

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Debu

2.1.1 Definisi Debu

Debu adalah partikel zat kimia padat yang disebabkan oleh kekuatan alami atau mekanis seperti pengolahan, penghancuran, pelembutan, pengepakan yang cepat, peledakan, dan lain-lain dari benda baik organik maupun anorganik (Sumamur, 2014). Menurut *International Standardization Organization* (ISO 4225-ISO, 1994) debu adalah partikel padat kecil yang mengendap berdasarkan beratnya dan juga dapat melayang di udara untuk sementara waktu. Sedangkan menurut IUPAC debu memiliki ukuran antara 1 – 100 μm dan mengendap karena pengaruh gravitasi dapat dihasilkan dari proses alami seperti angin, erupsi gunung berapi maupun dari proses industri seperti penghancuran, penggilingan, pengepakan, pengeboran, pembongkaran, pengayakan, pemindahan barang dan aktivitas kebersihan (WHO, 1999).

Partikel debu akan berada di udara dalam waktu yang lama dalam keadaan melayang di udara kemudian masuk ke dalam tubuh manusia melalui pernapasan. Selain dapat membahayakan kesehatan debu juga dapat mengganggu daya tembus pandang mata dan dapat menyebabkan berbagai reaksi kimia sehingga komposisi debu di udara menjadi partikel yang sangat rumit karena merupakan campuran dari berbagai bahan dengan ukuran dan bentuk yang berbeda-beda (Sumamur, 2009),

2.1.2 Sifat Debu

Sifat-sifat umum debu menurut Djatmiko (2016) yaitu sifat pengendapan, sifat permukaan basah, sifat penggumpalan, sifat listrik statis dan sifat optis. Sedangkan menurut WHO (1999) terdapat sifat debu yang lain yang mudah terbakar

1. sifat pengendapan
yaitu sifat debu yang cenderung mengendap karena adanya pengaruh dari gaya gravitasi dan berat molekul debu yang cenderung tertarik ke bawah. Namun apabila berat molekul terlalu kecil maka debu akan melayang di udara.
2. sifat permukaan basah
permukaan debu terbungkus lapisan air yang tipis yang menyebabkan debu cenderung selalu basah. Debu yang cenderung basah akan menambah berat molekul debu sehingga debu tersebut dapat mengendap.
3. sifat penggumpalan
permukaan debu yang selalu basah dapat mengakibatkan debu menempel satu dengan yang lainnya sehingga menjadi menggumpal. Turbulensi udara juga dapat membantu meningkatkan pembentukan gumpalan.
4. sifat listrik statis
debu dapat menarik partikel lain yang berlawanan sehingga dapat mempercepat proses penggumpalan dan pengendapan.
5. sifat optis

partikel debu yang basah /lembab dapat memancarkan sinar, sifat ini dapat terlihat dengan jelas jika seberkas sinar akan menimpa debu di dalam ruang kamar yang gelap.

6. sifat mudah terbakar

partikel debu di udara mudah terbakar dan dalam konsentrasi yang cukup dapat meledak. Sifat listrik statis dari debu dan adanya sumber api juga dapat memicu ledakan debu. Material yang dapat menyebabkan debu mudah terbakar bisa berasal dari bahan organik yaitu kayu dan tepung, bahan anorganik adalah batu bara, besi, magnesium, aluminium dan titanium (WHO, 1999).

2.1.3 Jenis-Jenis Debu

Menurut Mengkidi (2006), jenis debu dapat dikelompokkan berdasarkan akibat fisiologisnya terhadap manusia atau pekerja yang terpapar debu sesuai tingkat bahayanya, antara lain: Debu fibrogenik, yaitu debu yang dapat menyebabkan fibrosis pada sistem pernapasan. Contohnya adalah debu silika. Debu asbes, timah putih, dan batubara.

1. Debu karsinogenik, yaitu debu yang dapat merangsang terbentuknya kanker. Contohnya debu hasil peluruhan random, arsenik, dan asbes.
2. Debu-debu mempunyai sifat toksik terhadap organ dan jaringan tubuh. Contohnya debu mercury, uranium, radium, torium, mangan, timbal, arsen, selenium, nikel, dan perak.
3. Debu radioaktif, yaitu debu yang mempunyai radiasi alfa dan beta. Contohnya bijih-bijih torium, uranium, dan radium.

4. Debu eksplosif, yaitu debu yang mudah meledak pada suhu atau kondisi tertentu. Contohnya debu metal, batubara, bijih sulfida, dan debu organik.
5. Debu inert (*nuisance dust*), yaitu debu yang mengandung < 1% kuarsa. Debu jenis ini dapat mengganggu kenyamanan dalam bekerja, menimbulkan iritasi pada kulit dan selaput lendir, serta dapat mengganggu pandangan mata. Kandungan kuarsanya yang rendah membuat debu jenis ini tidak dapat menyebabkan fibrosis paru. Contohnya *nuisance dust* adalah debu dari gypsum, koalin, dan batu kapur.
6. *Respirabledust*, yaitu partikel debu berukuran < 10 mikron yang dapat masuk ke dalam hidung hingga ke dalam paru bagian dalam.
7. *Inhalable dust* atau *irrespirable dust*, yaitu debu yang tidak dapat masuk ke dalam saluran pernapasan bagian dalam karena ukurannya > 10 mikron. Debu jenis ini akan tertahan di hidung.

Menurut Suma'mur(2009),debu diklasifikasikan berikut :

1. Organik
 - a. Alamiah
 - 1) Fosil : batu bara, karbon hitam, arang, granit.
 - 2) Bakteri : TBC, antraks, enzim, bacillus substili.Koksidomiksis, histoplasmosis.
 - 3) Jamur : Actinomycosis, kriptokokus, thermophilic.
 - 4) Virus : Cacar air, Q fever, psikatosis.

5) Sayuran : Kompos jamur, ampas debu, tepung padi, gabus, serat nanas, atap alang-alang, katun, rami.

6) Binatang : Kotoran burung, kesturi, ayam.

b. Sintetis

1) Plastik : Politetrafluoretilen, toluene diisositrat.

2) Reagen : Minyak isopropyl, pelarut organik.

2. Anorganik

a. Silika bebas

1) Crystalline : Quarz, trymite cristobalite

2) Amorphous : Diatomaceus earth, silica gel

b. Silika

1) Fibrosis : Asbestosis, silinamite, talk

2) Lain-lain : Mika, kaolin, debu semen

c. Metal

1) Inert : Besi, barium, titanium, aluminium

2) Lain-lain : berilium

3) Bersifat keganasan : Arsen, kobalt, nikel hematite, uranium, khrom

2.2 Pengukuran Kadar Debu Di Udara

Pengukuran kadar debu di udara bertujuan untuk mengetahui apakah kadar debu pada suatu lingkungan kerja berada pada konsentrasinya sesuai dengan kondisi lingkungan kerja yang aman dan sehat bagi para pekerja. Dengan kata lain, apakah kadar debu tersebut berada di bawah atau di atas nilai ambang batas

(NAB) debu di udara. Hal penting ini dilakukan mengingat bahwa hasil pengukuran ini dapat dijadikan pedoman pihak perusahaan dalam membuat kebijakan yang tepat untuk menciptakan lapangan kerja yang sehat bagi pekerja, sekaligus menekan angka prevalensi penyakit akibat kerja, pengambilan/pengukuran kadar debu udara biasanya dilakukan dengan metode gravimetri, yaitu dengan cara menghisap dan melewatkan udara dalam volume tertentu melalui saringan serat gelas/kertas saring. Alat yang biasanya digunakan untuk pengambilan sampel debu total (TSP) di udara adalah:

1. *High Volume Air Sampler(HVAS)*

Alat ini menghisap udara ambien dengan pompa berkecepatan 1,1-1,7 m³/menit, partikel debu berdiameter 0,1-10 mikron akan masuk bersama aliran udara melewati saringan dan terkumpul pada permukaan serat gelas. Alat ini dapat digunakan untuk pengambilan contoh udara selama 24 jam, dan bila kandungan partikel debu sangat tinggi maka waktu pengukuran dapat dikurangi menjadi 6 – 8 jam.

2. *low Volume Air Sampler(LVAS)*

Alat ini dapat menangkap debu dengan ukuran sesuai yang kita inginkan dengan mengatur flow rate 20 liter/menit dapat menangkap partikel berukuran 10 mikron. Kadar debu dapat dihitung dengan mengetahui berat kertas saring sebelum dan sesudah pengukuran maka kadar debu dapat dihitung.

3. *High Volume Dust Sampler(HVDS)*

Alat ini mempunyai prinsip kerja dan metode yang sama dengan alat *High Volume Air Sampler*

4. *Low Volume Dust Sampler*(LVDS)

Alat ini mempunyai prinsip dan metode yang sama dengan alat *Low Volume Air Sampler*

5. *Personal Dust Sampler*

Alat ini biasa digunakan untuk menentukan *Respiral Dust* (RD) di udara atau debu yang dapat lolos melalui filter bulu hidung manusia selama bernapas. Untuk flow rate 2 liter/menit dapat menangkap debu yang berukuran <10 mikron. Alat ini biasanya digunakan pada lingkungan kerja dan dipasang pada pinggang pekerja karena ukurannya yang sangat kecil.

2.3. Anatomi Dan Fisiologi Pernapasan Manusia

2.3.1 Anatomi pernapasan manusia

Saluran pernapasan manusia atau *respirator* adalah bagian tubuh manusia yang berfungsi sebagai jalur lintasan tempat pertukaran gas dalam proses pernapasan dimana berpangkal pada hidung dan berakhir pada paru-paru. Pernapasan merupakan proses ganda, yaitu terdiri dari pernapasan dalam (ekstrinsik) dan pernapasan luar (intrinsik). Pernapasan eksternal adalah proses resapan oksigen dalam udara di alveoli dalam darah di kapiler alveoli serta proses respon karbondioksida dalam darah sebaliknya. Sedangkan pernapasan internal adalah proses pertukaran gas oksigen dan karbondioksida anatar kapiler sistenik dengan sek jaringan. Pada saat bernapas setiap sel dalam tubuh menerima persediaan

oksigenya dan melepaskan produk oksidasinya (H_2O dan CO_2) pada saat yang bersamaan (Pearce, 2009).

Pearce (2009) menyebutkan bahwa saluran pernapasan manusia terdiri dari :

1. *Nares Anterior*

Nares Anterior adalah saluran-saluran dalam lubang hidung yang bermuara pada bagian yang disebut *vestibulum* (rongga) hidung. Vestibulum ini dilapisi oleh epitelium bergaris yang terhubung dengan kulit. Nares anterior terdiri dari lapisan yang mengandung kelenjar-kelenjar sebaseus dan tertutupi oleh bulu kasar.

2. Rongga Hidung

Hidung merupakan saluran pernapasan udara pertama, terdiri dari dua lubang (*cavum nasi*) yang dipisahkan oleh sekat hidung (*septum nasi*). Rongga hidung dilapisi selaput lendir yang mengandung banyak pembuluh darah dan tersambung dengan lapisan faring serta semua selaput lendir dari semua sinus yang mempunyai lubang masuk ke dalam rongga hidung. Daerah pernapasan ini dilapisi oleh epitelium dan sel epitel berambut yang mengandung sel lendir dimana sel lendir tersebut berfungsi untuk membuat permukaan nares tetap basah. Udara yang masuk ke dalam rongga hidung disaring oleh bulu-bulu yang terdapat dalam *vestibulum*. Udara tersebut kemudian kontak dengan permukaan lendir sehingga membuat udara menjadi hangat dan lembab karena terkena penguapan air dari permukaan selaput lendir tersebut. Rongga hidung juga berfungsi menghubungkan lubang-lubang dari sinus udara para-nasalis yang

masuk ke dalam rongga-rongga hidung, dan juga menghubungkan lubang-lubang nasolakrimal yang menyalurkan air mata dari mata hingga ke dalam hidung.

3. Faring (tekak)

Faring atau juga lebih dikenal dengan nama tekak adalah pipa berotot yang membujur mulai dari dasar tengkorak sampai persambungannya dengan oesofagus pada ketinggian tulang rawan krikoid. Jadi faring terletak di belakang rongga hidung, mulut, dan laring. Faring merupakan tempat persimpangan anatar jalan pernapasan dan jalan makanan. Pada waktu menelan makanan, laring akan tertutup oleh epigloting (tenggorokan).

4. Laring (tenggorok)

Laring terletak pada bagian faring terendah yang memisah dengan kolomna vertebrata. Bagian laring terdiri dari kepingan tulang rawan yang terikat bersama ligamen dan membran. Suara dihasilkan karena adanya getaran pita yang disebabkan oleh udara yang melalui glottis.

5. Trakhea (batang tenggorok)

Trakhea panjangnya sekitar 9 cm, mulai dari laring sampai kira-kira ketinggian vertebrata torakalis dan selanjutnya bercabang menjadi dua bronkus. Trakhea tersusun atas 14 – 20 cincin tulang rawan yang terikat dengan jaringan fibrosa. Trankhea juga dilapisi oleh selaput lendir yang terdiri dari epitelium bersilia dan sel lendir. Silia bergerak ke arah laring, oleh karena gerakan silia ini debu dan butiran halus lainnya yang masuk ke dalam saluran pernapasan dapat dikeluarkan kembali.

6. Bronkus

Struktur dan lapisan bronkus serupa dengan struktur dan lapisan pada trakhea, yaitu struktur tulang rawan dan lapisan epitelium bersilia serta sel lendir, karena bronkus merupakan percabangan dari trakhea. Bronkus kiri dan kanan tidak simetris. Bronkus kanan lebih pendek, lebih lebar, dan arahnya hampir vertikal dengan trakhea. Sebaliknya, bronkus kiri lebih panjang, lebih sempit, dan sudutnya juga lebih langsing. Implikasi klisis dari bentuk anatomi yang demikian adalah jika ada benda asing yang masuk atau terhirup ke dalam saluran pernapasan, maka benda tersebut akan lebih mungkin berada di bronkus kanan daripada bronkus kiri karena arah dan bentuknya yang lebih lebar. Bronkus kanan mempunyai tiga cabang, yang pertama disebut bronchus lobus atas. Cabang kedua disebut bronchus lobus bawah. Dan cabang selanjutnya adalah cabang lobus tengah yang keluar dari bronchus lobus bawah. Cabang utama bronkus kiri dan kanan bercabang lagi menjadi bronchus lobaris dan kemudian bronchus segmentalis. Percabangan ini sangat banyak dan berjalan terus sampai makin lama makin kecil dan akhirnya menjadi bronkiolus terminalis. Makin kecil salurannya, susunan tulang rawannya semakin berkurang dan akhirnya hanya tersusun dari dinding fibrosa berotot dan silia. Bronkiol terminalis masuk ke dalam vestibula, di dalam vestibula terdapat infundibula yang di dalam dindingnya terdapat kantong udara dan alveoli. Alveoli terdiri dari sel epitelium pipih. Di alveoli terjadi pertukaran gas

7. Paru

Paru merupakan alat pernapasan utama karena di dalam paru terdapat alveolus yang merupakan unit fungsional paru sebagai tempat pertukaran gas

pernapasan. Paru terletak di dalam rongga dada sebelah kanan dan kiri. Paru kanan terdiri dari tiga lobus sedangkan paru kiri terdiri dari dua lobus. Paru merupakan organ yang bebrbentuk kerucut dengan puncak di atas, pangkal paru berada di atas diafragma. Setiap paru dilindungi oleh pleura yang terdiri dari membran serosa rangkap dua. Pleura visceral merupakan selaput yang langsung membungkus paru, sedangkan pleura parietal adalah selaput yang melapisi rongga dada sebelah luar. Di antara pleura visceral dan pleura parietal terdapat sedikit eksudat untuk melumasi permukaannya sehingga dapat menghindari gesekan antara paru-paru dan dinding dada sewaktu bergerak karena bernapas.

2.3.2 Fisiologis Pernapasan Manusia

Pernapasan paru merupakan pertukaran oksigen dan karbondioksida yang terjadi pada paru. Fungsi paru adalah tempat pertukaran gas oksigen dan karbondioksida pada pernapasan melalui paru/pernapasan eksterna. Oksigen dihirup pada pernapasan melalui hidung dan mulut. Saat bernapas oksigen masuk melalui trakea dan pipa bronkial ke alveoli dan dapat berhubungan erat dengan darah dalam kapiler pulmonalis (Guyton, 1997).

Fungsi paru adalah untuk pertukaran gas oksigen dan karbondioksida (respirasi). Pernapasan melalui paru disebut ventilasi pulmonari, yaitu proses pergerakan udara antara atmosfer (udara luar) dengan paru. Pergerakan udara tersebut terjadi karena adanya perubahan tekanan udara dalam paru. Oksigen dihirup melalui hidung dan mulut kemudian masuk trakhea, ke pipa bronkial, dan ke alveoli. Oksigen dalam udara yang terhirup kemudian menembus membrane alveoli-kapiler lalu diikat oleh hemoglobin sel darah merah dibawa ke jantung. Sementara

itu, karbondioksida yang merupakan salah satu hasil buangan metabolisme menembus membran alveolar-kapiler dari kapiler darah ke alveolus kemudian dibawa keluar melalui pipa bronkial, trakhea dan terakhir mulut atau hidung. Proses pertukaran oksigen dan karbondioksida antara alveoli dan kapiler darah tersebut dinamakan difusi.

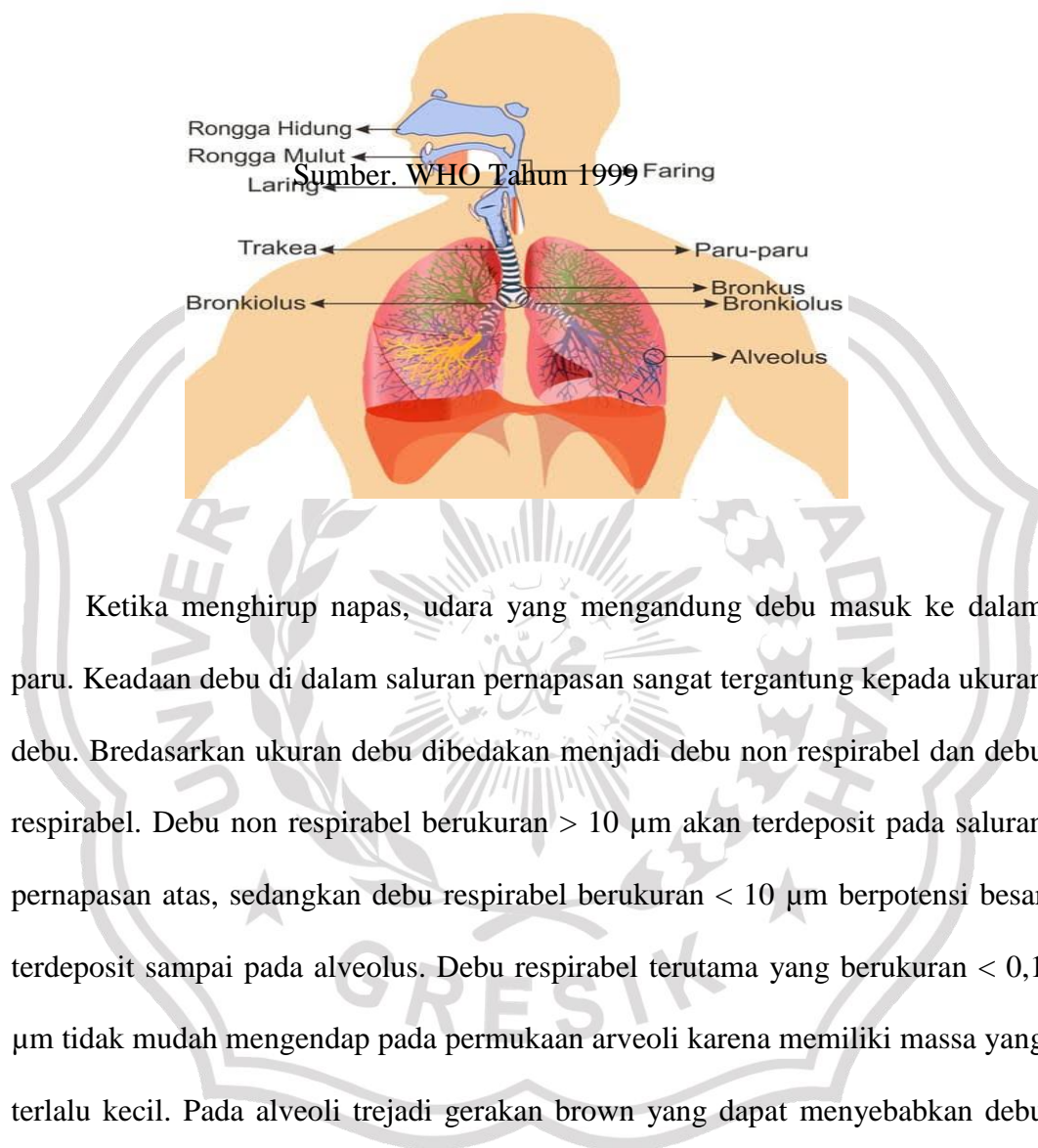
Pearce (2009) menyebutkan empat proses yang berhubungan dengan pernapasan pulmoner, yaitu:

1. Ventilasi pulmoner, yaitu gerak pernapasan menukar udara dalam pernapasan dan atmosfer
2. Arus darah melalui paru-paru
3. Distribusi arus darah dan arus udara sehingga semua bagian tubuh mendapat pasokan dalam jumlah yang tepat sesuai dengan kebutuhannya
4. Difusi gas menembus membran pemisah kapiler dan alveoli. Gas karbondioksida lebih mudah berdifusi daripada gas oksigen.

Pada saat keadaan pernapasan normal, darah yang keluar dari paru akan menerima karbondioksida dan oksigen dalam jumlah yang tepat. Namun, apabila tubuh bergerak lebih banyak maka darah dari paru akan membawa gas karbondioksida yang lebih banyak daripada oksigennya. Hal tersebut merangsang peningkatan kecepatan dan dalamnya pernapasan untuk mengeluarkan lebih banyak karbondioksida dan mengambil oksigen lebih banyak pula.

2.4 Deposisi Debu Pada Saluran Pernapasan

Saluran pernapasan dibagi menjadi saluran pernapasan atas yaitu Rongga hidung, Faring dan laring dan saluran pernapasan bawah yaitu Trakea, Bronkus, Bronkiolus dan Alveolus (WHO, 1999).



Ketika menghirup napas, udara yang mengandung debu masuk ke dalam paru. Keadaan debu di dalam saluran pernapasan sangat tergantung kepada ukuran debu. Berdasarkan ukuran debu dibedakan menjadi debu non respirabel dan debu respirabel. Debu non respirabel berukuran $> 10 \mu\text{m}$ akan terdeposit pada saluran pernapasan atas, sedangkan debu respirabel berukuran $< 10 \mu\text{m}$ berpotensi besar terdeposit sampai pada alveolus. Debu respirabel terutama yang berukuran $< 0,1 \mu\text{m}$ tidak mudah mengendap pada permukaan alveoli karena memiliki massa yang terlalu kecil. Pada alveoli terjadi gerakan brown yang dapat menyebabkan debu yang berukuran $< 0,1 \mu\text{m}$ bergerak secara tidak beraturan keluar masuk alveoli (Suma'mur, 2014).

Mekanisme deposisi debu pada saluran pernapasan terdapat 5 cara yaitu (Morgan, 1995) :

1. *Sedimentation*

Sedimentasi partikel yang masuk ke saluran pernapasan karena gaya gravitasi. Partikel yang mengendap tergantung pada densitas dan ukuran partikel.

2. *Inertial impaction*

Yaitu terbenturnya debu di percabangan bronkus dan jatuh pada percabangan yang kecil. Deposisi debu dapat dipengaruhi oleh kecepatan aliran udara dan berat debu, dimana aliran udara dipengaruhi oleh pola pernapasan. Aliran udara yang meningkat cenderung menyebabkan impaksi lebih besar, terutama pada partikel yang berukuran besar.

3. *Brown diffusion*

Yaitu gerakan acak yang terjadi pada partikel yang berukuran lebih kecil <10 μm , terjadi dibagian bawah alveolus, alveolus merupakan tempat pertukaran udara sehingga debu yang berukuran kecil bergerak secara bebas.

4. *Electrostatic*

Terjadi karena saluran pernapasan di lapisi mukus yang merupakan konduktor yang baik secara elektrostatis. Mekanisme *electrostatic* sangat jarang terjadi.

5. *Interception*

Yaitu pengendapan yang berhubungan dengan sifat fisik partikel berupa ukuran partikel, dan penting untuk mengetahui proses pengendapan partikel tertentu jenis fiber. Contohnya debu kapas dan debu asbes yang memiliki serat.

Sedimentasi dan impaksi adalah mekanisme paling penting yang berhubungan dengan terhirupnya debu, karena proses tersebut dipengaruhi oleh ukuran partikel.

Terdapat perbedaan jumlah partikel debu yang terdeposit pada area yang berbeda (WHO, 1999). *Inertia* atau kelembanan dari partikel-partikel debu yang bergerak pada waktu udara membelok melalui jalan pernapasan yang tidak lurus, maka debu yang memiliki massa cukup besar tidak dapat membelok mengikuti aliran udara, namun jalan terus dan menumbuk selaput lendir dan mengendap disana. Mekanisme lainnya adalah sedimentasi yang terjadi pada bronkus dan bronkiolus. Kecepatan udara pada tempat tersebut sangat kurang yaitu 1 cm/detik sehingga debu dengan pengaruh gaya gravitasi akan terdeposit. Mekanisme lainnya juga yaitu *brown*, yang dapat terjadi pada partikel yang berukuran < 0,1 mikron. Partikel-partikel kecil ini digerakkan oleh gerakan *brown* sehingga ada kemungkinan membentur permukaan alveoli dan terdeposit (Suma'mur, 2014).

2.5 Mekanisme Pembersihan Debu di Saluran Pernapasan

Menurut WHO (1999), debu yang mengalami deposisi akan mengalami beberapa proses pembersihan, antara lain secara mekanis, melalui *Mucociliary clearance* dan secara fagositosis :

1. Mekanis

Menurut Murray dan Lopez (2006) dalam Ramdan (2015), pembersihan debu pada saluran pernapasan secara mekanik adalah suatu pertahanan yang bisa dilakukan dengan menyaring partikel yang ikut terhirup dan masuk saluran pernapasan manusia. Penyaringan berlangsung di hidung, nasofaring dan saluran napas bagian bawah yaitu bronkus dan bronkiolus. Di hidung penyaringan dilakukan oleh silia yang terdapat pada otot polos dan dapat berkonstraksi apabila

terjadi iritasi. Apabila rangsangan terjadi berlebihan, akan dapat menimbulkan gerakan peristaltik pada bronkiolus yang memberikan reaksi berupa batuk atau bersin sehingga dapat mengeluarkan partikel debu.

2. *Mucociliary clearance*

Pada bagian trakea dan bronkus hingga bronkiolus terminalis memiliki sel epitel yang tertutup oleh lapisan *mucus*/lendir dan di atasnya terdapat silia. Debu yang terdeposit selama 24-48 jam pada bagian trakea, bronkus hingga bronkiolus terminalis akan digerakkan oleh silia menuju epiglotis atas. Gerakan silia yang terjadi secara terus menerus menyapu ke bagian saluran pernapasan bagian atas dan saling bersinkronisasi dengan kecepatan 5-10 mm/menit.

3. Fagositosis

Pada alveolus tidak memiliki epitel yang bersilia. Debu akan mengalami fagositosis oleh makrofag dan terdiri dari 3 tahap, yaitu :

- a. Debu yang difagosit akan dipindahkan pada epitel yang bersilia untuk selanjutnya digerakkan menuju saluran pernapasan atas
- b. Debu akan menetap pada paru-paru
- c. Debu akan masuk melalui saluran limfatik

2.6 Dampak Paparan Debu Bagi Kesehatan

Dampak paparan debu bagi kesehatan manusia tidak sama, hal ini tergantung pada faktor debu, lama paparan dan faktor tenaga kerjanya sendiri. Faktor debu meliputi komposisi debu, ukuran partikel, bentuk, konsentrasi, daya larut dan sifat kimiawi. Faktor individual terdiri dari mekanisme pertahanan paru, anatomi dan fisiologis saluran napas dan faktor imunologis (Ramdan, 2015)

Debu yang masuk ke dalam saluran pernapasan manusia, dapat menyebabkan timbulnya reaksi mekanisme pertahanan nonspesifik dan spesifik. Reaksi nonspesifik berupa batuk, bersin, gangguan transport mukosilier dan fagositosis oleh makrofag. Otot polos di sekitar jalur pernapasan dapat merangsang sehingga menimbulkan penyempitan. Sistem mukosilier juga mengalami gangguan dan menyebabkan produksi lendir menjadi bertambah. Partikel debu yang masuk ke dalam alveoli akan membentuk fokus dan berkumpul di bagian awal saluran limfe paru (Ramdan, 2015).

Selain reaksi nonspesifik debu juga dapat menimbulkan reaksi spesifik, apabila debu yang masuk ke dalam tubuh bersifat toksik terhadap makrofag seperti debu silika yang menyebabkan terjadinya autolisis. Makrofag yang lisis bersama silika merangsang terbentuknya makrofag baru. Pembentukan dan destruksi makrofag yang terus menerus berperan penting pada pembentukan jaringan ikat kolagen dan pengendapan hialin pada jaringan tersebut (Ramdan, 2015).

Gangguan kesehatan akibat paparan debu yang muncul paling awal biasanya ditandai adanya keluhan pernapasan yang dirasakan oleh pekerja. Keluhan pernapasan adalah adanya keluhan awal terjadinya gangguan pada saluran pernapasan akibat paparan polutan di udara (Alssagaff, 2015).

2.7 Faktor Yang Berhubungan Dengan Gangguan Faal Paru

2.7.1 Umur

Semakin bertambahnya umur seseorang semakin beresiko mengalami penurunan pada fungsi paru, karena umur mempengaruhi jaringan paru manusia. Jaringan paru yang berfungsi untuk bernapas menjadi lemah yang berakibat volume udara saat pernapasan menjadi lebih sedikit. Walaupun tidak dapat dideteksi hubungan umur dengan pemenuhan volume paru rata-rata telah memberikan perubahan besar pada volume paru. Hal ini sesuai dengan konsep sifat elastisitas paru, penurunan elastisitas paru sangat terlihat setelah usia 30 tahun (Ramdan, 2015).

2.7.2 Masa Kerja

Masa kerja adalah jangka waktu tenaga kerja yang dihitung mulai saat ini pertama kali bekerja sampai akhir dari pekerjaannya disuatu instansi. Masa kerja berhubungan dengan dosis yaitu konsentrasi debu dan lama paparan seseorang bekerja disuatu tempat kerja maka mempunyai risiko terpapar bahaya yang ditimbulkan oleh lingkungan kerja akan semakin besar. Bahaya tersebut menimbulkan dampak kesehatan bagi tenaga kerja dan dapat menimbulkan penyakit akibat kerja (Suma'mur, 2009).

Menurut Mangkunegoro dalam Ramdan (2015) semakin tinggi konsentrasi partikel debu dalam udara dan semakin lama paparan berlangsung, jumlah partikel yang mengendap di paru juga semakin banyak. Setiap inhalasi 500 partikel per milimeter kubik udara, setiap alveoli paling sedikit menerima 1 partikel dan apabila konsentrasi mencapai 1000 partikel per milimeter kubik, maka 10% dari jumlah tersebut akan tertimbun paru. Konsentrasi yang melebihi 5000 partikel per milimeter kubik sering dihubungkan dengan terjadinya pneumoconiosis.

Lama kerja diperlukan untuk menilai lamanya pekerja terpajan debu. Semakin lama seseorang terpajan debu, maka semakin besar resiko terjadinya gangguan fungsi paru. Pekerja yang berada di lingkungan dengan kadar debu tinggi dalam waktu lama memiliki resiko tinggi terkena penyakit paru obstruktif (Suma'mur, 2014).

2.7.3 Kebiasaan Merokok

Rokok dapat meningkatkan sekresi mukus di saluran napas dan memperlambat gerak silia yang terdapat di dinding saluran pernapasan. Hal ini dapat disebabkan oleh efek siliostatik dari asap tembakau. Akibatnya kemampuan silia untuk mengeluarkan benda asing dan musung menjadi berkurang, dinding saluran napas akan mengalami iritasi dan mengalami gangguan dalam pengambilan udara untuk bernapas. Paru-paru tidak dapat mengambil oksigen yang diperlukan oleh tubuh secara maksimal dan kapasitas paru-paru juga akan mengalami penurunan (Wibowo, 2013).

Kebiasaan merokok adalah kegiatan dalam menghisap rokok > 2 batang perhari, dan kegiatan ini akan mempercepat proses penuruna faal paru. Lamanya durasi merokok dimana orang yang merokok > 5 tahun memiliki waktu transpor mukosiliar lebih lambat. Rokok merupakan salah satu penyebab kelainan obstruksi jalan napas (Lauralee, 2001). Menurut Dokter Paru Indonesia (2003), derajat berat meroko berdasarkan Indeks Brikman adalah perkalian jumlah rata-rata batang rokok yang dihisap sehari dikalikan dengan lama merokok dalam tahun diklasifikasikan menjadi :

1. Ringan: 1 – 200

2. Sedang: > 200 – 600

3. Berat : > 600

Sementara itu, seseorang dikatakan bukan merokok apabila tidak pernah sama sekali merokok satu batang rokok (Syamsuddin, 2014)

2.7.4 Penggunaan APD

Upaya untuk mengurangi atau meminimalkan paparan debu harus dilakukan terutama supaya pengendalian pada lingkungan kerja, mesin dan peralatan sebelum menggunakan alat pelindung diri (APD) khususnya alat perlindungan untuk pernapasan (WHO, 1999). APD juga harus memenuhi persyaratan yaitu nyaman ketika dipakai, tidak mengganggu selama bekerja dan memberikan perlindungan efektif terhadap bahaya (Suma'mur, 2014). Beberapa jenis APD yang tepat bagi pekerja yang berada pada lingkungan kerja dengan paparan debu berkonsentrasi tinggi adalah :

1. Respirator sekali pakai (masker debu)

Respirator ini harus tersedia dan digunakan pada semua pekerja yang terpapar debu. Respirator ini bisa digunakan untuk melindungi debu non respirabel > 10 μm . Respirator ini dapat mencegah menghirup debu dan melindungi paru-paru karena debu tidak langsung masuk melalui saluran pernapasan namun di tangkap oleh respirator. Kelemahan dari respirator ini adalah apabila tidak sesuai dengan bentuk wajah maka debu dapat masuk ke saluran pernapasan. Respirator ini juga tidak bisa menyaring gas-gas dari bahan

kimia, tidak baik di gunakan pada tempat kerja dengan konsentrasi debu yang banyak dan debu yang memiliki toksisitas tinggi (HSE, 2013).



Sumber HSE Tahun 2013

1. Respirator

Respirator berguna untuk melindungi pernapasan dari debu, kabut, uap, logam, asap dan gas. Alat ini dibedakan menjadi :

- a. Respirator pemurni udara, membersihkan udara dengan cara menyaring atau menyerap kontaminan dengan toksisitas rendah sebelum memasuki sistem pernapasan. Alat pembersihnya terdiri dari filter untuk menangkap debu dari udara atau tabung kimia yang menyerap gas, uap, dan kabut.
- b. Respirator penyalur udara, membersihkan aliran udara yang terkontaminasi secara terus menerus. Udara dapat dipompa dari sumber yang jauh (dihubungkan dengan selang tahan tekanan). Jenis ini biasa dikenal dengan SCBA (*Self Contained Breathing*

Apparatus) atau alat pernapasan mandiri. Digunakan untuk tempat kerja yang terdapat gas beracun atau kekurangan oksigen.

Pemakaian masker oleh pekerja dengan lingkungan kerja banyak mengandung debu, dapat mengurangi masuknya partikel debu ke dalam saluran pernapasan. Pemakaian masker diharapkan dapat melindungi pekerja dari terjadinya gangguan pernapasan akibat paparan debu. Walaupun demikian, kita tidak ada jaminan bahwa dengan menggunakan masker, pekerja akan terhindar dari kemungkinan gangguan saluran pernapasan.

2.8 Volume dan Kapasitas Paru

2.8.1 Volume Faal Paru

Menurut Amin (2000) beberapa parameter yang menggambarkan paru adalah :

1. Volume tidal (*Tidal Volume/TV*)

Volume udara yang keluar masuk paru saat bernafas biasa disebut volume tidal (*Tidal Volume/TV*). Besarnya TV pada orang dewasa sekitar 500 ml.

2. Volume Cadangan Inspirasi (*Inspiratory Reserve/IRV*)

Dengan usaha aktif, volume udara yang keluar dan masuk paru masih dapat ditambah. Volume udara tambahan yang masuk pada saat inspirasi maksimal disebut volume inspirasi cadangan (*Inspiratory Reserve Volume/IRV*). Besarnya IRV pada orang dewasa sekitar 3100 ml.

3. Volume Ekspresi Cadangan (*Expiratory Reserve Volume/ERV*)

Sedangkan volume tambahan yang keluar paru pada saat ekspirasi maksimal disebut volume ekspirasi (*Expiratory Reserve Volume/ERV*). Besarnya ERV pada orang dewasa sekitar 1000 – 1200 ml.

4. Volume Sisa (*Residual Volume/RV*).

Setelah ekspirasi maksimal, paru tidak sepenuhnya mengempis dan masih ada udara sisa yang tidak dapat dikeluarkan. Volume udara yang tidak dapat dikeluarkan setelah ekspirasi maksimal disebut volume sisa (*Residual Volume/RV*). Udara yang masih tersisa di dalam paru sesudah ekspirasi maksimal sekitar 1100 ml.

2.8.2 Kapasitas Faal Paru

Kapasitas paru merupakan jumlah oksigen yang dapat dimasukkan ke dalam tubuh atau paru-paru seseorang secara maksimal (Amin dalam Mengkidi, 2006). Jumlah oksigen yang dapat dimasukkan ke dalam paru-paru ditentukan oleh kemampuan kembang kempisnya sistem pernapasan. Semakin baik kerja sistem pernapasan berarti volume oksigen yang diperoleh semakin banyak. Yang termasuk pemeriksaan kapasitas fungsi paru adalah :

1. Kapasitas Inspirasi (*Inspiratory Capacity/IC*)

Volume udara yang masuk paru setelah inspirasi maksimal disebut kapasitas inspirasi (*Inspiratory Capacity/IC*). Kapasitas inspirasi dapat diperoleh dari

$$IC=IRV+TV$$

2. Kapasitas Vital (*Vital Capacity/VC*)

Volume udara yang dapat dikeluarkan melalui ekspirasi maksimal setelah sebelumnya melakukan maksimal (sekitar 400ml) disebut kapasitas vital (*Vital Capacity/VC*). Kapasitas vital yang diperoleh melalui ekspirasi paksa disebut kapasitas vital paksa (*Forced Vital Capacity/FVC*). Kapasitas vital besarnya sama dengan volume inspirasi cadangan ditambah volume ekspirasi cadangan ditambah volume tidal :

$$VC=IRV+ERV+TV$$

3. Kapasitas Paru Total (*Total Lung Capacity/TLC*)

Kapasitas vital ditambah volume sisa disebut kapasitas paru total (*Total Lung Capacity/TLC*).

$$TLC=VC+RV \text{ atau } TLC=IRV+ERV+RV$$

4. Kapasitas Residu Fungsional (*Functional Residual Capacity/FRC*)

Parameter ini menggambarkan volume udara maksimal yang ada di paru. Volume ekspirasi cadangan ditambah volume sisa disebut kapasitas residu fungsional (*Functional Residual Capacity/FRC*).

$$FRC=ERV+RV$$

5. Kapasitas Vital Paksa (*Forced Vital Capacity/FEV*).

Kapasitas vital paksa adalah pengukuran kapasitas vital yang didapat pada ekspirasi yang dilakukan secepat dan sekuat mungkin. Volume udara ini dalam keadaan normal nilainya kurang lebih sama dengan kapasitas vital, tetapi mungkin pada pasien yang menderita obstruksi saluran nafas akan mengalami pengurangan yang nyata karena penutupan prematur saluran nafas kecil dan akibat udara yang terperangkap.

6. Volume Ekspirasi Paksa (*Forced Expiratory Volume/FEV*)

Volume ekspirasi paksa adalah volume udara yang dapat diekspirasi dalam waktu standart selama tindakan FVC. Biasanya FEV diukur selama detik pertama ekspirasi yang dipaksakan, ini disebut FEV₁, FEV merupakan petunjuk yang sangat berharga untuk mengetahui adanya kapasitas ventilasi dan nilai yang kurang dari 11, selama detik pertama menunjukkan gangguan fungsi yang berat. Keadaan ini dapat diketahui melalui keluhan sesak nafas dan batuk.