

## BAB II TINJAUAN TEORI

### 2.1 Pencemaran Udara

Pencemaran udara adalah kehadiran satu atau lebih substansi fisik, kimia, atau biologi di atmosfer dalam jumlah yang dapat membahayakan kesehatan manusia, hewan dan tumbuhan, mengganggu estetika dan kenyamanan, atau merusak properti. Definisi lain dari pencemaran udara adalah peristiwa pemasukan dan penambahan senyawa, bahan, atau energi ke dalam lingkungan udara akibat kegiatan alam dan manusia sehingga temperatur dan karakteristik udara tidak sesuai lagi untuk tujuan pernafasan yang paling baik. Atau dengan singkat dikatakan bahwa nilai lingkungan udara tersebut telah menurun (Hutagalung, 2008).

#### 2.1.1 Sumber Pencemar

Industri dianggap sebagai sumber pencemar karena aktivitas industri merupakan kegiatan yang sangat tampak dalam pembahasan berbagai senyawa kimia ke lingkungan. Sebagian jenis gas dapat di andang sebagai pencemar udara apabila konsentrasi gas tersebut melebihi tingkat konsentrasi normal dan dapat berasal dari sumber alami seperti gunung api, rawa-rawa, kebakaran hutan dan nitrifikasi biologi serta berasal dari kegiatan manusia (*anthropogenic source*) seperti pengangkutan, transportasi, kegiatan rumah tangga, industri, pembangkitan daya yang menggunakan bahan bakar fosil, pembakaran sampah, pembakaran sisa pertanian, pembakaran hutandan pembakaran bahan bakar (Hutagalung, 2008)

Sumber pencemaran udara dikelompokkan ke dalam 3 kelompok besar yaitu :

1. Sumber pencemaran udara menetap (*point source*) seperti asap pabrik, instalasi pembangkit tenaga listrik, asap dapur, pembakaran sampah rumah tangga dan lain sebagainya
2. Sumber pencemar udara yang tidak menetap (*non point source*), seperti gas buang kendaraan bermotor , pesawat udara, kereta api dan kegiatan-kegiatan lain yang menghasilkan gas emisi dengan lokasi berpindah – pindah.

3. Sumber pencemar udara campuran (*compound area source*) yang berasal dari titik tetap dan titik tidak tetap seperti bandara, terminal, pelabuhan dan kawasan industri (Rahman, dkk, 2004).

Pengelompokan ini sesuai dengan klasifikasi sumber pencemar udara yang ditetapkan oleh WHO tahun 2005, yaitu :

1. Sumber sebuah titik (*point source*) yang berasal dari sumber individual menetap dan dibatasi oleh luas wilayah kurang dari 1 x 1 km<sup>2</sup> termasuk didalamnya industri dan rumah tangga.
2. Garis (*line source*) adalah sumber pencemaran udara yang berasal dari kendaraan bermotor dan kereta
3. Area (*area source*) adalah sumber pencemaran yang berasal dari sumber titik tetap maupun sumber garis.

### 2.2.2 Sifat Fisik Pencemaran Udara

Menurut Mokono (2000), polutan primer dikelompokkan menjadi dua yaitu gas (senyawa karbon, senyawa sulfur, senyawa nitrogen, senyawa halogen) dan partikel. Bahan partikel ini dapat berasal dari proses kondensasi, proses dispersi maupun proses erosi bahan tertentu. Asap (*smoke*), sering kali dipakai untuk menunjukkan campuran bahan partikulat (*particulate matter*), uap (*fumes*) berikut yang dimaksud dengan :

1. Asap adalah partikel karbon yang sangat halus (sering disebut jelaga) dan merupakan hasil pembakaran yang tidak sempurna.
2. Debu adalah partikel padat yang dihasilkan oleh manusia dan merupakan hasil proses pemecahan suatu bahan.
3. Uap adalah partikel padat yang merupakan hasil dari proses sublimasi, destilasi atau reaksi kimia.
4. Kabut adalah partikel cair dari reaksi kimia dan kondensasi uap air.

## 2.2 Kualitas Udara Dalam Ruang (*Indoor Air Quality*)

*Indoor air quality* atau kualitas udara dalam ruang adalah salah satu aspek keilmuan yang memfokuskan pada kualitas atau mutu udara dalam suatu ruang yang akan dimasukkan kedalam ruang atau gedung yang ditempati oleh manusia (Idham, 2001).

Faktor – faktor yang mempengaruhi kualitas udara dalam ruangan adalah aktivitas penghuni ruangan, material bangunan, furniture dan peralatan yang ada di dalam ruang, kontaminasi pencemar dari udara luar ruang, pengaruh musim, suhu dan kelembaban udara dalam ruang, serta ventilasi. (Harn dan Tilley, 2003).

Menurut US-EPA (1995) ada empat elemen yang berpengaruh dalam *Indoor Air Quality* yaitu ;

1. Sumber yang merupakan asal dari kontaminan baik berasal dari dalam, luar atau dari system operasional mesin yang berada dalam ruangan.
2. *Heating Ventilation and Air Conditioning System* (HVAC)
3. Media yaitu berupa udara
4. Pekerja yang berada dalam ruangan tersebut mempunyai riwayat pernafasan atau alergi.

Pengertian *Indoor Air Quality* dari USA *Environmental Protection Agency* (EPA) adalah hasil interaksi antara tempat, suhu, system gedung (baik desain asli maupun modifikasi terhadap struktur dan sistem mekanik), teknik konstruksi, sumber kontaminan (material, peralatan gedung serta sumber dari luar) dan pekerja.

Manusia menghabiskan 90% waktunya dalam lingkungan konstruksi, baik di rumah maupun dikantor. Adapun ciri-ciri bangunan dewasa ini adalah kedap suhu, pertukaran udara bebas (masuknya udara segar) sangat sedikit, serta tergantung dengan system HVAC (*Heating Ventilation Air Conditioning*). Dua factor utam yang berpengaruh terhadap kualitas udara ruangan adalah udara itu sendiri (yang dipengaruhi oleh suhu udara ruangan, kelembaban, aliran udara, adanya gas pencemar, debu serta adanya bahan biologis) serta ventilasi (NIOSH).

### **2.2.1 Penyebab *Indoor Air Quality***

Biasanya factor penyebab tidak hanya tunggal dan spesifik, namun merupakan gabungan dari beberapa permasalahan tersebut. Kualitas udara dalam ruang dapat dilihat dari 3 hal, yaitu factor fisik, kimia, dan biologi.

### 2.2.1.1 Kualitas Fisik (Agen Fisik) Udara Dalam Ruang

#### 1. Temperatur dan suhu

Suhu udara sangat berperan dalam kenyamanan bekerja karena tubuh manusia menghasilkan panas yang digunakan untuk metabolisme basal dan muscular. Suhu udara ruang kerja yang terlalu dingin dapat menimbulkan gangguan bekerja bagi karyawan, yaitu gangguan bekerja dengan tenang karena berusaha untuk menghilangkan rasa dingin (Prasasti, 2005).

Panas dalam ruangan diproduksi oleh tubuh sebagai proses biokimia yang berhubungan dengan pembentukan jaringan, konversi energi dan kerja otot. Panas yang dihasilkan oleh proses metabolisme dapat dibagi menjadi dua, yaitu metabolisme basal misalnya proses otomatis seperti mengontrol kerja otot (Fardiaz, 1992).

Tingkat panas didominasi oleh temperatur sekitarnya, namun demikian standar udara kering atau pengukuran udara ambient sering tidak cukup sebagai indikator untuk kriteria tingkat kenyamanan (Pudjiastuti, 1998).

Temperatur diukur dengan menggunakan termometer untuk mewakili keadaan penghuni. Hasil dari *northern european studies* bahwa ada hubungan antara peningkatan temperatur sekitar 23°C, kepadatan penghuni dan ventilasi terhadap gejala – gejala ketidaknyamanan dalam ruang. Agar ruang kerja perkantoran memenuhi persyaratan, bila suhu >28°C perlu menggunakan alat penata udara seperti *air conditioner* (AC), kipas angin. Dan lain – lain. Bila suhu udara luar <18°C perlu menggunakan alat pemanas ruang (Emma Yulini, 2002).

Menurut Oktora (2008), pegawai yang bekerja didalam ruangan dengan suhu lebih dari 26°C mempunyai risiko 3,363 kali lebih besar untuk mengalami SBS, dibanding dengan pegawai yang bekerja dalam ruangan dengan suhu udara 26°C atau lebih rendah.

Sedangkan menurut Rahyuningsih (2001), dengan OR=0,917 responden yang berada diruangan yang suhunya atau sama dengan 29°C akan mempunyai risiko SBS sebesar 0,917 kali dengan responden yang berada di ruangan dengan suhu dibawah 29° C.

## 2. Kelembaban Relatif

Air bukan merupakan polutan, namun uap air merupakan pelarut untuk berbagai polutan dan dapat mempengaruhi konsentrasi polutan di udara. Uap air dapat menumbuhkan dan mempertahankan mikroorganisme di udara dan juga dapat melepaskan senyawa – senyawa volatile yang berasal dari bahan bangunan, seperti *formaldehyde*, ammonia, dan senyawa lain yang mudah menguap, sehingga kelembaban yang tinggi melarutkan senyawa kimia, lalu menjadi uap dan akan terpapar pada pekerja (Fardiaz, 1992).

Ruang yang lembab dan dinding yang basah akan sangat tidak nyaman dan mengganggu kesehatan manusia (Pudjiastuti, dkk, 1998).

## 3. Kecepatan Alir Udara

Kecepatan aliran udara mempengaruhi gerakan udara dan pergantian udara dalam ruang. Kecepatan aliran udara yang nyaman bagi suatu ruangan besarnya berkisar antara 0,15 sampai dengan 1,5 meter/ detik. Kecepatan udara kurang dari 0,1 meter/ detik atau lebih rendah menjadikan ruangan tidak nyaman karena tidak ada pergerakan udara. Sebaiknya bila kecepatan udara terlalu tinggi akan menyebabkan kebisingan di dalam ruangan (Arismunandar dan Saito, 1991)

## 4. Kalor Radiasi

Bahan kalor radiasi rata – rata diperhitungkan dengan perencanaan system ventilasi. Hal ini berkaitan dengan besarnya kalor yang diterima udara dalam ruang. Semakin tinggi kalor yang diterima maka beban ac semakin besar sehingga pengelolaan gedung kurang efisien (Aris Munandar dan Saito, 2002).

Sumber penghasil kalor antara lain reaksi eksotermik dari bahan – bahan kimia, kalor yang dilepas lampu, system pemanas ruangan, sinar matahari yang masuk serta tungku kompor untuk memasak. Selain itu terdapat pula sumber yang dapat menyerap kalor radiasi, yaitu jendela yang terbuka, dinding yang tidak dilapisi dengan baik serta lantai tanpa pelapis (Kodak, 1990).

#### 5. 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.

#### 6. Bau

Bau merupakan factor kualitas udara yang penting. Bau dapat menjadi petunjuk keberadaan suatu zat kimia berbahaya, seperti *hidrogen sulida*, ammonia dan lain – lain. Selain itu bau juga dihasilkan oleh berbagai proses biologi oleh mikroorganisme. Kondisi ruangan yang lembab dengan suhu tinggi dan aliran udara yang tenang biasanya menebarkan bau kurang sedap karena proses pembusukan oleh mikroorganisme (Mukono, 1993).

#### 7. Ventilasi

Yang dimaksud dengan ventilasi adalah proses, dimana udara bersih dari luar ruang secara sengaja dialirkan ke dalam ruang dan udara yang buruk dari dalam ruang dikeluarkan. Ventilasi ini dapat berlangsung secara alami maupun mekanik. Kualitas udara dalam ruang masih tergantung pada kualitas udara yang ada diluar ruang. Bila kualitas udara luar ruang cukup baik, maka kualitas udara dalam ruang pun akan baik, maka sebaiknya bila kualitas udara luar ruang buruk, maka kualitas udara dalam ruangpun akan ikut menjadi buruk (Pudjiastuti, 1998).

#### 8. Kebisingan

Kebisingan adalah terjadinya bunyi yang tidak dikehendaki sehingga mengganggu atau membahayakan kesehatan. Tingkat Kebisingan di ruang kerja maksimal 85 dBA (Depkes RI, 2002). Biasanya kebisingan berasal dari mesin – mesin industri, alat perkantoran yang menimbulkan bunyi yang cukup tinggi, dan lain – lain.

#### 9. Radon (Rn)

Dipasaran beredar beberapa jenis bahan bangunan yang terbuat dari bahan tambang maupun sisa pengolahan bahan tambang maupun sisa peneglolahan bahan tambang yang berkadar radioaktif tinggi. Beberapa bahan tersebut antara lain asbes, garnit, *italian tuff*, gipsa, batu bata dari

limbah pabrik aluminium, *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 (Anies, 2004).

### 2.2.1.2 Kualitas kimia (agen kimia) udara dalam ruang

#### 1. Karbon monoksida (CO)

Karbon monoksida merupakan pencemaran udara yang paling besar dan umum dijumpai. Sebagian besar CO terbentuk akibat proses pembakaran bahan – bahan yang digunakan sebagai bahan bakar. Karbon monoksida pada udara ruang biasanya berasal dari peralatan – peralatan yang digunakan dan mudah terbakar. (Pudjiastuti, 1998).

#### 2. Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>)

Konsentrasi karbon dioksida dalam atmosfer yang tidak tercemar sekitar 0.03%. Tetapi 5% udara yang kita keluarkan adalah karbon dioksida, sehingga bila kita berada dalam ruangan yang ventilasinya kurang baik, menyebabkan kenaikan CO<sub>2</sub> dalam ruang (Pudjuastuti, 1998)

#### 3. NO<sub>x</sub>

Nitrogen oksida merupakan pencemar. Sekitar 10% pencemar udara setiap tahun adalah nitrogen oksida. NO yang ada di udara belum lama diketahui, kemungkinan sembarinya berasal dari pembakaran pada suhu tinggi. Mula – mula terbentuk no tetapi zat ini akan mengalami oksidasi lebih lanjut oleh oksigen atau ozon, dan menghasilkan NO<sub>2</sub>. Nitrogen oksida yang terdapat dalam udara ambient dapat masuk kedalam ruang yang akan mempengaruhi kualitas udara dalam ruang.

#### 4. Timbal (Pb)

Timbal (Pb) merupakan gas buang yang dapat membahayakan kesehatan bersifat akut dan kronik, gangguan bersifat akut seperti akut seperti mual, muntah, sakit perut dan lainnya. Sedangkan gangguan bersifat kronik seperti depresi, sakit kepala, sulit tidur (Devi Nurani Santi, 2001). Sumber pb dalam ruang biasanya berasal dari debu cat (Pudjiastuti, 1998).

#### 5. Volatile Organik Compound (VOC)

Senyawa organik yang volatile menurut World Health Organization (WHO, 1986) adalah sebagai senyawa organik dengan titik uap didalam rentang 50-260°C. Senyawa – sebyawa ini berbau tajam yang dilepaskan dari perabot – perabot bahan rumah tangga. Sumber – sumber dari senyawa organik itu antara lain cat, pernis dan pelarut, pembersih, kosmetik dan produk – produk lainnya.

#### 6. *Formadehide*

Formadehide adalah gas yang tidak berwarna dengan bau yang menyengat. Banyak sekali bahan yang ada dalam ruangan dapat mengemisikan gas formadehide termasuk bahan yang diisolasi, flafon, kayu lapis, furniture kantor, lem karpet, bermacam – macam plastik, serat sintetis dalam karpet, pestisida, cat dan kertas. Tingkat emisi formadehide naik dengan kenaikan suhu (Pudjiastuti, 1998).

#### 7. *Particulate Matter* (PM<sub>10</sub>)

Debu merupakan salah satu bahan yang sering disebut sebagai partikel yang melayang di udara (*Suspended Particulate Matter/ SPM*) dengan ukuran 1 mikron sampai dengan 500 mikron. Dalam kasus pencemaran udara baik dalam maupun di ruang gedung (*indoor and out door pollutant*) debu sering dijadikan salah satu indicator pencemaran yang digunakan untuk menunjukkan tingkat bahaya baik terhadap lingkungan mauppun terhadap kesehatan dan keselamatan kerja.

Partikel debu akan berada di udara dalam waktu yang relative 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 relative berbeda.

### 2.2.1.3 Kualitas Mikrobiologi Udara Dalam Ruang

Mikroorganisme dapat berasal dari lingkungan luar (seperti serbuk sari, jamur dan spora) dan dapat juga berasal dari dalam ruang (seperti



serangga, jamur pada ruang yang lembab, kutu binatang peliharaan, bakteri). Mikroorganisme dapat menyebabkan reaksi alergi pernafasan seperti infeksi pada pernafasan, problem kesehatan yang luas disebabkan oleh mikroorganisme dalam lingkungan ruang sulit untuk diperiksa, namun pengaruh kesehatan diketahui cukup besar yang disebabkan oleh penyebaran beberapa organism (Pudjiastuti, 1998).

Menurut Pudjiastuti (1998), udara disuatu ruangan dalam rumah yang bersih, mungkin saja masih terdapat ratusan partikel – partikel biologi yang beraneka ragam dan teknologi tidak dapat menghitung keberadaan mereka semua. Mikroorganisme yang sering dijumpai didalam ruang adalah bakteri, jamur, serangga, atau partikel – partikel biologi lainnya.

### **2.3 Perilaku Merokok Di Dalam Ruangan**

Sebagai pencemar dalam ruangan, asap rokok merupakan bahan pencemar yang biasanya mempunyai kuantitas paling banyak dibandingkan dengan pencemar lain. Asap rokok yang dikeluarkan oleh seseorang perokok pada umumnya terdiri dari bahan pencemar berupa CO dan partikulat. Senyawa – senyawa yang terdapat dalam fase gas asap rokok pasif disamping CO dan CO<sub>2</sub>, terdapat pula sejumlah senyawa – senyawa seperti NO<sub>2</sub> dan NH<sub>3</sub>. Bagi perokok pasif hal ini juga merupakan bahaya yang selalu mengancam (Pudjiastuti, Dkk,1998).

Asap rokok dapat menyebabkan perubahan pada struktur dan fungsi system pernafasan pusat dan peripheral, alveoli, kapiler serta system kekebalan paru – paru. Asap rokok akan menimbulkan kerusakan local pada saluran pernafasan, antara lain hilangnya fungsi bulu getar untuk menghalau benda asing sehingga debu atau bahan – bahan pencemar yang lain akan lebih mudah masuk ke dalam paru (Amin, 1996).

### **2.4 Kepadatan Karyawan**

Kepadatan hunian akan mengakibatkan suhu ruangan yang disebabkan oleh pengeluaran panas badan yang akan meningkatkan kelembaban akibat uap air dari pernafasan tersebut. Semakin banyak jumlah penghuni rumah

maka semakin cepat udara ruangan mengalami pencemaran gas atau bakteri. Dengan banyaknya penghuni, maka kadar O<sub>2</sub> dalam ruangan menurun dan diikuti oleh peningkatan CO<sub>2</sub> ruangan adalah penurunan kualitas udara dalam rumah.

Bangunan yang sempit dan tidak sesuai dengan jumlah penghuninya akan mempunyai dampak kurangnya oksigen dalam ruangan sehingga daya tahan tubuh penghuninya menurun, kemudian cepat timbulnya penyakit (Yusup dan Sulistyorini, 2002).

## **2.5 Faktor Psikologis**

Factor psikologis meliputi kondisi kejiwaan (stress, hubungan antara rekan kerja dan kesepian bekerja), beban atau porsi pekerjaan (Hendrawati Utomo dan Alam Mariyono, 2005).

Beban kerja meliputi beban kerja fisik maupun mental. Akibat beban kerja yang terlalu berat atau kemampuan fisik yang terlalu lemah dapat mengakibatkan seorang pekerja menderita gangguan atau penyakit akibat kerja. Beban kerja adalah frekuensi kegiatan rata – rata dari masing – masing pekerjaan dalam jangka waktu tertentu.

## **2.6 Masa Kerja Pekerja**

Karyawan yang bekerja kurang dari lima tahun sebesar 78,65% dan sisanya (21,35 %) telah bekerja selama lebih dari 5 tahun. Lama tinggal dalam ruangan ber -AC rata-rata tiap harinya sangat bervariasi yaitu antara 6-8 jam sebesar 67,42 %, antara 2-5 jam sebesar 31,46 % sedangkan sisanya 1,12 % berada di ruangan ber - AC selama kurang dari 2 jam. Kualitas udara dalam ruangan ber -AC sangat ditentukan oleh sistem sirkulasi dan aktivitas yang dilaksanakan. Pencemaran udara dalam ruangan dapat terjadi karena berbagai aktivitas seperti merokok, penggunaan alat atau bahan pembersih ruangan, mesin fotokopi yang menghasilkan asap dan debu dalam ruangan. Seseorang yang terpapar dengan polutan tersebut dalam waktu yang lama akan mengalami keluhan yang lebih besar dibandingkan dengan yang terpapar kurang dari 2 jam/hari. (Prasasti, Corie Indria, dkk, 2005)

## 2.7 Kualitas Udara Radon

Radon merupakan gas mulia radio aktif, tiga isotop Radon yang ada di alam, yaitu  $^{219}\text{Rn}$ ,  $^{220}\text{Rn}$ , dan  $^{222}\text{Rn}$  berasal dari *Actinium*, *Thoronium*, dan *Uranium*. Ketiga isotop tersebut cukup besar radiasi yang memapari manusia, prinsipnya berdifusi dalam tanah dan air kepermukaan atmosfer dimana hasil luruhnya kemungkinan besar dihirup oleh manusia. (Bunawas, 2008)

### 2.7.1 Satuan Konsentrasi Radon

- 1 Konsentrasi radon dinyatakan dalam pCi per liter (pCi/l) atau Bq per liter (Bq/l).
- 2 Tingkat bahaya luruhan radon yang berhubungan dengan kanker paru-paru dinyatakan dengan Tingkat Kerja luruhan radon disebut *Working Level* (WL).
- 3 Biasanya digunakan WLM = working level month

### 2.7.2 Sifat – sifat gas Radon

- 1 Gas inert
- 2 Tidak berbau, tidak berwarna dan tidak dapat dirasakan
- 3 Radon meluruh menghasilkan anak luruhan berupa partikel padat dan berumur pendek (Po-218, Pb-214, Bi-214, Po-214). Po-218 dan Po-214 memancarkan partikel alpha yang potensial menyebabkan gangguan kesehatan.
- 4 Di udara radon menempel pada partikel debu halus dengan particle carrier 50 – 200 nm.

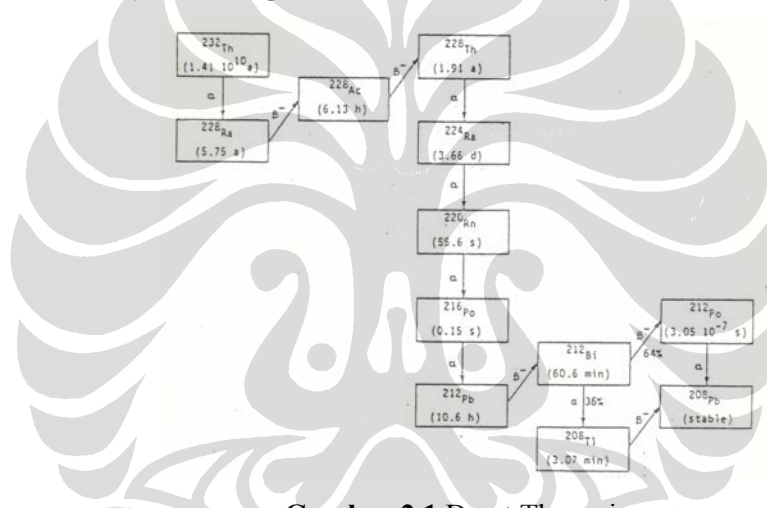
#### 2.7.2.1 Sifat Luruhan Radioaktif Isotop Radon

Sifat luruhan radioaktif dari isotop Radon yang ada dialam pada tabel dibawah :

1.  $^{219}\text{Rn}$  (*Actinon*), anggota dari deret *actinium* yang dimulai dari radionuklida berumur sangat panjang  $^{235}\text{U}$ . Konsentrasi  $^{219}\text{Rn}$  sangat kecil dialam, sebab konsentrasi induknya ( $^{235}\text{U}$ ) yang ada dibatuan dan tanah pada umumnya < 1% dari konsentrasi  $^{238}\text{U}$ . Bila digabungkan dengan umur paronya yang pendek yaitu (4 detik), maka sangat sulit mengukur isotop ini secara langsung di atmosfer. Beberapa pengukuran isotop telah

dilakukan dipengelolaan uranium, tetapi hanya pada kondisi yang khusus. (US. DEPARTEMEN OF ENERGY dalam Bunawas, 2008)

- $^{220}\text{Rn}$  (Thoron) adalah anggota dari deret thoronium flux.  $^{220}\text{Rn}$  sekitar 1.5  $\text{Bq/m}^3$  detik atau 40  $\text{pCi/m}^2$  detik, untuk tanah yang mengandung tiga isotop radon yang tinggi dengan asumsi konsentrasi  $^{238}\text{U}$  dan  $^{232}\text{Th}$  secara global sama dengan waktu paro dan  $^{220}\text{Rn}$  sekitar 56.6 detik. (Israel dkk, dalam Bunawas, 2008) berhasil mengukur  $^{220}\text{Rn}$  dalam pertimbangan dosimeter interna tidak cukup berarti, tetapi hasil luruhannya seperti  $^{212}\text{Pb}$  dan  $^{212}\text{Bi}$  perlu diperhitungkan. Dosis radiasi dari isotop luruhan thoron, perlu dipertimbangkan beberapa tambang dan tanah yang kaya akan thorium. (Wollenberg H.A dalam Bunawas 2008)



**Gambar 2.1** Deret Thoronium

- $^{222}\text{Rn}$  (Radon) adalah isotop radon yang berumur relative panjang (3,824 hari) anggota dari deret  $^{238}\text{U}$ . Flux radon tanah sekitar 17  $\text{mBq/m}^2$  detik atau 0.45  $\text{pCi/m}^2$  detik, kira – kira seribu kali lebih rendah dibandingkan flux  $^{220}\text{Rn}$ . Oleh karena itu waktu paro relative panjang distribusinya sampai di atmosfer. Dosis yang berarti dari  $^{222}\text{Rn}$  berasal dari hasil luruhannya yaitu  $^{218}\text{Po}$  (RaA) dan  $^{214}\text{Po}$  (RaC).

Berikut adalah tabel sifat luruhan radioaktif isotop radon :

**Tabel 2.1** Sifat Luruhan Radioaktif Isotop

Deret	Isotop	Nama sejarah	Umur paro	Energi Radiasi $\gamma$ Intensitas	
				Alpha (%)	Gamma (%)
Actinium	$^{219}\text{Rn}$	Actinion	3,96 detik	6,819 MeV (81) 6,553 MeV (100)	0,271%
Thoronium	$^{220}\text{Rn}$	Thoron	55,60 menit	6,288 MeV (100)	----
Uranium	$^{222}\text{Rn}$	Radon	3,824	5,490 MeV (100)	----

### 2.7.3 Radon dan Thoron dalam Ruangan

Menurut laporan UNSCEAR tahun 2000, radiasi alam memberikan kontribusi lebih dari 85 % radiasi yang diterima manusia. Sedangkan sekitar 14 % manusia menerima radiasi dari pemeriksaan medis. Hanya kurang dari 1 % berasal dari jatuhan percobaan nuklir dan aktivitas pembangkit nuklir lainnya. Diantara radiasi alam, radon (Rn-222) merupakan sumber radiasi alamiah yang signifikan. Radon merupakan sumber radiasi alamiah terbesar dan mencapai 50 % pada Tabel 2.1. Gas radon yang ada didalam ruangan dapat berasal dari tanah, batuan, bahan bangunan, air, gas LPG, dan lain – lain.

**Tabel 2.2** Persentase Radiasi Yang Diterima Manusia

Sumber	Persentase (%)
Natural	
Cosmic Rays	10
Gamma rays from ground and building	14
Internal from food and drink	11.5
Radon dan Thoron	50
Man made	
Medical	14
Other (nuclear discharges, occupational, fall out)	0.5

Gas Radon dari dalam tanah ini bergerak keatas karena adanya gradient tekanan udara melalui pori – pori tanah dan celah lantai bangunan. Gas radon di udara luar dapat pula masuk ke dalam ruangan karena terbawa angin dan masuk melalui celah – celah dinding ruangan dan konsentrasi aktivitasnya akan naik apabila ruangnya tertutup.

Radon dapat menempel pada partikel halus di udara dan akan terhirup serta meradiasi jaringan paru – paru dengan partikel alpha sehingga dapat menaikkan risiko kanker paru – paru. Isotop Radon yang lain yaitu Radon-220 (thoron) juga memiliki sifat yang sama tetapi dengan derajat paparan radiasi di paru – paru lebih kecil karena konsentrasi di lingkungan sangat kecil.

Kanker paru – paru akibat paparan radon disebabkan oleh inhalasi partikulat luruhan radon yang berumur pendek seperti  $^{218}\text{PO}$ ,  $^{214}\text{PB}$ ,  $^{214}\text{BI}$  atau  $^{214}\text{PO}$ . Hasil peluruhan radon yang terhirup di ruangan – ruangan memiliki diameter partikel *carrier* sekitar 50 – 200 nm. Sedangkan persentase radioaktivitas  $^{218}\text{PO}$  sebagai partikel super halus dengan diameter nanometer yang bervariasi antara beberapa persen hingga 50%.

### 2.7.3.1 Sumber radon di dalam ruangan

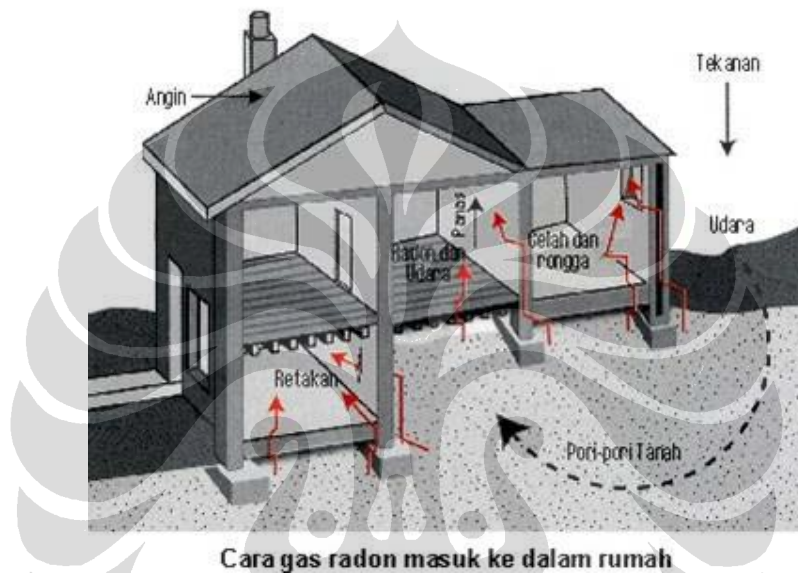
Aktivitas radon dan thoron dan hasil – hasil peluruhannya di udara sangat bervariasi menurut waktu dan kondisi geologis pada suatu daerah. Pengaruh kondisi geologis disebabkan oleh adanya distribusi radium di batuan tidak sama, sehingga radon yang dilepaskan juga tidak sama.

Konsentrasi radon dan luruhannya pada suatu daerah juga bervariasi menurut kondisi metrologies seperti arah dan kecepatan angin, suhu, tekanan, kelembaban dan laju perubahannya. Konsentrasi radon dalam ruangan biasanya juga lebih tinggi daripada konsentrasi di tempat terbuka serta bergantung pada jenis bahan bangunan dan laju ventilasinya.

Radiasi Radon sebenarnya masuk ke dalam radiasi terestrial, tetapi karena prosentasenya cukup besar di bumi, maka dibuat pembahasan sendiri. Radiasi yang berasal dari gas radon (Rn-222) merupakan sumber utama radiasi yang kita terima sehari-hari. Hal ini terjadi karena Rn-222 dapat bergabung dengan udara yang kita hirup. Kemudian, gas radon yang memancarkan radiasi alfa ini dapat mengiradiasi paru-paru sehingga akan meningkatkan risiko terkena

kanker.

Jika gas radon keluar dari tanah, gas radon akan terdispersi (tersebar) ke udara. Karena itu, konsentrasi radon di lingkungan udara terbuka akan kecil. Namun, jika gas radon memasuki ruangan tertutup, khususnya melalui lantai rumah, konsentrasinya akan meningkat. Berikut adalah gambar masuknya Radon ke dalam ruangan :



**Gambar 2.2** Cara Radon Masuk ke dalam Rumah (Nova, 2009)

Dosis efektif rata-rata dari gas radon ini sekitar 1,2 mSv (120 mrem) per tahun. Karena dosis total rata-rata (baik berasal dari radiasi alamiah maupun buatan) sekitar 2,8 mSv (280 mrem) per tahun, maka kontribusi dari radon ini sekitar 43% dari dosis total yang kita terima. Karena itu, kita harus mewaspadaai dosis radiasi yang berasal dari gas radon ini. Untuk mengurangi radiasi yang berasal dari gas radon, ruangan gedung harus memiliki ventilasi yang cukup agar gas radon dapat didispersikan oleh udara. Sumber radon adalah sebagai berikut :

1. Tanah dan batuan
2. Bahan bangunan
3. Air

4. Gas alam, LPG
5. Radon di atmosfer

Untuk lebih jelasnya sumber radon adalah sebagai berikut :

1. Tanah

Sumber utama radon dalam ruangan berasal dari tanah di bawah bangunan. Radon yang ada didalam tanah muncul kepermukaan akibat adanya perbedaan tekanan antara tanah dan ruang bangunan. Konsentrasi radium dalam tanah dan permeabilitas tanah menentukan konsentrasi radon yang masuk ke dalam ruangan. Konsentrasi  $^{226}\text{Ra}$  dan  $^{228}\text{Ra}$  yang terkandung ditinjau bagian atas berkisar 10-170 Bq/kg. Sedangkan di bawah tanah, ada berbagai jenis batuan (terkandung pada kondisi geologi) seperti *Granit, Andesit, Basalt, Gabro, Danite, Doirite, Clay* (tanah liat), skali dan lain – lain yang mengandung  $^{226}\text{Ra}$  maupun  $^{228}\text{Ra}$  berkisar 150-3.500 Bq/kg (Soman S D dalam Bunawas, 2008).

Gas radon yang berada didalam tanah, bersama-sama dengan gas tanah berdifusi dan bermigrasi dari tempat asal ke atmosfer salah satunya ke dalam rumah. Mekanisme perpindahan gas radon dari tanah kedalam ruangan tempat tinggal (rumah), dapat melalui beberapa jalan, yaitu :

- Transport secara difusi
- Transport melalui lantai yang retak
- Transport melalui fondasi yang tidak sempurna
- Transport melalui pipa jamban (WC) yang tidak sempurna

Beberapa peneliti mencoba mencari korelasi antara kondisi geologi suatu tempat dengan konsentrasi radon di dalam rumah. Hasil penelitian (Damniker dan Karabunch, 1988), membandingkan dua daerah yang kondisi geologinya sama (mengandung tanah liat atau *clay*) dimana daerah 1 berkadar Ra-226 sekitar 250 Bq/kg dengan emanasi radon 100 atom/detik kg. Ternyata konsentrasi radon di dalam rumah daerah I hampir 2 kali lebih besar dibanding kadar radon daerah 2. EPA bekerja sama dengan department geologinya ternyata kadar di dalam rumah pada dataran tinggi *Camberland* sekitar 48 Bq/m<sup>3</sup> daerah carbonate sekitar 10<sup>7</sup> Bq/m<sup>3</sup> dengan batuan granit sekitar 155 Bq/m<sup>3</sup> serta membandingkannya dengan kadar U dalam daerah



tersebut.

## 2. Bahan bangunan

Sumber berikut adalah bahan bangunan yang digunakan. Bahan bangunan tertentu seperti phospogypsum merupakan sumber radon yang cukup besar. (Table 2.1) menunjukkan berbagai sumber radon dari bahan bangunan.

**Tabel 2.3** Karakteristik sumber radon dalam bahan bangunan (Fujitaka, 1988)

Bahan bangunan	Negara	Laju lepasan radon per massa bahan ( $\mu\text{Bq. kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )
Beton berat	Uni soviet	3.2
Beton ringan	Uni soviet	4.1
Beton serpih	Denmark	440
Fly ash concrete (4%)	Amerika serikat	10
Fly ash concrete	Yunani	6.4-20
Beton	Hungaria	7.8
Beton	Yunani	2.9-5
Beton	Amerika serikat	2.5-20
Bata merah	Uni soviet	1.6
Bata merah	Hungaria	3.9
Bata merah	Amerika serikat	1.0
Bata	Denmark	0.17
Bata	Yunani	0.3-7.5
Gips	Amerika serikat	6.3
Storage rock	Amerika serikat	5
Kayu	Amerika serikat	0.2
Semen	Amerika serikat	1.0
Pasir	Amerika serikat	12
Kerikil	Amerika serikat	2.2

Berbagai organisasi EPA, NRPB, ISO, dan UNCEAR melaporkan bahwa beban bangunan mengandung kadar radium atau uranium yang bervariasi

mulai dari 10-2.500 Bq/kg bergantung pada jenis bahan bangunan. Kadar radium dalam bahan bangunan seperti beton, blok semen (batako) dan papan gypsum dalam beberapa tahun terakhir ini bertambah tinggi, karena pemakaian limbah hasil industri seperti abu terbang (*fly ash*) dari pembakaran batu bara dan *gypsum* dari proses pembuatan pupuk fosfat untuk pembuatan semen dalam (Tabel 2.2 dan 2.3) secara global diringkas kadar radium dalam beberapa bahan bangunan.

**Tabel 2.4** Konsentrasi Aktivitas Ra-226 dalam Bahan Bangunan

Bahan bangunan	<sup>226</sup> Ra (Bq/kg)
Kayu	1-2
Beton	10-80
Beton ringan	20-120
Ubin tegel	50-78
Papan dinding dan gip alam	4-10
Papan dinding dari phospo gypsum	27-90
Bata tanah liat (bata merah)	2-96
Bata kapur (bata putih)	12-38

**Tabel 2.3** Konsentrasi Aktivitas Ra-226 Dalam Limbah Yang Digunakan Untuk Bahan Bangunan

Bahan bangunan	<sup>226</sup> Ra (Bq/kg)
Gypsum	500-2000
Abu terbang	150-350
Kerak kalsium-selikat	1000-2000

Berdasarkan tabel 2.2 dan 2.3 diatas, maka dapat dipahami bahwa bahan bangunan merupakan sumber gas radon di dalam ruangan . Radon yang berada didalam bahan bangunan melalui cara :

- Aliran, bila dibahan bangunan mengandung uap air, uap air atau udara yang mengisi sela-sela porositas, dimana oleh radon digunakan sebagai media (sarana berpindah)
- Difusi, karena sifat radon beratom tunggal maka ia bergerak diantara lubang – lubang bagian dalam dari bahan bangunan dapat lolos ke atmosfer.

### 3. Air

Sumber lain adalah air yang berkadar radium tinggi. Kadar radon dalam air sangat bergantung pada asal air yaitu konsentrasi radon yang berasal dari air tanah lebih tinggi dari pada yang berasal dari air permukaan. Tetapi laju pelepasan radon dari air ke udara bergantung pada penggunaan air.

Air minum yang digunakan sehari hari untuk keperluan hidup, merupakan salah satu sumber radon didalam ruangan. Tinggi rendah kontribusi radon yang berasal dari air, tergantung pada system pengambilan air seperti air PAM, sumur, pompa bor dangkal, dan bor dalam (*Artesis*). Telah dibahas pada sumber air dari tanah, bahwa tanah mengandung  $^{226}\text{Rn}$  berkisar antara 10-170 Bq/kg, sedangkan  $^{226}\text{Rn}$  berkisar antara 15-3.560 Bq/kg dan tanah permukaan radon didalam ruangan.

### 4. Gas alam

Gas alam juga merupakan sumber radon yang cukup signifikan, seperti lpg yang digunakan sebagai bahan bakar. Bila dibakar, radon di dalam LPG terlepas dan menambah konsentrasi radon dalam ruangan.

#### 2.7.4 Sifat Radon dan Luruhannya Dalam Ruangan

Di dalam ruangan, radon akan meluruh menjadi anak – anak luruhannya yang berupa partikel zat padat dan berumur pendek, yaitu Po-218, Pb-214, Bi-214 dan Po-214. Dua diantara anak luruhannya tersebut yaitu po-218 dan po-214 di dalam peluruhannya juga melepaskan partikel alpha seperti halnya radon. Keberadaan anak luruhannya ini juga berbahaya bagi kesehatan manusia, bahkan melebihi bahaya radon.

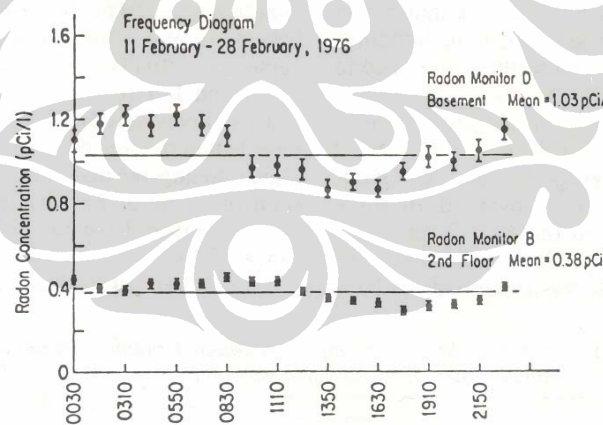
Menurut Fujitaka, ketika radon meluruh diudara, anak luruhannya yang pertama Ra-A (Po-218) berupa ion bermuatan positif. Pada awal kelahirannya partikel ini dalam keadaan bebas, namun tidak lama kemudian sekitar 10-100

detik, akan segera menempel pada debu udara (aerosol) menjadi Ra-A yang tidak bebas (Bunawas, 2008).

Di dalam ruangan, anak luruhan radon yang berupa partikel padat akan mengalami penyapuan dari udara melalui proses pengendapan (*deposition*) dan penempelan (*plate out*). Akibat adanya penempelan anak luruhan radon pada permukaan dinding, maka konsentrasi radon di dalam ruangan menjadi berkurang.

Pencemaran gas Radon mempunyai implikasi pada aspek kesehatan perkotaan. Hal ini mengingatkan bahwa di perkotaan. Hal ini mengingatkan bahwa di perkotaan banyak bangunan berpotensi menimbulkan SBS yang salah satunya adalah akibat pencemaran gas radon di dalam ruangan yang didesain tertutup (Anies, 2004).

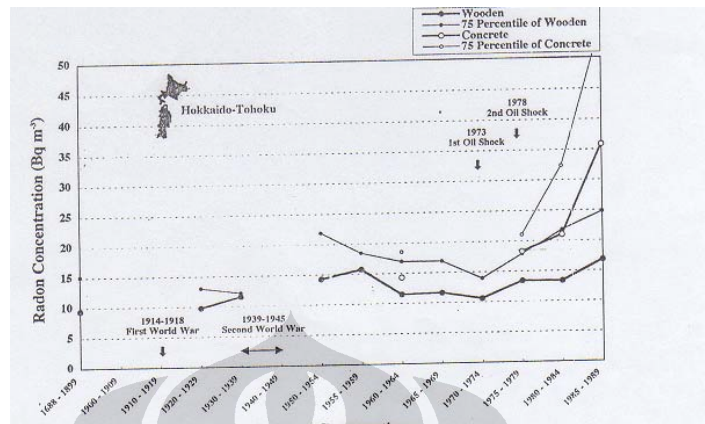
Radon dan Thoron akan menurun apabila gedung jauh dari permukaan tanah maka konsentrasi radon semakin rendah, tingkat konsentrasi Radon dan Thoron terhadap ketinggian lantai. Pada lantai 1 konsentrasi Radon dan Thoron 2 pCi/l, sedangkan lantai kedua konsentrasi Radon semakin menurun, dapat dilihat pada grafik berikut (Thomas, 1983) :



**Gambar 2.3** Grafik Variasi Konsentrasi Aktivitas Radon dan Thoron Lantai Basment Hingga Lantai Tertinggi Pada Gedung Hugarian Yang Menggunakan Bahan Bangunan Bata Merah

Menurut Fujimoto dan T.Sandra, melakukan penelitian mengenai konsentrasi radon, dilihat dari umur bangunan. Semakin lama umur bangunan

maka konsentrasi radon semakin meningkat. Berikut adalah penelitian Radon dan Thoron berdasarkan usia gedung :



**Gambar 2.4** Grafik Kecenderungan Konsentrasi Radon Menurut Usia gedung (Fujimto dan Sanada, 1999).

### 2.7.5 Upaya Perlindungan Terhadap Gas Radon dan Thoron

WHO (*World Health Organization*) dan CDC (*Centre for Disease Control*) mengemukakan beberapa upaya perlindungan dari aspek kesehatan masyarakat, agar kadar gas radon didalam ruangan dapat diminimalkan. Upaya – upaya tersebut merupakan kombinasi dari beberapa langkah sebagai berikut :

1. Ruangannya sebaiknya didisain berventilasi udara, meskipun sewaktu menggunakan AC (*Air Conditioner*) dalam keadaan tertutup. Sewaktu – waktu ruangan dapat menggunakan ventilasi.
2. Meningkatkan sirkulasi udara didalam ruangan pada waktu – waktu tertentu, misalnya dengan menggunakan kipas angin.
3. Bangunan sebaiknya menggunakan bahan asbes seminimal mungkin, apabila tidak dapat membebaskannya sama sekali. Pengecualian apabila bahan asbes ini dalam keadaan baik, sehingga serat asbes terikat kuat dalam matrik bahan. Hal ini memerlukan konsultasi kepada ahli tambang.
4. Tebal dinding yang terbuat dari batu bata merah, semen atau bahan tambang lain, berbanding lurus dengan kadar gas Radon yang berada di dalam ruangan pada periode waktu tertentu. Semakin kecil kadar gas radon yang berada di dalam ruangan pada periode waktu tertentu.

5. Karyawan maupun penghuni bangunan bertingkat yang berpenyejuk udara dan hampir tanpa ventilasi, dianjurkan untuk keluar ruangan dan enghirup udara segar setiap ada kesempatan. Langkah ini sebenarnya hanya memperlambat efek stokastik.

Diantara berbagai sumber radiasi alam, radon paling banyak mendapat perhatian, berkaitan dengan efek negative yang ditimbulkannya. Efek merug

Udara merupakan campuran gas, yang terdiri dari sekitar 78% *nitrogen*, 20% *o2*, 0,93% *argon*, 0,03% *co2* dan sisanya terdiri dari *neon* (ne), *helium* (HE), *metan* (CH4), dan *hydrogen* (H2). Udara dikatakan normal dan dapat mendukung kehidupan manusia apabila komposisinya seperti yang disebutkan di atas. Sedangkan apabila terjadi penambahan gas – gas lain yang menimbulkan gangguan serta perubahan komposisi tersebut, maka dikatakan udara sudah tercemar atau terpopulasi (Kastiyowati,2001).

Akibat aktivitas manusia, udara seringkali menurun kualitasnya. Perubahan kualitas ini dapat berupa.

## 2.8 Sick Building Syndrome

Menurut salah satu kantor berita yaitu BBC diperkirakan bahwa gejala SBS ini antara 20% samapai dengan 30% pada pekerja kanto. Namun SBS ini terjadi antara 20% pengguna gedung mempunyai keluhan- keluhan yang sama. Banyak kasus menunjukan gejala –gejala yang tidak jelas secara klinis sehingga tidak dapat diukur. Sebagian besar penderita adalah para pekerja rutin di gedung – gedung (WHO, 1983 dalam Rosa, 2008), dalam Pudjiastuti, dkk melaporkan empat SBS yang didapat dari berita surat kabar, dua sekolah, satu kanto pos dan satu pusat perawatan.

Berdasarkan penelitian (Hidayat, 2005), karyawan kantor yang banyak menghabiskan waktunya di gedung ber AC berpotensi besar terjangkit penyakit SBS. Gejala awalnya, sakit tenggorokan berkepanjangan, badan cepat letih, dan iritasi pada mata.

Istilah *sick building syndrome* (SBS) pertama kali diperkenalkan oleh para ahli dari negara skandinavia pada tahun 80-an. Sbs di kenal juga dengan Tigh Building Syndrome (TBS) karena sindroma ini sering dijumpai dalam ruang –

ruang pada gedung bertingkat. Namun dari penelitian NIOSH (*national institute for occupational safety and health*, USA) ditemukan pula gedung – gedung biasa dengan karakteristik kualitas udara yang buruk. Istilah sbs mempunyai dua peringatan yaitu :

1. Kumpulan gejala yang dilakukan seseorang atau kelompok orang meliputi perasaan – perasaan tidak spesifik yang mengganggu kesehatan berkaitan dengan kondisi gedung tertentu.
2. Kondisi tertentu berkaitan dengan keluhan atau gangguan kesehatan tidak spesifik yang dialami oleh penghuninya.

*Sick building syndrome* adalah sekumpulan gejala yang dialami oleh penghuni gedung atau bangunan, yang dihubungkan dengan waktu yang dihabiskan di dalam gedung, tetapi tidak terdapat penyakit atau penyebab khusus yang dapat diidentifikasi. Keluhan – keluhan timbul dari penghuni gedung pada ruang atau bagian tertentu dari gedung, meskipun ada kemungkinan penyebab pada seluruh bagian gedung (Hodgson, 2000).

SBS adalah suatu kondisi yang berhubungan dengan keluhan ketidaknyamanan seperti pusing, mual, dermatitis, iritasi saluran tenggorokan, hidung, mata dan saluran pernafasan, batuk, sulit konsentrasi, mual terhadap bau – bau, sakit/ atau pegal – pegal otot dan letih (Nasri, dkk, 1998).

Menurut definisi WHO, gejala SBS merupakan gejala yang dirasakan oleh sedikitnya 30 % dari okupan. Untuk itu, maka dapat disimpulkan bahwa gejala SBS yang dapat dikategorikan sebagai kasus SBS bagi responden hanyalah iritasi mata, kering bibir, sakit kepala, lelah, dan sulit berkonsentrasi serta infeksi pernapasan dan batuk-batuk

### **2.8.1 Gejala *Sick Building Syndrome***

Berbagai keluhan dan gejala yang timbul pada saat seseorang berada di dalam gedung dan kondisi membaik setelah tidak berada didalam gedung, besar kemungkinan karena menderita sbs. Kasus – kasus sbs tidak menunjukkan gejala – gejala yang khas dan secara obyektif tidak dapat diukur. Keluhan dan tanda berupa sakit kepala, lesu, iritasi mata maupun kulit serta berbagai masalah kesehatan, sering kali sulit diperoleh penyebab yang nyata dan kadang – kadang dihubungkan dengan sbs apabila terdapat riwayat

tinggal di gedung dengan kualitas udara yang buruk (Anies, 2004).

Menurut Iskandar (2007), sbs merupakan salah satu istilah yang jarang digunakan di Indonesia sehingga banyak orang tidak mengetahui apa artinya sbs adalah istilah yang mengacu pada sejumlah gejala alergi yang mempengaruhi sebagian pekerja kantor dalam suatu gedung selama mereka berada di dalam gedung tersebut dan secara berangsur menghilang setelah mereka meninggalkan gedung.

SBS muncul apabila terjadi apabila terjadi kondisi lingkungan yang tidak sehat di dalam gedung. Hal ini didasarkan dari penelitian – penelitian yang telah dilakukan oleh para ahli dalam gedung – gedung perkantoran yang memiliki berbagai fasilitas modern di dalamnya dan system ventilasi yang menggunakan AC.

Gejala SBS, sebagai dampak pencemaran udara dalam ruangan terhadap tubuh terutama pada daerah tubuh atau organ tubuh yang kontak langsung dengan udara meliputi organ sebagai berikut (Prasasti, dkk, 2005) :

1. Iritasi selaput lender : iritasi mata, mata pedih, mata merah, mata berair.
2. Iritasi hidung, bersin, gatal : iritasi tenggorokan, sakit menelan, gatal – gatal, batuk kering.
3. Gangguan neurotoksik : sakit kepala, lemah atau capai, mudah tersinggung, sulit berkonsentrasi.
4. Gangguan paru dan pernafasan : batuk, nafas berbunyi atau mengi, sesak nafas, rasa berat di dada.
5. Gangguan saluran cerna : diare atau mencret
6. Lain – lain : gangguan perilaku, gangguan saluran kencing, sulit belajar.

Keluhan tersebut biasanya tidak terlalu parah dan tidak menimbulkan kecacatan tetap, tetapi jelas terasa amat mengganggu, tidak menyenangkan dan bahkan mengakibatkan menurunnya produktivitas kerja para pekerja.

Gejala – gejala yang timbul memang berhubungan dengan tidak sehatnya udara di dalam gedung. Keluhan – keluhan tersebut biasanya menetap setidaknya dua minggu. Keluhan – keluhan yang ada biasanya tidak terlalu



hebat, tetapi cukup terasa mengganggu dan yang penting amat berpengaruh terhadap produktifitas kerja seseorang.

SBS baru dapat dipertimbangkan bila lebih dari 20 % atau bahkan sampai 50 % pengguna suatu gedung mempunyai keluhan – keluhan seperti di atas. Kalau hanya dua atau tiga kali orang maka mereka mungkin sedang kena flu biasa (aditama, 1991).

### 2.8.2 Penyebab *Sick Building Syndrome*

Kualitas udara ventilasi, pencahayaan serta penggunaan bahan kimia didalam gedung merupakan penyebab yang sangat potensial bagi timbulnya SBS. Kondisi semakin buruk jika gedung yang bersangkutan menggunakan ac yang tidak terawatt dengan baik (Apter *et al.*, 1994).

Namun di samping penyebab yang bersumber pada lingkungan penyebab lain keluhan sbs juga dipengaruhi oleh factor – factor di luar lingkungan seperti masalah pribadi, pekerjaan dan psikologis yang dianggap mempengaruhi kepekaan seseorang terhadap SBS.

Sedangkan factor – factor yang bersifat individual seperti jenis kelamin, riwayat alergi, stress emosional yang berkaitan dengan pekerjaan member andil bagi timbulnya SBS (Apter *et al.*, 1994).

Untuk mengerti penyebab SBS telah dilakukan penyelidikan terhadap banyak parameter. Tipikal parameter yang telah diselidiki (Liddament, 1990 dalam Pudjiastuti, dkk, 1998) dapat dilihat pada Tabel 2.4.

**Tabel 2.4** Parameter yang diselidiki pada *Sick Building Syndrome*

Parameter	Keterangan
System ventilasi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kecepatan ventilasi (terlalu cepat atau terlalu lambat)</li> <li>• Buruknya distribusi udara</li> <li>• System ventilasi yang tidak beroperasi</li> <li>• Pengatur suhu udara (AC)</li> <li>• Buruknya penyaringan</li> <li>• Buruknya perawatan</li> </ul>

Kontaminan gedung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Asbestos</li> <li>• Karbon dioksida</li> <li>• Karbon monoksida</li> <li>• Debu</li> <li>• Formaldehyde</li> <li>• Spora jamur</li> <li>• Kelembaban (terlalu tinggi atau rendah)</li> <li>• Ions</li> <li>• Bau</li> <li>• Polutan dari luar</li> <li>• Ozon</li> <li>• Pollen</li> <li>• Radon</li> <li>• Asap</li> <li>• Senyawa organik (<i>volatile</i>)</li> </ul>
Peghuni	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usia</li> <li>• Jenis kelamin</li> <li>• Status kesehatan</li> <li>• Pekerjaan</li> </ul>
Lain – lain	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bentuk gedung</li> <li>• Radiasi elektromagnetik</li> <li>• Tidak ada control lingkungan</li> <li>• Pencahayaan</li> <li>• Kebisingan</li> <li>• Factor psikologi</li> <li>• Stress</li> <li>• Terminal display</li> </ul>

*European concerted action* (1989) membagi ke dalam empat factor utama penyebab SBS yaitu ;

1. Factor fisik meliputi suhu, kelembabab, ventilasi, pencahayaan, kebisingan dan getaran, ion – ions dan debu (partikel)
2. Factor kimia meliputi merokok dalam ruangan, formadehid, *volatile organic compounds*, bioaerosol, gas – gas seperti CO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, dan bau.
3. Factor biologi
4. Factor psikologis

Hendrawati utomo dalam (Mariyo, 2005) Beberapa factor yag dapat menyebabkan SBS :

1. Faktor kimia, dipengaruhi oleh polusi dalam ruangan system ventilasi dan sanitasi seperti pembuangan CO<sub>2</sub>, CO, ozon, asap rokok, ammonia, radon, dan sebagainya.
2. Faktor fisik, gerakan yang salah atau sikap tubuh saat melakukan pekerjaan dan terjadi terus menerus dalam jangka waktu lama, tempat kerja serta peralatan kantor yang tidak tepat (penerangan, warna, ukuran tempat duduk atau meja), penggunaan AC sentral dan terlalu dinginnya udara dari ac, penggunaan computer dalam waktu lama.
3. Factor psikosial, berkaitan dengan kondisi kejiwaan (stress, hubungan antara rekan kerja dan kesiapan bekerja), beban atau porsi pekerjaan.

Penyebab dari gejala SBS menurut Soemirat, 2004, tidak jelas dan dapat bermacam – macam penyebabnya, tetapi yang jelas fenomena ini berkaitan dengan kondisi gedung serta kualitas udara yang tidak memenuhi syarat.

Berdasarkan evelusi penyebab SBS oleh niosh terhadap gedung perkantoran, sekolah, universitas, dan gedung pelayanan kesehatan selama tahun 1978-1989 telah ditemukan factor kondisi gedung yang diduga menyebabkan sbs. Factor ventilasi gedung yang tidak adekuat menjadi penyabab utama (>50 %), kontaminasi dalam ruang (> 20 %), kontaminasi mikrobiologi dan material bangunan masing – masing tidak lebih dari 5 %.

Beberapa factor yang berkaitan dengan kualitas udara dalam ruangan yang perlu diperhatikan dalam hubungannya dengan kejadian SBS (Kusnoputranto, 2000) :

1. Kondisi lingkungan dalam ruangan

Kondisi lingkungan yang sangat penting untuk diperhatikan adalah suhu ruangan, kelembaban, dan aliran udara. Ketiga hal tersebut dapat menyebabkan peningkatan absorbs polutan kimia dalam ruangan, peningkatan pertumbuhan mikroorganisme udara, dan timbulnya bau yang tidak sedap.

2. Kontruksi gedung dan *furniture*

Kontruksi bangunan dan *furniture* dapat melepaskan gas – gas polutan dalam ruangan, misalnya formadehide, serat asbes, cat, polutan dari karpet, fiberglass.

3. Proses dan alat – alat dalam gedung

Banyak polutan dilepaskan oleh alat – alat dan proses dalam gedung, misalnya ozon dari mesin fotokopi dan asap rokok.

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.

5. Status kesehatan pekerja

Status kesehatan pekerja antara lain adalah alergi atau asma yang diderita pekerja yang bersangkutan, perilaku merokok, pengguna alcohol, dan sebagainya

6. Factor psikososial atau stress

Factor psikososial atau stress juga ikut mempengaruhi terjadinya sds pada seorang pekerja.

Untuk dapat mengetahui penyebab syndrome ini maka perlu dilakukan penelitian terhadap situasi lingkungan udara di dalam suatu gedung. Niosh suatu badan untuk kesehatan dan keselamatan kerja amerika serikat telah memeriksa 446 gedungdi negara itu. Pemeriksaan ini dilakukan berdasarkan permintaan dari pemilik atau pengguna gedung – gedung itu untuk menilai apakah gedung tempat mereka bekerja masih dalam keadaan sehat atau tidak.

Hasil pemeriksaan NIOSH di bawah menunjukkan enam sumber utama pencemaran udara di dalam suatu gedung sebagaimana tampak pada Tabel

2.5 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. Sementara itu yang dimaksud dengan pencemaran dari luar gedung meliputi masuknya gas buang kendaraan bermotor yang lalu lalang, gas dari cerobong asap atau dapur yang terletak di dekat gedung, yang kesemuanya dapat terjadi akibat penempatan lokasi lubang pemasukan udara yang tidak tepat.

Pencemaran udara akibat bahan bangunan meliputi antara lain yang merupakan komponen bangunan pembentuk gedung tersebut. Di pihak lain, pencemaran akibat mikroba dapat berupa bakteri, jamur, protozoa, dan produk mikroba lainnya yang dapat ditemukan di saluran udara dan alat pendingin ac beserta seluruh systemnya. Akhirnya, gangguan ventilasi udara berupa kurangnya udara segar yang masuk, buruknya distribusi udara dan kurangnya perawatan udara segar yang masuk, buruknya distribusi udara dan kurangnya perawatan system ventilasi udara ternyata punya peranan besar dalam menentukan sehat tidaknya lingkungan udara di dalam suatu gedung.

**Tabel 2.5** Sumber Pencemaran Udara Dalam Gedung

Sumber	Persentase
Pencemaran dari alat – alat di dalam gedung	17%
Pencemaran dari luar gedung	11%
Pencemaran akibat bahan bangunan	3%
Pencemaran mikroba	5%
Gangguan ventilasi	52%
Tidak diketahui	12%

Sumber : Laporan NIOSH, 1984

### 2.8.3 Pencegahan *Sick Building Syndrome*

Pencegahan SBS harus dimulai sejak perencanaan sebuah gedung, penggunaan bahan bangunan mulai pondasi bangunan, dinding, lantai, penyekat ruangan, bahan perekat (lem) dan cat dinding yang dipergunakan,

tata letak peralatan tersebut. Perlu kewaspadaan dalam penggunaan bahan bangunan, terutama yang berasal dari hasil tambang, termasuk asbes. Dianjurkan agar gedung didesain berdinding tipis serta memiliki ventilasi yang baik. Pengurangan konsentrasi sejumlah gas, partikel dan mikroorganisme di dalam ruangan, dapat dilakukan dengan pemberian tekanan yang cukup besar di dalam ruangan. Peningkatan sirkulasi udara seringkali menjadi upaya yang sangat efektif untuk mengurangi polusi di dalam ruangan (Anies, 2004).

Bahan – bahan kimia tertentu yang merupakan polutan yang sumbernya berada dalam ruangan seperti bahan perekat, bahan pembersih, pestisida dan lain sebagainya sebaiknya diletakkan di dalam ruangan khusus yang berventilasi atau di luar ruang kerja. Untuk ruangan yang menggunakan karpet untuk pelapis dinding atau lantai secara rutin harus dibersihkan dengan penyedot debu apabila dianggap perlu dalam jangka waktu tertentu dilakukan pencucian, demikian juga untuk pembersihan ac harus secara rutin dibersihkan (Anies, 2004). Hindari pula menyalakan ac secara terus menerus, ac perlu dimatikan supaya kuman tidak berkembang biak di tempat lembab. Ketika ac mati, jendela – jendela perlu dibuka lebar – lebar agar sinar matahari masuk ke dalam ruangan, karena panas matahari akan membunuh sebagian besar kuman (Hidayat, 2005).

Tata letak peralatan elektronik memegang peranan penting. Tata letak terkait dengan jarak pajanan peralatan yang menghasilkan radiasi elektromagnetik tidak hanya dipandang dari segi ergonomic, tetapi juga kemungkinan dapat menimbulkan SBS (Anies, 2004).

Ada beberapa jenis tanaman atau pepohonan yang mampu mengurangi polusi di dalam ruangan karena merupakan penyaring udara yang paling efisien antara lain palem kuning, palem bambo, palem funiks, waregu, karet kebo dan paku sepat (Anies, 2004).

Meletakkan tanaman hias di sekitar ruangan kerja, berdasarkan penelitian mampu menguraikan udara tercemar dalam gedung. Tanaman yang bisa dipilih di antaranya bonsai beringin (*ficus benyamina*), palem weru (*rhapis sp*), jenis – jenis kaktus kecil (*cactus*), atau tanaman lidah mertua (*sansevieria*

sp).(Hidayat, 2005).

## 2.9 Baku Mutu Kualitas Udara Dalam Ruang

### 2.9.1 Keputusan Menteri Kesehatan Nomor 1405/Menkes/SK/XI/2002

Baku mutu kualitas udara dalam ruang berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan Nomor 1405/Menkes/SK/XI/2002, menyatakan bahwa persyaratan kesehatan lingkungan kerja perkantoran sebagai berikut :

Penyehatan udara ruangan :

1. Suhu dan Kelembaban :

- suhu : 18C-28C
- kelembaban : 40%-60%

2. Debu :

Kandungan debu maksimal didalam udara ruangan adalah rata-rata 8 jam adalah sebagai berikut :

- Debu total : konsentrasi maksimal 0.15 mg/m<sup>3</sup>
- Abses bebas : 5 serat/ ml udara dengan panjang serat, 5  $\mu$

3. Pertukaran udara :

Pertukaran udara : 0.283 m<sup>3</sup>/menit/orang dengan laju ventilasi : 0.15-0.25 m/ detik. Untuk ruangan kerja yang tidak menggunakan pendingin harus memiliki lubang ventilasi minimal 15% dari luas lantai dengan menerapkan system ventilasi silang.

4. Bahan pencemar :

Kandungan gas pencemar dalam ruang kerja, dalam rata-rata pengukuran 8 jam sebagai berikut :

**Tabel 2.6** Kandungan Gas Pencemar Dalam Ruang Kerja

No	Parameter	Konsentrasi maksimum	
		mg/m <sup>3</sup>	ppm
1	Asam Sulfida (H <sub>2</sub> S)	1	
2	Ammonia (NH <sub>3</sub> )	17	25
3	Karbon monoksida (CO)	29	25

4	Nitrogen dioksida (NO <sub>2</sub> )	5.60	25
5	Sulfur dioksida (SO <sub>2</sub> )	5.2	2

5. Mikrobiologi

- Angka kuman kurang dari 700 koloni/ m<sup>3</sup> udara
- Bebas kuman pathogen

6. Pencahayaan di ruangan

Persyaratan : Intensitas cahaya di ruang kerja minimal 100 lux

### 2.9.3 Standar Konsentrasi Radon Dalam Ruangan

**Tabel 2.7** Nilai Ambang Batas Radon

Institusi	Batasan	Keterangan
EPA	4 Pci/l atau 150 Bq/m <sup>3</sup>	Radon dalam ruangan
ICRP	200 bq/m <sup>3</sup>	Radon dalam ruangan

### 2.10 Dampak Pencemaran Udara Ruang pada Kesehatan manusia

Polusi udara dalam ruangan seperti asap rokok dapat menyebabkan infeksi saluran pernafasan bawah akut, penyakit paru obstruktif kronik, penyakit paru interstial dan kanker. Ini dapat terjadi pada perokok aktif maupun pasif. Asap rokok menyebabkan penyakit muncul apabila ada orang yang memiliki penyakit menular seperti batuk dan berbagai macam penyakit paru lain. Pusing kepala yang tidak jelas penyebabnya bias menyerang orang yang berada dalam ruang ber AC. Kondisi tersebut disebabkan oleh sirkulasi yang tidak baik, sehingga kadar CO yang dikeluarkan setiap orang ketika bernafas akan bertambah banyak udara yang berputar – putar dalam ruangan itu. Dalam jangka waktu tertentu O<sub>2</sub> menjadi berkurang dan terjadilah pusing kepala.

Pada keadaan udara dingin dapat nyebabkan kebekuan yang kemudian membuat cepat lelah, mengantuk, leher tegang, badan pegal –pegal, dan tulang linu. Selain itu udara dingin dapat menyebabkan kulit kering dan mudah pecah-pecah. (Rikomahoe, 2007)



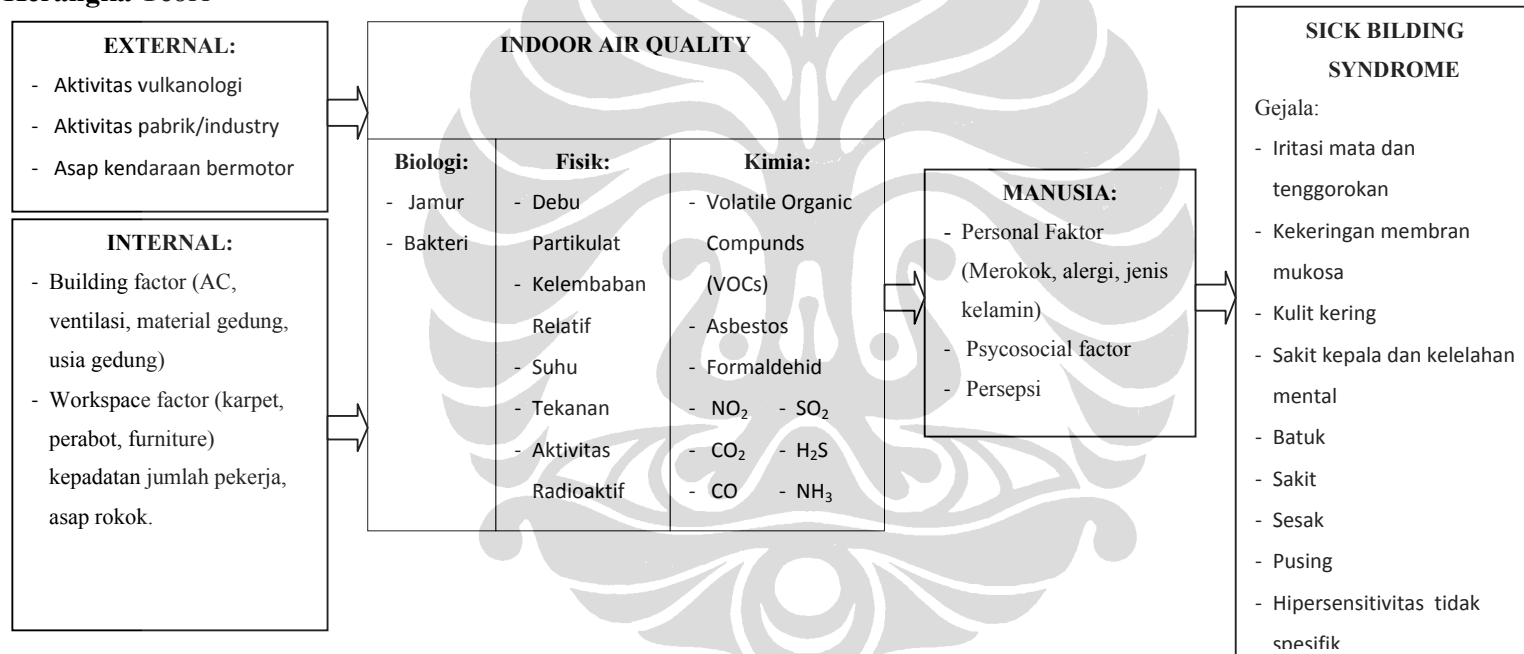
Selain keluhan – keluhan tersebut, kualitas udara yang tidak baik dalam ruangan dapat menyebabkan penyakit legionnaire. Fakta yang terjadi pada tahun 1976 di sebuah hotel di Philadelphia, Amerika Serikat. Ada 182 orang yang mengalami pegal – pegal, flu, sakit kepala, pusing, kejang otot, perut kembung, dan cepat lelah. Dari 192 orang sebanyak 29 orang kemudian meninggal dunia. Setelah diteliti ternyata kasus itu disebabkan oleh bakteri legionella. Bakteri itu hidup di alam bebas, terutama di daerah kelembaban tinggi, seperti sungai, danau, selokan, termasuk juga AC, terutama di bagian coling tower (Rikomahoe, 2007). Infeksi diketahui terjangkit melalui pernafasan ketika menghirup udara beraerosol tetesan air yang lembut terbawa udara yang menghubungkan bakteri legionella pneumophila. Infeksi ini tidak menular dari orang ke orang juga tidak karena meminum air yang terkontaminasi bakteri *Legionella*. (Wijanto, 2008).

*Legionella pneumophila* adalah bakteri penyebab infeksi pada saluran pernafasan. Penyakitnya disebut legionnaire disease. Penyakit ini bias tanpa gejala, tapi bias pula menunjukkan gejala seperti demam, menggigil, batuk kering dan berdahak, otot-otot ngilu, sakit kepala, lekas lelah, hilang selera makan, diare, hingga *pneumonia*. Pada taraf yang berat bias menyebabkan ginjal tidak berfungsi dengan baik. Ada beberapa jenis penyakit pernafasan lainnya yang bias dipicu oleh AC yang kotor, antara lain *Pontiac fever*, humidifier fever dan *hypersensitivity pneumonitis*. Penyakit- penyakit ini menunjukkan gejala yang serupa, seperti dema, sakit kepala, menggigil, kelelahan, dan ngilu otot.

Masa inkubasi penyakit ini sekitar 2-10 hari. Untuk mengetahuinya harus dilakukan pemeriksaan laboratorium melalui dahak dan urin. Lewat contoh dahak bias diketahui ada tidaknya bakteri, sedangkan lewat urin untuk mengetahui antigen legionellanya. Demam Pontiac biasanya akan sembuh tanpa pengobatan, sementara untuk *legionnaire* biasanya digunakan obat *Erythromycin*. (Rikomahoe, 2007).

**BAB III**  
**KERANGKA KONSEP DAN DEFINISI OPERASIONAL**

**3.1 Kerangka Teori**



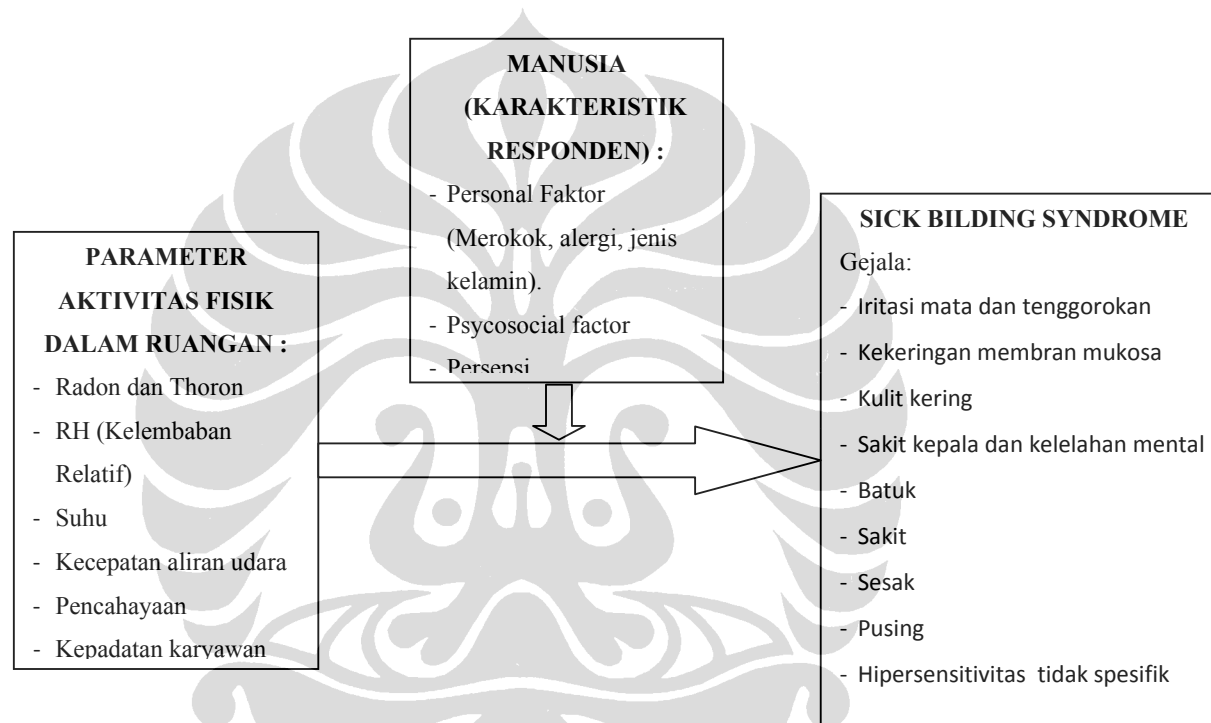
**Gambar 3.1** Kerangka Teori Sumber Jalur Dan Pengaruh Kualitas Udara Terhadap Kejadian SBS

### 3.2 Kerangka Konsep

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 ruang bangunan suatu gedung bertingkat. Kualitas udara dalam ruang terdiri dari tiga parameter yaitu parameter fisik, kimia dan biologi.

Pada penelitian ini, peneliti hanya membatasi variabel independen yang diukur adalah konsentrasi aktivitas gas radon yang ada didalam ruangan, 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 bagan dibawah :



**Gambar 3.2** Kerangka Konsep Penelitian

### 3.3 Hipotesis

Hipotesis hubungan antara kualitas udara dan SBS,

1. Hubungan Aktivitas Radon dan Thoron diudara dalam ruangan mempengaruhi gejala SBS.
2. Hubungan parameter fisik lainnya yang mempengaruhi (kelembaban , temperature, pencahayaan) dengan gejala SBS
3. Hubungan karakteristik responen (umur, menghirup asap rokok, lama kerja dan lama jam kerja) dengan gejala SBS.
4. Hubungan psikososial responden dengan gejala SBS.
5. Hubungan persepsi kondisi lingkungan kerja dengan gejala SBS



### 3.4 Definisi Operasional

**Tabel 3.1** *Sick Building Syndrome*

No	Variabel	Definisi Operasional	Hasil Ukur	Skala ukur	Cara ukur	Alat ukur
1.	SBS	<p>Bila minimal 1 gejala dialami oleh 30% responden. Gejala yang dialami adalah sebagai berikut :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Iritasi mata, hidung, tenggorokan</li> <li>- Rasa kering di bibir</li> <li>- Kulit kering, gatal-gatal, dan kemerahan</li> <li>- Sakit kepala, lelah, sulit berkonsentrasi</li> <li>- Infeksi pernafasan dan batuk-batuk</li> <li>- Serak dan sesak nafas</li> <li>- Mual dan pusing-pusing</li> <li>- Hipersensitivitas yang tidak spesifik</li> </ul>	<p>1 = Tidak SBS 2 = SBS</p>	Ordinal	Angket	Kuesioner

**Tabel 3.2** Karakteristik Responden

No	Variabel	Definisi operasional	Hasil ukur	Skala ukur	Cara ukur	Alat ukur
1.	Perilaku merokok dalam ruangan	Kebiasaan merokok responden dan rekan kerja dalam ruangan	1=Merokok 2=Tidak merokok (median)	Ordinal	Angket	Kuesioner
2.	Umur	Jumlah tahun sejak responden lahir hingga penelitian berlangsung	1=< 29 tahun 2=> 29 tahun (EPA)	Ordinal	Angket	Kuesioner
3.	Jenis kelamin	Sifat jasmani yang membedakan responden	1=Laki-laki 2=Wanita	Nomin-al	Angket	Kuesioner
4.	Lama bekerja	Jumlah masa kerja responden diruangan sekarang sampai waktu penelitian	1=< 3 tahun 2=> 3 tahun	Ordinal	Angket	Kuesioner
5.	Lama Jam Kerja di gedung	Jumlah berapa jam kerja didalam gedung selama 1 minggu	1=< 40 jam/ minggu 2=> 40 jam/ minggu	Ordinal	Angket	Kuesioner
6.	Persepsi kualitas	Indikator ketidaknyamanan indra penciuman (bau), penglihatan (pencahayaan) dan kulit	1= Baik 2=Tidak	Ordinal	Angket	Kuesioner

	udara dalam ruangan	(debu)	Baik			
7.	Hubungan Psikososial responden	Adanya keharmonisan antara responden dengan atasan, teman kerjanya dan masalah pribadi (social ekonomi) dan beban kerja di kantor	1=Baik 2=Tidak baik	Ordinal	Angket	Kuesioner

**Tabel 3.3** Parameter aktivitas fisik udara dalam ruangan

No	Variabel	Definisi operasional	Hasil Ukur	Skala Ukur	Cara ukur	Alat ukur
1	Radon dan Thoron	Kadar Radon dan thoron yang diukur di dalam ruangan tempat kerja	1= $\leq$ 200 Bq/m <sup>3</sup> (baik) 2= $\geq$ 200 Bq/m <sup>3</sup> (tidak baik) (ICRP)	Ordinal	3 kali masing-masing ruangan selama 15 menit	Radon-Thoron monitor Durrige RAD-7
2.	Suhu udara	Derajat panas atau dingin udara di ruangan tempat kerja	1=18 s/d 28 C (sesuai standar) 2= $\leq$ 18 dan $>$ 28 C (tidak sesuai standar) KepmenkesNOMOR 1405/MENKES/SK/XI/2002	Ordinal	15 menit pengukuran di titik episentrum ruangan tempat kerja	<i>Thermo-hygrometer Digital Model GMK-930HT</i>



3.	Kelembaban udara	Kandungan uap air di udara pada ruangan tempat kerja	1=40 s/d 60% (sesuai standar) 2=< 40% dan > 60% (tidak sesuai standar) KepmenkesNOMOR 1405/MENKES/SK/XI/2002	Ordinal	15 menit pengukuran di titik episentrum ruangan tempat kerja	<i>Thermo-hygrometer Digital Model GMK-930HT</i>
6.	Pencahayaan-an	Penerangan yang dirasakan nyaman oleh karyawan	1>=>100 lux (sesuai standar) 2=<100 lux (tidak sesuai standar) KepmenkesNOMOR 1405/MENKES/SK/XI/2002	Ordinal	15 menit pengukuran di titik episentrum ruangan tempat kerja	Lux meter