

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 State of The Art

Penyusunan penelitian ini mengambil beberapa referensi penelitian sebelumnya termasuk jurnal dan skripsi yang berhubungan dengan penelitian ini.

Tabel 2.1. *State of the Art*

| No | Judul Jurnal/Skripsi   | Hasil Penelitian   |
|----|--|--|
| 1  | <p><i>Fungi: Their role in deterioration of cultural heritage.</i></p> <p>Peneliti:<br/>Katja Sterflinger</p> <p>Tahun:<br/>18 Maret 2010</p> <p>Jurnal :<br/><i>British Mycological Society – Fungal Biology Reviews</i></p>  | <p><u>Alasan Menjadi Tujuan Penelitian :</u><br/>Jurnal ini berisi tentang jamur dan peranannya dalam kerusakan pada benda cagar budaya dan bagaimana cara mengetahuinya. Dari jurnal ini diketahui bahwa ada beberapa jenis jamur yang umum ditemui dalam bangunan cagar budaya dan material tertentu yang menjadi tempat berkembangnya jamur.</p> <p><u>Perbedaan penelitian :</u><br/>Penelitian ini hanya membahas tentang jamur pada benda cagar budaya. Jamur merupakan salah satu faktor yang diteliti namun masih ada faktor lain yang diteliti untuk mengetahui kualitas udara dalam ruang.</p> |
| 2  | <p><i>Defects and moisture problem in buildings from historical city centers: a case study in portugal.</i></p> <p>Penulis :<br/>Paulo B. Lourenco, Eduarda Luso,<br/>Manuela G. Alemeida.</p> <p>Tahun :<br/>4 Januari 2005</p> <p>Jurnal :<br/><i>Building and Environment</i></p> | <p><u>Alasan Menjadi Tujuan Penelitian :</u><br/>Jurnal ini berisi tentang masalah yang sering terjadi pada bangunan cagar budaya, dalam kasus ini pada rumah tinggal. Selain itu ada beberapa jenis jamur yang ditemukan pada bangunan cagar budaya dan bagaimana cara mengatasinya.</p> <p><u>Perbedaan penelitian :</u><br/>Perbedaan penelitian dari segi objek yang diteliti, bangunan cagar budaya yang diteliti masih asli belum menggunakan teknologi seperti AC.</p>  |

Tabel 2.1. *State of the Art* (sambungan)

|   |  |  |
|---|--|--|
| 3 | <p>Kajian kualitas udara dalam ruang (indoor air quality) di laboratorium klinik Paramita Surabaya.</p> <p>Penulis :<br/>Rani Prihatmanti</p> <p>Tahun:<br/>2009</p> <p>Skripsi :<br/>Universitas Kristen Petra, Surabaya – Desain Interior</p>                            | <p><u>Alasan Menjadi Tinjauan Penelitian :</u><br/>Skripsi ini menjelaskan bahwa kualitas udara dalam ruang berkaitan tentang terapan interior dan penguannya . dari situ maka diketahui bahwa desainer interior sangat perlu meneliti dan mempertimbangkan aspek kualitas udara saat akan mendesain suatu ruangan</p> <p><u>Perbedaan penelitian :</u><br/>Hampir 70% isi dari skripsi ini sesuai dengan penelitian yang akan dilakukan. Hanya berbeda dari segi objek penelitian dan tidak adanya pembahasan mengenai cagar budaya.</p>  |
| 4 | <p>Pengaruh kualitas udara dalam ruangan ber-AC terhadap gangguan Kesehatan.</p> <p>Penulis :<br/>Corie Indria Prasasti, J.Mukono, Sudarmaji</p> <p>Tahun :<br/>18 Februari 2005</p> <p>Jurnal :<br/>Kesehatan lingkungan vol 1 no 2 ( Universitas Airlangga Surabaya)</p> | <p><u>Alasan Menjadi Tinjauan Penelitian :</u><br/>Jurnal ini berkaitan dengan penelitian peneliti yang membahas tentang kualitas udara dalam ruang ber AC dimana salah satu objek penelitian peneliti adalah ruang kelas ber-AC. Dar jurnal ini di ketahui faktor – faktor apa saja yang perlu diteliti dan diperhatikan saat melakukan penelitian di lapangan.</p> <p><u>Perbedaan penelitian :</u><br/>Penelitian ini mengambil objek ruang kerja ber-AC, sedangkan objek penelitian peneliti adalah ruang kelas sekolah bangunan cagar budaya yang memungkinkan ada faktor – faktor penelitian yang berbeda.</p>   |
| 5 | <p>Faktor yang mempengaruhi <i>sick building syndrome</i> di ruang kantor</p> <p>Penulis :<br/>Alfreda Effie Ardian dan Sudarmaji</p> <p>Tahun :<br/>2 Januari 2014</p> <p>Jurnal :<br/>Kesehatan lingkungan vol 7 no 2 ( Universitas Airlangga Surabaya)</p>              | <p><u>Alasan Menjadi Tinjauan Penelitian :</u><br/>Pembahasan mengenai <i>sick building syndrome</i> memperkuat penelitian ini karena merupakan dampak lanjutan dari buruknya kualitas udara dalam ruang. Selain itu dalam penelitian ini juga diketahui alur masuknya polutan sehingga memudahkan dalam penganalisisan hasil penelitian kedepannya dan dalam jurnal ini juga mengungkapkan cara meminimalisir polutan dalam ruang.</p> <p><u>Perbedaan Penelitian:</u><br/>Penelitian ini hanya membahas tentang faktor lanjutan dari buruknya kualitas udara dalam ruang dan bagaimana cara mengatasinya. Penelitian ini berbeda dari segi objek dan faktor yang diteliti.</p> |

Tabel 2.1. *State of the Art* (sambungan)

|   |  |  |
|---|--|--|
| 6 | <p>Kualitas udara dalam ruang ber-AC dan keluhan kesehatan siswa.</p> <p>Penulis :<br/>Corie I. Prasasti, Sudarmaji, dan Retno Adriyani</p> <p>Tahun :<br/>1 juli 2013</p> <p>Jurnal :<br/>Kesehatan lingkungan vol 7 no 1<br/>( Universitas Airlangga Surabaya)</p> | <p><u>Alasan Menjadi Tinjauan Penelitian:</u><br/>Jurnal ini berkaitan dengan penelitian peneliti yang membahas tentang kualitas udara dalam ruang kelas berAC. Penelitian ini sangat membantu tentang faktor – faktor utama yang perlu untuk dilakukan penelitian dalam ruangan kelas ber AC, dampaknya bagi kesehatan siswa, bagaimana cara menanganinya dan peraturan – peraturan yang menjadi parameter penelitian.</p> <p><u>Perbedaan Penelitian :</u><br/>Penelitian ini berbeda karena objek penelitian tidak dilakukan di sekolah cagar budaya sehingga kemungkinan ada beberapa faktor yang berbeda yang ditemukan di dalam objek penelitian. Selain itu penelitian ini hanya membahas tentang ruang kelas yang menggunakan AC dan menggunakan metode penelitian yang berbeda.</p> |
|---|--|--|

Sumber : Diolah penulis, 2016

Menurut penelitian yang sebelumnya dilakukan dapat disimpulkan bahwa penelitian dengan judul “ Studi Kualitas Udara Dalam Ruang (IAQ) Pada Ruang Kelas Bangunan Cagar Budaya di Surabaya” belum pernah dilakukan.

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

### 2.2.1. Definisi Kualitas Udara Dalam ruang (*Indoor Air Quality*)

Terdapat beberapa definisi dari kualitas udara dalam ruang, antara lain :

- a. Menurut *United States Department of Labor*, kualitas udara dalam ruang menjelaskan bagaimana udara dapat mempengaruhi kesehatan, kenyamanan, dan kemampuan seseorang untuk bekerja. Hal ini dapat mencakup suhu, kelembaban, kurangnya udara luar (ventilasi yang buruk), jamur dan bakteri, atau paparan bahan kimia lainnya (par 1).
- b. Menurut *United States Environmental Protection Agency*, pengertian *indoor air quality* adalah mengacu pada kualitas udara di dalam dan di sekitar bangunan dan struktur, terutama yang berkaitan dengan kesehatan dan kenyamanan penghuni bangunan. Memahami dan mengendalikan polutan umum dalam ruangan dapat membantu mengurangi risiko masalah kesehatan

dalam ruangan. Efek kesehatan dari polusi udara dalam ruangan mungkin dialami segera setelah paparan atau beberapa tahun kemudian (par 1 – 2).

- c. Menurut NHMRC (*National Health Medical Research Council*), pengertian udara dalam ruang atau *indoor air quality* adalah udara yang berada di dalam suatu ruang gedung yang ditempati oleh sekelompok orang yang memiliki tingkat kesehatan yang berbeda-beda selama minimal satu jam. Ruang gedung yang dimaksud dalam pengertian ini meliputi rumah, sekolah, restoran, gedung untuk umum, hotel, rumah sakit dan perkantoran (dikutip dalam *Australian Government* par 3).

### **2.2.2. Faktor Yang Mempengaruhi Kualitas Udara dalam Ruang**

Kualitas udara dalam ruang suatu ruangan sangat dipengaruhi oleh banyak faktor, baik yang berasal dari dalam ruangan maupun dari luar ruangan. Ada dua faktor besar yang mempengaruhi kualitas udara dalam ruang yaitu, faktor fisik dan faktor kimia. Menurut Keputusan Kementerian Kesehatan (KeMenKes) No. 1405 Tahun 2002 yang termasuk dalam faktor fisik udara adalah temperatur (tekanan panas), kelembaban, dan pergerakan udara, sedangkan faktor kimia udara berupa zat berbahaya yang berada di udara. Kelembaban memicu timbulnya faktor mikrobiologi udara berupa jamur, bakteri dan kuman. Berikut penjelasan lebih detail mengenai faktor fisik, kimia, dan mikrobiologi :

#### **a. Faktor Fisik Udara**

##### **1. Temperatur**

Kota Surabaya memiliki iklim yang tropis dengan suhu rata – rata berkisar antara 26 °C hingga 34 °C. Sedangkan standar temperatur dalam ruang yang nyaman menurut KeMenKes untuk melakukan aktivitas kerja di dalam ruang adalah 18 – 28 °C.

##### **2. Kelembaban**

Menurut standar yang dikeluarkan oleh KeMenKes, kelembaban dalam ruang harus berkisar antara 40% - 60%. Jika kelembaban di dalam ruang diatas 60% bisa di atasi dengan penggunaan *dehumidifier*, ruangan yang terlalu lembab dapat memicu munculnya jamur di dinding. Sedangkan jika kelembaban di dalam ruangan dibawah 40% bisa di atasi

dengan penggunaan *humidifier*. Suhu yang relatif rendah dapat menyebabkan beberapa keluhan seperti pembuluh darah menyempit, leher atau tengkuk terasa kaku, kesemutan, hidung tersumbat, kembung dan pegal linu, serta sering buang air kecil yang mengakibatkan metabolisme terganggu. Gangguan dari ruangan dengan suhu yang rendah seringkali ditemukan di ruangan yang menggunakan pendingin ruangan (AC) dengan suhu yang terlalu dingin. Selain itu suhu udara yang tinggi juga mengakibatkan kelelahan, pingsan, mual dan pusing (Prasasti, Sudarmadji, dan R. Adriyani 17 – 18).

### 3. Pergerakan Udara

Pergerakan udara harus tetap dijaga agar tidak menimbulkan kelembaban dan korosi. Laju pertukaran yang ditetapkan oleh KeMenKes adalah sebesar 0,283 m<sup>3</sup>/menit/orang dengan laju ventilasi : 0,15 – 0,25 m/detik, dengan ketinggian lantai minimal 2,5 m. Untuk ruangan yang tidak menggunakan pendingin harus memiliki lubang ventilasi minimal 15% dari luas lantai dengan menerapkan sistem ventilasi silang.

#### b. Faktor Kimia Udara

Menurut KeMenKes kandungan gas pencemar dan debu dalam ruang kerja, dalam rata-rata pengukuran 8 jam sebagai berikut :

Tabel 2.2. Kandungan Gas Pencemar dan Debu Dalam Ruang

| No | Parameter                            | Konsentrasi Maksimal                               |     |
|----|--------------------------------------|--|-----|
|    |                                      | (mg/m <sup>3</sup> )                               | ppm |
| 1  | Asam Sulfida (H <sub>2</sub> S)      | 1  | -   |
| 2  | Amonia (NH <sub>3</sub> )            | 17   | 25  |
| 3  | Karbon Monoksida (CO)                | 29   | 25  |
| 4  | Nitrogen Dioksida (NO <sub>2</sub> ) | 5,60   | 3,0 |
| 5  | Sulfur Dioksida (SO <sub>2</sub> )   | 5,2  | 2   |
| 6  | Debu                                 | 0,15   | -   |
| 7  | Asbes Bebas                          | 5 serat/ml udara dengan panjang serat 5 u (Mikron) |     |

Sumber : Keputusan Menteri Kesehatan No. 1405 (2002, p.5)

Selain jenis zat – zat yang telah disebutkan diatas ada beberapa zat lain yang juga mempengaruhi kualitas udara dalam ruang seperti *formaldehyde*, lem, asbes, *fiberglass*, dan bahan lain yang merupakan komponen pembentuk gedung (Prasasti, Sudarmadji, dan R. Adriyani 17).

c. Faktor Mikrobiologi Udara

Faktor mikrobiologi udara muncul karena faktor fisik yang buruk. menurut Menurut standar yang telah ditetapkan KeMenKes jumlah angka kuman kurang dari 700 koloni/m<sup>3</sup> di udara dan bebas dari kuman patogen. Sedangkan menurut National Health and Medical Research Council (NH&MRC) total koloni jamur adalah 150 CFU/m<sup>3</sup>.

**2.2.3. Sumber Polutan Dalam Ruang**

Menurut Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 1407/MENKES/SK/XI/2002 timbulnya masalah kualitas udara dalam ruangan pada umumnya disebabkan oleh beberapa hal yaitu, Kurangnya ventilasi udara (52%), Adanya sumber kontaminan di dalam ruangan (16%), Kontaminan dari luar ruangan (10%), Mikroba (5%), Bahan material bangunan (4%), lain-lain (13%) (3).

Menurut Jagjit Singh (3) ada beberapa faktor yang mempengaruhi kualitas udara dalam ruang, yaitu :

a. Material :

Pemilihan material bangunan yang tidak tepat, mampu menghasilkan polutan dalam ruang. Berikut ini tabel daftar material yang dapat menghasilkan polutan, jenis polutan dan dampaknya bagi pengguna ruang.

Tabel 2.3. Jenis Material dan Polutan yang Dihasilkan

| No | Material atau produk                                       | Jenis polutan berbahaya yang dihasilkan         | Masalah kesehatan   |
|----|--|---|---|
| 1  | Kertas, tekstil , material bertekstur dan rak yang terbuka | Debu organik                                    | Iritasi mata, gangguan pernafasan, alergi, dan kanker paru - paru |
| 2  | Plafon gypsum, akustik, dan insulasi                       | Kalsium sulfat, Man-made mineral fibres (MMMMF) | Kanker paru – paru  |

Tabel 2.3. Jenis Material dan Polutan yang Dihasilkan (sambungan)

|    |  |  |   |
|----|--|--|---|
| 3  | Hasil pembakaran yang tidak sempurna                 | Karbon dioksida                                    | Sakit kepala, kelemahan, mual, gangguan penglihatan.                    |
| 4  | Tumbuhan, Ac central yang terkontaminasi, dan okupan | Debu biologis, jamur, bakteri, virus, dsb.         | Alergi, asma, iritasi mata, pusing, dll                                 |
| 5  | Mesin fotokopi dan alat pembersih (motorik)          | Ozon   | Iritasi mata, sakit kepala, pusing, lelah, asma, sensitivitas penciuman |
| 6  | Cat  | Amino, Timah hitam, Merkuri, formaldehide          | alergi dan resiko kanker  |
| 7  | Desinfektan dan pembersih                            | Fenol, alkohol, quaternary ammonium compound (QAC) | Gangguan hormon   |
| 8  | Resin epoxy  | Bisphenol A (BPA)                                  | Masalah neurologis, kanker, penyakit jantung, sistem reproduksi, dll    |
| 9  | <i>Gypsum Board</i>                                  | Serat silika                                       | Iritasi saluran pernafasan  |
| 10 | Plasticizers di lantai                               | DEHP dan DBP                                       | DEHP: potensial karsinogen<br>DBP: iritasi, keracunan                   |
| 11 | Pelarut  | Methanol   | Sistem saraf depresan dan keracunan                                     |
| 12 | Proses pengerjaan spesimen                           | Aerosol  | Masalah saluran pernafasan  |

Sumber: Prihatmanti (2009, p.19)

- b. Konstruksi : konservasi energi vs. ventilasi untuk penghuni
- c. Pelayanan dan pengontrolan : kenyamanan suhu, pencahayaan, suhu AC dan kontrol iklim mikro didalam ruang
- d. Desain : layout bangunan, ketinggian plafon dan area per seorangan
- e. Pengguna ruang : kegiatan penghuni seperti merokok, fotokopi, makan dan lainnya, yang dapat menyebabkan buruknya kualitas udara.
- f. Faktor lingkungan : kelembaban dan jamur, suhu, kebisingan, bau, dan iritasi
- g. Faktor pemeliharaan dan manajemen : kurangnya pemeliharaan pada bahan berpori seperti kain dan pembersihan ruangan secara rutin, memastikan ruangan selalu dalam keadaan bersih dan sehat.

Sedangkan menurut Corie I. Prasasti, Sudarmadji, dan R. Adriyani dalam kasus buruknya kualitas udara dalam ruang, besar frekuensi keluar masuknya

siswa memungkinkan pencemar udara (debu dan gas) masuk ke dalam ruang kelas (16).

Kontaminan atau polutan yang berasal dari dalam dan luar ruangan menurut Chen dapat dibagi menjadi 3 bagian besar (83), yaitu polutan Fisik, Polutan Kimia dan Polutan Biologi.

### 2.2.3.1 Polutan Fisik

Polutan fisik merupakan polutan yang ada karena berbagai peristiwa alam. Polutan fisik terbagi menjadi 3 bagian yaitu polutan partikulat, radioaktif, dan metal.

#### a. Polutan partikulat

Partikulat adalah pencemar udara yang dapat berada bersama - sama dengan bahan atau bentuk pencemar lainnya. Partikel dapat diartikan secara murni atau sempit sebagai bahan pencemar udara yang berbentuk padatan. Namun dalam pengertian yang lebih luas dalam kaitannya dengan masalah pencemaran lingkungan, pencemaran partikel dapat meliputi berbagai macam bentuk, mulai dari yang sederhana sampai dengan yang rumit atau kompleks yang kesemuanya merupakan bentuk pencemaran udara (Riyadi 50 – 2). Berdasarkan bentuknya, partikel dibedakan menjadi beberapa macam, yaitu :

- *Aerosol* adalah istilah umum yang menyatakan adanya partikel yang terhambur dan melayang di udara.
- *Fog* atau *kabut* adalah aerosol yang berupa butiran-butiran air yang berada di udara.
- *Smoke* atau *asap* adalah produk dari pembakaran bahan organik yang tidak sempurna dan berukuran sekitar 0,5 mikron. Sedangkan partikel cair disebut dengan *mist* atau *fog* (awan) yang dihasilkan melalui proses kondensasi atau *atomizing*, contoh sederhana *hair spray* atau obat nyamuk semprot.
- *Dust* atau *debu* adalah aerosol yang berupa butiran padat yang terhambur dan melayang di udara karena adanya hembusan angin. Debu terdiri dari berbagai ukuran mulai dari yang submikroskopik sampai yang besar. Debu yang berbahaya adalah ukuran yang bisa terhirup ke dalam sistem

pernafasan, umumnya lebih kecil dari 100  $\mu\text{m}$ . Debu dengan ukuran  $>5 \mu\text{m}$  akan masuk sampai pada alat pernafasan bagian atas berupa iritasi ringan. Debu dengan ukuran 3 – 5  $\mu\text{m}$  bila terhirup akan mengganggu saluran pernafasan bagian bronkus/bronkeolus yang menyebabkan penyakit bronkitis. Debu dengan ukuran 1 - 3  $\mu\text{m}$  akan masuk sampai ke alveoli dan menyebabkan terganggunya prose pertukaran gas.

- *Mist* mirip dengan kabut. Penyebabnya adalah butiran-butiran zat cair yang terhambur dan melayang di udara (bukan butiran air).
- *Fumes* adalah partikel padat yang terbentuk dari proses evaporasi atau kondensasi, pemanasan berbagai logam, misalnya menghasilkan uap logam yang kemudian berkondensasi menjadi partikel-partikel metal fumes misalnya, logam (Cadmium) dan Timbal (Plumbum)
- *Plume* adalah asap yang keluar dari cerobong asap suatu industri (pabrik).
- *Haze* setiap bentuk aerosol yang mengganggu pandangan di udara.

Sedangkan berdasarkan komposisi kimianya debu di golongan menjadi tiga kelompok, yaitu :

- Inert dust

Golongan debu ini tidak menyebabkan kerusakan atau reaksi fibrosis pada paru-paru. Efeknya sangat sedikit sekali pada penghirupan normal.

- *Profiliferative dust*

Golongan debu ini di dalam paru-paru akan membentuk jaringan parut (fibrosis). Fibrosis ini akan membuat pengerasan pada jaringan alveoli sehingga mengganggu fungsi paru. Contoh debu ini yaitu debu silika, kapur, asbes dan sebagainya.

- Debu asam atau basa kuat

Golongan debu yang tidak ditahan dalam paru namun dapat menimbulkan efek iritasi. Efek yang ditimbulkan bisa efek keracunan secara umum misalnya debu arsen dan efek alergi, khususnya golongan debu organik.

#### b. Radioaktif

- Radon, merupakan gas radioaktif tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa. Radon dapat masuk ke dalam bangunan melewati retakan – retakan tanah dan sumber air. Air yang mengandung radon akan merilis radon ke

udara. Beberapa bahan bangunan juga akan merilis radon ke udara. Menurut penelitian yang dilakukan oleh EPA diperkirakan sebanyak 20.000 dari 140.000 penderita kanker paru – paru tewas disebabkan oleh radon. EPA merekomendasikan mengambil tindakan untuk mengurangi radon jika tingkat melebihi 4 pCi / L. Jumlah ventilasi yang baik merupakan salah satu cara pencegahan yang paling efektif. Tanpa adanya ventilasi yang baik gas radon rawan untuk mengendap dipermukaan lantai, dan kemudian masuk ke dalam saluran pernafasan (Schenck, Paula, A. Karim Ahmed, Anne Bracker, dan Robert DeBernardo 8).

c. Metal

- Timah (Pb), merupakan zat kimia yang bersifat Neutoksik , yaitu zat racun yang merusak susunan saraf. Timah mudah terakumulasi sehingga mampu masuk ke dalam aliran darah dan mempengaruhi perkembangan janin, selain itu menyebabkan gangguan perilaku pada balita dan anak – anak (Schenck, Paula, A. Karim Ahmed, Anne Bracker, dan Robert DeBernardo 7).

d. Serat Mineral

- Asbes adalah nama yang diberikan untuk sekelompok serat mineral yang berbeda yang terjadi secara alami di lingkungan. Serat asbes terlalu kecil untuk dilihat dengan mata telanjang. Asbes tidak larut dalam air atau menguap. Mereka tahan panas, kebakaran, dan kimia atau degradasi biologi. Asbes digunakan di banyak produk komersial seperti plafon. Penggunaan Asbes sangat berbahaya jika serat terkoyak sehingga serat melayang di udara. Serat asbes dapat menimbulkan masalah kesehatan asbesosis. Asbesosis adalah penyakit yang menyerang paru – paru dan dapat menyebabkan kematian. (Schenck, Paula, A. Karim Ahmed, Anne Bracker, dan Robert DeBernardo 7).

### 2.2.3.2. Polutan Kimia

Jenis - jenis zat yang termasuk dalam polutan kimia berasal dari hasil pembakaran. Beberapa contohnya adalah sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>) dan nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>), Sulfur Oksida (SO<sub>x</sub>), Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>), Karbon Monoksida

(CO), gas buang, asap rokok, material pembangunan, serbuk kayu, pestisida, dan plastik. Beberapa zat kimia lain golongan hidrokarbon yang mengandung VOC dan dinyatakan berbahaya bagi kesehatan manusia, yaitu :

- Xilen dan toluen adalah zat yang banyak di temukan pada berbagai perekat dan pelarut
- Benzena adalah zat karsinogenik yang ditemukan pada asap rokok , cat dan bahan finishing lainnya

Tabel 2.4. Zat – Zat Berbahaya yang Umumnya Ditemukan di Dalam Ruang

| No | Jenis Polutan Kimia | Ciri - ciri   | Konsentrasi   | Efek Kesehatan   |
|----|---------------------|---|---|--|
| 1  | Karbon Monoksida    | Tidak berwarna, tidak berbau tidak berasa   | 15ppm selama 10 jam   | Gangguan sistem saraf pusat  |
| 2  | Nitrogen Oksida     | Berwarna coklat , Ambang bau 0,12 - 0,22 ppm  | 118 - 156 mikro gram (0,063 - 0,083 ppm) selama 6 bulan             | Gangguan kesehatan   |
| 3  | Sulfur dioksida     | Tidak berwarna , berbau pad ambang 0,5 ppm , berasa pada ambang 0,3ppm  | pada kadar 0,25ppm bila bergabung dengan 750mg/m <sup>3</sup> smoke | Menyebabkan kematian   |
| 4  | VOC                 | zat organik , dapat menguap pada suhu ruangan , tidak terlihat , ada yang memiliki bau yang tajam ada yang tidak. | berbeda - beda  | Pada level tinggi menyebabkan iritasi hidung, iritasi kulit, sakit kepala dan gangguan pernafasan, dalam jangka panjang menyebabkan kanker |
| 5  | Formaldehid         | Berwujud gas pada suhu ruangan , memiliki bau.  | berbahaya jika baru diaplikasikan                                   | Dalam jangka panjang menyebabkan kanker  |
| 6  | Ozon                | Berwarna biru muda  | 0,1 ppm   | Iritasi mata pada selaput mukosa pada kadar tinggi : sakit kepala , mual , penyakit saluran pernafasan ,infeksi paru - paru                |

Sumber : Schenck, Paula, A. Karim Ahmed, Anne Bracker, dan Robert

DeBernardo (2010, p.6 – 9)

### 2.2.3.3. Polutan Biologi

Menurut Jagjit Singh (3), polutan biologi terdiri dari beberapa jenis yaitu jamur, virus, bakteri, tungau, serbuk sari, dan binatang (kecoa dan tikus). Polutan biologi biasa disebut *microbiological contamination*. Pemicu dari terjadinya *microbiological contamination* adalah kontaminasi sistem penghawaan, kurangnya ventilasi, kelembaban yang tinggi, dan kurang tepatnya pemilihan atau aplikasi material.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Moerdjoko, terdapat hubungan yang signifikan secara statistik antara jumlah koloni mikroorganisme pada ruangan ber-AC dan ruangan tidak ber-AC (ventilasi alami) dengan kemungkinan adanya mikroorganisme pada ruangan tanpa AC adalah 1,08x lebih besar dari pada ruangan yang menggunakan AC (93).

#### 1. Jamur

Jamur merupakan mikroorganisme yang paling sering dan mudah ditemui pada interior suatu bangunan. Jamur yang ada dalam ruangan umumnya muncul dikarenakan ruangan dengan kelembaban yang terlalu tinggi atau adanya material basah yang tidak segera dikeringkan.

Tabel 2.5. Jenis – Jenis Jamur Dalam Ruang

| Spesies jamur        | Media  | Masalah kesehatan   |
|----------------------|--|---|
| <i>Alternaria</i>    | Jendela kusen, dinding yang lembab   | Asma dan alergi   |
| <i>Aspergillus</i>   | Kayu yang basah, lem wallpaper, debu rumah, pot tanah                        | Alergi (alergi atopik), dan <i>A. fumigatus</i> merupakan salah satu penyebab hipersensitivitas, pneumonitis, dan sinusitis alergi.                                   |
| <i>Absidia</i>       | Berada di udara dan beberapa permukaan material                              | <i>Infeksi oportunistik</i>   |
| <i>Aphanocladium</i> | Bertumbuh pada material dalam ruangan yang berada dalam kondisi tidak sesuai | Tidak ada spesies yang dilaporkan menghasilkan mikotoksin   |
| <i>Acremonium</i>    | Berada di lingkungan yang basah  | Beberapa jenis diketahui untuk menghasilkan mikotoksin (misalnya, citrinin), dan beberapa (termasuk <i>A. kiliense</i> ) menyebabkan alergi dan infeksi oportunistik. |

Tabel 2.5. Jenis – Jenis Jamur Dalam Ruang (sambungan)

|                       |   |   |
|-----------------------|---|---|
| <i>Penicillium</i>    | Berkembang pada permukaan material seperti drywall, kayu, karpet, permukaan cat, wallpaper. | Menghirup spora <i>Penicillium</i> yang mengandung mikotoksin dapat menyebabkan <i>Organic Dust Toxic Syndrome</i> (ODTS) dan <i>Non-infectious Fungal Indoor Environmental Syndrome</i> (NIFIES). <i>Penicillium</i> juga penyebab alergi dan patogen oportunistik terkenal. |
| <i>Stachybotrys</i>   | Dinding, Karpet, papan gypsum yang sangat basah   | Dermatitis (ruam), Imunosupresi, dan neurotoksik ringan (pusing, mual).   |
| <i>Scopulariopsis</i> | Berada pada material berselulosa seperti drywall dan kayu                                   | Mampu mendegradasi bahan yang mengandung arsenik melepaskan arsenik ke lingkungan. Beberapa spesies diketahui menyebabkan infeksi oportunistik, dan <i>S. brevicaulis</i> dapat menyebabkan (infeksi kuku) onikomikosis.  |
| <i>Petriella</i>      | Berkembang pada material kayu yang basah. Spora ditemukan pada sampel debu karpet.          | Tidak ada spesies yang dikenal menghasilkan mikotoksin.   |
| <i>Ophiostoma</i>     | Berasal dari material kayu yang digunakan sebagai konstruksi.                               | Tidak ada spesies yang dikenal menghasilkan mikotoksin.   |
| <i>Myxotrichum</i>    | Sering berada pada material yang berselulosa terutama produk kertas                         | Alergi  |
| <i>Mucor</i>          | Berada di udara dan berkembang pada material yang basah                                     | Infeksi oportunistik  |
| <i>Gonatobotryum</i>  | Berasal dari material kayu yang basah   | Mikotoksin tidak diketahui  |
| <i>Engyodontium</i>   | Berasal dari material seperti <i>drywall</i>  | Tidak ada spesies yang dilaporkan menghasilkan mikotoksin   |
| <i>Cladosporium</i>   | Berasal dari pembusukan daun, berbagai bahan yang berselulosa, dan dinding yang dicat       | Alergi  |

Sumber : Abbott, Sean P. (2002, p.1 – 5)

Menurut United States Environment Protection Agency ada beberapa langkah yang harus diambil agar jamur tidak tumbuh pada suatu ruang, langkah – langkah tersebut adalah :

- Pengontrolan kadar air dan kelembaban.
- Material yang terkontaminasi harus dibersihkan atau di buang.
- Memeriksa dan melakukan perawatan berkala pada ventilasi udara.
- Usahakan pondasi bangunan tidak basah sehingga air tidak meresap dan naik kedinding.
- Bersih dan keringkan selama 48 jam jika lokasi dalam keadaan basah

Jika ada ruangan yang berada di daerah rendah (*basement*) maka usahakan kelembaban dibawah 60% (*Environmental Protection Agency* par 1 - 6).

## 2. Bakteri

Selain jamur, bakteri juga ditemukan dalam suatu ruangan. Bakteri ini biasanya berasal dari tubuh manusia (mulut, hidung dan kulit) atau dari luar ruangan. Seperti halnya jamur, bakteri juga tumbuh pada tempat yang lembab. Bakteri diklsifikasikan menjadi 2 jenis yaitu bakteri gram negatif dan gram positif (*Singapore Indoor Air Quality Consultants* par 2).

### a. Batang gram positif

Bakteri gram positif umumnya tumbuh di daerah yang basah dan lembab dan dapat di asosiasikan dengan debu dan tanah. Bakteri gram positif tergolong jenis pantogen yang tidak berbahaya. Bakteri ini dapat dibasmi dengan penyediaan ventilasi yang cukup dan baik serta cara pembersihan yang tepat dan berkala. Bakteri batang gram positif yang sering ditemukan dalam ruang adalah *Micrococcus sp*, *Bacillus sp* , dan *Staphylococcus sp*.

- *Staphylococcus sp*

*Staphylococcus sp* merupakan bekteri gram positif, bakteri ini terdapat pada kulit manusia. Bakteri ini dapat menyebabkan infeksi dan bersifat toksik bagi manusia. Hal ini menyebabkan berbagai masalah pada kulit seperti bisul, hordeolum, bahkan masalah serius seperti pneumonia, mastitis, meningitis, dan infeksi saluran kemi. *Staphylococcus aureus* merupakan jenis bakteri *Staphylococcus sp* yang umumnya terdapat dalam ruang. Bakteri ini dapat menimbulkan keracunan makanan dengan melepaskan enterotoksin pada

makanan yang disimpan terlalu lama dan menimbulkan efek yang disebut *toxic shock syndrome*.

- *Micrococcus sp*

*Micrococcus sp* merupakan bakteri yang tidak berbahaya, bakteri ini terdapat pada kulit tubuh manusia. Bakteri ini akan di temukan pada ruangan dengan ventilasi yang tidak mencukupi dan ruangan dengan jumlah pengguna yang tinggi. Bakteri ini dapat dibasmi dengan menyediakan ventilasi yang cukup dan pembersihan berkala.

- *Bacillus sp*

*Bacillus sp* merupakan bakteri yang tidak berbahaya, bakteri ini dapat ditemukan dimana – mana terutama di media tanah. Bakteri ini termasuk dalam golongan gram positif dan berbentuk batang. Di dalam interior bakteri ini banyak ditemukan di media keras yang berdebu.

b. Batang gram negatif

Batang gram negatif umumnya ditemui di dalam ruang jika terjadi masalah dengan banyaknya volume air di dalam ruang seperti misalnya banjir, tumpahan air, atau drai sistem AHU yang meningkat. Beberapa jenis bakteri gram negatif dapat menimbulkan masalah kesehatan berupa pneumonia, bronkitis, demam dan lain – lain. Cara untuk mengatasi bakteri jenis ini adalah dengan pembersihan menggunakan desinfektan.

Selain faktor fisik, biologis, dan kimia di udara, karakter pengguna ruang dan karakteristik ruang juga ambil andil dalam buruknya kualitas udara dalam ruang. yang termasuk dalam faktor karakteristik ruang adalah aktivitas pemeliharaan gedung, tipe material bangunan, perabotan, dan jumlah ventilasi (Prasasti, Sudarmadji, dan R.Adriyani 16).

a. Jumlah ventilasi

Kelembaban dan meningkatnya polusi di dalam ruang merupakan salah satu dampak dari kurangnya jumlah ventilasi di dalam ruang. Selain ventilasi yang kurang memadai, peletakan ventilasi yang kurang tepat juga salah satu penyebab masalah polusi dan kelembaban dalam ruang. Ventilasi sebisa mungkin menggunakan sistem *cross ventilation* sehingga dapat mengalirkan

udara bersih dari luar masuk ke dalam, dan mengeluarkan udara kotor yang mengandung polutan dari dalam ruangan. Menurut *ASHRAE Standard*, sistem ventilasi haruslah bisa mengakomodir udara dari luar sebesar 15cfm ( *cubic feet per minute* ) untuk setiap orang dan sebesar 20 cmf untuk orang yang berada di dalam ruangan (7).

b. Aktivitas pemeliharaan gedung

Pemeliharaan gedung khususnya pada sistem penghawaan dan lantai sangatlah penting dikarenakan dengan menjaga kebersihannya maka jumlah polutan dalam ruang akan menurun secara drastis. Cara pemeliharaan cukup dengan melakukan pembersihan secara rutin. Untuk pemeliharaan lantai cukup dengan menyapu atau mengepel ruangan minimal dua hari sekali, sedangkan untuk sistem penghawaan alami berupa bukaan cukup dengan membersihkan debu – debu yang berada di sekitar bukaan, untuk penghawaan buatan berupa pendingin ruangan (AC) haruslah dibersihkan tiga bulan sekali, penghawaan buatan berupa kipas angin bisa dilakukan dengan cara mencuci kipas atau dengan mengelap debu yang menempel pada kipas.pemeliharaan gedung yang menghasilkan polutan tinggi seperti penggantian plafon dan pengecatana gedung bisa dilakukan saat hari libur panjang sehingga tidak mempengaruhi kondisi pengguna ruang.

c. Perabot dan material bangunan dapat menjadi sumber kontaminan pada udara ruang. kadar polutan dalam ruang dapat dikurangi dengan cara pemilihan material yang tepat, sehingga diharapkan dapat meminimalkan potensi terjadinya kontaminasi melalui proses berikut :

c. Emisi dari zat kimia yang digunakan atau yang terkandung dalam produksi material bangunan dan perabot.

d. Lepasnya partikel ke udara dari permukaan material.

e. Timbulnya kontaminan biologis pada permukaan material, khususnya pada permukaan material yang lembab.

f. Terjadinya fenomena *sink effect*, dimana molekul zat kimia menempel pada permukaan material yang dikemudian hari memiliki kemungkinan untuk bterlepas kembali ke udara. Material yang berpotensi mengakibatkan *sink effect* adalah *upholstery*, karpet serta material berbulu lembut. Jika

menggunakan material berbahan dasar kain maka perlu adanya ventilasi yang adekuat agar dapat meminimalkan jumlah polutan dalam ruang.

- g. Perawatan dan *finishing* ulang menggunakan zat kimia, dimana zat tersebut dapat menjadi polutan dalam ruang.

#### **2.2.4. Kelompok Yang Rentan Terkena Dampak Buruknya Kualitas Dalam Ruang (*Indoor Air Quality*)**

Menurut *New South Wales (NSW) Government* ada beberapa kelompok orang yang lebih rentan terhadap polutan (par 1 – 4), kelompok tersebut adalah:

- Anak-anak, bayi dan janin diketahui lebih rentan terhadap efek samping timbal.
- Kekurangan selenium atau vitamin E akibat diet, telah terbukti meningkatkan kerusakan paru-paru akibat paparan ozon.
- Orang tua (lansia) lebih cenderung rentan terhadap polusi udara, mungkin karena sistem kekebalan tubuh secara umum lemah, atau kondisi kesehatan pernapasan atau kardiovaskular terdiagnosis. Seiring bertambahnya usia, tubuh mereka kurang mampu mengimbangi efek dari bahaya lingkungan.
- Penderita asma diketahui lebih rentan terhadap konsentrasi sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>) dan nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>) dibandingkan non-penderita asma.
- Penderita jantung diketahui lebih rentan terhadap polutan partikel.
- Merokok dan paparan asbestos telah terbukti bertindak secara sinergis sebagai penyebab kanker paru-paru. Perokok menderita penyakit paru obstruktif kronis/PPOK lebih dari non perokok, dan sejauh ini pasien dengan PPOK lebih rentan terhadap polutan daripada yang lain.

#### **2.2.5. Cara Memperbaiki Dan Meningkatkan Kualitas Udara dalam Ruang**

Ada banyak cara untuk memperbaiki kualitas udara di dalam ruang mulai dari cara pencegahan hingga cara penanganan, mulai dari cara yang sederhana hingga cara yang rumit dengan melibatkan pihak – pihak tertentu. Berikut ini beberapa cara yang umumnya dilakukan untuk memperbaiki dan meningkatkan kualitas udara dalam ruang menurut *Greenguard certification* (par 1 – 5).

1. Meminimalkan polutan kimia dalam ruang, dengan cara :

- a. Tidak merokok di dalam ruangan.
  - b. Menggunakan produk yang tidak mengeluarkan gas beracun, ramah lingkungan dan berlabel “Green Guard” atau “Green Seal” seperti misalnya Menggunakan cat dengan VOC rendah atau tidak mengandung VOC. Selalu memilih perekat tidak beracun dan pernis berbahan dasar air sehingga tidak melepaskan gas yang beracun.
  - c. Hindari penggunaan penyegar udara sintetis dan lilin berbasis minyak bumi. Dan memilih penyegar udara buatan sendiri.
  - d. Melakukan beberapa aktivitas yang menghasilkan polutan seperti mengecat, mengelem dan lain – lainnya di luar ruangan.
  - e. Mengontrol gas pembuangan dari kendaraan dengan menggunakan exhaust.
2. Menjaga ruangan tetap bersih
- a. Membersihkan debu dari sepatu diluar ruangan dengan meletakkan keset di pintu masuk ruangan.
  - b. Menggunakan *vacum* dengan daya hisap yang kuat, dengan sikat yang berputar, dan filter HEPA (*High Efficiency Particulate Air*), untuk menangkap partikel yang lebih kecil dan alergen yang bisa di lewatkan oleh sapu.
  - c. Membersihkan sistem penghawaan buatan maupun alami secara teratur.
  - d. Gunakan pembersih udara HEPA Pastikan untuk mendapatkan alat pembersih udara yang tidak menghasilkan ozon, dan yang tidak melepaskan gas dari cat, furniture, dan bahan kimia pembersih.
  - e. Meminimalkan penggunaan karpet atau memilih karpet yang tidak terlalu tebal. Bersihkan setidaknya sekali seminggu.
3. Mengontrol kelembaban
- a. Menyesuaikan tingkat kelembaban yang sesuai dengan ukuran kelembaban. Idealnya kelembaban di dalam ruang berkisar antara 40% - 60%. Untuk meningkatkan kelembaban, menggunakan vaporizer atau humidifier. Untuk mengurangi kelembaban dengan cara membuka jendela (jika tidak lembab di luar), menyalakan kipas angin atau pendingin udara, atau menggunakan dehumidifier.

- b. Jika telah terjadi banjir atau kerusakan pipa, segera ambil tindakan dengan menghapus air dan meleluarkan benda yang basah. Keringkan semua bahan berpori dan perabotan dalam waktu 48 jam. Jika muncul bercak dan jamur pada setiap bahan berpori, seperti *drywall*, langit-langit ubin atau kayu, segera buang dan ganti material tersebut.

Tabel 2.6. Cara Penanganan Material Basah

| Material                             | Cara penanganannya  |
|--------------------------------------|---|
| Panel Plafon                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dibuang dan ganti baru</li> </ul>  |
| Insulator                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dibuang dan ganti baru</li> </ul>  |
| Buku dan kertas                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Untuk item yang tidak penting, langsung dibuang.</li> <li>• Untuk item yang penting copy terlebih dahulu lalu dibuang</li> </ul>   |
| Karpet                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hilangkan air dengan water Extraction vacum</li> <li>• Kurangi kelembaban udara dalam ruang</li> <li>• Percepat proses pengeringan dengan kipas angin</li> </ul>   |
| Permukaan beton                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hilangkan air dengan Water Extraction Vacuum</li> <li>• Kurangi kelembaban udara dalam ruang</li> <li>• Kurangi kelembaban udara dalam ruang</li> <li>• Percepatan proses pengeringan dengan kipas angin , dehumidifer dan/atau heater</li> </ul>  |
| Permukaan lantai yang berporus kelas | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sedot atau lap dengan sabun dan air keringkan, sikat bila perlu</li> </ul>   |
| <i>Upholstered furniture</i>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hilangkan air dengan <i>water extraction vacum</i></li> <li>• Percepat proses pengertian dengan kipas angin , dehumidifier dan/atau heater</li> </ul>  |
|                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Akan menjadi sulit kering dalam waktu 48 jam. Jika perabot yang basah bernilai tinggi, hubungi ahli restorasi perabot.</li> </ul>  |
| Wallboard (drywall dan papan gypsum) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dapat dikeringkan bila tidak ada pembesaran pada material sambungannya utuh. Jika tidak, buang dan ganti baru.</li> <li>• Jika memungkinkan, angin - anginkan rongga dinding.</li> </ul>   |
| Permukaan kayu                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Segera hilang air dan gunakan dehumidifer dan kipas angin untuk mengeringkan (gunakan secara hati - hati pada lantai yang berbahan <i>hardwood</i>)</li> <li>• Permukaan kayu yang di-finish dapat dibersihkan dengan detergen lembut dan air bersih, lalu dikeringkan</li> <li>• Panel kayu pada dinding yang basah dilepas dari dinding tersebut untuk pengeringan.</li> </ul> |
| Penutup                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ikuti petunjuk penyucian yang tertera pada penutup jendela, atau hubungi manufakturnya</li> </ul>  |

Sumber : *Environmental Protection Agency* (2008, p.11)

#### 4. Tumbuhan

Tumbuhan mampu memfilter beberapa zat kimia berbahaya seperti formaldehid, benzena, dan menggantinya dengan oksigen. Menurut penelitian yang dilakukan oleh NASA terdapat beberapa tanaman yang efektif dalam mengurangi udara yang beracun karena polusi dan berkontribusi terhadap kelembaban internal yang seimbang. Disarankan bahwa satu tanaman harus ada pada 10 meter persegi luas lantai diasumsikan ketinggian plafon rata – rata 8 – 9 meter.

Tabel 2.7. Jenis – Jenis Tanaman Dalam Ruang dan Zat yang Mampu Dinetralkan

| Jenis polutan           | Jenis tanaman   |
|-------------------------|---|
| Formaldehid             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bambu Palm (<i>Chamaedorea seifritzii</i>)</li> <li>• Heart leaf philodendron (<i>Philodendron oxycardium</i>)</li> <li>• Chinese evergreen (<i>Aglaonema Crispum</i>)</li> <li>• Azalea (<i>Rhododendron simsii</i>)</li> <li>• Golden pothos (<i>Scindapsus aures</i>)</li> </ul>  |
| Formaldehid             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lidah mertua (<i>Sansevieria trifasciata 'Laurentii'</i>)</li> <li>• Green spider plant (<i>Chlorophytum elatum</i>)</li> <li>• Janet Craig (<i>Dracena defemensis</i>)</li> <li>• Lily (<i>Spathiphyllum</i>)</li> <li>• Sri Gading (<i>Dracaena Massangean</i>)</li> <li>• Ficus (<i>Ficus benjamina</i>)</li> <li>• Ivy (<i>Hedera helix</i>)</li> </ul>  |
| Benzena                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bambu Palm (<i>Chamaedorea seifritzii</i>)</li> <li>• Warneck dracaena (<i>Dracaena deremensis</i>)</li> <li>• English ivy (<i>Hedera helix</i>)</li> <li>• Gerbera daisy (<i>Gerbera jamesonii</i>)</li> <li>• Krisan (<i>Chrysanthemum morifolium</i>)</li> <li>• Lidah buaya (<i>aloe vera</i>)</li> <li>• Janet Craig (<i>Dracena defemensis</i>)</li> <li>• <i>Hoya Carnosa</i></li> <li>• <i>Tradescantia Pallida</i></li> <li>• Lily (<i>Spathiphyllum</i>)</li> <li>• Sri Gading (<i>Dracaena Massangean</i>)</li> </ul> |
| Trichloroethylene (TCE) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gerbera daisy (<i>Gerbera jamesonii</i>)</li> <li>• English ivy (<i>Hedera helix</i>)</li> <li>• Marginata (<i>Dracena marginata</i>)</li> <li>• Lily (<i>Spathiphyllum</i>)</li> <li>• Lidah mertua (<i>Sansevieria trifasciata 'Laurentii'</i>)</li> <li>• Lidah buaya (<i>aloe vera</i>)</li> <li>• Janet Craig (<i>Dracena defemensis</i>)</li> <li>• Bambu Palm (<i>Chamaedorea seifritzii</i>)</li> <li>• Sri Gading (<i>Dracaena Massangean</i>)</li> </ul>   |

Sumber : NASA( 1989, p.12 – 14)

5. Memastikan ventilasi yang tepat

Menurut Moedjoko (93) sirkulasi udara berperan cukup signifikan terhadap jumlah koloni mikroorganisme. Lokasi yang mempunyai sirkulasi udara buruk kemungkinan untuk mengandung mikroorganisme udara sebesar 2,98x lebih tinggi dibandingkan lokasi dengan sirkulasi udara baik. Oleh karena itu penggunaan ventilasi yang tepat sangat mempengaruhi kualitas udara dalam ruang.

- a. Membuka jendela dan pintu secara teratur
- b. Menggunakan sistem penghawaan buatan dengan sistem filter yang baik dan mampu mengontrol kadar debu.

6. Perencanaan dan kerjasama antara pemilih gedung, arsitek, desainer interior dan pihak yang terkait lainnya.

Untuk mendapatkan bangunan dan interior yang sehat, maka pemilik gedung arsitek, desainer interior, serta pihak lain yang terkait hendaknya bekerja sama sejak awal

Tabel 2.8. Aspek yang Mempengaruhi Kualitas Udara Dalam Ruang Pada Desain Sebuah Bangunan

|  |   |
|--|---|
| <b><i>Site planning and design</i></b>                   | <i>Ambient air quality<br/>Local source control<br/>Site design</i>   |
| <b><i>Ventilation and climate control</i></b>            | <i>Dilution by outdoor air<br/>Outdoor air intake location<br/>Exhaust locations<br/>Air cleaning and filtration Space air distribution<br/>Building pressure control Microbial control</i> |
| <b><i>Material selection and specification</i></b>       | <i>Low-emitting materials<br/>Preventive installation procedures<br/>In-place curing</i>  |
| <b><i>Construction process and initial occupancy</i></b> | <i>Design documentation and commissioning<br/>Special ventilation during finish work, finishing and initial occupancy period</i>  |

Sumber: Maroni, M., B. Seifert, dan T. Lindvall, (1995, p.576)

Pada tabel diatas menunjukkan 5 aspek utama yang harus diperhatikan dari desain sebuah bangunan untuk mencapai kualitas udara dalam ruang yang baik.

Aspek-aspek tersebut saling terkait satu dengan lainnya, sehingga kelimanya merupakan kesatuan antara interior dan arsitektur.

### **2.3. Tinjauan Umum Bangunan Cagar Budaya**

Bangunan Cagar Budaya adalah bangunan buatan manusia, berupa kesatuan atau kelompok, atau bagian – bagiannya atau sisa – sisanya, yang berumur sekurang-kurangnya 50 (lima puluh) tahun, atau mewakili masa gaya yang khas dan mewakili masa gaya sekurang – kurangnya 50 (lima puluh) tahun, serta dianggap mempunyai nilai penting bagi sejarah, ilmu pengetahuan dan kebudayaan (Perda Surabaya no 5, 2005, p.3).

#### **2.3.1. Kriteria Bangunan Cagar Budaya**

Kriteria bangunan cagar budaya menurut Peraturan Daerah Kota Surabaya Nomor 5 Tahun 2005 adalah :

- a. Umur berkenaan dengan batas usia bangunan cagar budaya sekurang-kurangnya 50 (lima puluh) tahun.
- b. Estetika berkenaan dengan aspek rancangan arsitektur yang menggambarkan suatu zaman dan gaya/langgam tertentu.
- c. Kejamakan berkenaan dengan bangunan-bangunan, atau bagian dari kota yang dilestarikan karena mewakili kelas atau jenis khusus bangunan yang cukup berperan.
- d. Kelangkaan berkenaan dengan jumlah yang terbatas dari jenis atau fungsinya, atau hanya satu-satunya di lingkungan atau wilayah tertentu.
- e. Nilai sejarah berkenaan dengan peristiwa perubahan dan/atau perkembangan kota Surabaya, nilai-nilai kepahlawanan, peristiwa kejuangan bangsa Indonesia, ketokohan, politik, sosial, budaya serta nilai arsitektural yang menjadi simbol nilai kesejarahan pada tingkat nasional dan/atau daerah.
- f. Memperkuat kawasan berkenaan dengan bangunan-bangunan dan/atau bagian kota yang karena potensi dan/atau keberadaannya dapat mempengaruhi serta sangat bermakna untuk meningkatkan kualitas dan citra lingkungan di sekitarnya.

- g. Keaslian berkenaan dengan tingkat perubahan dari bangunan cagar budaya baik dari aspek struktur, material, tampang bangunan maupun sarana dan prasarana lingkungannya.
- h. Keistimewaan berkenaan dengan sifat istimewa dari bangunan dimaksud.
- i. Tengeran atau *landmark* berkenaan dengan keberadaan sebuah bangunan, baik tunggal maupun jamak dari bangunan atau lansekap yang menjadi simbol/karakter suatu tempat atau lingkungan tersebut.

### **2.3.2. Golongan Bangunan Cagar Budaya**

Berdasarkan Peraturan Daerah Kota Surabaya Nomor 5 Tahun 2005 bangunan cagar budaya dibagi dalam 4 (empat) golongan, yaitu bangunan cagar budaya Golongan A, Golongan B, Golongan C, dan Golongan D, dengan penjelasan sebagai berikut :

1. Bangunan cagar budaya Golongan A adalah bangunan cagar budaya yang harus dipertahankan dengan cara preservasi.
2. Bangunan cagar budaya Golongan B adalah bangunan cagar budaya yang dapat dilakukan pemugaran dengan cara restorasi/rehabilitasi atau rekonstruksi .
3. Bangunan cagar budaya Golongan C adalah bangunan cagar budaya yang dapat dilakukan pemugaran dengan cara revitalisasi/adaptasi .
4. Bangunan cagar budaya Golongan D adalah bangunan cagar budaya yang keberadaannya dianggap dapat membahayakan keselamatan pengguna maupun lingkungan sekitarnya, sehingga dapat dibongkar dan dapat dibangun kembali sesuai dengan aslinya dengan cara demolisi.

### **2.3.3 Cara Perbaikan Bangunan Cagar Budaya**

Cara perbaikan/konservasi bangunan cagar budaya dilakukan sesuai golongan bangunan sebagai mana yang telah tertera pada Peraturan Daerah Kota Surabaya Nomor 5 Tahun 2005.

- a. Konservasi bangunan cagar budaya Golongan A akan dilakukan dengan tindakan preservasi. Preservasi adalah suatu upaya pelestarian suatu tempat persis seperti keadaan aslinya tanpa ada perubahan, termasuk upaya mencegah

kehancuran. Tidakan preservasi dilaksanakan dengan ketentuan sebagai berikut :

1. Bangunan dilarang dibongkar dan/atau diubah.
  2. Apabila kondisi fisik bangunan buruk, roboh, terbakar atau tidak layak berdiri, dapat dilakukan pembongkaran untuk dibangun kembali seperti semula sesuai dengan aslinya.
  3. Pemeliharaan dan perawatan bangunan harus menggunakan bahan yang sama/sejenis atau memiliki karakter yang sama dengan mempertahankan detail ornamen aslinya.
  4. Dalam upaya revitalisasi dimungkinkan adanya penyesuaian perubahan fungsi sesuai rencana kota yang berlaku tanpa mengubah bentuk aslinya ; dan di dalam persil atau lahan bangunan cagar budaya dimungkinkan adanya bangunan tambahan yang menjadi satu kesatuan yang utuh dengan bangunan utama.
- b. Konservasi bangunan cagar budaya Golongan B akan dilakukan dengan cara restorasi (rehabilitasi), rekonstruksi, atau revitalisasi (adaptasi). Restorasi atau rehabilitasi adalah pelestarian suatu bangunan dan/atau lingkungan cagar budaya dengan cara mengembalikan ke dalam keadaan semula dengan menghilangkan tambahan – tambahan dan memasang komponen semula tanpa menggunakan bahan baru. Rekonstruksi adalah Suatu upaya mengembalikan suatu tempat semirip mungkin dengan keadaan semula, dengan menggunakan bahan yang menyerupai sesuai informasi kesejarahan yang diketahui. Umumnya bahan yang digunakan adalah barang barau dikarenakan bahan lama sangat sulit didapatkan. Rekonstruksi dilakukan karena bangunan lama sangat memprihatinkan, sehingga diperlukan pembangunan kembali. Tindakan amputasi dan penyambungan juga kadang dilakukan disini. Adaptasi atau revitalisasi adalah Suatu upaya mengubah/mengadaptasi bangunan dan/atau lingkungan cagar budaya agar dapat digunakan sesuai dengan fungsi yang lebih sesuai tanpa menuntut perubahan drastis. Yang dimaksud fungsi disini adalah fungsi dari bangunan itu sendiri pada masa sekarang, adaptasi tidak menuntut perubahan drastis namun hanya memerlukan perubahan yang sesuai dengan keperluan di masa sekarang.

Konservasi bangunan golongan B dilaksanakan dengan ketentuan sebagai berikut :

1. bangunan dilarang dibongkar kecuali apabila kondisi fisik bangunan buruk, roboh, terbakar atau tidak layak tegak, sehingga dapat dilakukan pembongkaran .
  2. dalam hal bangunan cagar budaya sudah tidak utuh lagi maka apabila dilakukan pembangunan harus sesuai dengan bentuk aslinya dan tidak boleh membongkar bagian bangunan yang masih ada.
  3. pemeliharaan dan perawatan bangunan cagar budaya harus dilakukan tanpa mengubah tampang bangunan, warna dan detail serta ornamen bangunan .
  4. dalam upaya restorasi/rehabilitasi atau rekonstruksi dimungkinkan adanya perubahan tata ruang bagian dalam, sepanjang tidak mengubah struktur utama bangunan; dan
  5. di dalam persil atau lahan bangunan cagar budaya dimungkinkan adanya bangunan tambahan yang menjadi satu kesatuan yang utuh dengan bangunan utama.
- c. Konservasi bangunan cagar budaya Golongan C dilakukan dengan cara adaptasi atau revitalisasi, dilaksanakan dengan ketentuan sebagai berikut :
1. perubahan bangunan dapat dilakukan dengan syarat tetap mempertahankan tampang bangunan utama termasuk warna, detail dan ornamennya .
  2. warna, detail dan ornamen dari bagian bangunan yang diubah disesuaikan dengan arsitektur bangunan aslinya .
  3. penambahan bangunan di dalam tapak atau persil hanya dapat dilakukan di belakang bangunan cagar budaya dan harus disesuaikan dengan arsitektur bangunan cagar budaya dalam keserasian tatanan tapak .
  4. fungsi bangunan dapat diubah sesuai dengan rencana kota.

Selain petunjuk konservasi yang ditetapkan oleh Peraturan Daerah Kota Surabaya Nomor 5 Tahun 2005, menurut Timoticin (39 – 52) pedoman penambahan elemen baru bagi bangunan cagar budaya adalah sebagai berikut :

- a. Minimum intervention.

- b. Perubahan /campur tangan/perusak yang seminim mungkin dengan menerapkan berbagai teknologi yang ada pada masa kini, baik untuk konstruksi atau cara pemasangannya, agar tidak merusak bangunan. misalnya dengan membuat lubang paku yang seminim mungkin, tetapi juga tidak lupa memperhatikan aspek keselamatan bangunan. jadi disini ditekankan pada minimnya perusakan dari bangunan yang merupakan bagian dari sejarah.
- c. Intervention – reversible.
- d. Perubahan pada bangunan konservasi, diarahkan pada perubahan yang bisa dikembalikan ke kondisi awal atau semula. Jadi perubahan yang dilakukan tidak permanen, namun dapat dikembalikan ke kondisi semula. Misalnya pada pemasangan karpet, sebaiknya lantai diberi pelapis terlebih dahulu, dengan demikian karpet tidak langsung menempel pada lantai bangunan, menggunakan kaki – kaki besi dalam penambahan panel pada dinding, dan sebagainya. Upaya ini dilakukan agar tidak merusak elemen pada bangunan cagar budaya tersebut, dan dapat dikembalikan seperti kondisi semula.
- e. *New materials and techniques (concrete) – recognizable as a new.*
- f. Sesuatu yang bisa mewakili jaman, dalam artian menggunakan suatu material/ teknik dimana melalui material/teknik tersebut, dapat memberi petunjuk waktu tertentu. Jadi bukan meniru atau menduplikat material/teknik pada jaman ketika bangunan tersebut dibangun.

Dengan adanya pedoman konservasi untuk bangunan cagar budaya diharapkan dapat mempertahankan, mengembalikan, mengungkapkan nilai sejarah, dan estetika bangunan. Penambahan dan perbaikan elemen baru diharapkan dapat menjadikan bangunan cagar budaya lebih layak untuk digunakan sesuai fungsinya saat ini.

Sedangkan menurut *U.S General Service Administration* kode 0109120s dan 0110003 tentang *Historic Preservation*, ada beberapa pertimbangan yang juga bisa membantu dalam penambahan elemen interior pada bangunan cagar budaya.

Antara lain :

- a. Memelihara, memperbaiki, mengganti lantai dengan yang sesuai atau yang mirip apabila dimungkinkan. Jika terlalu banyak bagian yang rusak, lapis

- lantai dengan karpet. Pelapisan karpet menggunakan perkat yang langsung bersentuhan dengan lantai tidak diperbolehkan karena akan merusak lantai.
- b. Hindari penghilangan karakter bangunan.
  - c. Perbaiki atau ganti elemen asli yang telah hilang dengan material asalnya atau material sejenis.
  - d. Jangan mengisi ruang dengan terlalu banyak perabot, karena akan menutupi keindahan detail arsitektural.
  - e. Hilangkan lampu *fluorescent* dan gunakan *uplighting* yang tersembunyi untuk *task lighting*, tapi bila memungkinkan gunakan juga untuk *general lighting*.
  - f. Hindari membuat potongan pada lantai dan plafon dimana bisa merubah karakter bangunan.
  - g. Hindari penambahan elemen baru yang menutupi ornamen – ornamen asli ruang.
  - h. Sebisa mungkin jaga dan pelihara fitur dan finishing yang ada pada ruang, seperti pintu, kolom, plafon, lantai, dinding, dan lain sebagainya.
  - i. Apabila ada tangga, sebisa mungkin tidak mengubah letaknya.
  - j. Jaga dan pelihara sistem mekanikal yang terlihat. Jika ingin memberi alat baru, tidak boleh merusak elemen bangunan asli.
  - k. Tidak boleh menghilangkan jendela, karena akan merusak komposisi ruang. jangan mengecat kaca jendela, mengubah kaca transparan menjadi kaca es, dan sebagainya.
  - l. Hindari mengganti cat/plaster dari yang lama.
  - m. Hindari penggunaan cairan – cairan berbahaya seperti propan, butan untuk membersihkan bangunan.

#### **2.4. Tinjauan Umum Desain Interior dan Material Ruang Kelas**

Penelitian ini menggunakan ruang kelas sebagai objek. Kelas memiliki definisi, tempat belajar di sekolah (Kamus Besar Bahasa Indonesia). Semua aktivitas belajar dan mengajar sebagian besar dilakukan di dalam kelas.

#### 2.4.1. Sumber Polutan Dalam Sekolah

Di dalam bangunan sekolah terdapat beberapa ruangan yang menghasilkan kontaminan berbahaya bagi kesehatan jika terpapar dalam waktu yang lama.

Tabel 2.9. Sumber Polutan Dalam Sekolah

| Sumber polutan  | Kontaminan yang dihasilkan  |
|---|---|
| Produk pembakaran yang dilepaskan oleh bus dan kendaraan lainnya yang tidak berfungsi dengan benar yang dibawa masuk lewat jendela atau pipa udara. | Mengandung karbon monoksida yang dapat menyebabkan sakit kepala, mual, pusing. Bisa juga menghasilkan oksida nitrogen, partikulat dan volatile senyawa organik.                         |
| Dapur dan kantin  | Bau dan uap kimia dan gas (dari pembersih dan desinfektan, misalnya).   |
| Laboratorium dan Gudang Kimia   | Uap kimia dan gas.  |
| Ruang Kesenian / Studio Seni  | Uap kimia dan gas dan debu.   |
| Ruang mesin fotokopi skala besar  | Ozon, panas dan debu toner.<br>Catatan : Sebagian besar mesin fotokopi saat ini memiliki filter ozon, sehingga mereka seharusnya tidak menjadi sumber gas ozon, kuat iritasi paru-paru. |
| Ruang Kejuruan  | Gunakan minyak, pelumas, pembersih, cat, thinner.   |
| Aktivitas Konstruksi  | Debu, organik volatil senyawa, gas iritan.  |
| Pestisida   | Pestisida adalah racun dan sering dicampur dengan senyawa organik yang mudah menguap.   |
| Organisme biologis termasuk jamur, bakteri, serangga, tikus dan debu tungau.  | Organisme ini menghasilkan kontaminan disebut bioaerosols - yang, ketika dihirup, bisa menyebabkan alergi reaksi.   |

Sumber : United Federation Teachers (p.4)

#### 2.4.2. Material Ruang Kelas

Menurut *Ministry of education* ada beberapa material yang umum digunakan dalam ruang kelas. jenis – jenis material serta kelebihan dan kekurangannya dapat dilihat pada Tabel 2.10.

Tabel 2.10. Material Lantai, Dinding, dan Plafon Ruang Kelas

|        | Material  | Kelebihan dan kekurangan   |
|--------|---|--|
| Lantai |   |  |
| 1      | Karpet umum   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Memberikan rasa nyaman</li> <li>• Memiliki kualitas akustik tidak seperti bahan penutup lantai lainnya</li> <li>• Melepaskan VOC ketika baru dipasang</li> <li>• Dapat menyimpan debu dan tungau</li> <li>• Tempat tumbuhnya jamur ketika dalam keadaan basah</li> </ul>                                |
| 2      | Karpet wool/nylon                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tersedia dalam berbagai warna dan tekstur</li> <li>• Harus ditempelkan langsung ke lantai untuk mengurangi suara bising dan langkah kaki</li> <li>• Hanya cocok diletakan di are yang kering</li> <li>• Hindari pembersihan dengan menggunakan bahan air</li> </ul>                                     |
| 3      | Karpet modular                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Memerlukan usaha yang lebih dalam pemasangannya</li> <li>• Dapat dipasang sesuai pola yang diinginkan</li> <li>• Hanya perlu melakukan pergantian pada area yang rusak saja</li> <li>• Area yang basah dapat diangkat untuk diganti dan dibersihkan</li> </ul>  |
| 4      | Lantai berbahan keras ( <i>resilient flooring</i> ) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Digunakan pada area dengan aktivitas tinggi (<i>hard wearing</i>)</li> <li>• Mudah dibersihkan dan dirawat</li> <li>• Tidak menjadi tempat berkumpulnya debu, serangga dan jamur</li> <li>• Jika terbuat dari bahan dengan daya pantul yang tinggi dapat menimbulkan rasa silau dalam ruang.</li> </ul> |
| 5      | <i>Vinyl</i>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cocok untuk area yang basah</li> <li>• Area sambungan dapat ditutup</li> <li>• Dapat mengeluarkan VOC ketika baru dipasang</li> <li>• Tidak licin</li> <li>• Banyak pilihan pola</li> </ul>   |
| 6      | <i>Linoleum</i>                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Terbuat dari material alami sehingga rendah VOC</li> <li>• Memungkinkan munculnya retakan pada area yang tidak rata</li> <li>• Air dapat menggenang diatas permukaan (hindari pembersihan menggunakan air)</li> </ul>   |
| 7      | <i>Rubber</i>                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rendah kadar VOC</li> <li>• Mengurangi dampak dari kebisingan yang ditimbulkan oleh langkah kaki</li> <li>• Tidak licin</li> <li>• Tersedia dalam berbagai pola</li> </ul>  |

Tabel 2.10. Material Lantai, Dinding, dan Plafon Ruang Kelas (sambungan)

|                |                                   |  |
|----------------|-----------------------------------|--|
| 8              | Lantai busa ( <i>cork tiles</i> ) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bahan alami (beberapa zat perekat dan bahan pelapis mengandung zat berbahaya)</li> <li>• Tersedia dalam berbagai warna</li> <li>• Perlu dilakukan kegiatan pelapisan berkala</li> </ul>   |
| 9              | <i>Timber</i> (lantai kayu)       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tersedia dalam bentuk <i>parquete</i>, potongan, dan kotak (<i>block</i>)</li> <li>• Perekat dan pelapis dapat mengeluarkan VOC</li> <li>• Tersedia dalam berbagai karakteristik sesuai dengan bahan pembuatnya (spesies pohon)</li> <li>• Sangat sensitif terhadap perubahan kelembaban</li> <li>• Perlu dilakukan kegiatan pengamplasan dan pelapisan yang berkala</li> <li>• Memerlukan biaya yang tinggi</li> </ul>   |
| 10             | Lantai keramik                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Digunakan di area yang tinggi aktivitas</li> <li>• Cocok diletakan di area yang basah</li> <li>• Tidak mengeluarkan VOC</li> <li>• Tersedia dengan <i>finishing</i> anti slip</li> <li>• Lantai dapat dibersihkan dengan mudah, namun perlu perhatian khusus pada area sambungan lantai (nat)</li> <li>• Tidak mampu menyerap suara</li> </ul>  |
| 11             | Semen poles ( <i>concrete</i> )   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cocok untuk area yang basah</li> <li>• Tidak mengeluarkan VOC</li> <li>• Tersedia dengan <i>finishing</i> anti slip</li> <li>• Tersedia dalam berbagai warna, tekstur, dan jenis poles</li> <li>• Dapat diwarnai dengan cat untuk paving</li> <li>• Lantai ini sulit untuk retak kecuali terjadi kejadian tertentu</li> <li>• Tidak menyerap suara</li> </ul>   |
| <b>Dinding</b> |                                   |  |
| 1              | Papan gipsum                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Papan gipsum dengan lapisan kertas pada kedua sisinya</li> <li>• Dapat digunakan pada bermacam – macam kondisi <ul style="list-style-type: none"> <li>– Area basah</li> <li>– Pengontrol suara</li> <li>– <i>High impact area</i></li> </ul> </li> <li>• Ketebalan <ul style="list-style-type: none"> <li>– 10 mm untuk penggunaan standart</li> <li>– 13 mm untuk dinding yang lebih kuat</li> </ul> </li> <li>• Tidak cocok digunakan untuk area koridor</li> <li>• Dapat menjadi tempat tumbuhnya jamur jika basah</li> <li>• Harus menggunakan material <i>finishing</i> seperti cat atau <i>wallpaper</i></li> </ul> |

Tabel 2.10. Material Lantai, Dinding, dan Plafon Ruang Kelas (sambungan)

|               |                                    |  |
|---------------|------------------------------------|--|
| 2             | Bata                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kuat</li> <li>• Dapat difinishing natural atau dengan cat</li> <li>• Suara tidak mudah masuk</li> </ul>   |
| 3             | Kayu ( <i>timber boarding</i> )    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tersedia dalam berbagai tekstur dan ketebalan</li> <li>• Dapat dipasang vertikal , horizontal atau diagonal</li> <li>• Pelapisan dapat mengeluarkan VOC</li> <li>• Sesitif terhadap kelembaban dan perubahan kelembaban</li> <li>• Membutuhkan pengulangan pelapisan dalam kurun waktu tertentu</li> <li>• Membutuhkan biaya yang tinggi</li> </ul>   |
| <b>Plafon</b> |                                    |  |
| 1             | Papan gipsum                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cepat dalam pengerjaan dan hasilnya juga akan lebih rapi karena sambungannya bisa dibuat tidak kelihatan sama sekali</li> <li>• Model dan bentuk plafon juga bisa dibuat sesuai keinginan karena sudah tersedia bermacam-macam lis profil, motif panel papan tengah dan material pendukung lainnya</li> <li>• Bentuk plafon gypsum bisa dibuat dalam berbagai bentuk misalnya bentuk bertingkat(drop ceiling), kubah(dome) dan lain-lain.</li> <li>• Memerlukan kayu sebagai rangkanya</li> </ul> |
| 2             | Multipleks                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cepat dalam pengerjaan</li> <li>• Mudah didapatkan di pasaran dengan harga yang murah</li> <li>• Bahan ringan</li> <li>• Mudah terbakar</li> <li>• Jika terkena air mudah rusak dan dapat menjadi media tumbuhnya jamur</li> </ul>  |
| 3             | Eternit /asbes                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mudah didapat di pasaran</li> <li>• Harganya murah</li> <li>• Proses pengerjaan mudah</li> <li>• Bahan riangan</li> <li>• Mudah retak dan terkoyak, jika rusak akan menghasilkan serat yang dapat mengganggu kesehatan</li> </ul>   |
| 4             | GRC (Glassfiber Reinforced Cement) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tahan api dan air</li> <li>• Bahan ringan</li> <li>• Lentur</li> <li>• Proses pemasangannya mudah</li> <li>• Jika terbentur mudah rusak dan retak</li> </ul>  |
| 5             | Plafon akustik                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Harganya mahal</li> <li>• Tersedia dalam ukuran 60 cm x 60 cm</li> <li>• Tersedia dalam berbagai warna, tekstur, dan kekuatan meredam suara</li> </ul>  |

Sumber : *Ministry of education* (p.19 – 25)

### 2.4.3 Material Pembentuk Perabot

Ada beberapa material umum digunakan untuk membentuk perabot yang ditemukan dalam ruang kelas. Jenis material dan karakteristiknya dapat dilihat pada Tabel 2.11.

Tabel 2.11. Material Pembentuk Perabot dan Karakteristiknya

|             | Material                              | Karakteristik  |
|-------------|---------------------------------------|--|
| 1           | <i>Particleboard</i>                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ketebalan 9 – 30 mm</li> <li>• Tersedia berbagai macam finishing</li> <li>• Ketebalan 9 – 12 mm dapat digunakan sebagai dinding.</li> </ul>   |
| 3           | Kayu ( <i>timber boarding</i> )       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tersedia dalam berbagai tekstur dan ketebalan</li> <li>• Dapat dipasang vertikal , horizontal atau diagonal</li> <li>• Pelapisan dapat mengeluarkan VOC</li> <li>• Sesitif terhadap kelembaban dan perubahan kelembaban</li> <li>• Membutuhkan pengulangan pelapisan dalam kurun waktu tertentu</li> <li>• Membutuhkan biaya yang tinggi</li> </ul> |
| 2           | <i>Medium density fireboard</i> (MDF) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ketebalan 9 – 25 mm</li> <li>• Dapat ditekuk</li> <li>• Ketebalan 9 – 12 mm digunakan sebagai dinding</li> <li>• Serbuk yang terlepas dapat menjadi polutan dalam ruang (perlu dilapis HPL)</li> </ul>  |
| 3           | <i>Hard board</i>                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sandart hardboard ketebalan <ul style="list-style-type: none"> <li>– 4.75 mm</li> <li>– 6 mm untuk area dengan dampak</li> </ul> </li> <li>• <i>Oil tempered</i> sehingga anti air</li> <li>• Bisa menggunakan finishing halus atau finishing timbul.</li> </ul>  |
| <b>Kain</b> |                                       |  |
| 1           | <i>Upholstery</i>                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mudah dibersihkan</li> <li>• Jika menggunakan kain bertekstur harus menggunakan penutup agar kotoran tidak masuk.</li> <li>• Biaya yang tinggi, kualitas baik</li> </ul>  |
| 2           | Gorden                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pilih sesuai kebutuhan : <ul style="list-style-type: none"> <li>– Dekoratif</li> <li>– <i>Black out area</i></li> <li>– Akustik</li> <li>– Insulasi panas</li> </ul> </li> <li>• Penyangga haruslah kuat</li> </ul>   |

Sumber : *Ministry of education* (p.22 – 23)

#### 2.4.6. Material Finishing

Cat merupakan bahan finishing yang paling banyak digunakan. Selain memiliki warna yang bervariasi cat juga mudah diaplikasikan dan harganya terjangkau. Berdasarkan zat pelarutnya dan bahan dasarnya, cat dibedakan menjadi 2 jenis yaitu cat dengan bahan dasar air dan bahan dasar minyak. Cat dengan bahan dasar minyak memiliki harga yang lebih terjangkau dari pada cat dengan bahan dasar air, namun cat yang berbahan dasar air memiliki beberapa kelebihan, yaitu :

- Rendah kadar VOC
- Warna lebih tahan lama
- Tersedia dalam berbagai tingkat kemilau (*sheen level*)
- Mengandung fungisida yang berguna menghindari tumbuhnya jamur (Ministry of education 26).

#### 2.4.7. Material Perekat

Material perekat tidak bisa dipisahkan dari dunia interior baik untuk bahan bangunan maupun untuk elemen dekoratif. Tipe – tipe perekat, kandungan serta kepekaan kelembaban dan area penggunaannya dapat dilihat pada Tabel 2.13.

Tabel 2.12. Tipe Perekat yang Digunakan Dalam Interior

| Tipe Perekat            | Kandungan Zat   | Kepekaan kelembaban | Area Penggunaan   |
|-------------------------|---|---------------------|---|
| <b>Perekat mineral</b>  |   |                     |   |
| Perekat semen           | Semen PC, debu dari bebatuan, air                     | 1                   | Memperbaiki keramik dan blok beton  |
| <b>Resin sintesis</b>   |   |                     |   |
| Urea – formaldehid (UF) | Urea, formaldehid (formalin), air                     | 3                   | <i>Chipboard</i> , alas pada karpet   |
| Fenol                   | Fenol, formalin, solven organik                       | 3                   | <i>Chipwood</i> , lantai <i>cork</i> , <i>mineral wool</i>  |
| Polivinil asetat (PVAC) | Air, <i>vinyl acetate</i> , pelarut organik, pelembut | 3                   | Sambungan dan pengisi pada perabot, memperbaiki penutup lantai yang lebut, <i>wallpaper</i> , produk kayu |

Tabel 2.12. Tipe Perekat yang Digunakan Dalam Interior (sambungan)

|                                  |   |   |   |
|----------------------------------|---|---|---|
| Poliuretan                       | Isosianat dan polioliol                                 | 3 | Sambungan pada kayu, <i>particle board</i> , <i>cork tiles</i> (ubin dari busa), pemasangan kayu, logam dan plastik |
| Epoksi                           | Epoksi, amina dan poliamid                              | 1 | Memperbaiki batu, kaca, logam, plastik, lantai keramik, dan bahan perekat pada pengisi ( <i>filler</i> ) perabot.   |
| Isosianat                        | Isosianat, stirena, xylene, butadiena, heksana, toluena | 1 | Perekat kayu, <i>plywood</i> dan memperbaiki metal  |
| Melamin – urea-formaldehid (MUF) | Melamin, urea, formaldehid                              | 2 | Perekat pada sambungan kayu dan perekat serat kayu  |
| <b>Perekat nabati</b>            |   |   |   |
| Pasta selulosa                   | Metil selulosa dan air                                  | 3 | <i>Wallpaper</i>  |
| Resin colophony                  | Colophony dan pelarut organik                           | 2 | Perekat papan fiber   |
| Perekat latex                    | Karet alami dan pelarut organik                         | 2 | Perekat kertas, memperbaiki <i>linoleum</i> dan kayu  |
| Pasta kentang                    | Tepung kentang dan air                                  | 4 | Memperbaiki <i>wallpaper</i>  |
| Kedelai                          | Protein kedelai dan air                                 | 3 | Perekat <i>plywood</i>  |
| <b>Perekat hewani</b>            |   |   |   |
| Lem kasein                       | Protein susu, batu kapur, fungisida, air                | 2 | Perekat <i>Plywood</i> dan kayu, memperbaiki kayu   |
| Lem kolagen                      | Protein dari jaringan dan air                           | 3 | <i>Perekat kayu dan plywood</i>   |

Sumber : Berge (2009, p.374-375)

Kepekaan terhadap kelembaban dibagi menjadi skala 1 sampai 5, yang berarti:

- a. Skala 1 adalah perekat untuk penggunaan di luar ruangan.
- b. Skala 2 adalah perekat untuk penggunaan pada ruang terbuka, namun tetap harus terlindung dari hujan.
- c. Skala 3 adalah perekat untuk penggunaan di dalam ruang, di tempat – tempat yang relatif kering.
- d. Skala 4 adalah perekat untuk penggunaan di dalam ruang, di tempat yang kering.

Perekat yang mengandung zat – zat seperti, amina, isosianat, heksana, toluena, formaldehid, xilen, siloxanes, dan stirena, merupakan perekat yang beresiko mengeluarkan emisi yang berbahaya bagi kesehatan jika terhirup.

#### 2.4.8. Material Perawatan dan Pemeliharaan

##### a. Zat Pembersih

Proses pemeliharaan dan perawatan tidak luput dari penggunaan cairan pembersih. Semua zat pembersih mengandung zat kimia yang berbahaya bagi manusia. Tabel dibawah ini akan menjelaskan kandungan yang terdapat pada cairan pembersih yang umum digunakan dalam kehidupan sehari – hari.

Tabel 2.13. Zat Kimia pada Zat Pembersih

| Kandungan Zat Kimia                                       | Jenis Pembersih   |
|---|---|
| <b>Golongan Glikol Eter</b>                               |   |
| Dietilen glikol monobutil eter (2-butoksi etanol)         | - Pembersih yang ber”aroma” lemon<br>- Pembersih kaca<br>- Desinfektan<br>- Wax cair      |
| Dietilen glikol monoetil eter (2-(2-etoksietoksi) etanol) | - Pengharum ruangan   |
| Etilen glikol monobutil eter (2-(2-butoksietoksi) etanol) | - Pembersih, pemoles lantai<br>- Pembersih ”kuat”   |
| <b>Golongan Hidrokarbon</b>                               |   |
| Benzena   | - Wax untuk perabot<br>- Deterjen cair  |
| Xilen   | - Deterjen cair<br>- Pembersih rumah tangga, pemoles                                      |
| Toluen  | - Pembersih kamar mandi<br>- Desinfektan aroma lemon<br>- Pembersih rumah tangga, pemoles |
| Etilbenzena   | -Pembersih rumah tangga, deterjen cair -<br>Pemoles perabot                               |
| Stiren  | - Pembersih lantai<br>- Wax cair  |
| n-Heksana   | - Pembersih rumah tangga, pemoles   |
| <b>Golongan Karbonil</b>                                  |   |
| Formaldehid   | - Pembersih lantai kayu   |
| Asetaldehid   | - Deterjen, wax cair  |
| Metil etil keton (2-Butanon)                              | - Wax cair untuk lantai, pembersih khusus   |
| <b>Golongan Organik Klorin</b>                            |   |
| Propilen diklorida (1,2- dikloropropan)                   | - Wax pasta<br>- Wax cair untuk lantai  |
| Tetrakloroetilen  | - Pembersih rumah tangga, pemoles   |
| Triklorometan (kloroform)                                 | - Pemberih rumah tangga, pemoles<br>- Pemutih   |

Tabel 2.13. Zat Kimia pada Zat Pembersih (sambungan)

|                         |  |
|-------------------------|--|
| <b>Golongan Alkohol</b> |  |
| Linalool                | - Pengharum ruangan<br>- Pembersih lantai  |
| <b>Golongan Terpene</b> |  |
| Limonene                | - Wax untuk lantai - Pengharum ruangan<br>- Deterjen dan zat pembersih<br>- Anti bakteri |
| $\alpha$ -Pinene        | - Cairan pembersih, desinfektan<br>- Pengharum ruangan, pemberi aroma lemon              |
| $\beta$ -Pinene         | - Cairan pembersih, pengilap lantai<br>- Pemberi aroma lemon<br>- Desinfektan            |

Sumber: Nazaroff, W. William et. all (2006,p.23 – 24)

Beberapa zat kimia dari pembersih yang digunakan dapat terlepas di udara dan menempel pada beberapa material dalam ruang.

Tabel 2.14. Zat Kimia yang Menempel Pada Material Dalam Ruang

| <b>Kandungan Zat Kimia</b>     | <b>Material dalam ruang</b>  |
|--------------------------------|--|
| <b>Golongan Glikol Eter</b>    |  |
| Dietilen glikol monobutil eter | Papan gipsum, karpet dan <i>stainless steel</i>  |
| Etilen glikol monobutil eter   | Papan gipsum, karpet, penutup dinding berbahan vinil, <i>wallpaper</i> , lantai PVC,   |
| <b>Golongan Hidrokarbon</b>    |  |
| Benzena                        | Seluruh ruangan  |
| Xilen                          | Seluruh ruangan, wallpaper, karpet, papan gipsum, marmer, parket kayu, kain, lantai pvc  |
| Toluen                         | Karpet, tirai, lantai PVC, papan gipsum, <i>stainless steel</i> , lantai kayu,   |
| Etilbenzena                    | Karpet, lantai vinil, papan gipsum, plywood, bantal, kaca, lantai kayu, kain pelapis perabot   |
| Stiren                         | Seluruh ruangan  |
| <b>Golongan Karbonil</b>       |  |
| Formaldehid                    | Papan gipsum   |
| Metil etil keton               | Cat akrilik, papan gipsum  |
| <b>Golongan Organik Klorin</b> |  |
| Propilen diklorida             | Seluruh ruangan  |
| Tetrakloroetilen               | Seluruh ruangan, karpet, papan gipsum, penutup dinding berbahan vinil dan kain, lantai PVC dan kayu, penutup perabot berupa kain, permukaan yang di cat, kaca. |
| Triklorometan (kloroform)      | Seluruh ruangan  |

Tabel 2.14. Zat Kimia yang Menempel Pada Material Dalam Ruang (sambungan)

| <b>Golongan Alkohol</b> |   |
|-------------------------|---|
| Linalool                | Wallpaper, penutup dinding berbahan kain, karpet, papan gipsum, lantai PVC.                   |
| <b>Golongan Terpene</b> |   |
| Limonene                | Karpet, papan gipsum  |
| $\alpha$ -Pinene        | Karpet, penutup dinding berbahan vinil dan kain, tirai katun, lantai PVC                      |
| $\beta$ -Pinene         | Wallpaper, penutup dinding berbahan akrilik, kain dan vinil, lantai PVC, papan gipsum, karpet |

Sumber : Nazaroff, W. William, et. all (2006, p.27)

b. Pengharum ruangan

Pengharum ruangan yang selama ini dipakai untuk mengharumkan ruangan mengandung zat kimia yang disebut paradiklorobenzena, yang juga merupakan zat aktif yang terdapat pada kapur barus. Zat kimia tersebut dapat menyebabkan kanker pada binatang, tetapi efek jangka panjang pada manusia belum pasti. Selain itu, pengharum ruangan juga mengandung alkohol (Doren 15).

c. Pestisida

Untuk membasmi adanya vektor penyakit maka perlu adanya usaha untuk mengendalikannya, dengan menggunakan bahan kimia atau pestisida. Jenis pestisida yang umum digunakan adalah insektisida (untuk mengontrol serangga), termisida (untuk mengontrol rayap), rodentisida (untuk mengendalikan tikus), fungisida (untuk membasmi jamur) serta desinfektan untuk membunuh kuman. Pestisida yang umum digunakan adalah yang berbentuk aerosol, cair, batang, bubuk, dan kristal. Secara sederhana, jamur dapat dibasmi dengan campuran  $\frac{1}{4}$  cangkir cairan pemutih pakaian yang dilarutkan dengan  $1\frac{1}{4}$  galon air. Cairan pemutih pakaian mengandung klorin yang merupakan zat kimia golongan biosida. Untuk mengilangkan residu pada area yang disemprot cairan klorin, maka setelah pembasmian perlu dibersihkan dengan sabun dan air, karena residu yang tertinggal dapat menimbulkan toksin dan memicu alergi. Tetapi perlu diperhatikan bahwa klorin tidak menghambat pertumbuhan jamur dan dapat memicu jamur untuk tumbuh kembali. Biosida tidak direkomendasikan karena meskipun jamur telah dibasmi, masih dapat menjadi pemicu alergi. Selain klorin, sanitzer juga

dapat membasmi bakteri maupun jamur. Kelebihan sanitizer daripada klorin adalah sanitizer menjadikan jamur tidak tumbuh kembali di tempat yang sama. Cara dan penggunaan pestisida harus sesuai petunjuk penggunaan yang tertera pada produk karena pestisida mengandung banyak zat beracun, baik zat aktifnya maupun zat pembawanya (inert).

Efek yang ditimbulkan akibat penggunaan yang tidak sesuai aturan antara lain sakit kepala, lemas, mual. Sedangkan efek jangka panjangnya terjadinya kerusakan pada hati dan sistem saraf pusat serta kanker (Doren 13-14). Bila harus menggunakan pestisida, pilih pest control company yang tersertifikasi dan minta Material Safety Data Sheet (MSDS) untuk zat-zat kimia yang digunakan sebelum kita menandatangani kontrak. MSDS merupakan keterangan tentang zat kimia, termasuk pembahasan mengenai efek kesehatan, penanganan pertama dan peralatan pengaman bagi siapa saja yang bekerja dengan zat kimia tersebut.

#### **2.4.9. Ekolabel**

Polutan dalam ruang sering kali berasal dari material pembentuk ruang dan material pembersih ruang yang digunakan, oleh karena itu pemilihan material yang tepat mampu mengurangi kadar polutan dan memperbaiki kualitas udara dalam ruang. Sekarang ini pemilihan material yang rendah polutan dapat diketahui dari adanya sertifikasi untuk keselamatan dan kesehatan bagi pengguna dan lingkungan yang disebut ekolabel (*Global Ecolabelling Network 1*).

Ekolabel adalah sebuah label yang mengidentifikasi preferensi lingkungan secara keseluruhan dari suatu produk (barang atau jasa), didasarkan pada pertimbangan siklus hidup. Ekolabel diberikan oleh pihak ketiga untuk produk yang memenuhi kriteria yang ditetapkan oleh lembaga terkait.

Ekolabel merupakan salah satu *environmental labelling* yang menyediakan informasi kepada konsumen mengenai kualitas dari suatu produk terhadap lingkungan. Ekolabel telah menjadi alat bagi pemerintah dalam menyuarkan aksi peduli lingkungan serta usaha untuk mengidentifikasi dan membangun pasar untuk produk yang ramah lingkungan. Ada tiga tujuan utama dari adanya ekolabel, yaitu :

- Menjaga lingkungan
- Mendorong inovasi produk yang ramah lingkungan dan kemimpinan
- Membangun kepedulian konsumen terhadap masalah lingkungan

Produk yang telah tersertifikasi ecolabel dapat diuraikan menurut faktor ekologis dan kesehatan. Faktor ekologis yaitu dimana lingkungan mengalami pencemaran oleh produksi dan penggunaan produk, sedangkan faktor kesehatan yaitu dimana kesehatan yang dialami pengguna atau penghuni akibat penguapan zat – zat berbahaya dari produk (Widmer, Petra dan Heinz Frick 55).

Di Indonesia serifikasi ecolabel dilakukan oleh Lembaga Ecolabel Indonesia (LEI). LEI adalah organisasi non-profit berbasis konstituen yang mengembangkan sistem sertifikasi hutan yang mempromosikan misi untuk pengelolaan sumber daya hutan yang adil dan berkelanjutan di Indonesia. LEI telah berdiri sejak tahun 1993 dan disponsori oleh World Wide Fund of Nature (WWF) dan Forest Stewardship Council (FSC). LEI bertanggung jawab terhadap penetapan kriteria dan standar nasional untuk ecolabel yang dimulai dari kehutanan (LEI par 1).

Selain LEI ada beberapa organisasi yang mengeluarkan sertifikasi dengan spesifikasi yang berbeda, beberapa organisasi tersebut adalah :

Tabel 2.15. Nama Organisasi, Spesifikasi dan Tipe Sertifikasi

| Organisasi                                  | Spesifikasi          | Tipe sertifikasi    |
|---|----------------------|---------------------|
| <i>US Green Building Council</i>            | LEED                 | Bangunan            |
| <i>Green Seal</i>                           | Green Seal           | Produk              |
| <i>Greenguard™ Environmental Institute</i>  | Greenguard           | Produk              |
| <i>Scientific Certification Systems</i>     | Beberapa sertifikasi | Produk              |
| <i>Green Building Institute</i>             | Greendlobes          | Bangunan            |
| <i>NAHB National Green Building Program</i> |                      | Bangunan            |
| <i>EPA and DOE Joint Program</i>            | Energy star          | Produk dan bangunan |

Sumber : Paint Quality Institute (2016)

## 2.5. Dampak Buruknya Kualitas Udara Dalam Ruang (*Indoor Air Quality*)

Penghuni bangunan dengan laporan IAQ yang buruk akan mengalami berbagai masalah kesehatan yang sering disebut *Sick Building Syndrome* (SBS) atau *Tight Building Syndrome* (TBS), *Building Related illness* (BRI) dan *Multiple*

*Chemical Sensitivitas* (MCS). Selain masalah kesehatan buruknya kualitas udara dalam ruang mampu menurunkan kualitas kerja.

### **2.5.1. Sick Building Syndrome (SBS)**

Menurut EPA (1991,1) *Sick Building Syndrome* (SBS) digunakan untuk menggambarkan situasi dimana penghuni suatu bangunan mengalami efek kesehatan dan kenyamanan yang merugikan, yang tampaknya berkaitan dengan lamanya aktivitas di dalam gedung. Namun, tidak ada penyakit atau penyebab spesifik yang dapat diidentifikasi.

Sindrom ini diasumsikan disebabkan oleh interaksi multifaktorial beberapa faktor paparan yang melibatkan mekanisme reaksi yang berbeda. Gejala SBS antara lain: sakit kepala, kehilangan konsentrasi, tenggorokan kering, iritasi mata dan kulit. Beberapa bentuk penyakit yang berhubungan dengan SBS adalah iritasi mata dan hidung, kulit dan lapisan lendir yang kering, kelelahan mental, sakit kepala, ISPA, batuk, bersin-bersin, dan reaksi hipersensitivitas (Fitria, Laila, et.all.77)

Pada tahun 1984, setelah menganalisa 300 kasus Sick Building Syndrome, NIOSH (*National Institute for Occupational Safety and Health*) menyimpulkan bahwa 48 % dari kasus SBS disebabkan oleh ventilasi yang kurang baik, 5 % disebabkan oleh kontaminasi bakteri, dan 16 % nya disebabkan oleh *office machines & products*.

Beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam hubungan kualitas udara dalam ruang dengan kejadian SBS adalah (Fitria, Laila, et.all.77) :

- Kondisi lingkungan dalam ruang, kondisi lingkungan yang penting untuk diperhatikan adalah suhu ruangan, kelembaban, dan aliran udara. Ketiga hal tersebut dapat menyebabkan peningkatan absorpsi polutan kimia dalam ruangan, pertumbuhan mikroorganisme di udara, dan meningkatkan bau yang tidak sedap.
- Konstruksi gedung dan *furniture*.
- Proses dan alat-alat dalam gedung.
- Ventilasi, ventilasi udara yang buruk dapat menyebabkan kurangnya udara segar yang masuk dan buruknya distribusi udara di dalam ruang.

- Status kesehatan pekerja; dan faktor psikososial/*stress*.

### **2.5.2. *Building Related illness (BRI)***

*Building Related illness (BRI)* mengacu pada kasus pengguna yang menjadi sakit setelah berada di sebuah bangunan tertentu pada waktu tertentu. Dalam kasus ini, biasanya berkaitan dengan gejala klinis yang dialami oleh orang-orang dan penyebab yang jelas sering bisa ditemukan setelah penyelidikan. Penyakit *Legionnaires* adalah contoh dari BRI yang disebabkan oleh bakteri yang dapat mencemari sistem AC sebuah bangunan (CCOHS, par 3)

### **2.5.3. *Multiple Chemical Sensitivitas (MCS)***

Pekerja yang bereaksi terhadap sejumlah bahan kimia di udara dalam ruangan yang terjadi pada konsentrasi yang sangat rendah, reaksi tersebut dikenal sebagai *Multiple Chemical Sensitivitas (MCS)*. Kejadian MCS umumnya ditemukan pada bangunan baru atau bangunan lama yang diremajakan (Prasasti 161-162 dan Prihatmanti 62 – 66).

### **2.5.4. Menurunnya Kualitas Belajar**

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Smedje, Norback dan Edling, kelas dengan kualitas udara yang kurang baik mempengaruhi kualitas belajar siswa. Kasus ini dilaporkan oleh 21% dari 627 siswa sekolah di Swedia, dimana sekolah dengan tingkat kelembaban yang tinggi, konsentrasi zat berbahaya yang tinggi dan jumlah bakteri dan jamur dalam ruang, dapat menimbulkan gangguan kerja mental yang berakibat pada menurunnya kinerja siswa dan prestasi akademik.

Hal ini juga terjadi di beberapa sekolah dasar di Kanada, penelitian yang dilakukan oleh Landrus dan Axcel menemukan bahwa anak – anak yang memiliki alergi dan sensitivitas lingkungan seperti asma dan terganggu oleh bau spidol, memiliki prestasi akademik yang kurang baik.

Penelitian lain juga dilakukan oleh tiga peneliti yang berbeda yaitu Sale, Ritzel dan Green, dimana mereka melakukan studi mengenai hubungan antara kehadiran siswa dengan kelembaban ruang kelas. Ruang kelas dengan kelembaban yang normal memiliki tingkat absensi 40% - 50% lebih rendah dari pada sekolah

dengan kelembaban yang terlalu rendah atau tinggi. Selain itu sekolah dengan kelembaban yang nyaman memiliki penurunan masalah kesehatan seperti pilek, bersin, sakit tenggorokan dan demam yang disebabkan oleh cuaca.(dikutip dalam Bayer W. Charlene, Sidney A. Crow dan Jhon Fischer 43 – 44)