

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kualitas Udara Dalam ruangan

2.1.1 Definisi

Menurut NHMRC (1989, 1993), udara dalam ruangan adalah udara didalam area kerja dimana orang menghabiskan waktu selama 1 hari atau lebih dan bukan merupakan gedung industri. Yang termasuk area tersebut antara lain tempat penghuni (rumah), kantor, rumah dan rumah sakit. Sedangkan pengertian kualitas udara dalam ruangan menurut EPA (1991) adalah hasil interaksi antara tempat, suhu, sistem gedung (baik desain asli maupun modifikasi terhadap struktur dan sistem mekanik), teknik kontruksi, sumber kontaminan (material, peralatan gedung serta sumber dari luar) dan pekerja.

2.1.2 Elemen-Elemen yang Mempengaruhi Kualitas Udara dalam ruangan

Terdapat empat elemen yang mempengaruhi kualitas udara dalam ruangan menurut EPA & NIOSH (1991) dan Pudjiastuti (1998) yaitu sumber kontaminan udara dalam ruangan, sistem HVAC (fungsi sistem HVAC dalam mengendalikan kontaminan udara dan kenyamanan *thermal* pengguna gedung), jalur kontaminan, dan pengguna gedung (keanekaragaman penghuni bangunan)

2.1.2.1 Sumber Kontaminan Udara Dalam ruangan

Berikut adalah beberapa sumber kontaminan dalam udara menurut EPA (1991) yaitu:

- a. Sumber dari luar bangunan, yang terdiri dari :
 - Ø Udara luar bangunan yang terkontaminasi seperti debu, spons jamur, kontaminasi industri, dan gas buang kendaraan.
 - Ø Emisi dari sumber di sekitar bangunan seperti gas buangan dari kendaraan pada area sekitar atau area parkir, tempat bongkar muat barang, bau dari tempat pembuangan sampah, udara buangan yang berasal dari gedung itu sendiri atau gedung sebelahnya yang dimasukkan kembali, kotoran disekitar area *intake* udara luar bangunan

- Ø Soil gas seperti radon, kebocoran gas dari bahan bakar yang disimpan di bawah tanah, kontaminan yang berasal dari penggunaan lahan sebelumnya, dan pestisida
 - Ø Kelembaban atau rembesan air yang memicu perkembangan mikroba
- b. Peralatan, yang terdiri dari :
- Ø Peralatan HVAC seperti debu atau kotoran pada saluran atau komponen lain, pertumbuhan mikroba pada *humidifier*, saluran, *coil*, penggunaan biosida, penggunaan produk pembersih yang tidak sesuai ketentuan, sistem ventilasi yang kurang baik, alat pendingin (*refrigerator*) yang bocor.
 - Ø Peralatan non-HVAC seperti emisi dari peralatan kantor (VOCs, ozon), suplai (pelarut, *toner*, ammonia), emisi dari toko, laboratorium, proses pembersihan, mesin penggerak elevator dan sistem mekanik lainnya
- c. Kegiatan manusia, yang terdiri dari :
- Ø Kegiatan personal seperti merokok, memasak, aroma kosmetik, dan bau badan
 - Ø Kegiatan *housekeeping* seperti bahan pembersih, emisi dari gudang penyimpanan bahan suplai atau sampah, penggunaan pengharum, debu atau kotoran udara dari menyapu (*vacuuming*)
 - Ø Kegiatan pemeliharaan seperti mikroorganisme dalam uap air akibat kurangnya pemeliharaan *cooling tower*, debu atau kotoran udara, VOCs dari penggunaan perekat dan cat, pestisida dari kegiatan pengendalian hama, emisi dari gudang penyimpanan
- d. Komponen bangunan dan peralatan interior, yang terdiri dari :
- Ø Lokasi yang menghasilkan debu atau serat seperti permukaan yang dilapisi (penggunaan karpet, tirai, dan bahan tekstil lainnya), peralatan interior yang sudah tua atau rusak, bahan yang mengandung asbestos
 - Ø Bahan kimia dari komponen bangunan atau peralatan interior seperti VOCs dan senyawa anorganik
- e. Sumber lainnya, yang terdiri dari :
- Ø Kejadian kecelakaan seperti tumpahan cairan, pertumbuhan mikroba akibat banjir, kebocoran atap atau pipa, kerusakan akibat kebakaran

- Ø Penggunaan area secara khusus seperti area merokok, ruang print, laboratorium, persiapan makanan
- Ø *Redecorating, remodeling, repair activities* seperti emisi dari peralatan interior yang baru, bau dari uap organik maupun anorganik dari cat atau bahan perekat

2.1.2.2 Desain dan Pengoperasian Sistem HVAC

Sistem HVAC merupakan sistem alat yang bekerja untuk menghangatkan, mendinginkan, dan mensirkulasi udara pada suatu bangunan yang terdiri dari *boiler* atau *furnace*, *cooling tower*, *chilling*, *air handling unit (AHU)*, *exhaust fan*, *ductwork*, *steam*, *filter*, *fans (supply udara, make up-air, exhaust ruangan)*, *dampers*, *room air diffuser*, dan *return air grills*. Komponen sistem HVAC pada umumnya terdiri dari pemasukan udara dari luar ruangan, pencampuran air plenum dengan kontrol udara *outdoor*, penyaringan udara, pemanasan dan gulungan pendingin, proses pelembaban dan atau pengurangan kelembaban

Berdasarkan *Building Code of Australia* (2005) dan EPA (1991), suatu desain dan sistem HVAC berfungsi untuk:

- Memenuhi kebutuhan *thermal comfort*

Sejumlah variabel seperti tingkat aktifitas, pemerataan suhu, peningkatan atau pengurangan panas radiasi, dan kelembaban dapat berinteraksi dan mempengaruhi kenyamanan para pengguna gedung akan suhu udara *indoor*. Faktor individu yang juga terlibat dalam penerimaan *thermal comfort* atau kenyamanan termal antara lain tingkat usia, aktifitas, dan fisiologi dari masing-masing orang.

- Memenuhi kebutuhan pengguna gedung

Sebagian besar *Air Handling Unit (AHU)* bekerja untuk mendistribusikan campuran udara luar (*outdoor*) dengan udara dalam ruangan (*indoor*) yang di-resirkulasi. Ada juga sistem HVAC yang menggunakan 100 % udara luar (*outdoor*) atau hanya mensirkulasi udara dalam ruangan saja. Kenyamanan thermal dan kebutuhan ventilasi dicapai dengan mensuplai udara yang telah dikondisikan (campuran udara luar dengan udara yang telah di-resirkulasi dari

dalam ruangan yang telah di saring, dipanaskan atau didinginkan, atau terkadang dilembabkan serta dikurangi kelembabannya)

- Mengisolasi serta memindahkan bau serta kontaminan

Salah satu teknik pengendalian bau dan kontaminan adalah dengan teknik dilusi, yaitu mengencerkan udara terkontaminasi tersebut dengan udarar yang berasal dari luar ruangan. Dilusi dapat efektif bila terdapat aliran suplai udara konsisten dan cukup untuk bercampur dengan udara dalam ruangan. Ventilasi yang efektif merupakan istilah yang menggambarkan kemampuan sistem ventilasi untuk mendistribusi suplai udara dan memindahkan kontaminan dari dalam ruangan. Teknik kedua yang mungkin dilakukan adalah dengan mendesain dan mengoperasikan sistem HVAC yang memperhatikan tekanan antar ruangan. Sistem kerja pengendalian ini adalah dengan menyesuaikan jumlah suplai udara dengan jumlah udara yang dipindahkan dari tiap ruang. Jika suatu ruangan lebih banyak tersuplai udara daripada jumlah udara yang dibuang, maka ruangan tersebut dikatakan bertekanan positif, dan sebaliknya.

Fasilitas HVAC dalam suatu gedung dapat berbeda, tergantung dari beberapa faktor seperti umur gedung, iklim, jenis bangunan, anggaran dana perusahaan, perencanaan, pemilik dan arsitektur gedung, dan modifikasi tertentu. Operator sistem dan manajer fasilitas adalah faktor penting yang menentukan kualitas udara dalam ruangan terpelihara dengan baik. Sistem HVAC membutuhkan pemeliharaan yang tepat untuk memberikan kondisi yang nyaman bagi penghuni suatu ruangan. Sistem HVAC harus dievaluasi terlebih dahulu sebelum melakukan renovasi pada gedung.

Beberapa jenis sistem HVAC antara lain terdiri dari:

1. *Single zone*

Sebuah AHU dapat memfasilitasi lebih dari satu area gedung apabila area tersebut memiliki kebutuhan suhu dan ventilasi yang sama, atau jika sistem kontrol dapat mengimbangi perbedaan kebutuhan suhu dan ventilasi pada area yang terlingkupi tersebut. Dalam suatu ruangan, masalah “*thermal comfort*” atau kenyamanan termis dapat terjadi jika desain dari HVAC tidak memadai untuk membedakan beban panas dan

dingin antara ruang satu dengan yang lainnya dalam suatu area. Hal ini dapat terjadi jika beban pendinginan dalam satu atau beberapa area meningkat disebabkan peningkatan jumlah pekerja, peningkatan pencahayaan, atau penambahan alat-alat yang memproduksi panas seperti komputer atau mesin fotokopi, atau jika area dalam satu zona tersebut memiliki perbedaan pajanan sinar matahari, sehingga menciptakan radiasi panas yang berbeda.

2. *Multiple zone*

Sistem *multiple zone* ini dapat menyediakan temperatur yang berbeda dengan pemanasan atau pendinginan aliran udara pada setiap zona. Hal ini dapat dilakukan dengan mengatur volume udara atau suhu ruangan menggunakan sistem tambahan.

3. Volume konstan

Sistem volume konstan mengalirkan udara secara konstan pada setiap ruangan. Perubahan pada suhu area dilakukan dengan memindahkan tombol on dan off, bukan dengan mengatur volume udara

4. Volume udara yang berbeda

Sistem ini menjaga kenyamanan termis dengan memvariasikan jumlah udara dingin atau panas pada suatu ruangan, tetapi bukan dengan mengubah temperatur. Jika sistem tidak diatur untuk merespon beban, maka masalah *overcooling* dan *overheating* dapat terjadi pada zona yang dilingkupi sistem

Beberapa element perawatan sistem HVAC yang dapat meningkatkan kualitas udara dalam ruangan adalah (Tillman 2007):

1. Mengganti *filter* (disamping dapat menghalangi dan mengurangi aliran udara, filter yang kotor juga dapat menjadi sumber bau dan mikroorganisme)
2. Memeriksa instalasi dan *filter* secara berkala
3. Membersihkan *cooling coil* dan komponen HVAC lainnya
4. Memeriksa operasi *fan* dan operasi *dampers* yang dapat mempengaruhi aliran udara

Selain hal diatas, pengukuran dan penyamarataan aliran udara ventilasi dari sistem HVAC juga harus dilakukan oleh spesialis teknik mesin. Pengukuran tingkat karbondioksida pekerja juga perlu dilakukan untuk mengetahui efisiensi ventilasi. Pengukuran tersebut biasa dilakukan saat pengaturan kembali *control setting* oleh teknisi, saat dokumen yang akurat mengenai sistem HVAC sudah tidak tersedia lagi, dan setelah pergantian yang signifikan terhadap sistem HVAC pada gedung tersebut. (Tillman 2007)

2.1.2.3 Jalur Kontaminan

Pola udara didalam bangunan merupakan hasil kombinasi dari sistem ventilasi, kegiatan pengguna gedung, dan kekuatan alam. Perbedaan tekanan menyebabkan adanya pergerakan kontaminan dari area yang bertekanan tinggi ke area yang bertekanan lebih rendah melalui celah yang ada. Keberadaan komponen didalam gedung seperti dinding, atap, lantai, peralatan HVAC, pengguna gedung, dapat mempengaruhi distribusi kontaminan. Berikut adalah pola alternatif jalur distribusi kontaminan:

1. Sirkulasi lokal dalam ruangan yang mengandung sumber kontaminan
2. Pergerakan udara keruangan yang bertekanan lebih rendah
3. Pergerakan kontaminan dari tingkat bawah ke tingkat atas dari bangunan suatu gedung
4. Pergerakan udara kedalam gedung melalui infiltrasi udara luar atau masuknya kembali udara buangan

2.1.2.4 Pengguna gedung

Pengguna gedung atau penghuni bangunan adalah mereka yang menggunakan sebagian besar waktunya berada di dalam gedung untuk waktu yang lama seperti misalnya pegawai kantor. Klien dan tamu juga merupakan pengguna gedung yang memiliki tingkat toleransi yang berbeda dengan mereka yang sudah lama berada di dalam gedung yang sama, sehingga lebih sensitif terhadap bau. Suatu kontaminan udara dalam ruangan dapat memberikan dampak yang berbeda pada orang yang berbeda. Suatu informasi mengenai gejala yang dialami dapat berguna untuk mengidentifikasi waktu dan kondisi seperti apa ketika masalah timbul.

2.1.3 Parameter Kualitas Udara dalam ruangan

2.1.3.1 Parameter Fisik

a. *Particulate Matter*

Debu partikulat merupakan salah satu polutan yang sering disebut sebagai partikel yang melayang di udara (*suspended particulate metter/ spm*) dengan ukuran 1 mikron sampai dengan 500 mikron. Dalam kasus pencemaran udara baik dalam maupun di ruang gedung (*indoor* dan *outdoor pollutant*) debu sering dijadikan salah satu indikator pencemaran yang digunakan untuk menunjukkan tingkat bahaya baik terhadap lingkungan maupun terhadap kesehatan dan keselamatan kerja. Partikel debu akan berada di udara dalam waktu yang relatif lama dalam keadaan melayang–layang di udara kemudian masuk ke dalam tubuh manusia melalui pernafasan. Selain dapat membahayakan terhadap kesehatan juga dapat mengganggu daya tembus pandang mata dan dapat mengadakan berbagai reaksi kimia sehingga komposisi debu di udara menjadi partikel yang sangat rumit karena merupakan campuran dari berbagai bahan dengan ukuran dan bentuk yang relatif berbeda. (Pudjiastuti et al.1998 ; Farmer 1997)

b. Suhu

Definisi suhu yang nyaman (*thermal comfort*) menurut ASHRAE adalah suatu kondisi yang dirasakan dan menunjukkan kepuasan terhadap suhu yang ada di lingkungan. Untuk pekerja kantor dimana pekerjaannya harus duduk menetap dan mengerjakan pekerjaan yang berulang-ulang selama beberapa jam, aktivitas personal, pakaian, tingkat kebugaran, dan pergerakan udara merupakan faktor yang cukup berpengaruh terhadap persepsi seseorang terhadap kenyamanan suhu. Sedangkan kelembaban relatif juga turut berpengaruh terhadap suhu dimana kelembaban yang rendah akan membuat suhu semakin dingin dan begitu juga sebaliknya. (BiNardi 2003)

Hasil dari *Northern European Studies* bahwa ada hubungan antara peningkatan temperatur sekitar 23°C, kepadatan penghuni dan ventilasi terhadap gejala–gejala ketidaknyamanan dalam ruangan. Menurut Kepmenkes No. 1405 tahun 2002, agar ruang kerja perkantoran memenuhi persyaratan, bila suhu > 28°C perlu menggunakan alat penetral udara seperti

Air Conditioner (AC), kipas angin. Bila suhu udara luar $<18^{\circ}\text{C}$ perlu menggunakan alat pemanas ruang.

c. Kelembaban Relatif (*Relative Humidity*/ RH)

Kelembaban udara yang ekstrim dapat berkaitan dengan buruknya kualitas udara. RH yang rendah dapat mengakibatkan terjadinya gejala SBS seperti iritasi mata, iritasi tenggorokan dan batuk-batuk. Selain itu rendahnya kelembaban relatif juga dapat meningkatkan kerentanan terhadap penyakit infeksi, serta penyakit asthma. RH juga merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kelangsungan hidup mikroorganisme. Beberapa jenis virus hidup pada kelembaban yang tinggi atau rendah tapi tidak pada level kelembaban yang sedang. Sedangkan bakteri seperti *legionella* hidup pada range kelembaban yang terbatas yaitu sekitar 55%-65% dan bertahan dalam bentuk aerosol (bioaerosol). Selain itu kelangsungan hidup mikroorganisme dan debu rumah yang terdapat pada permukaan akan meningkat pada $\text{RH} > 60\%$ dan dapat menyebabkan gangguan pernapasan seperti asthma. Pada tingkat kelembaban yang rendah, permukaan yang menjadi dingin dapat mempercepat pertumbuhan jamur dan penggumpalan debu. (BiNardi 2003)

Menurut SK Gubernur No.54 tahun 2008 tahun 2002, agar ruang kerja perkantoran memenuhi persyaratan, bila kelembaban udara ruang $> 60\%$ perlu menggunakan alat *dehumidifier*, dan bila $< 40\%$ perlu menggunakan *humidifier* misalnya mesin pembentuk aerosol.

d. Pencahayaan

Cahaya merupakan pancaran gelombang elektromagnetik yang melayang melewati udara, *iluminasi* merupakan jumlah atau kualitas cahaya yang jatuh kesuatu permukaan. Apabila suatu gedung tingkat iluminasinya tidak memenuhi syarat maka dapat menyebabkan kelelahan mata. (Spengler et al. 2000)

e. Kecepatan Aliran Udara

Pergerakan udara yang tinggi akan mengakibatkan menurunnya suhu tubuh dan menyebabkan tubuh merasakan suhu yang lebih rendah. Namun apabila kecepatan aliran udara stagnan (*minimal air movement*) dapat membuat udara terasa sesak dan buruknya kualitas udara. (BiNardi 2003)

f. Bau

Bau merupakan salah satu permasalahan buruknya kualitas udara yang dapat dirasakan dengan jelas. Jenis bau dapat berasal dari bermacam-macam sumber antara lain bau dari tubuh manusia, bau kayu dari *furniture* atau kegiatan pengecatan, bau asap rokok, bau masakan, dan sebagainya. Selain itu bau zat kimia yang khas juga dapat mengindikasikan konsentrasi zat kimia yang tinggi seperti bau *formaldehyde*, *acrolein*, *formid acid*, *acetic acid*, dan *acetone*. Untuk polutan lain, nilai ambang bau yang baik adalah apabila pada konsentrasi tertentu tidak menimbulkan gangguan kesehatan serta mempengaruhi psikologis seseorang. (BiNardi 2003)

g. Kebisingan

Menurut Kepmen No.48 tahun 1996, kebisingan adalah bunyi yang tidak diinginkan dari usaha atau kegiatan dalam tingkat dan waktu tertentu yang dapat menimbulkan gangguan kesehatan manusia dan kenyamanan lingkungan). Kebisingan dapat berasal dari mesin-mesin industri, alat perkantoran yang menimbulkan bunyi yang cukup tinggi, dan lain – lain.

2.1.3.2 Parameter Kimia

a. Karbon Dioksida (CO₂)

Karbondioksida pada dasarnya bukan merupakan tipe yang mempengaruhi kontaminan udara dalam ruangan, namun CO₂ tetap diukur untuk menilai sistem ventilasi gedung serta mengetahui kontrol yang tepat untuk ventilasi pada ruang yang memiliki aktivitas yang bervariasi dalam rangka investigasi kualitas udara dalam ruangan. Konsentrasi karbondioksida dalam atmosfer yang tidak tercemar sekitar 0.03%. tetapi 5% udara yang kita keluarkan adalah karbondioksida, sehingga bila kita berada dalam ruangan yang ventilasinya kurang baik, menyebabkan kenaikan CO₂ dalam ruangan (Pudjiastuti 1998).

Sumber CO₂ yang terbanyak berasal dari hasil ekshalasi udara hasil pernapasan manusia, namun *Environmental Tobacco Smoke* (ETS) juga dapat menjadi sumber CO₂. Nilai ambang batas CO₂ yang diperbolehkan menurut OSHA adalah 500 ppm. Pada dasarnya CO₂ tidak menimbulkan efek kesehatan yang berbahaya apabila berada pada konsentrasi diatas 550 ppm namun jika berada pada konsentrasi diatas 800 ppm, CO₂ dapat mengindikasikan kurangnya udara segar dan buruknya percampuran udar pada area pengguna gedung. Upaya pengendalian CO₂ dalam ruangan adalah dengan menyesuaikan supply udara dalam ruangan tergantung dari tingkat kegunaan ruang yang bervariasi, selain itu sirkulasi udara dalam ruangan dengan luar ruang juga harus ditingkatkan. (BiNardi 2003)

b. Karbon Monoksida (CO)

Karbonmonoksida merupakan gas beracun yang tidak berbau dan tidak berwarna. Oleh karena tidak mungkin untuk melihat, merasakan dan mencium uap asap CO, karbonmonoksida dapat membunuh sebelum kita menyadari keberadaannya disekitar kita. (EPA 1991; BiNardi 2003)

Karbonmonoksida dibentuk dari hasil pembakaran tidak sempurna material yang tersusun dari karbon (lebih banyak berbentuk bahan bakar fosil). Karbonmonoksida pada udara ruang biasanya berasal dari peralatan – peralatan yang digunakan dan mudah terbakar. Selain itu, karbonmonoksida juga dapat berasal dari kendaraan bermotor yang diparkir di bawah tanah atau parkiran tertutup dimana asap dari parker mobil tersebut bisa masuk ke celah bangunan dan melalui sistem ventilasi. Pada rumah tinggal, asap kendaan bermotor dari garasi masuk ke dalam tempat tinggal melalui pintu dalam. (Pudjiastuti et al. 1998)

CO dapat diukur menggunakan alat aktif dan pasif *direct-reading electrochemical CO monitor* dengan nilai ambang batas menurut ACGIH adalah 25 ppm. Efek kesehatan yang ditimbulkan oleh CO yang mengikat Hb adalah hipoksia (kurangnya distribusi oksigen ke jaringan), kelelahan, mausea, sakit kepala, napas pendek. Sedangkan level COHb diatas 4-5 % dapat mengakibatkan gejala kardiovasikuler. Pengendalian CO pada udara dalam ruangan antara lain dengan pembatasan merokok, menerapkan sistem

ventilasi yang sesuai pada area parkir, dan penempatan udara-udara masuk seperti *exhaust* pada *loading docks*, dan area parkir. (BiNardi 2003)

c. Nitrogen dan Sulfuroksida (NO_x dan SO_x)

Nitrogen oksida merupakan pencemar. Sekitar 10% pencemar udara setiap tahun adalah nitrogen oksida. NO yang ada diudara belum lama diketahui, kemungkinan sembernya berasal dari pembakaran pada suhu tinggi. Mula – mula terbentuk NO tetapi zat ini akan mengalami oksidasi lebih lanjut oleh oksigen atau ozon, dan menghasilkan NO₂. Nitrogen oksida yang terdapat dalam udara ambient dapat masuk kedalam ruangan yang akan mempengaruhi kualitas udara dalam ruang. (Pudjiastuti et al. 1998).

Sebagian besar oksida nitrogen terbentuk di daerah perkotaan. yang paling utama dari senyawa ini adalah NO (*nitric oxide*). Ada delapan kemungkinan hasil reaksi bila nitrogen bereaksi dengan oksigen yang jumlahnya cukup banyak hanyalah tiga, yaitu N₂O, NO dan NO₂. Yang berhubungan dengan pencemaran udara adalah NO dan NO₂. Nitrogen dioksida dibentuk sebagai hasil pembakaran melalui proses di atmosfer. Sumber dalam ruangan yang potensial memproduksi NO₂ adalah pemanas dan peralatan masak, pemanas dari minyak tanah dan asap rokok. Pada konsentrasi diatas 200 ppm, NO₂ dapat mengakibatkan *acute pulmonary edema* serta *acute building-related disease*, dan kematian. (BiNardi 2003)

d. *Environmental Tobacco Smoke* (ETS)

Sebagai pencemar dalam ruangan, asap rokok (*Environmental Tobacco Smoke*) merupakan bahan pencemar yang biasanya mempunyai kuantitas paling banyak dibandingkan dengan pencemar lain. Oleh karena itu, ETS merupakan salah satu hal yang sering dikeluhkan pengguna gedung. Asap rokok merupakan campuran yang kompleks dari kimia dan partikel diudara. Zat kimia seperti CO, partikel, nitrogen oksida, CO₂, hidrogen sianida, dan formaldehid juga diproduksi oleh asap rokok bersamaan dengan kandungan gas lainnya yang bervariasi. Walaupun asap rokok telah dinetralkan oleh udara ruangan namun produk sampingannya tetap mengandung zat-zat yang beracun dan bersifat karsinogenik yang dapat membahayakan pengguna gedung. (Pudjiastuti et al. 1998; BiNardi 2003)

Konsentrasi ETS yang ada di udara juga turut mempengaruhi situasi emosional para pengguna gedung yang berada di lingkungan para perokok, bahkan gejala psikososial juga turut dirasakan oleh pengguna gedung yang bukan perokok (perokok pasif). Perokok aktif dapat mengakibatkan penyakit hati dan kanker kanker jantung. Konsentrasi ETS di udara tergantung dari frekuensi dan total jumlah perokok. Rata-rata ventilasi udara luar ruang, efisiensi pembersihan udara dalam ruang, dan pola distribusi dan resirkulasi udara. Pengukuran indikator ETS dapat diukur menggunakan filter yang sama seperti pengukuran *respirable particles*. Salah satu upaya untuk mengendalikan ETS di udara dalam ruangan adalah dengan memberlakukan larangan merokok di dalam ruangan dan menyediakan smoking area tersendiri di luar ruang. (BiNardi 2003)

e. *Fibers*

Asbestos dan *fiber glass* dapat berasal dari peralatan yang digunakan dalam perkantoran seperti karpet, bahan-bahan bangunan dan peralatan lainnya. Paparan asbestos dapat memberikan pengaruh terhadap lingkungan non industri, karena dapat menyebabkan masalah-masalah dengan kualitas udara dalam ruangan, sedangkan paparan *fiber glass* yang berasal dari bahan-bahan kain, plastik, dan kertas merupakan faktor yang berpengaruh terhadap (BiNardi 2003)

Gangguan kesehatan yang dikarenakan paparan *fiber glass* masih menjadi perdebatan (BiNardi 2003). Namun demikian, beberapa studi menunjukkan bahwa paparan ini dapat meningkatkan tingkat risiko kanker saluran pernafasan, meskipun bukan merupakan faktor yang signifikan. Di samping efek kronis, efek akut seperti ruam wajah, gatal-gatal, iritasi mata dan pernafasan juga dapat disebabkan oleh paparan *fiber glass*. Pengendalian paparan ini dapat dimulai dari pemeliharaan instalasi *fiber glass*, seperti pembersihan bahan-bahan *fiber glass* agar tetap terawat dan berada dalam kondisi bagus. Nilai ambang batas paparan *fiber glass* di lingkungan menurut ACGIH adalah 1 fiber/cc atau 5 mg/m³ udara.

f. *Ozone*

Ozone merupakan gas yang memiliki bau, dan biasanya muncul pada udara ambien dikarenakan pajanan nitrogen dioksida dan hidrokarbon. Di lingkungan perkantoran, gas ini biasanya dihasilkan dari pengoperasian mesin-mesin elektrik ataupun mesin fotokopi. *Ozone* dapat memicu beberapa gangguan/iritasi pernafasan bagian atas, batuk, gatal-gatal pada tenggorokan, dan ketidaknyamanan dalam bernafas. Selain itu, sakit kepala, serak, nafas mengik, *fatigue*, dan iritasi mata juga dapat diasosiasikan dengan pajanan ozon.

Hal yang dapat dilakukan adalah dengan pengadaan ventilasi yang memadai dan pengecekan sistem ventilasi secara teratur. *National Ambient Air Quality Standard* menetapkan bahwa nilai ambang batas pajanan ozon adalah 0,12 ppm dalam rata-rata 1 jam pajanan. Sedangkan ACGIH menetapkan ambang batas dengan disesuaikan beban kerja selama 8 jam kerja, yaitu 0,05 ppm untuk pekerjaan berat, 0,08 ppm untuk pekerjaan sedang, 0,10 ppm untuk pekerjaan ringan. Pada umumnya, bau ozon akan terdeteksi pada kisaran 0,02 ppm (BiNardi 2003)

g. *Formaldehyde (HCHO)*

Formaldehyde digunakan secara besar-besaran dalam berbagai proses industri, merupakan *volatile organic compounds* (senyawa organik yang mudah menguap) yang sering terdapat pada bahan perekat, tekstil, kertas maupun produk-produk tekstil dan kosmetik. Menurut penelitian yang dilakukan pada tahun 1970, *formaldehyde* memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap masalah kualitas udara dalam ruangan. Pada dosis atau jumlah pajanan yang melebihi nilai 1-3 ppm akan menyebabkan iritasi selaput lendir, gangguan kulit kering secara kronik maupun akut. Selain itu, pajanan yang melebihi nilai 1 ppm akan menyebabkan pajanan kronis dan diduga bersifat karsinogenik.

OSHA menetapkan batas aman pajanan 8 jam untuk lingkungan kerja adalah 0,75 ppm, sedangkan untuk pajanan singkat adalah 2 ppm, sedangkan ASHRAE dan Swedish mengambil batas pajanan adalah 0,1 ppm. Pengendalian bagi zat ini diantaranya adalah dengan pemilihan bahan

bangunan yang rendah *formaldehyde*, peningkatan kualitas ventilasi pada saat penggunaan produk *formaldehyde* baru, dan pengendalian suhu dan kelembaban (BiNardi 2003)

h. VOC lain

Gas-gas VOC lain dapat timbul dari penggunaan bahan-bahan *personal care*, bahan pembersih, pestisida, dan produk-produk yang terbuat dari bahan kayu. Selain itu, mikroorganisme juga dapat mengeluarkan VOC (*microbial volatile organic compounds*) yang biasanya timbul dari bau pengap dan jamur. Beberapa jenis VOC seperti benzene diketahui bersifat karsinogenik, jika digunakan dalam jumlah yang besar pada proses industri. VOC lainnya seperti karbon tetrachloride, chloroform) berdasarkan hasil laboratorium juga bersifat karsinogen pada hewan, tetapi belum ada bukti langsung tentang pengaruh yang sama pada manusia. Masuknya VOC ke dalam tubuh dengan cara inhalasi atau terserap dalam pembuluh darah. Pada umumnya bersifat *neurotoxic*. Pada level pajanan yang melewati nilai ambang batas dapat menyebabkan gangguan sistem saraf sentral, vertigo, gangguan penglihatan, tremor, fatigue, anorexia.

Tidak ada standar tertentu untuk total VOC, karena setiap VOC memiliki standar TLV masing-masing. Rata-rata hasil pengukuran VOC pada kualitas udara dalam ruangan masih di bawah nilai ambang batas. Pengendalian yang paling memungkinkan adalah menyediakan sistem ventilasi yang memadai, peningkatan kecepatan ventilasi agar VOC dapat cepat menguap, dan penyimpanan bahan-bahan kimia dengan baik (BiNardi 2003)

i. Radon

Dipasaran beredar beberapa jenis bahan bangunan yang terbuat dari bahan tambang maupun sisa pengolahan bahan tambang maupun sisa pengolahan bahan tambang yang berkadar radioaktif tinggi. Beberapa bahan tersebut antara lain asbes, garnit, *italian tuff*, gipsum, batu bata dari limbah pabrik alumunia, *cone block*, yang terbuat dari limbah abu batubara, aerated concrete, blast-furnace slag dari limbah pabrik besi, mengandung konsentrasi tinggi radium-226 yang dapat menjadi sumber migrasi radon di dalam ruangan (Pudjiastuti et al. 1998).

2.1.3.3 Parameter Biologi

Mikroorganisme dapat muncul dalam waktu dan tempat yang berbeda. Pada penyebaran lewat udara, mikroorganisme harus mempunyai habitat untuk tumbuh dan berkembang biak (Tillman 2007). Seringkali ditemui tumbuh pada air yang menggenang atau permukaan interior yang basah. Selain itu, mikroorganisme juga dijumpai pada sistem ventilasi atau karpet yang terkontaminasi.

a. Jamur

Menurut Hargreaves dan Parappukaran (1999) menyatakan bahwa pajanan terhadap khamir dan kapang terjadi setiap hari, namun ada 3 faktor yang mempengaruhi populasi fungi adalah teknik konstruksi yang buruk, kegagalan dalam mengidentifikasi atau memperbaiki kerusakan air, kesalahan dalam mengoperasikan dan menjaga sistem AC

ACGIH 1989 merekomendasikan inspeksi secara rutin bagi sumber yang berpotensi terhadap tumbuhnya mikroorganisme. Fungi merupakan organisme yang dipercaya memiliki keterkaitan erat dengan SBS pada sistem ventilasi mekanik di gedung perkantoran di kota Sydney (Stephen 2006; Seneviratne et al.1994). Dalam penelitian sampel udara untuk mengetahui kandungan mikroorganisme dalam suatu gedung, dibutuhkan metode yang terstandarisasi. Rekomendasi yang terbaik bagi gedung adalah tidak ada satupun sampel yang melebihi 1000 CFU, tidak lebih dari 5 sampel yang jumlah mikroorganismenya melebihi 100 CFU, dan tidak ada kelompok *microbial pathogen* yang tercatat

b. Bakteri

Selain jamur, bakteri juga merupakan makhluk hidup yang tidak kasat mata, dan dapat menyebabkan berbagai gangguan kesehatan serta efek deteriorasi bagi gedung apabila tumbuh dan berkembang biak pada lingkungan indoor. (Stephen 2006; Setzenbach 1998) Gangguan kesehatan yang muncul dapat bervariasi tergantung dari jenis dan rute pajanan. Bakteri dalam gedung datang dari sumber luar (misalnya dari kerusakan tangah, endapan kotoran, dan sebagainya) serta dapat memberi pengaruh bagi manusia seperti saat bernafas, batuk, bersin. Selain itu, bakteri juga

didapati pada sistem *cooling towers* (seperti *Legionella*), bahan bangunan dan *furniture*, *wallpaper*, dan karpet lantai (Stephen 2006). Di dalam gedung, bakteri tumbuh dalam *standing water* tempat *water spray* dan kondensasi AC

2.1.4 Pengendalian Kualitas Udara dalam ruangan

Menurut Tillman (2007) pengendalian masalah IAQ terutama terletak pada desain gedung, untuk itu perlu dilakukan langkah-langkah seperti:

- a. Pemilihan material gedung dengan tingkat emisi rendah, termasuk peralatan, dan *furniture*
- b. Memastikan sistem ventilasi sesuai dengan standar yang ada (menggunakan metode terbaru dari sistem ventilasi mekanik jika memungkinkan, *hybrid ventilation*)
- c. Mempunyai perencanaan untuk operasi dan pemeliharaan gedung
- d. Penokumentasian untuk setiap kegiatan pemeliharaan gedung termasuk sistem HVAC sebagai perbaikan di masa yang akan datang

Selain itu, perlu dilakukan pengambilan sampel udara secara berkala serta menganalisis dan membandingkannya dengan standar yang digunakan untuk menilai kualitas udara yang ada di dalam ruangan sehingga tidak membahayakan bagi penggunaannya

2.2 Konsentrasi Debu Partikulat

Debu merupakan partikel solid yang berukuran antara 100 mikron hingga kurang dari 1 mikron (WHO 1999a). Debu didefinisikan sebagai suatu sistem dispersi (aerosol) yang beragam dari partikel padat dengan *range* ukuran mikron dan dihasilkan secara mekanik seperti *crushing* (penghancuran), *handling* (penghalusan), *grinding* (penggerindaan), penyusutan, atau peledakan dari bahan organik dan non organik seperti biji besi, batu, batu bara, biji-bijian, dsb. (Stellman 1998; Tomany 1975; Anderson 1982).

2.2.1 Karakteristik partikel

Beberapa karakteristik partikel yang khas antara lain (Lippman, 2006):

1. Permukaan

Untuk aerosol yang memiliki konsentrasi masa, luas permukaan aerosol akan meningkat seiring dengan menurunnya ukuran partikel

2. Volume

Volume partikel bervariasi sesuai dengan kubik diameter, untuk beberapa partikel aerosol yang berukuran besar, akan cenderung mendominasi volume konsentrasi

3. Bentuk

Bentuk partikel akan berpengaruh pada daya hisap aerodinamik pada area permukaan sehingga akan mempengaruhi pergerakan dan deposisi partikel.

4. Kepadatan

Kecepatan partikel sebagai respons dari gaya gravitasi akan berbanding lurus dengan kepadatan partikel

5. Diameter Aerodinamik

Diameter aerodinamik merupakan parameter penting yang dapat digunakan untuk menghubungkan antara bentuk dengan kepadatan partikel. Hasilnya, kecepatan pengendapan berbanding lurus dengan kecepatan partikel yang jatuh dipengaruhi gaya gravitasi dan ketahanan cairan. Diameter aerodinamik dipengaruhi oleh ukuran partikel, kepadatan partikel, dan faktor aerodinamik

Sedangkan sifat-sifat umum dari debu partikulat adalah sebagai berikut (Olishifski 1985; Ruzer 2005):

1. Sifat Pengendapan

Sifat pengendapan pada debu merupakan sifat yang dipengaruhi oleh gaya gravitasi dan berat molekul debu yang cenderung tertarik turun ke permukaan tanah atau lantai. Namun jika bobotnya terlalu kecil, maka debu tersebut akan selalu melayang-layang di udara karena pengaruh komponen dan aliran udara sekitarnya. Dengan metode basah berat

molekul debu dapat ditambah, sehingga debu dapat mengendap dan turun ke lantai atau tanah.

2. Sifat Higroskopis

Permukaan partikel debu selalu terbungkus lapisan air yang tipis (fenomena absorpsi) yang menyebabkan debu itu selalu basah. Sifat ini memberikan kemungkinan debu untuk berikatan dengan bahan kimia lain. Faktor ini sangat penting dalam upaya pengendalian dan penangkapan debu di udara.

3. Sifat Penggumpalan

Sifat higroskopis debu yang selalu basah juga menyebabkan debu mudah untuk berikatan atau menempel dengan yang lain, sehingga menyebabkan terjadinya penggumpalan. Proses penggumpalan tersebut akan meningkat karena adanya pengaruh turbulensi udara di sekitar debu dan tingkat humiditas yang melampaui titik saturasi. Oleh karena itu, debu dapat merupakan suatu inti dari suatu air yang terkonsentrasi dan menyebabkan partikel itu menjadi lebih besar.

4. Sifat Elektrostatik

Debu bersifat listrik statik sehingga memungkinkan debu untuk dapat menarik partikel lain yang bermuatan listrik berbeda. Dalam suatu lingkungan kerja, kontak antara partikel debu yang berbeda muatannya ini akan mempercepat proses penggumpalan dan pengendapan

5. Sifat Optik

Debu juga memiliki sifat dapat memantulkan cahaya (fenomena *tyndall*). Sifat ini dapat terlihat dengan jelas jika seberkas sinar akan menimpa debu dalam suatu kamar gelap.

2.2.2 Klasifikasi Debu Partikulat

Kategori debu partikulat berdasarkan ukurannya menurut EPA (2008) terbagi kedalam *Total Suspended Particulate Matter* (TSP) yang merupakan partikel yang memiliki ukuran diameter mulai dari 0.1 μm hingga 30 μm . TSP terdiri dari *fine particle*, *coarse particle*, dan *supercoarse particle*

1. *PM_{2.5} (Fine Particle)*

PM_{2.5} merupakan debu partikulat yang memiliki diameter aerodinamik • 2.5 μm yang dikumpulkan dengan 50% efisiensi oleh pengumpulan sampling *PM_{2.5}*. EPA membedakan *PM_{2.5}* dengan *fine* dan *coarse particle*. Komposisi pembentuk *PM_{2.5}* terdiri dari sulfat, nitrat, *organic compounds*, *ammonium compounds*, *metal*, *acidic material*, dan bahan kontaminan lain yang dipercaya dapat memberikan efek buruk bagi kesehatan

2. *PM₁₀ (Coarse Particle)*

Menurut EPA, *PM₁₀* didefinisikan sebagai debu partikulat yang memiliki diameter • 10 μm yang dikumpulkan dengan 50% efisiensi oleh pengumpulan sampling *PM₁₀*. Partikulat ini termasuk kedalam tipe polutan karena dapat masuk kedalam saluran pernapasan yang lebih dalam. Fraksi utama partikel ukuran ini banyak bersumber dari industri.

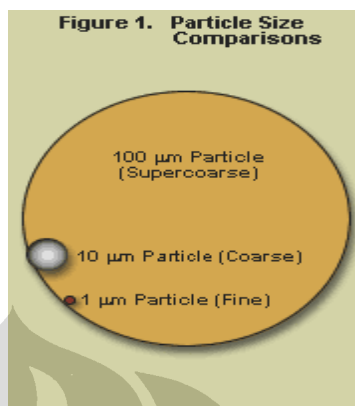
3. *Supercoarse Particle*

Menurut EPA, *Supercoarse Particle* didefinisikan sebagai debu partikulat yang memiliki diameter > 10 μm

Selain itu, juga terdapat partikel berukuran < 0.1 μm yang dibentuk oleh 20 hingga 50 kelompok mekul yang sangat kecil yang disebut sebagai *Ultrafine particle*. *Ultrafine particle* banyak berasal dari proses industri seperti proses pembakaran dan sumber metalurgi.

Berdasarkan proses pembentukannya, partikel dapat terbentuk secara tidak sengaja yang termasuk kedalam kategori *ultrafine particle*. Sedangkan partikel yang terbentuk secara disengaja melalui proses manufaktur termasuk ke dalam kategori *Nano Particle (Engineered Nano Particle)*

Diantara *Fine particle* (1 μm), *coarse particle* (10 μm), dan *supercoarse particle* (100 μm) memiliki perbandingan dalam hal perbedaan ukuran partikel (gambar 2.1)



Gambar 2.1 Perbandingan Ukuran Partikel (EPA 2008)

Sedangkan berdasarkan organ deposit di dalam tubuh manusia, partikel debu dibagi menjadi tiga golongan, yaitu (Ruzer 2005):

1. Partikel *Inhalable*

Partikel debu *inhalable* merupakan partikel-partikel debu yang dapat terhirup ke dalam mulut atau hidung serta berbahaya jika tertimbun dimanapun dalam saluran pernapasan. Diameter partikel yang termasuk ke dalam kategori partikel *inhalable* adalah partikel yang berukuran $< 100 \mu\text{m}$

2. Partikel *Thoracic*

Partikel debu *thoracic* merupakan partikel-partikel debu yang dapat masuk ke dalam saluran pernapasan atas dan masuk ke dalam saluran udara di paru-paru. Partikel *thoracic* merupakan debu yang memiliki diameter $< 10 \mu\text{m}$

3. Partikel *Respirable*

Partikel debu *respirable* adalah partikel “*airborne*” yang dapat terhirup dan dapat mencapai daerah *bronchiale* sampai dengan *alveoli*. Partikel debu jenis ini dapat berbahaya jika tertimbun di dalam *alveoli* yang merupakan daerah pertukaran gas di dalam sistem pernafasan. Ukuran partikel debu yang termasuk kedalam jenis partikel *respirable* adalah $< 4 \mu\text{m}$

2.2.3 Jenis-Jenis Aerosol

Berdasarkan proses terbentuk dan ukurannya, aerosol dibedakan menjadi beberapa jenis yaitu (Lippman 2006; Ruzer 2005):

1. Debu (*Dust*). Merupakan bagian dari aerosol yang terbentuk dari proses mekanik dari pecahan suatu material dan memiliki komposisi kimia yang sama. Proses mekanik yang dimaksud antara lain adalah *crushing* (penghalusan), *grinding* (penggerindaan), *drilling* (pengeboran), dan *blasting* (peledakkan). Partikel debu biasanya berwujud padat dan berbentuk *irregular* serta berdiameter $> 1 \mu\text{m}$
2. Uap (*Fume*). Merupakan partikel padat yang dibentuk hasil dari proses kondensasi, uap pada temperatur tinggi yang mengalami pembakaran atau sublimasi. Partikel ini berukuran sangat kecil yaitu $< 0.1 \mu\text{m}$ dan berbentuk bola
3. Asap (*Smoke*). Merupakan partikel karbon yang sangat halus (sering disebut jelaga) dan merupakan hasil dari kondensasi dan pembakaran yang tidak sempurna. Partikel ini biasanya berwujud droplet cair dan berukuran $< 0.5 \mu\text{m}$
4. Kabut (*Mist*). Merupakan partikel cair dari reaksi kimia dan kondensasi uap air seperti atomisasi, gelembung, dan *spraying*. Droplet ini berukuran sangat besar yaitu antara $2 \mu\text{m}$ - $50 \mu\text{m}$
5. *Fog*. Merupakan aerosol cair yang dibentuk oleh kondensasi uap air di atmosfer yang memiliki kelembaban relatif tinggi. Droplet ini biasanya berukuran $> 1 \mu\text{m}$
6. *Smog*. Merupakan kombinasi dari *smoke* dan *fog* dan saat ini biasa ditemukan pada campuran polusi di atmosfer.
7. *Haze*. Merupakan aerosol yang berukuran submikrometer pada partikel higroskopis yang akan membawa uap air pada kelembaban relatif yang rendah
8. *Aitken or Condensation Nuclei* (CN). Partikel atmosfer yang berukuran sangat kecil (kebanyakan berukuran $< 0.1 \mu\text{m}$) yang terbentuk dari proses pembakaran dan konversi kimia dari gas terdahulu

9. *Accumulation mode*. Merupakan bagian dari partikel udara ambient yang berukuran mulai dari 0.1 μm - 2.5 μm . Partikel ini umumnya berbentuk bola dan memiliki permukaan yang cair serta terbentuk dari koagulan dan kondensasi dari partikel-partikel kecil yang dihasilkan dari gas terdahulu
10. *Coarse particle mode*. Merupakan partikel dari udara ambient yang berukuran > 2.5 μm dan biasanya terbentuk dari proses mekanik dan permukaan debu yang tersuspensi.

2.2.4 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Paparan Debu Partikulat

Masalah-masalah yang mempengaruhi paparan debu partikulat terhadap manusia dipengaruhi oleh empat faktor. Keempat faktor ini merupakan pedoman dalam melakukan rekognisi, evaluasi, dan pengendalian masalah paparan debu di di area kerja. Keempat faktor tersebut adalah (Olishifski 1985):

1. Jenis debu yang ada di tempat kerja
2. Lamanya waktu paparan (sangat mungkin dalam hitungan tahun)
3. Konsentrasi debu di udara tempat kerja yang ada di sekitar pekerja
4. Ukuran partikel debu yang ada di area kerja

2.2.5 Sumber Kontaminan Debu Partikulat

2.2.5.1 Outdoor

Sumber kontaminan debu yang berasal dari luar ruangan umumnya berasal dari emisi/ gas buang kendaraan bermotor. Partikel yang berasal dari kendaraan bermotor umumnya berukuran 0.01-5 mikron. Menurut Ruzer (2005), partikel dengan ukuran lebih dari 50 mikron terdeposit pada jalanan. Sehingga apabila roda kendaraan bergesekan dengan jalan akan membuat pergerakan partikel dengan diameter lebih besar ke atas (udara bebas).

2.2.5.2 Indoor

- Peralatan dalam ruangan

Beberapa peralatan yang dapat menjadi sumber debu antara lain adalah karpet, *wallpaper*, tumpukan kertas, mesin fax dan fotokopi serta permukaan monitor komputer.

- Aktifitas manusia

Beberapa aktivitas manusia yang dapat menyebabkan meningkatnya konsentrasi debu di udara antara lain adalah memasak, berjalan, kegiatan pembersihan, dan renovasi. Menurut Andrejs et al. (2002), partikel dengan diameter > 4 mikron dapat dihasilkan dari komponen *triglyceride* yang terdapat pada minyak mentah. Selain itu proses pemasakan daging dengan minyak juga terbukti dapat meningkatkan kandungan PM (Hildermann et al., 1991). Sedangkan menurut MA, Abt et al. (2000) menemukan bahwa pergerakan manusia dapat meningkatkan konsentrasi partikel dengan diameter > 4 mikron lima kali lebih banyak dibandingkan dengan partikel < 2 mikron.

Selain itu, proses pembersihan dapat meningkatkan pergerakan debu yang menempel pada permukaan material dan *indoor furnishing*. Ferro et al. (2002) menemukan bahwa proses pembersihan yang dilakukan seperti *vacuuming* selama 15 menit dapat meningkatkan pajanan $PM_{2.5}$ dan PM_5 1.4 sampai 1.6 kali lebih banyak pada konsentrasi udara dalam ruangan dengan periode yang sama. Proses renovasi pada gedung dapat meningkatkan pergerakan dan aktivitas manusia sehingga dapat menghasilkan jumlah partikel di dalam ruangan. Proses renovasi yang dimaksud antara lain adalah pergantian karpet, *wallpaper*, pergantian lantai, debu dari kayu, pengecatan, pergantian gypsum. Namun partikel yang dihasilkan umumnya bukan termasuk *respirable particles* (Ruzer 2005)

- Produk pembersih

Beberapa produk pembersih yang dapat menghasilkan debu adalah Pestisida dan *Air Freshener*. Kebanyakan produk dari *air freshener* termasuk *volatile fragrance* dapat meningkatkan konsentrasi VOC di dalam ruangan dimana salah satu kandungannya terdiri dari *terpense* yang apabila bereaksi dengan ozone di udara dapat menghasilkan PM (Hoffmann et al., 1997). Selain itu, kandungan pestisida seperti *organoposfat*, *chlorinated compounds*, dan *permethrins* dapat menghasilkan debu di dalam ruangan (Rudel et al., 2003)

2.2.6 Mekanisme Debu Partikulat Masuk Ke Dalam Saluran Pernafasan

Partikel-partikel masuk kedalam tubuh manusia terutama melalui sistem pernafasan, oleh karena itu pengaruh yang merugikan langsung terutama terjadi pada sistem pernafasan. Faktor yang paling berpengaruh terhadap sistem pernafasan terutama adalah ukuran partikel, karena ukuran partikel yang menentukan seberapa jauh penetrasi partikel ke dalam sistem pernafasan. Sistem pernafasan memiliki beberapa sistem pertahanan yang mencegah masuknya partikel-partikel, baik berbentuk padat maupun cair ke dalam paru-paru. Bulu-bulu hidung akan mencegah masuknya partikel-partikel berukuran besar, sedangkan partikel-partikel yang lebih kecil akan dicegah masuk oleh membran mukosa yang terdapat di sepanjang sistem pernafasan dan merupakan permukaan tempat partikel menempel. Pada beberapa bagian sistem pernafasan terdapat bulu-bulu halus (silia) yang bergerak ke depan dan ke belakang bersama-sama mukosa sehingga membentuk aluran yang membawa partikel yang ditangkapnya keluar dari sistem pernafasan ke tenggorokan, dimana partikel tersebut tertelan (Fardiaz 1992; Pudjiastuti 1998).

Sedangkan partikel yang memiliki diameter lebih besar daripada 5 mikron akan terhenti dan terkumpul terutama di dalam hidung dan tenggorokan. Meskipun partikel tersebut sebagian dapat masuk ke dalam paru-paru tetapi tidak pernah lebih jauh dari kantung-kantung udara atau *bronchi*, bahkan segera dapat dikeluarkan oleh gesekan silia. Partikel yang berukuran diameter 0.5-5 mikron dapat terkumpul di dalam paru-paru sampai pada *bronchioli* dan hanya sebagian kecil yang sampai pada alveoli. Sebagian besar partikel yang terkumpul di dalam bronchioli akan dikeluarkan oleh silia dalam waktu 2 jam. Partikel yang berdiameter kurang dari 0.5 mikron dapat mencapai dan tinggal di dalam alveoli. Pembersihan partikel-partikel yang sangat kecil tersebut dari alveoli sangat lambat dan tidak sempurna dibandingkan dengan di dalam saluran yang lebih besar. Beberapa partikel yang tetap tertinggal di dalam alveoli dapat terabsorpsi ke dalam darah.

2.2.7 Pengaruh Debu Partikulat terhadap Manusia

Partikel-partikel yang masuk dan tertinggal didalam paru-paru berbahaya bagi kesehatan karena tiga hal penting, yaitu (Fardiaz 1992):

1. Partikel tersebut beracun karena sifat-sifat kimia dan fisiknya
2. Partikel tersebut bersifat inert (tidak bereaksi) tetapi jika tertinggal didalam saluran pernapasan dapat mengganggu pembersihan bahan-bahan lain yang berbahaya.
3. Partikel-partikel tersebut dapat membawa molekul-molekul gas berbahaya, baik dengan cara mengabsorpsi atau mengadsorpsi, sehingga molekul-molekul gas tersebut dapat mencapai dan tertinggal di bagian paru-paru yang sensitif. Karbon merupakan partikel yang umum dengan kemampuan yang baik untuk mengabsorpsi molekul-molekul gas pada permukaannya.

2.3 Nilai Ambang Batas Parameter Fisik Kualitas Udara dalam ruangan Perkantoran/ Tempat Kerja

Pemerintah melalui Keputusan Menteri Kesehatan No.1405/ Menkes/SK/ XI/ 2002 telah mengatur persyaratan kesehatan lingkungan bagi lingkungan kerja kantor dan industri. Persyaratan kesehatan lingkungan kerja perkantoran dan industri yang diatur meliputi: persyaratan air, udara, limbah, pencahayaan, kebisingan, getaran, radiasi, vektor penyakit, persyaratan kesehatan lokasi, ruang dan bangunan, toilet dan instalasi.

Dalam menjaga kualitas udara dalam ruangan, Kepmen tersebut telah memberikan standar parameter kimia, fisik dan biologi yang dapat memberikan kenyamanan terhadap pekerja. Adapun standar parameter fisik yaitu debu, suhu, kelembaban, dan pencahayaan yang diatur sebagaimana dalam SK Gubernur No. 54 tahun 2008 mengenai Baku Mutu Kualitas Udara dalam Ruangan (khususnya tempat kerja perkantoran) yaitu:

1. Suhu, kelembaban, dan pencahayaan.
 - Suhu: 23°C – 28°C
 - Kelembaban: 40 % - 60 %
 - Pencahayaan: minimal 100 lux

2. Debu (PM₁₀)

Kandungan debu partikulat < 10 mikron maksimal di dalam udara ruangan dalam pengukuran rata-rata 8 jam adalah 0.09 mg/m³

Sedangkan standar parameter fisik yaitu debu, suhu, dan kelembaban menurut Standar ASHRAE 62-1999 adalah:

1. Suhu dan kelembaban.

- Suhu: 22.8° – 26.1°C
- Kelembaban: 30 % - 50 %

2. Debu.

Kandungan debu maksimal di dalam udara ruangan dalam pengukuran rata-rata 8 jam adalah 0.06 mg/m³

Namun pada penelitian ini, standar yang digunakan untuk pengukuran debu partikulat adalah berdasarkan standar SK Gubernur No. 54 tahun 2008 serta standar yang ditetapkan oleh Environmental Protection Agent (EPA) tahun 2006 yang telah diklasifikasi menurut diameter debu dan bukan berdasarkan nilai debu total. Nilai Ambang Batas (NAB) menurut EPA tahun 2006 untuk PM₁₀ adalah 150 µg/m³ (0.15 mg/m³) dan untuk PM_{2,5} adalah 35 µg/m³ (0.035 mg/m³). Sedangkan untuk PM₁ masih belum ada standar yang mengatur dikarenakan hingga saat ini masih dalam perdebatan mengenai satuan yang seharusnya digunakan.

2.4 Pengendalian Parameter Fisik Kualitas Udara dalam ruangan

Pada kenyataannya, lingkungan yang bebas pencemar sama sekali tidak dapat tercapai. Meskipun demikian, pencapaian kualitas udara dalam ruangan secara optimum harus diusahakan. Menurut Kepmenkes No. 1405 tahun 2002, penyehatan udara ruang adalah upaya yang dilakukan agar suhu dan kelembaban, debu, pertukaran udara, bahan pencemar dan mikroba di ruang kerja memenuhi persyaratan kesehatan.

Upaya penyehatan udara ruang harus dilakukan dengan pendekatan yang terintegrasi untuk memisahkan dan mengendalikan pencemar, berdasarkan pengendalian sumber pencemar, penyaringan, penutupan sumber pencemar dan ventilasi yang cukup. Di bawah ini adalah beberapa upaya yang dapat dilakukan untuk menjaga kualitas

1) Suhu, kelembaban, dan pencahayaan

Agar ruang kerja perkantoran memenuhi persyaratan kesehatan perlu dilakukan upaya-upaya sebagai berikut:

- a) Tinggi langit-langit dari lantai minimal 2,5 m.
- b) Bila suhu udara $> 28^{\circ}\text{C}$ perlu menggunakan alat penata udara seperti *Air Conditioner* (AC), kipas angin, dll.
- c) Bila suhu udara luar $< 18^{\circ}\text{C}$ perlu menggunakan pemanas ruang.
- d) Bila kelembaban udara ruang kerja $> 60\%$ perlu menggunakan alat *dehumidifier*.
- e) Bila kelembaban udara ruang kerja $< 40\%$ perlu menggunakan *humidifier* (misalnya: mesin pembentuk aerosol).

Selain itu ada cara lain yang dapat dipertimbangkan untuk menjaga agar udara dalam ruangan tidak menjadi panas. Cara tersebut adalah dengan pengaturan ruang dan tempat duduk yang benar, sehingga ruang atau meja yang ditempati manusia dalam waktu yang lama tidak terpapar sinar matahari langsung. Rancangan ruang atau desain ruang, termasuk perletakan dan pemilihan bahan bangunan untuk pintu, jendela dan ventilasi dari ruang-ruang, ikut menentukan adanya kualitas udara yang baik dalam ruangan. Dengan rancangan ruang yang benar, aliran udara segar dalam ruangan dapat berlangsung dengan lancar secara alami (Farmer 1997).

2) Debu

Agar kandungan debu di dalam udara ruang kerja perkantoran memenuhi persyaratan kesehatan maka perlu dilakukan upaya-upaya sebagai berikut:

- a) Kegiatan membersihkan ruang kerja perkantoran dilakukan pada pagi dan sore hari dengan menggunakan kain pel basah atau pompa hampa (*vacuum pump*).
- b) Pembersihan dinding dilakukan secara periodik 2 kali/tahun dan dicat ulang 1 kali setahun.
- c) Sistem ventilasi yang memenuhi syarat.

3) Pertukaran udara

Agar pertukaran udara ruang perkantoran dapat berjalan dengan baik maka perlu dilakukan upaya-upaya sebagai berikut:

- a) Untuk ruangan kerja yang tidak ber AC harus memiliki lubang ventilasi minimal 15% dari luas lantai dengan menerapkan sistem ventilasi silang.
- b) Ruang yang menggunakan AC secara periodik harus dimatikan dan diupayakan mendapat pergantian udara secara alamiah dengan cara membuka seluruh pintu dan jendela atau dengan kipas angin.
- c) Membersihkan saringan/filter udara AC secara periodik sesuai ketentuan pabrik.

2.5 Sick Building Syndrome (SBS)

2.5.1 Pengertian Sick Building Syndrome (SBS)

SBS mulai diperkenalkan di era tahun 1980-an. Istilah SBS dikenal juga dengan TBS (*Tigh Building syndrome*) atau *Nonspecific building-related symptoms* (BRS). Dari penelitian yang dilakukan oleh NIOSH pada tahun 1978-1988, SBS dapat ditemukan pada gedung perkantoran ataupun pada gedung-gedung biasa dengan karakteristik kualitas udara yang buruk (NIOSH 1998).

EPA mendefinisikan sindrom gedung sakit merupakan istilah untuk menguraikan situasi dimana penghuni gedung atau bangunan mengalami gangguan kesehatan akut dan efek timbul saat berada dalam bangunan, tetapi tidak ada penyebab yang spesifik.

Menurut Aditama (2002), istilah SBS mengandung dua maksud yaitu:

- 1) Kumpulan gejala (sindroma) nonspesifik yang mengganggu kesehatan yang dikeluhkan seseorang atau sekelompok orang berkaitan dengan kondisi gedung tertentu
- 2) Kondisi gedung tertentu berkaitan dengan keluhan atau gangguan kesehatan tidak spesifik yang dialami penghuninya, sehingga dikatakan “gedung yang sakit”

Sedangkan indikator yang dapat dikategorikan sebagai gejala SBS menurut EPA (1991) adalah:

- Pekerja dalam gedung mengeluhkan gejala-gejala ketidaknyamanan akut seperti: sakit kepala; iritasi mata, hidung, tenggorokan; batuk kering; kulit kering atau gatal; pusing dan mual; kesulitan berkonsentrasi; lelah; dan bau.
- Penyebab dari gejala-gejala tidak diketahui
- Kebanyakan pekerja sembuh setelah meninggalkan gedung

2.5.2 Gejala *Sick Building Syndrome* (SBS)

Pada umumnya gejala dan gangguan SBS berupa penyakit yang tidak spesifik, tetapi merujuk standar tertentu, misal berapa kali seseorang dalam jangka waktu tertentu menderita gangguan saluran pernafasan. Keluhan itu hanya dirasakan pada saat bekerja digedung dan menghilang secara wajar pada akhir minggu atau hari libur, keluhan tersebut lebih sering dan lebih bermasalah pada individu yang mengalami perasaan stress, kurang diperhatikan dan kurang mampu dalam mengubah situasi pekerjaannya (EPA 1998).

Keluhan SBS antara lain sakit kepala, iritasi mata, iritasi hidung, iritasi tenggorokan, batuk kering, kulit kering atau iritasi kulit, kepala pusing, sukar berkonsentrasi, cepat lelah atau letih dan sensitif terhadap bau dengan gejala yang tidak dikenali dan kebanyakan keluhan akan hilang setelah meninggalkan gedung (EPA 1998).

Menurut Burroughs (2004), gejala SBS diklasifikasikan menjadi 5 gejala, sebagai berikut:

1. Iritasi mata

Rasa kekeringan pada mata, memerah, *gritty sensation* tanpa sebab/peradangan. Terutama terjadi pada pekerja yang memakai lensa kontak.

2. *Nasal manifestation* (Manifestasi pada hidung)

Pada umumnya gangguan yang muncul adalah “kaku”, terjadi saat seseorang memasuki gedung dan menghilang ketika meninggalkan gedung tersebut. Gangguan ini juga merupakan reaksi spesifik beberapa orang terhadap temperatur tinggi. Gejala lain yang biasa timbul adalah iritasi hidung dan *rhinorrhea*, yang dapat timbul bervariasi pada setiap orang dan terkadang merupakan reaksi alergis

3. Gangguan tenggorokan dan pernafasan bagian bawah.

Kekeringan tenggorokan secara terus menerus, terkadang menunjukkan gejala peradangan. Gangguan ini dapat teratasi dengan meminum banyak air putih. Indikasi gangguan pernafasan bawah pada umumnya berupa nafas pendek, hidung terasa sulit bernafas/mampat, tetapi yang bukan berhubungan dengan infeksi paru-paru atau *asthma bronchial*. Pekerja yang mengalami gejala seperti ini dapat keluar dari ruangan sejenak untuk menghirup udara bebas.

4. Sakit kepala, *fatigue*/lelah, dan rasa tidak enak badan (Gangguan neurotoksik)
Gejala sakit kepala dapat terjadi pada sore hari dan dapat terjadi setiap harinya. Sakit kepala dapat berkisar antara sakit kepala umum hingga migraine. Sakit kepala dan *fatigue*, pusing, kesulitan dalam berkonsentrasi serta rasa tidak enak badan merupakan gejala-gejala SBS yang paling sering muncul pada pekerja.

5. Masalah pada Kulit

Salah satu keluhan yang biasanya muncul adalah kulit kering, khususnya terjadi pada pekerja perempuan. Keluhan ini dapat dimasukkan ke dalam gejala SBS apabila pekerja merasa sembuh setelah libur atau tidak masuk gedung dalam jangka waktu yang lama. Penyebab kekeringan pada kulit biasanya adalah udara kering yang panas atau AC yang berlebihan sehingga menyebabkan beberapa macam dermatitis/penyakit kulit. Selain kekeringan, iritasi ataupun kulit keriput pun dapat terjadi dikarenakan pajanan/kontaminasi dari bahan-bahan tertentu. Selain itu, SBS juga dapat memperburuk penyakit dan masalah kesehatan yang telah ada, seperti sinusitis dan eczema. Namun kedua penyakit tersebut tidak dimasukkan dalam gejala-gejala SBS yang umum terjadi.

Menurut Aditama (2002), membagi keluhan atau gejala dalam tujuh kategori sebagai berikut:

- 1) iritasi selaput lendir, seperti iritasi mata, pedih, merah dan berair
- 2) iritasi hidung, seperti iritasi tenggorokan, sakit menelan, gatal, bersin, batuk kering
- 3) gangguan neurotoksik (gangguan saraf/gangguan kesehatan secara umum), seperti sakit kepala, lemah, capai, mudah tersinggung, sulit berkonsentrasi

- 4) gangguan paru dan pernafasan, seperti batuk, nafas bunyi, sesak nafas, rasa berat di dada
- 5) gangguan kulit, seperti kulit kering, kulit gatal
- 6) gangguan saluran cerna, seperti diare
- 7) gangguan lain-lain, seperti gangguan perilaku, gangguan saluran kencing, dll.

2.5.3 Penyebab Sick Building Syndrome (SBS)

SBS memiliki banyak faktor penyebab dan pada umumnya prevalensi akan meningkat apabila terdapat kombinasi dari berbagai macam faktor. (Brightman Moss 2004).

2.5.3.1 Kondisi lingkungan dalam ruangan

a. Fisik

Kondisi lingkungan fisik yang sangat penting untuk diperhatikan adalah suhu ruangan, kelembaban, dan aliran udara. Ketiga hal tersebut dapat menyebabkan peningkatan absorpsi polutan kimia dalam ruangan, peningkatan pertumbuhan mikroorganisme udara, dan timbulnya bau yang tidak sedap. Menurut Burge (2004), peningkatan suhu di atas 23 derajat celsius dengan gejala SBS juga merupakan penemuan yang konsisten. Terdapat hubungan antara peningkatan temperatur, *overcrowding*, dan ventilasi yang tidak memadai dengan gejala SBS, tetapi kompleksitas ini dapat menyebabkan hubungan suhu dengan SBS menjadi rumit untuk ditarik sebagai faktor penyebab.

Selain itu, terdapat faktor fisik lain yang juga berpengaruh terhadap SBS yaitu konsentrasi debu di udara. Terdapat beberapa penelitian yang membuktikan kaitan antara debu dengan SBS. Copenhagen town hall study menunjukkan hubungan antara debu makromolekular dengan gejala tersebut, khususnya bagi gedung dengan ventilasi mekanis. Penyebabnya dapat dikarenakan pembersihan yang buruk, *overcrowding*, dan manajemen kepadatan ruang yang buruk. Penelitian Burge (2004) juga berhasil membuktikan bahwa terdapat hubungan antara bakteri gram negatif, partikulat, dan makromolekular yang terdapat pada debu dan gejala-gejala SBS. Menurut penelitian, hal ini dapat diatasi dengan proses filtrasi yang efisien untuk

mengurangi rasa sesak nafas seseorang, serta proses pembersihan ruangan yang memadai.

b. Kimia

meliputi merokok dalam ruangan, formadehid, *volatile organic compounds*, bioaerosol, gas – gas seperti CO, NO₂, O₃, SO₂, dan bau

c. Biologi

pencemaran akibat mikroba dapat berupa bakteri, jamur, protozoa, dan produk mikroba lain yang dapat ditemukan di saluran udara dan alat pendingin AC beserta seluruh sistemnya.

2.5.3.2 Kontruksi gedung

Pencemaran udara akibat bahan bangunan merupakan komponen bangunan pembentuk gedung tersebut Kontruksi bangunan yang dapat melepaskan gas – gas polutan dalam ruangan, misalnya *formadehide*, serat asbes, cat, polutan dari karpet, *fiberglass*.

2.5.3.3. Proses dan alat – alat (*furniture*) dalam gedung

Banyak polutan dilepaskan oleh alat – alat dan proses dalam gedung, misalnya ozon dari mesin fotokopi dan asap rokok. yang dimaksud dengan pencemaran oleh alat – alat di dalam gedung adalah pencemaran akibat mesin fotokopi, asap rokok, pestisida, bahan – bahan pembersih ruangan dan lain – lain. Beberapa penelitian membuktikan hubungan yang agak lemah namun positif antara jumlah jam yang dihabiskan pada waktu bekerja di VDU dengan gejala SBS, dan biasanya terjadi setelah 7 jam sehari (Burge 2004). Hal ini dapat disebabkan oleh kualitas perangkat lunak yang buruk. Selain itu, terdapat hubungan antara jumlah kertas yang digunakan dengan peningkatan gejala SBS pada beberapa penelitian, khususnya pada lingkungan pemerintahan dengan teknologi yang masih rendah. Hal ini disebabkan pembebasan tinta pada kertas-kertas yang telah diprin. Selain itu, kertas merupakan kontributor utama pajanan debu fiber yang dikorelasikan dengan gejala-gejala SBS pada beberapa penelitian.

2.5.3.4 Ventilasi

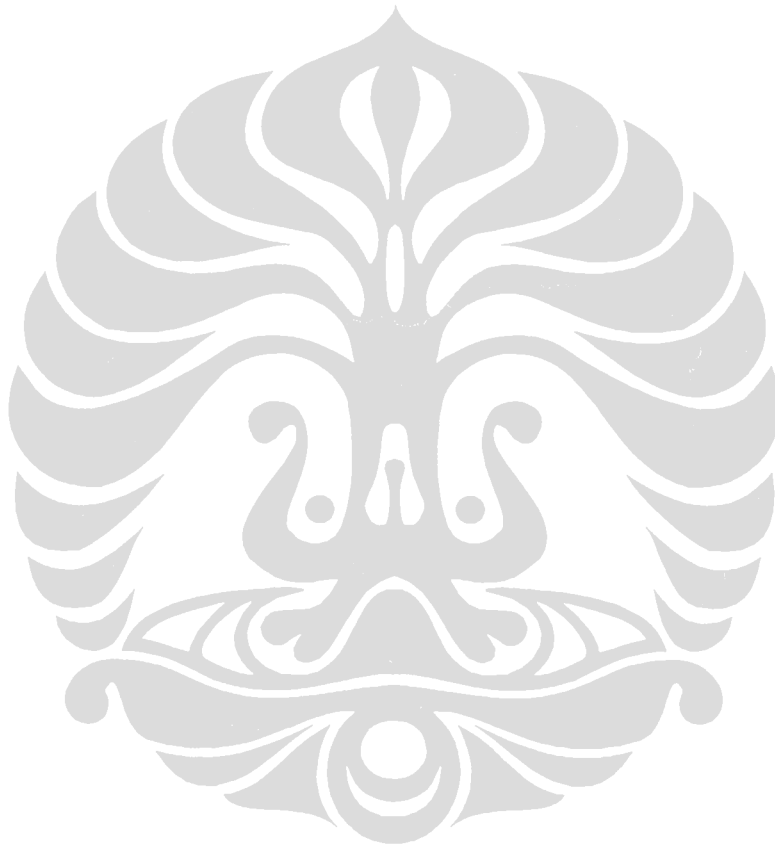
Ventilasi udara merupakan salah satu hal yang perlu diperhatikan. Ventilasi udara yang buruk dapat menyebabkan kurangnya udara segar yang masuk dan buruknya distribusi udara yang ada. Ventilasi yang bersifat mekanik dengan proses pembersihan filter dan penggantian yang jarang dilakukan juga dapat menjadi salah satu penyebab timbulnya gejala iritasi (Finnegan et al. 1984; *the project Klima & Aibet Study* 1994). Peningkatan kecepatan ventilasi memang dapat melarutkan polutan yang dikeluarkan dari pabrik, kantor, dan pekerjaannya, tetapi efek buruknya juga dapat menyebabkan peningkatan pajanan polutan. Terdapat penelitian yang menunjukkan hubungan antara kecepatan ventilasi dengan peningkatan gejala SBS, meskipun studi lainnya juga tidak berhasil membuktikannya. Efek buruk kecepatan ventilasi berupa gejala-gejala pada kulit dan hidung dapat ditunjukkan pada gedung berventilasi mekanis tanpa AC. Pemberian kontrol ventilasi individu dapat mengurangi gejala SBS pada jangka waktu yang lama, kecuali jika terdapat debu udara dan spora fungi atau variasi temperatur yang tidak nyaman.

2.5.3.5 Karakteristik pekerja

Karakteristik pekerja yang berhubungan dengan SBS antara lain status kesehatan pekerja seperti alergi atau asma yang diderita pekerja yang bersangkutan, perilaku merokok, umur, jenis kelamin dan sebagainya. Menurut hasil penelitian yang dilakukan oleh NIOSH 1980 study (Spengler 2000) menyatakan bahwa umur diatas 40 tahun yang berhubungan dengan peningkatan gejala SBS. Pada umumnya, umur berkaitan dengan daya tahan tubuh, semakin tua umur seseorang maka semakin menurun pula daya tahan tubuhnya (Apte et al., 2005). Sedangkan menurut penelitian yang dilakukan oleh *Swedish Office Illness Project* (Sundell 1994). Dikatakan bahwa wanita memiliki risiko mengalami gejala SBS lebih besar yaitu sebanyak 35% dibandingkan dengan laki-laki yang hanya 21%. Selain itu, berdasarkan studi Swedish di pertengahan tahun 1990 ditemukan adanya peningkatan gejala-gejala SBS dengan *Environmental Tobacco Smoke* (ETS).

2.5.3.6 Faktor psikososial atau stress

Faktor psikososial atau stress juga ikut mempengaruhi terjadinya SBS pada seorang pekerja. Menurut survey EPA dan *Library of Congress*, ditemukan bahwa faktor psikologis seperti beban kerja yang tinggi dan ketidakpuasan dapat meningkatkan rata-rata gejala SBS (Wallace et al., 1991; Marmot et al., 1997).



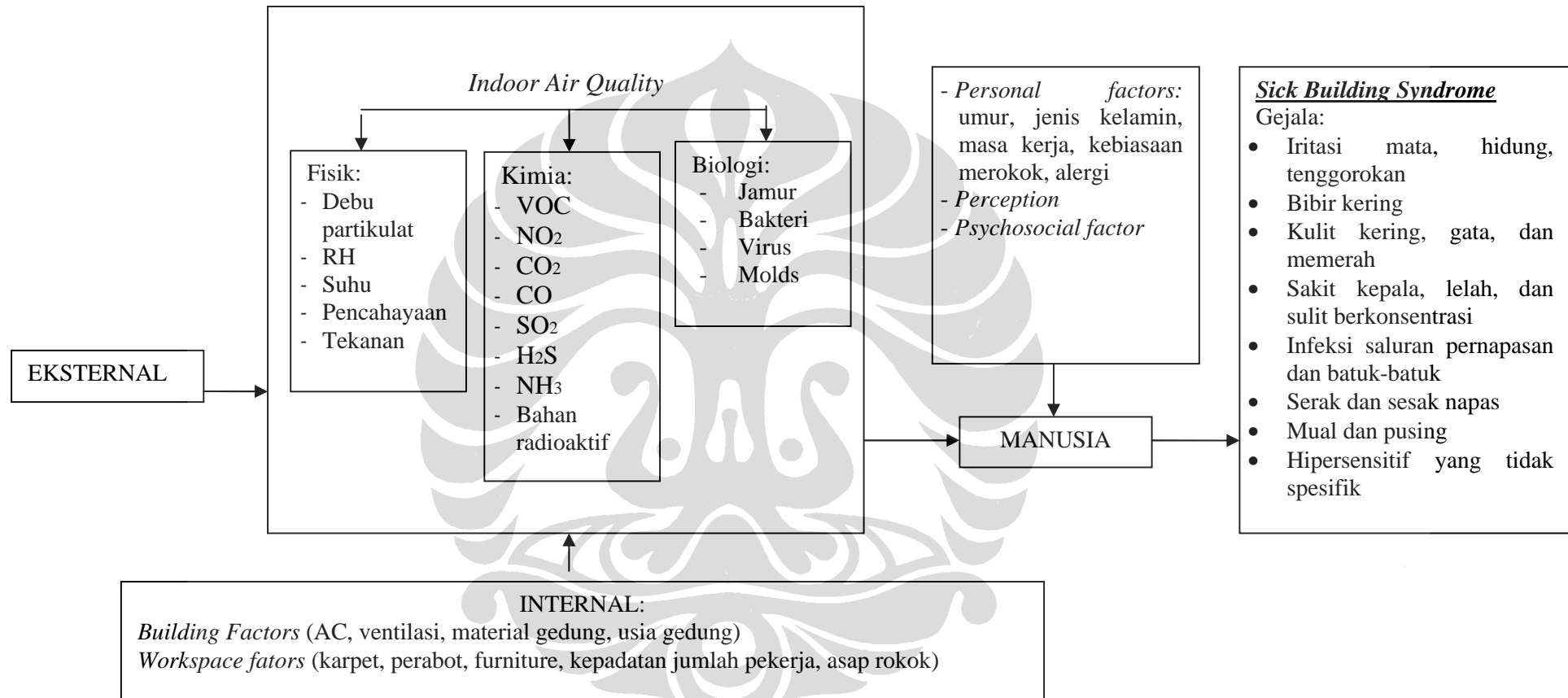
BAB III

KERANGKA TEORI, KERANGKA KONSEP, HIPOTESIS, DAN DEFINISI OPERASIONAL

3.1 Kerangka Teori

Pada kerangka teori ini dapat dijelaskan bahwa pada penelitian ini akan dijabarkan gabungan beberapa teori mengenai faktor- faktor yang mempengaruhi gejala *Sick Building Syndrome* (SBS), dalam hal ini yang akan dijelaskan yaitu kaitannya dengan *Indoor Air Quality* (IAQ) pada beberapa gedung bertingkat di DKI Jakarta. Dalam *Indoor Air Quality Handbook* (Spengler, et al 2000) dituliskan bahwa gejala *Sick Building Syndrome* (SBS) dapat dipengaruhi oleh multifaktor dan saling berkaitan yang dapat dijelaskan melalui bagan berikut:



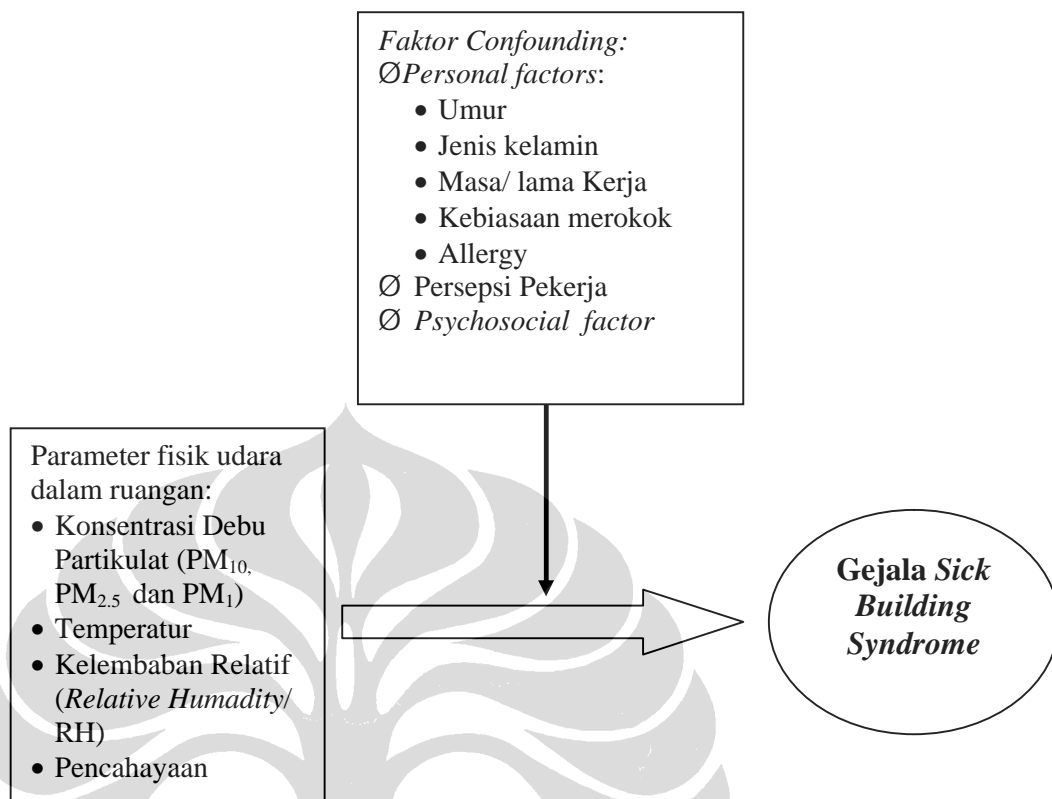


Gambar 3.1 Kerangka Teori (*Indoor Air Quality Handbook*)

3.2 Kerangka Konsep

Berdasarkan kerangka teori diatas yang merupakan gabungan dari berbagai teori, dapat dinyatakan bahwa pekerja yang berada dalam gedung selama waktu tertentu dapat mengalami gangguan kesehatan yang disebut *Sick Building Syndrome* (SBS). Penyebab gangguan ini multifaktor dan saling berkaitan. Salah satu faktor risiko yang terpenting adalah kualitas udara dalam ruangan bangunan suatu gedung bertingkat.

Kualitas udara dalam ruangan terdiri dari tiga parameter yaitu parameter fisik, kimia dan biologi. Pada penelitian ini, peneliti hanya membatasi variabel independen yang diukur adalah parameter fisik udara dalam ruangan yang berupa konsentrasi debu partikulat (PM_{10} , $PM_{2.5}$, dan PM_1), temperatur, kelembaban udara, dan pencahayaan. Selain itu, pada penelitian ini juga akan diperhitungkan variabel independent lain yang juga turut mempengaruhi SBS sebagai faktor *confounding* yaitu *personal factor*, persepsi pekerja, dan *psychosocial factor*. Sedangkan variabel dependen adalah gejala SBS pada pengguna gedung yang bekerja dalam gedung yaitu berupa kumpulan gejala non spesifik yang dialami pegawai berupa iritasi mata, hidung, tenggorokan; bibir kering; kulit kering, gatal, dan memerah, sakit kepala, lelah, dan sulit berkonsentrasi; infeksi saluran pernapasan dan batuk-batuk; serak dan sesak napas; mual dan pusing; hipersensitif yang tidak spesifik. Secara lebih detail kerangka konsep dapat dijelaskan melalui gambar 3.2



Gambar 3.2 Kerangka Teori

3.3 Hipotesis

1. Tidak ada hubungan antara parameter fisik kualitas udara dalam ruangan yaitu konsentrasi debu partikulat (PM_{10} , $PM_{2.5}$, PM_1), temperatur, kelembaban, suhu, dan pencahayaan dengan gejala *Sick Building Syndrome* (SBS) pada tiga gedung di DKI Jakarta
2. Tidak ada hubungan antara faktor *confounding* yaitu *personal factors*, persepsi pekerja, dan *psychosocial factor* dengan gejala *Sick Building Syndrome* (SBS) pada beberapa tiga gedung di DKI Jakarta

3.4 Definisi Operasional

No.	Variabel	Definisi	Skala Ukur	Hasil Ukur	Alat Ukur	Cara Ukur
1.	<i>Sick Building Syndrom</i>	Situasi dimana penghuni gedung (bangunan) mengeluhkan permasalahan kesehatan dan kenyamanan yang akut, yang timbul berkaitan dengan waktu yang dihabiskan dalam suatu bangunan, dengan gejala yang tidak spesifik seperti iritasi mata, hidung, tenggorokan; bibir kering; kulit kering, gatal, dan memerah; sakit kepala, lelah, dan sulit berkonsentrasi; infeksi saluran pernapasan dan batuk-batuk; serak dan sesak napas; mual dan pusing; hipersensitif yang tidak spesifik (sensitif terhadap debu, bahan kimia, atau asap rokok), dimana salah satu dari gejala tersebut dirasakan sedikitnya oleh 30 % dari pengguna gedung. (EPA, 1991, WHO, 1984)	Ordinal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bukan kasus, bila responden tidak mengalami gejala yang memenuhi kriteria kasus dan salah satu gejala tersebut tidak dialami oleh 30 % dari total responden 2. Kasus, bila responden mengalami gejala yang memenuhi kriteria kasus dan salah satu gejala tersebut dialami oleh 30 % dari total responden 	Kuesioner	Kuesioner yang diisi oleh responden
2.	Konsentrasi debu partikulat (PM ₁₀ , PM _{2,5} , dan PM ₁)	Debu partikulat yang memiliki ukuran maksimum 10 mikron untuk PM ₁₀ , 2,5 mikron untuk PM _{2,5} , dan 1 mikron untuk PM ₁ dengan satuan mikrogram/m ³ ditempat karyawan bekerja selama 8 jam/hari. (Kepmenkes, 2002)	Ratio	mg/m ³	TSI <i>DustTrackPro</i>	Pengukuran

No.	Variabel	Definisi	Skala Ukur	Hasil Ukur	Alat Ukur	Cara Ukur
3.	RH (Kelembaban Udara)	Kondisi dalam ruangan yang mengandung uap air dalam udara	Ratio	%	<i>Thermo Hygrometer</i>	Pengukuran
4.	Suhu	Derajat panas atau dingin (temperatur) ruangan dalam gedung.	Ratio	°C	<i>Toxic Gas Monitor</i>	Pengukuran
5.	Pencahayaan	Situasi terang atau gelap suatu ruangan di dalam gedung	Ratio	Lux	<i>Luxmeter</i>	Pengukuran
6.	<i>Personal factors:</i> Umur	Jumlah tahun pekerja yang dihitung sejak lahir sampai tahun diadakan penelitian	Ordinal	1. < 29 tahun 2. > 29 tahun	Kuesioner	Kuesioner yang diisi oleh responden
	Jenis Kelamin	Status seksual pekerja yang dapat diketahui melalui pengamatan penampilan fisik	Ordinal	1. Laki-laki 2. Perempuan	Kuesioner	Kuesioner yang diisi oleh responden
	Kebiasaan Merokok	Kebiasaan responden merokok secara kontinu setiap hari, minimal satu batang sehari diruang kerja	Ordinal	1. Ya 2. Tidak	Kuesioner	Kuesioner yang diisi oleh responden
	Alergi	Riwayat penyakit alergi termasuk alergi dingin, alergi debu, dan alergi makanan yang dialami responden semasa hidupnya, dapat berupa gatal-gatal, bersin, flu, dan lainnya yang timbul saat terpajan suhu rendah.	Ordinal	1. Ya 2. Tidak	Kuesioner	Kuesioner yang diisi oleh responden

No.	Variabel	Definisi	Skala Ukur	Hasil Ukur	Alat Ukur	Cara Ukur
7.	<i>Psychosocial factors:</i>	Pendapat responden mengenai konflik yang sedang alami, tanggungjawab lain diluar pekerjaan, tingkat kepuasan kerja, beban kerja, dan stress kerja.	Ordinal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Baik, bila pekerja merasa tidak mempunyai konflik dengan siapapun, tidak memiliki tanggungjawab lain, merasa puas, tidak tertekan, dan tidak mengalami stress 2. Buruk, bila pekerja merasa mempunyai konflik dengan siapapun, memiliki tanggungjawab lain yang besar, tidak merasa puas, merasa tertekan, dan mengalami stress 	Kuesioner	Kuesioner yang diisi oleh responden

No.	Variabel	Definisi	Skala Ukur	Hasil Ukur	Alat Ukur	Cara Ukur
8.	Persepsi pekerja	Pandangan responden terhadap area kerja yang nyaman serta kondisi udara tempat mereka bekerja yang meliputi temperatur, sirkulasi udara, bau, kadar debu, tingkat kebisingan, pencahayaan, dan kelembaban	Ordinal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Baik, jika pekerja merasa kondisi lingkungan dan area kerja di dalam ruangan cukup nyaman 2. Buruk, jika pekerja merasa kondisi lingkungan dan area kerja di dalam ruangan tidak nyaman 	Kuesioner	Kuesioner yang diisi oleh responden