suatu respirator dengan parameter angka, APF dapat digunakan untuk memilih perlindungan pernapasan yang memadai sesuai dengan tingkat paparan yang dialami pekerja. Menurut NIOSH pekerja yang terpapar silika kristalin direkomendasikan untuk menggunakan APD yang melindungi sistem pernapasan dan mata (CDC, 2020).

Tabel 2. 1 Rekomendasi APD (masker)

Konsentrasi debu	Jenis respirator yang direkomendasikan	Gambar
$\leq 0,5 \text{ mg/m}^3$ (APF 10)	Respirator partikulat apa pun yang dilengkapi dengan filter N95, R95, atau P95 (kecuali respirator <i>quarter-mask</i>)	- <i>Elastomeric full facepiece respirator</i>
		
		- <i>Elastomeric half mask respirator</i>



$\leq 1,25 \text{ mg/m}^3$ (APF 25) - Respirator *air purifying* - Powered *air purifying* bertenaga apa pun dengan filter *respirator (PAPR)* partikulat efisiensi tinggi.

- Respirator *supplied-air* apa pun yang dioperasikan dalam mode aliran kontinu



- *Supplied-air respirator*

$\leq 2.5 \text{ mg/m}^3$ (APF 50) - Respirator *air purifying* dengan penutup wajah penuh apa pun dengan filter N100, R100, atau P100. - *Elastomeric full facepiece respirator*

- Respirator *air purifying* bertenaga apa pun dengan penutup wajah yang pas dan filter partikulat efisiensi tinggi



- Filter N100



$\leq 25 \text{ mg/m}^3$ Respirator *supplied-air* apa pun - *Combination supplied-air/self-contained* yang dioperasikan dalam mode *pressure-demand* atau mode *breathing apparatus* tekanan positif lainnya



(NIOSH, 2020, 2025b, 2025c)

2.5.4.1 Panduan pemakaian respirator

2.5.4.1.1 Uji kepatutan (*Fit Testing*)

Uji kepatutan adalah persyaratan OSHA yang penting dan wajib untuk semua respirator yang pas ketat (*tight-fitting respirators*) sebelum digunakan di tempat kerja (NIOSH, 2022). Tujuan utamanya adalah untuk mengkonfirmasi kecocokan dan segel yang rapat pada wajah pengguna, ini sangat penting untuk meminimalkan jumlah total kontaminan yang dapat bocor ke dalam masker melalui segel wajah (NIOSH, 2025a).

a) Uji Kepatutan Kualitatif (*Qualitative Fit Test/QLFT*)

Uji ini dengan menggunakan indra (rasa, bau, atau batuk yang tidak disengaja) untuk menentukan apakah ada celah pada segel respirator. Ini adalah uji lulus/gagal yang menentukan apakah pengguna dapat mendeteksi agen uji (NIOSH, 2025a).

b) Uji Kepatutan Kuantitatif (*Quantitative Fit Test/QNTF*)

Uji ini menggunakan instrumen untuk memberikan hasil pengukuran numerik dari jumlah kebocoran segel wajah saat respirator dipakai. Selama QNTF, pengguna melakukan serangkaian latihan sederhana, termasuk berbicara, untuk memastikan bahwa respirator tetap tersegel dengan baik ke wajah bahkan saat bergerak dan berbicara (NIOSH, 2025a).

Uji kepatutan dilakukan setiap tahun, atau setiap kali pekerja memakai model, jenis/merek pabrikan, atau ukuran respirator yang berbeda, karena setiap model dan ukuran akan sedikit berbeda dalam kecocokannya (NIOSH, 2022).

2.5.4.1.2 Dampak Rambut Wajah

Rambut wajah, seperti janggut, kumis, atau cambang yang melintasi permukaan penyegel respirator, dapat secara signifikan mengganggu segel respirator, karena dengan tidak adanya kontak kulit yang bersih berarti respirator tidak tersegel secara efektif. Wajah harus dicukur bersih di area kontak segel (NIOSH, 2025a). Hal ini merupakan tantangan praktis dan budaya yang signifikan di tempat kerja, yang berpotensi memerlukan penyediaan jenis respirator alternatif, seperti PAPR longgar (*loose-fitting PAPRs*), yang tidak memerlukan uji kepatutan dan dapat dikenakan dengan gaya rambut wajah apapun (NIOSH, 2025a).

2.5.4.1.3 Cara pemakaian respirator

a) Sebelum memakai

- 1) Cuci tangan secara menyeluruh sebelum menyentuh respirator untuk menghindari kontaminasi.
- 2) Pastikan respirator tidak terdapat kerusakan.
- 3) Pastikan tidak ada rambut wajah (seperti janggut, kumis, atau cambang yang melintasi permukaan penyegel.

b) Langkah-langkah pemakaian (contoh N95)

- 1) Keluarkan respirator dari kemasannya dan pegang dengan tali menghadap ke atas. Buka panel atas dan bawah sepenuhnya, tekuk bagian hidung di sekitar ibu jari.
- 2) Tempatkan respirator di wajah sehingga busa menempel di hidung dan panel bawah berada di bawah dagu.
- 3) Tarik tali atas ke atas kepala dan posisikan tinggi di belakang kepala. Kemudian, tarik tali bawah di atas kepala dan posisikan di sekitar leher dan di bawah telinga. Jangan menyilangkan tali.
- 4) Sesuaikan respirator agar pas dan nyaman, pastikan tidak ada kerutan atau celah yang terlihat di sekitar tepi masker.
- 5) Gunakan kedua tangan untuk membentuk bagian hidung agar pas dengan bentuk hidung, dorong ke dalam sambil menggeser ujung jari ke kedua sisi. Penting untuk selalu menggunakan kedua tangan saat membentuk bagian hidung, karena mencubit dengan satu tangan dapat

mengakibatkan ketidakcocokan dan kinerja respirator yang kurang efektif.

c) Langkah-langkah melepas

- 1) Tanpa menyentuh bagian muka respirator (yang mungkin telah terkontaminasi), angkat perlahan tali bawah dari leher ke atas kepala.
- 2) Kemudian, angkat tali atas. Sekali lagi, jangan sentuh bagian muka respirator.
- 3) Buang respirator sekali pakai sesuai kebijakan pengendalian infeksi yang berlaku di tempat kerja. Setelah melepas respirator, cuci tangan Anda secara menyeluruh.

2.5.4.1.4 Pemeliharaan dan penyimpanan respirator

Respirator harus dibersihkan dan didesinfeksi secara teratur untuk mencegah iritasi kulit, dermatitis, dan menjaga efektivitasnya. Penumpukan kontaminan pada segel wajah atau di dalam respirator dapat mengurangi perlindungan yang diberikan dan bahkan menyebabkan kerusakan material respirator, menurut *OSHA Technical Manual (OTM)* waktu untuk membersihkan respirator adalah:

- a) Respirator yang dikeluarkan untuk penggunaan eksklusif seorang karyawan harus dibersihkan dan didesinfeksi sesering yang diperlukan untuk menjaga kondisi higienis.

- b) Respirator yang digunakan oleh lebih dari satu karyawan harus dibersihkan dan didesinfeksi sebelum digunakan oleh individu yang berbeda.
- c) Respirator yang disimpan untuk penggunaan darurat, serta yang digunakan dalam uji kepatutan dan pelatihan, harus dibersihkan dan didesinfeksi setelah setiap penggunaan

Semua respirator harus diperiksa untuk fungsi dasar sebelum setiap penggunaan dan selama proses pembersihan dan disinfeksi. Inspeksi ini harus mencakup pemeriksaan integritas masker (misalnya, tidak ada sobekan atau lubang), kekencangan semua sambungan, dan kondisi berbagai bagian seperti tali kepala, katup, tabung, selang, serta kartrid atau filter. Bagian elastomerik harus diperiksa kelenturannya dan tanda-tanda kerusakan atau deteriorasi. Untuk respirator penyaring wajah (FFRs), meskipun tidak dapat dibersihkan atau didesinfeksi, penting untuk memeriksanya dari kebersihan dan kerusakan sebelum setiap penggunaan (OSHA, 2012).

Penyimpanan yang tidak tepat dapat merusak respirator dan secara signifikan mengurangi efektivitasnya. Respirator harus disimpan dengan benar untuk melindunginya dari kerusakan fisik, kontaminasi, debu, sinar matahari langsung, suhu ekstrem, kelembaban berlebihan, dan bahan kimia yang merusak. Idealnya, respirator harus disimpan dalam kemasan aslinya.

2.5.4.2. Pelatihan penggunaan APD

Pelatihan yang efektif merupakan pilar utama dari Program Perlindungan Pernapasan (RPP) yang sukses dan diwajibkan oleh OSHA.(NIOSH, 2022) Pelatihan harus bersifat komprehensif, mencakup informasi tentang bahaya kesehatan yang terkait dengan paparan silika, elemen-elemen program perlindungan pernapasan, serta prosedur yang benar untuk memakai, melepas, memeriksa segel, membersihkan, memelihara, dan menyimpan respirator.

Pelatihan harus dilakukan setiap tahun atau ketika kondisi paparan berubah, atau ketika jenis atau model respirator baru diperkenalkan (NIOSH, 2022) Data menunjukkan bahwa kurangnya pelatihan yang memadai adalah pelanggaran umum yang dicatat oleh OSHA di industri fabrikasi batu.

