

BAB II

TINJAUAN TEORI

A. Tinjauan Tentang Debu

1. Pengertian Debu

Debu adalah partikel-partikel kecil padat yang berasal dari proses alami maupun aktivitas manusia yang melayang di udara dan dapat terhirup masuk ke dalam saluran pernapasan. Debu didefinisikan sebagai fraksi massa berukuran 1 sampai 500 mikrometer yang tersuspensi di udara, sebagai *total suspended particulate* (TSP). Sifat aerodinamiknya memungkinkan debu terhirup dan masuk ke dalam saluran pernapasan. Debu yang berukuran kecil dapat mengganggu fungsi paru-paru karena debu berukuran kurang dari 1 milimeter akan masuk ke saluran pernapasan (Santoso 2016, h.50).

Persyaratan Kesehatan Media Udara Ambien yang memajan langsung pada manusia yang diatur dalam Permenkes Nomor 2 Tahun 2023 tentang Kesehatan Lingkungan dengan batas toleransi untuk PM_{10} yaitu $75 \mu g/m^3$ dan $PM_{2.5}$ $55 \mu g/m^3$ selama 24 jam. Batas toleransi merupakan kemampuan fisik manusia untuk menyerap zat pencemaran pada udara yang menjadi risiko kesehatan baik berupa fisik, kimia, biologi, dan dipengaruhi oleh durasi keterpaparan, waktu pajanan, aktivitas yang dilakukan, dan dosis pajanan.

2. Sumber Debu

Pencemaran udara bisa ditimbulkan oleh sumber-sumber alami maupun kegiatan manusia (Siburian 2020, h.1-4). Berikut sumber pencemaran udara seperti:

a. Sumber alamiah (Natural Sources)

Kegiatan alamiah penyebab pencemaran meliputi aktivitas gunung berapi, kebakaran hutan, kegiatan mikroorganisme, dan kondisi cuaca seperti kecepatan angin yang membawa debu. Menghasilkan bahan pencemar, seperti asap, gas-gas, dan debu.

b. Sumber buatan (Anthropogenic Source)

Kegiatan manusia yang menghasilkan bahan pencemar diantaranya seperti pembakaran sampah, pembakaran dari kegiatan rumah tangga, kendaraan bermotor, industri, dan kegiatan lainnya. Menghasilkan bahan pencemar seperti asap, debu, grit (pasir halus) dan gas berupa CO dan NO.

Novitasari dan Wijayanti (2018, h. 554), mengatakan bahwa debu (dust) adalah partikel padat yang terjadi karena proses mekanis (pemecahan dan reduksi) terhadap massa padat, dimana partikel itu masih dipengaruhi oleh gravitasi. Debu yang berasal dari arus lalu lintas kendaraan dapat mempengaruhi fungsi paru karena memiliki tingkat toksisitas tinggi dibandingkan dengan jenis polutan udara lainnya karena mengandung campuran partikel halus dan berbagai zat berbahaya yang berasal dari emisi kendaraan, keausan ban, dan rem. Selain itu debu lalu lintas mengandung logam berat seperti timbal (Pb), kadmium (Cd), kromium (Cr), nikel (Ni),

dan seng (Zn), serta senyawa organik berbahaya seperti hidrokarbon aromatik polisiklik (PAH) yang bersifat toksik dan karsinogenik. Kandungan tersebut dapat memicu stres oksidatif, peradangan, gangguan fungsi paru, penyakit kardiovaskular, hingga meningkatkan risiko kanker pada paparan jangka panjang.

3. Jenis Debu Berdasarkan Ukurannya

Pertiwi, Lestari dan Afandi (2024, h.86-87), menyatakan debu merupakan partikel padat berukuran sangat kecil, berasal dari proses alam, maupun aktivitas manusia dan dapat melayang di udara dalam waktu tertentu berdasarkan asalnya, debu dibedakan berdasarkan ukurannya :

a. Particulate Matter 2.5 (PM2.5)

Partikulat PM2.5 merupakan partikel debu halus dengan diameter aerodinamis $\leq 2.5 \mu\text{m}$ yang memiliki kemampuan penetrasi lebih dalam ke dalam sistem pernapasan dibandingkan PM10. Partikel ini dapat mencapai alveoli paru-paru dan bahkan masuk ke aliran darah, sehingga berpotensi menurunkan fungsi paru, penyakit paru obstruktif kronis (PPOK) dan gangguan pembuluh darah dan peningkatan tekanan darah rendah. Umumnya berasal dari proses pembakaran, seperti emisi kendaraan bermotor, pembakaran bahan bakar fosil, aktivitas industri, serta pengelolaan sampah dan pembakaran terbuka. Karena ukurannya sangat kecil PM2.5 dapat bertahan lebih lama di udara dan menyebar lebih luas. Oleh sebab itu, PM2.5 menjadi perhatian utama dalam kajian kualitas udara dan kesehatan lingkungan.

b. Particulate Matter 10 (PM10)

Partikulat PM10 merupakan partikel debu yang memiliki diameter ≤ 10 mikrometer. Ukuran partikel memungkinkan PM10 terhirup dan masuk ke saluran pernapasan bagian atas hingga bronkus. Umumnya berasal dari proses alam dan aktivitas manusia, seperti erosi tanah, debu jalan, aktivitas konstruksi, pembakaran terbuka, serta emisi kendaraan bermotor.

Karena ukurannya relatif lebih besar dibandingkan partikel halus lainnya dan cenderung lebih cepat mengendap di udara, namun tetap berpotensi menimbulkan gangguan kesehatan apabila terpapar dalam konsentrasi tinggi dan waktu yang lama. Paparan PM10 dapat menyebabkan iritasi saluran pernapasan, batuk, sesak napas, serta memperburuk penyakit pernapasan seperti asma, dan infeksi saluran pernapasan akut (ISPA). Oleh karena itu, sering digunakan sebagai indikator kualitas udara ambien dalam berbagai kajian lingkungan dan kesehatan masyarakat.

c. Black Carbon

Black carbon (karbon hitam) merupakan salah satu komponen utama partikulat halus yang dihasilkan dari proses pembakaran yang tidak sempurna bahan bakar yang mengandung karbon, seperti solar, bensin, batubara, biomassa, dan sampah. Partikel ini berukuran sangat kecil, umumnya berada dalam fraksi PM2.5 bahkan termasuk partikel

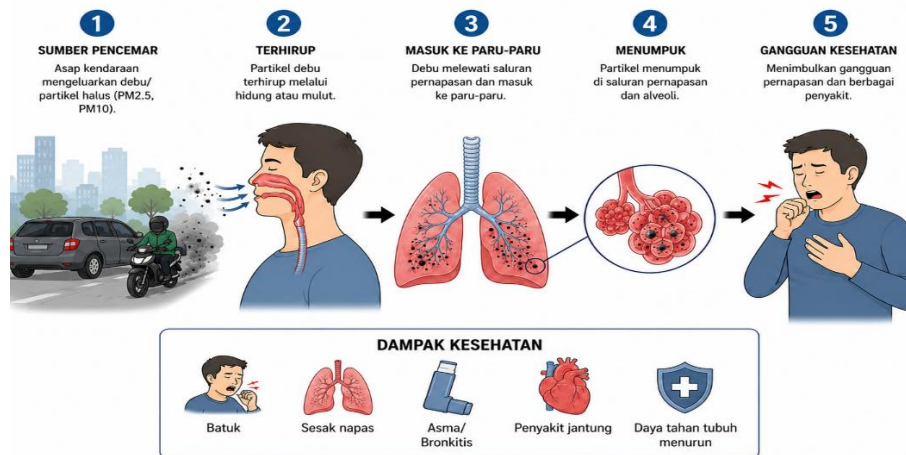
ultra halus, sehingga dapat bertahan lama di udara dan mudah terhirup oleh manusia.

Black carbon merupakan salah satu polutan udara yang memiliki tingkat toksisitas tinggi, ukurannya yang sangat kecil memungkinkan partikel ini masuk jauh ke dalam sistem pernapasan hingga mencapai alveoli paru-paru. Setelah terhirup, black carbon dapat memicu stres oksidatif dan peradangan pada jaringan paru sehingga meningkatkan risiko gangguan pernapasan seperti batuk kronis, asma, bronkitis, dan penurunan fungsi paru. Pada paparan jangka panjang, partikel ini juga dapat masuk ke aliran darah dan berkontribusi terhadap peningkatan risiko penyakit kardiovaskular, seperti hipertensi, penyakit jantung koroner, dan stroke.

4. Mekanisme Masuknya Debu ke Dalam Tubuh

Debu di udara adalah partikel padat kecil yang tersebar di lingkungan. Ketika seseorang bernafas normal, udara yang terkontaminasi debu akan masuk melalui hidung dan mulut. Partikel-partikel ini kemudian mengikuti jalur udara melalui faring, trakea, bronkus, bronkiolus dan alveoli. Ukuran partikel adalah penentu kedalaman penetrasi, seperti partikel besar $>10\ \mu\text{m}$ biasanya tertahan di hidung dan tenggorokan, lalu dihilangkan oleh lendir dan silia.

Mekanisme Masuknya Debu Ke Tubuh



Gambar 1.

Mekanisme Masuknya Debu Ke Tubuh Manusia.

Partikel halus <10 mikrometer, terutama PM2.5 mampu menembus lebih ke dalam saluran udara kecil dan alveoli. Partikel lebih kecil lagi akan masuk jauh ke dalam paru-paru dan berpotensi diserap ke dalam sirkulasi darah. Partikel debu yang mencapai alveoli akan menempel pada permukaan sel-sel paru. Terdapat lapisan tipis epitel dan sel-sel imun seperti makrofag alveolar. Makrofag mencoba menelan dan menghancurkan partikel debu, tetapi jika paparan terus-menerus atau jumlah partikel sangat banyak, respon ini bisa menimbulkan peradangan lokal (Setyaningsih *et al.* 2023, h.215).

5. Dampak Debu Terhadap Kesehatan

Debu yang dihasilkan, terutama partikel berukuran < 10 μm , dapat terhirup dan terdeposit di paru-paru, beresiko menyebabkan penurunan fungsi pernafasan. Paparan PM10 dapat menyebabkan iritasi saluran pernapasan, batuk, sesak napas, serta memperburuk penyakit pernapasan

seperti asma, dan infeksi saluran pernapasan akut (ISPA). Oleh karena itu, sering digunakan sebagai indikator kualitas udara ambien dalam berbagai kajian lingkungan dan kesehatan masyarakat. Paparan PM2.5 dalam jangka panjang dikaitkan dengan peningkatan risiko penyakit pernapasan, penyakit kardiovaskular, penurunan fungsi paru, serta peningkatan angka kesakitan dan kematian (Dewi 2025, h.4).

Debu yang masuk ke dalam saluran pernafasan dalam akan terdeposisi di dalam alveolus dan memicu sistem kekebalan tubuh. Hal ini mendorong makrofag untuk membentuk jaringan paru (*fibrosis*) melalui mekanisme *apoptosis*, *autophagy*, dan nekrosis pada tingkat sel. Fibrosis paru-paru menyebabkan berkurangnya kapasitas volume udara untuk inspirasi dan ekspirasi, sehingga mengakibatkan gejala sesak nafas dan batuk. Paparan debu berkepanjangan dapat berkembang menjadi PPOK dan/atau *pneumoconiosis*. Paparan menahun terhadap debu, dapat menimbulkan efek toksisitas kronis, seperti tumor dan kanker (Susanto *et al.* 2024, h.71-72).

B. Pemukiman

1. Pengertian Pemukiman

Pemukiman merupakan suatu kawasan yang berfungsi sebagai tempat tinggal atau lingkungan hunian bagi masyarakat yang dilengkapi dengan prasarana, sarana, dan utilitas umum sebagai penunjang kehidupan penghuninya. Pemukiman tidak hanya mencakup bangunan rumah, tetapi

juga lingkungan di sekitarnya yang memengaruhi kualitas hidup dan kesehatan masyarakat.

Fauzi, Rifa'i, dan Santoso (2022, h.262), mengatakan pemukiman sehat merupakan lingkungan hunian yang mampu mendukung dan meningkatkan derajat kesehatan masyarakat. Kesehatan lingkungan pemukiman menjadi salah satu faktor penting yang menentukan tingkat kesejahteraan penduduk karena kondisi lingkungan tempat tinggal berpengaruh langsung terhadap kesehatan fisik, sosial, dan kenyamanan penghuni.

2. Persyaratan Kesehatan Lingkungan Pemukiman

Pemukiman merupakan bagian dari lingkungan hunian yang terdiri atas lebih dari satu perumahan yang dilengkapi dengan sarana, prasarana, utilitas umum, serta fasilitas penunjang lainnya, baik kawasan perkotaan maupun perdesaan.

Pemukiman yang memenuhi persyaratan kesehatan sangat penting untuk menciptakan lingkungan yang aman, nyaman, dan terhindar dari berbagai faktor risiko penyakit. Berdasarkan Permenkes Nomor 2 Tahun 2023, tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 tentang Kesehatan Lingkungan, standar baku mutu kesehatan lingkungan dan persyaratan kesehatan diterapkan pada lingkungan pemukiman guna melindungi masyarakat dari gangguan kesehatan yang berasal dari media lingkungan, seperti media air, udara, dan tanah.

Keberadaan debu yang berlebihan di lingkungan pemukiman dapat menurunkan kualitas udara, mengganggu kenyamanan masyarakat, serta gangguan kesehatan. Partikel besar umumnya tertahan pada saluran pernapasan bagian atas sehingga menyebabkan iritasi hidung, tenggorokan, dan mata. Sebaliknya partikel halus seperti $PM_{2.5}$ dapat mencapai bronkiolus hingga alveolus paru-paru. Paparan jangka panjang terhadap partikel tersebut meningkatkan risiko infeksi saluran pernapasan akut (ISPA), asma, bronkitis, penyakit paru obstruktif kronis (PPOK), penurunan fungsi paru, serta penyakit kardiovaskular. Risiko lebih tinggi lagi pada anak-anak, lansia, ibu hamil, dan individu yang memiliki penyakit pernapasan (Susanto *et al.* 2024, h.73).

Kondisi pemukiman menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi tingkat paparan debu pada masyarakat. Karakteristik fisik rumah, seperti luas ruangan, keberadaan ventilasi, kondisi plafon, serta keberadaan vegetasi di sekitar rumah, dapat mempengaruhi konsentrasi debu di dalam ruangan. Rumah dengan ventilasi yang tidak memadai, tidak memiliki plafon, atau sering membiarkan pintu dan jendela terbuka berpotensi mengalami peningkatan dari lingkungan luar ke dalam rumah. Sebaliknya, keberadaan tanaman di sekitar rumah dan pemasangan perangkat debu pada ventilasi dapat membantu menurunkan jumlah partikel debu yang masuk ke dalam ruangan.

Selain itu, kondisi pemukiman yang berada di sekitar sumber pencemar, seperti kawasan industri, jalan raya, maupun tempat pemrosesan

akhir, berpotensi meningkatkan paparan debu terhadap masyarakat. Debu yang berasal dari aktivitas di sekitar pemukiman dapat terbawa oleh angin dan masuk ke dalam rumah melalui ventilasi, celah bangunan, maupun saat pintu dan jendela terbuka. Faktor meteorologi, seperti arah dan kecepatan angin, juga mempengaruhi distribusi dan penyebaran debu di lingkungan pemukiman. Oleh karena itu, pemenuhan persyaratan kesehatan lingkungan pemukiman sangat penting dalam upaya mengurangi risiko gangguan kesehatan akibat paparan debu (Setyaningsih *et al.* 2023, h.215).