

**REL 572 : DISERTASI**

**KUALITI UDARA DALAMAN DAN KESELESAAN  
DI DALAM BANGUNAN**

Oleh :

**MOHD. RODZI BIN ISMAIL**

**DIAJUKAN KEPADA PUSAT PENGAJIAN  
PERUMAHAN BANGUNAN DAN PERANCANGAN  
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA  
UNTUK MEMENUHI SEBAHAGIAN KEPERLUAN BAGI  
IJAZAH SARJANA TEKNOLOGI BANGUNAN**

**APRIL 1995**

## PENGHARGAAN

Setinggi-tinggi kesyukuran dipanjatkan ke hadrat ilahi kerana atas keizinanNya disertasi ini dapat disiapkan . Tiada yang lebih mulia selain dari doa untuk kesejahteraan dunia dan akhirat buat kedua ibu dan ayah tercinta atas usaha dan doa kalian untuk kejayaan anakanda.

Ribuan terima kasih diajukan kepada Prof. Madya Dr. Tan Guat Lin atas kesudian menjadi penyelia kepada disertasi ini. Dorongan dan semangat yang diberikan oleh beliau sangat dihargai. Sekalung ucapan terima kasih buat penyelaras kursus, Encik Mohd. Zahry Sheikh Abdul Rahman atas tunjuk ajar dan perhatian yang beliau berikan selama ini. Buat rakan-rakan sekalian, terima kasih atas kesudian kalian bersama-sama dalam mengharungi saat suka dan duka dan di kala senang dan susah. Terima kasih buat semuanya atas segala-galanya.....

Mohd. Rodzi Bin Ismail,

April 1995.

## ABSTRAK

Persekitaran dalaman memerlukan kualiti udara dalaman yang bebas daripada sebarang pencemar-pencemar untuk keselesaan penghuni bangunan. Persoalan tentang udara dan udara dalaman telah lama diperkatakan dan dibuat kajian sejak dahulu lagi. Masalah kualiti udara dalaman berpunca daripada pencemaran yang berlaku di dalam bangunan oleh pencemar-pencemar udara dalaman yang datangnya samada dari dalam bangunan itu sendiri atau dari persekitaran luaran atau kedua-duanya. Penyebab utama kepada wujudnya masalah kualiti udara dalaman ialah kurangnya pengudaraan yang cukup bagi ruang-ruang tertutup yang digunakan. Terdapat berbagai bentuk pencemar-pencemar iaitu dalam bentuk gas-gas, partikel-partikel dan sebatian organik. Pencemar-pencemar yang mencemarkan udara dalaman boleh ditentukan dan parasnya boleh diukur dengan kaedah dan peralatan-peralatan tertentu. Permasalahan kualiti udara dalaman dapat dikawal dan diatasi. Kaedah yang paling berkesan ialah dengan mencairkan atau mengeluarkan pencemar-pencemar daripada ruang dalaman dan disamping itu terdapat beberapa kaedah lain yang turut membantu mengekalkan kualiti udara yang baik.

<b>KANDUNGAN</b> .....	<b><i>m/s</i></b>
1.0 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Objektif Kajian .....	2
1.2 Skop Kajian.....	3
1.3 Methodologi Kajian.....	3
2.0 PENGENALAN .....	4
2.1 Persekitaran Dalaman.....	4
2.2 Keperluan Asas Udara.....	5
2.3 Pencemar-pencemar .....	7
2.4 Iklim Dalaman.....	8
3.0 SEJARAH DAN LATAR BELAKANG KAJIAN UDARA DAN KUALITI UDARA .....	10
3.1 Keperluan Pernafasan.....	10
3.2 Udara Tercemar.....	11
3.3 Pembentukan Undang-undang Berkenaan Pencemaran Udara .....	13
3.4 Kebersihan dan Kualiti Udara di Tempat Kerja.....	14
3.5 Keselesaan Udara Dalaman.....	16
3.6 Pembinaan dan Bahan Binaan.....	18
4.0 MASALAH-MASALAH KUALITI UDARA DALAMAN .....	21
4.1 Punca-punca Masalah Kualiti Udara Dalaman .....	22
4.2 Pencemar-pencemar Udara Dalaman, Sumber-sumber, Ciri-ciri dan Kesan Terhadap Kesihatan.....	25

## 5.0 KAEDAH-KAEDAH PENGUKURAN

PENCEMAR-PENCEMAR UDARA DALAMAN .....	41
5.1 Karbon Monoksida (CO).....	41
5.2 Nitrogen Dioksida (NO <sub>2</sub> ) .....	44
5.3 Sulfur Dioksida (SO <sub>2</sub> ).....	46
5.4 Ozon (O <sub>3</sub> ).....	47
5.5 Bahan Partikulat Pernafasan (Respirable Particulate Matter - RPM).....	47
5.6 Formaldehyde .....	48
5.7 Sebatian Organik Mudah Meruap (Volatile Organic Compounds - VOC) .....	51
5.8 Asap Tembakau .....	56
5.9 Racun Serangga Perosak.....	58
5.10 Bauan .....	60
5.11 Karbon Dioksida (CO <sub>2</sub> ).....	61
5.12 Bioaerosol.....	62
6.0 KAJIAN KES KUALITI UDARA DALAMAN.....	66
6.1 Sampel Ruang.....	66
6.2 Kaedah Kajian .....	67
6.3 Hasil Kajian .....	69
6.4 Perbincangan .....	70
6.4 Kesimpulan Kajian.....	71
7.0 KAWALAN DAN KAEDAH MENGATASI MASALAH	
KUALITI UDARA DALAMAN .....	72
7.1 Pengudaraan .....	72
7.2 Bahan-bahan binaan.....	75
7.3 Penapisan Kecekapan Tinggi.....	76

7.4 Aktiviti-aktiviti di Dalam Bangunan.....	77
7.5 Piawaian Udara Dalam.....	78
7.6 Operasian dan Penyenggaraan.....	79
8.0 KESIMPULAN .....	81
BIBLIOGRAFI.....	83

## 1.0 PENDAHULUAN

Bagi negara industri seperti Amerika Syarikat dan negara-negara industri yang lain, persoalan tentang kualiti udara dalaman (IAQ) dan permasalahannya telah lama dibincangkan. Malah sudah ada peraturan-peraturan dan piawaian-piawaian tertentu yang berkaitan dengan kualiti udara dalaman telah dikuatkuasakan. Masalah kualiti udara dalaman banyak berlaku di negara-negara maju ini memandangkan sebagai negara industri pencemaran udara persekitaran tidak dapat dielakkan yang mana udara luaran yang tercemar mempunyai perkaitan dengan kualiti udara bagi ruang dalaman. Bagi negara-negara ini banyak sudah kajian, kawalan, perbincangan dan penasihatn yang berkaitan dengan kualiti udara dalaman telah dibuat oleh pihak-pihak tertentu bagi menjamin udara yang disedut ketika kita berada di sesuatu ruang dalaman bangunan samada di rumah atau di tempat kerja (pejabat) merupakan udara yang betul-betul bersih dan segar kerana ini juga akan mempengaruhi kesihatan dan mutu kerja penghuni atau pengguna ruang-ruang tersebut. Banyak sudah kes berlaku di negara tersebut di mana penghuni atau pengguna ruang yang kualiti udara dalamannya tercemar mengalami gangguan kesihatan yang mana kes-kes seperti ini dirujuk sebagai sindrom bangunan sakit (SBS). Ini sebenarnya bukanlah bermakna bangunan yang didiami itu yang sakit tetapi merujuk kepada penghuni-penghuni yang mengalami simptom-simptom tertentu apabila berada di dalam bangunan tersebut. Sesebuah bangunan itu dikatakan mengalami SBS apabila 20 peratus daripada penghuninya menunjukkan simptom-simptom penyakit dan punca-punca penyakit ini tidak diketahui. Oleh itu adalah penting untuk mengadakan persekitaran dalaman dengan kualiti udara yang cukup bersih bagi bangunan-bangunan.

Telah banyak diperkatakan bahawa salah satu punca utama masalah kualiti udara dalaman adalah daripada sistem pengudaraan dan penyamanan udara. Bangunan-bangunan yang baru dan baru dimodelkan semula dikatakan mudah dipengaruhi oleh masalah kualiti udara dalaman. Ini disokong pula oleh kenyataan daripada Pertubuhan Kesihatan Sedunia (WHO) yang menganggarkan bahawa sehingga 30 peratus daripada bangunan-bangunan pejabat baru atau yang dimodelkan semula mungkin mengalami masalah-masalah kualiti udara dalaman. Malaysia merupakan sebuah negara yang dalam proses untuk menjadi negara maju maka dengan itu banyak projek-projek pembinaan bangunan-bangunan baru dilakukan dengan pesatnya pada ketika ini. Dengan itu bangunan-bangunan yang akan diwujudkan itu mungkin akan mengalami permasalahan seperti yang dinyatakan oleh WHO tersebut. Untuk itu adalah penting persoalan tentang kualiti udara dalaman dan permasalahannya diberi perhatian kerana kita juga mungkin akan mengalami permasalahan ini di masa akan datang dan ini juga mempunyai pengaruh terhadap mutu kerja yang akan dihasilkan jika permasalahan ini melanda ruang-ruang pejabat kita.

### **1.1 Objektif Kajian**

Kualiti udara dalaman dan kesannya terhadap penghuni bangunan mungkin merupakan suatu perkara yang belum menjadi isu penting di negara kita. Walau bagaimanapun kita harus mengambil iktibar daripada apa yang berlaku di negara-negara industri tentang permasalahan ini dan berwaspada serta mengambil langkah pencegahan yang perlu supaya sesuatu yang terjadi di negara-negara tersebut tidak berlaku di negara kita walau pun kita akan menjadi negara maju di suatu hari kelak.

Untuk itu objektif kajian ini ialah untuk meninjau kemungkinan kewujudan masalah kualiti udara dalaman bagi ruang dalaman di negara kita. Dengan itu kita dapat membuat suatu kesimpulan tentang persekitaran dalaman bangunan-bangunan di negara ini.

## **1.2 Skop Kajian**

Kajian ini akan menekankan aspek-aspek yang berikut:

1. Punca-punca yang menyebabkan masalah kualiti udara dalaman berlaku
2. Pencemar-pecemar udara dalaman yang biasa di dapati
3. Kaedah pengukuran pencemar-pencemar udara dalaman
4. Kaedah kawalan dan kaedah mengatasi masalah kualiti udara dalaman.

Kajian juga akan lebih membincangkan dan menekankan tentang permasalahan kualiti udara dalaman untuk ruang-ruang pejabat bagi menghubungkan maklumat-maklumat yang didapati daripada rujukan-rujukan dengan keadaan di Malaysia kerana kita juga mempunyai bangunan-bangunan pejabat tertutup yang dilengkapi dengan sistem pegudaraan dan penyamanan udara.

## **1.3 Methodologi Kajian**

Dalam menjalankan disertasi ini maklumat-maklumat yang dibincangkan lebih banyak berdasarkan kepada rujukan-rujukan yang didapati disamping satu kajian kes yang ringkas.

## 2.0 PENGENALAN

### 2.1 Persekitaran Dalam

Dalam kehidupan seharian kita banyak menghabiskan masa berada di dalam bangunan samada di rumah atau di tempat kerja. Dengan sebab itu kita menjadi bertambah sensitif dengan kualiti persekitaran dalaman. Perkara yang paling penting ialah kita berkehendakan kepada keselesaan apabila berada di dalam sesuatu ruang. Jika ini tidak diperolehi kita tidak berasa senang untuk berada di dalam rumah dan ketika di berada di tempat kerja sedikit sebanyak ia akan mempengaruhi kecerdasan melakukan kerja dan seterusnya mengganggu produktiviti. Untuk itu bagi menjalankan aktiviti-aktiviti dengan lebih cekap dan berkesan kita memerlukan suatu persekitaran dalaman yang mempunyai ciri-ciri fizikal, kimia dan biologi yang terbatas. Secara semulajadi keadaan persekitaran dalaman yang sebegini tidak akan kita perolehi, maka kita harus membentuk habitat dalaman buatan yang memenuhi kehendak kita dengan lebih baik.

Persekitaran dalaman ditentukan oleh keadaan iklim luaran, rekabentuk bangunan, pengurusan bangunan dan aktiviti-aktiviti yang dijalankan oleh penghuni-penghuni bangunan. Setiap daripada faktor-faktor ini dikawal oleh pelbagai pembolehubah yang mempengaruhi. Sebab itulah di Amerika Syarikat misalnya, setiap bilik bagi berjuta-juta bangunannya mempunyai iklim dalamannya yang tersendiri. Sehubungan dengan itu adalah menjadi tanggung jawab pihak pengurusan bangunan, perekabentuk dan penghuni itu sendiri untuk menjamin kualiti udara dalaman yang baik. Kualiti udara dalaman diberi perhatian yang berat kerana:

- a. udara dalaman adalah medium perantaraan di mana manusia, bangunan dan iklim berinteraksi atau saling bertindak balas

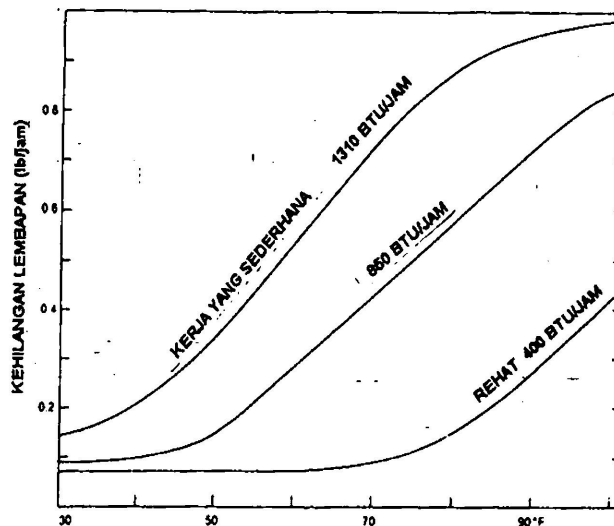
- b. ciri-ciri fizikal, kimia dan biologi udara dalaman mempengaruhi kesihatan dan kecergasan penghuni bangunan
- c. udara dalaman boleh dibatasi dan dikawal secara rasional untuk memenuhi keperluan penghuni.

Seperti yang telah dinyatakan di atas, tujuan alam binaan ialah untuk menyediakan kepada kita keperluan-keperluan asas kimia, fizikal dan biologi. Maka untuk mencapai keperluan-keperluan ini pengudaraan dan penyamanan udara di dalam ruang bangunan diperlukan.

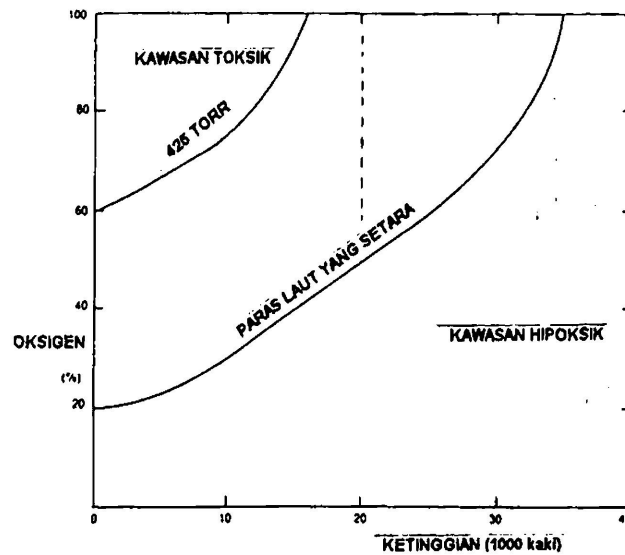
## 2.2 Keperluan Asas Udara

Untuk terus hidup, seseorang yang diam (tidak melakukan aktiviti) harus menyedut udara sebanyak 10,000 kali bernafas setiap hari bagi. Ini adalah tambahan kepada udara kira-kira 10 hingga 20 m<sup>3</sup>/hari dan kira-kira 1.5 lb oksigen yang digunakan sebagai bahanapi untuk proses metabolisma. Udara yang disedut haruslah bersih dan segar kerana sistem respirasi manusia adalah suatu penyebar yang sangat sensitif dan cekap bagi gas-gas, samada yang tidak berbahaya atau beracun, dan juga habuk halus. Sebagai contoh, satu bakteria *bacillus* yang terdapat di dalam 50 m<sup>3</sup> udara sudah mencukupi untuk menyebabkan penyakit batuk kering paru-paru. Begitulah juga keadaannya bagi orang yang mengalami alahan yang mana mereka akan bertindak balas terhadap debunga tertentu walaupun jumlahnya hanya satu mikrospora. Bagaimana pun kita bernasib baik kerana badan kita cukup tahan rintangan terhadap pencemar-pencemar lain dan paru-paru dengan mudah boleh mengendalikan sebanyak 10 hingga 40 µg/m<sup>3</sup> habuk pernafasan yang hadir walaupun di dalam udara sekitaran yang tulin. Udara ini dihembus pada suhu 37 °C dan pada nilai kelembapan 100%. Kita juga perlu menyingkirkan haba buangan pada suatu

kadar 80 W dalam usaha untuk menetapkan kandungan haba di dalam badan dan suhu terasnya dikekalkan pada  $37 \pm 0.3 \text{ }^\circ\text{C}$ . Kestabilan ini dicapai sebahagiannya melalui perpeluhan, yang menyumbang kira-kira 2 liter air kepada udara dalaman. Pertukaran yang berlaku bergantung kepada aktiviti-aktiviti yang dijalankan. Ini ditunjukkan pada *Rajah 2.1(a)* dan *Rajah 2.1(b)*. Tambahan pula setiap hari kita perlu menyingkirkan 1 lb karbon dioksida dan mengesan hampir 200 bahan kimia yang mana bahan-bahan kimia ini bertanggungjawab terhadap bau badan yang normal. Seseorang yang diam di tempat duduknya dengan pakaian yang ringkas akan berasa paling selesa pada suhu  $24.5 \text{ }^\circ\text{C}$ , dengan kelembapan sebanyak 40% dan pada suatu aliran udara kira-kira 0.25 m/s, tetapi keselesaan individu banyak berbeza, bergantung kepada paras aktiviti yang dilakukan. Jika suhu tidak bersesuaian, badan boleh menyelaraskan paras penyingkiran habanya melalui suatu mekanisma pertahanan yang sedemikian rupa seperti meningkatkan aktiviti metabolik dan perpeluhan atau kegigilan.



*Rajah 2.1.(a)* - Kehilangan wap air daripada badan manusia sebagai tindakbalas terhadap suhu dan gerakan badan



Rajah 2.1(b) - Tindakbalas manusia terhadap oksigen

Sumber: *Indoor Air Quality* - Meyer, B.

### 2.3 Pencemar-pencemar

Pengendalian kerja lapangan dan analisis kimia telah menunjukkan bahawa ketidakselesaan atau gangguan kesihatan disebabkan bukan sahaja oleh haba yang tidak bersesuaian, kelembapan dan kelajuan udara, atau oleh pencemaran kimia yang teruk, atau bau, tetapi juga oleh pelbagai pencemar-pencemar yang berterusan yang sukar kelihatan samada secara bersendirian atau bergabung. Ianya wujud untuk sutau jangkamasa berjam-jam atau berhari-berhari yang boleh menambah kepada pendedahan kumulatif yang ketara. Pencemar-pencemar berkenaan boleh disebabkan oleh sumber-sumber luaran, bahan-bahan bangunan, senggaraan bangunan atau aktiviti-aktiviti dalaman. Contoh-contoh sumber-sumber dalaman adalah ozon daripada mesin fotokopi, methanol daripada mesin penyalin lembap, racun haiwan perosak daripada kerja fumigasi dan asap rokok. Contoh-contoh pencemar yang berpunca daripada amalan senggaraan bangunan termasuklah ammonia daripada cecair pencuci dan wap organik daripada pengilat lantai.

Senggaraan yang lemah boleh menyebabkan habuk dan pembentukan daripada pertumbuhan mikrob di dalam penapis pendingin udara. Bahan-bahan bangunan boleh membebaskan agen-agen tertentu seperti *formaldehyde* daripada papan pemisah, atau pembentukan suatu takungan lembapan dan menyediakan kawasan pertumbuhan untuk kulat oleh bahagian-bahagian tertentu bangunan. Sumber-sumber luaran bagi pencemar ialah wap kimia daripada bahan buangan, racun haiwan perosak daripada operasi pertanian atau proses fumigasi dan gas-gas pembakaran daripada otomobil atau pembakaran bahanapi fosil yang berdekatan.

#### 2.4 Iklim Dalam

Iklim dalaman berbeza dalam beberapa cara yang asas daripada iklim luaran kerana udara di dalam bangunan terbatas di dalam suatu isipadu yang secara bandingannya adalah kecil. Kadar pertukaran udara untuk bangunan-bangunan moden adalah dalam julat antara 0.4 hingga 10 pertukaran udara dalam masa sejam. Secara perbandingannya angin sepoi yang mengalir pada kelajuan 5 batu sejam adalah mencukupi untuk menukarkan udara pada anjung yang terbuka sekali bagi setiap saat. Namun begitu isipadu udara aktif yang boleh didapati oleh seseorang yang berada di ruang dalaman adalah beberapa ribu kali jauh lebih kecil. Apa yang jelas selalunya ia tidak mencukupi untuk mengekalkan lembapan pada manusia dan pemancaran pencemar pada suatu paras yang mudah diperhatikan. Tambahan pula udara dalaman bukanlah merupakan sebahagian daripada kitaran udara biologi dan iklim yang mana ianya menuliskan udara atmosfera sekitaran (*ambient*) dan memecahkan bahan pencemar. Hasilnya kualiti udara dalaman mengalami kepelbagaian yang luar biasa dalam jangka masa yang singkat. Ini digambarkan di dalam kecenderungan kelembapan udara dalaman. Kandungan lembapan bagi bilik tertutup bertambah

dengan cepat kerana setiap penghuni menambahkan lembapan secara berterusan ke dalam udara dalam bentuk perpeluhan dan dengan pernafasan di waktu siang hari dan malam pada kadar beberapa liter air bagi satu hari. Air ini telah sedia terkondensasi di atas dinding-dinding dan pada tingkap-tingkap yang sejuk, tetapi memandangkan tidak terdapatnya tanah atau permukaan untuk menyerapnya setiap usaha mesti dibuat untuk menggantikan udara berair ini melalui pengudaraan.

Faktor-faktor perosak yang lain ialah bahawa ruang-ruang dalaman diletakkan dalam keadaan suhu yang tetap, yang mana ini mengurangkan olakan dan pergolakan udara yang berlaku secara drastik dan mencegah percampuran udara yang mencukupi. Asap rokok yang berpanjangan dalam suatu ruang yang pengudaraannya lemah menampakkan kesan ini dengan lebih ketara. Ini samalah juga keadaannya dengan aktiviti-aktiviti manusia yang lain yang akan menambahkan bauan yang tidak menyenangkan kepada udara dalaman. Oleh itu, sekiranya bangunan tidak diudarakan dengan sebaiknya, habitat dalaman akan menjadi tepu dengan lembapan, menyebabkan bukan sahaja masalah kualiti udara, tetapi juga akhirnya kerosakan struktur. Kualiti udara yang mencukupi di dalam persekitaran dalaman boleh dikekalkan hanya jika pengudaraan menyediakan suatu pengaliran keluar yang mencukupi bagi pencemar- pencemar dan air.

### 3.0 SEJARAH DAN LATAR BELAKANG KAJIAN UDARA DAN KUALITI UDARA

#### 3.1 Keperluan Pernafasan

Untuk terus hidup manusia perlu bernafas. Pernafasan manusia berkait rapat dengan proses metabolisma yang merupakan suatu tindakbalas kimia yang berlaku di dalam badan manusia khususnya dan di dalam organisma umumnya. Kajian mengenai metabolisma manusia telah menarik minat ramai ahli-ahli falsafah dan saintis-saintis sejak berabad-abad yang lalu. Walau bagaimana pun kajian yang paling berkesan dalam memahami keperluan metabolik manusia telah dilakukan oleh Lavoiser. Kajian Lavoiser tentang pernafasan dan perpeluhan dibangunkan perlahan-lahan daripada kertas kerjanya mengenai pembakaran tak organik yang telah diterbitkan pada tahun 1775. Dalam kertas kerja tersebut Lavoiser melaporkan bahawa udara mengandungi 20% oksigen. Oksigen pula merupakan suatu unsur dan pembakaran merupakan suatu bentuk pengoksidaan kimia. Karbon, sulfur dan beberapa logam memperolehi beratnya ketika pembakaran, bukannya kehilangan *phlogiston*. Beliau juga menyatakan bahawa teori *phlogiston* pada hakikatnya adalah salah. Sebagai sampingan beliau menunjukkan bahawa unsur baru tersebut merupakan komponen pernafasan udara. Seterusnya beliau menjalankan eksperimen yang berkaitan dengan pernafasan haiwan dan perubahan kimia yang dialami udara ketika ianya melalui paru-paru. Hasil eksperimen ini diterbitkan pada tahun 1777. Beliau merumuskan bahawa oksigen dipindahkan dan digunakan semasa pernafasan manusia sebagaimana juga pada haiwan. Lavoiser kemudiannya merekabentuk suatu kalorimeter yang dilengkapi dengan kelengkapan pernafasan sepertimana peralatan pernafasan-perpeluhan bagi membolehkannya mengukur penggunaan oksigen oleh manusia dan haiwan ketika melakukan kerja dan ketika dalam

keadaan rehat. Pada tahun 1778 beliau menghasilkan kertas kerja tentang pembakaran umum. Ini diikuti oleh kertas kerja beliau bersama Laplace tentang asas untuk kimia termodinamik. Lavoiser dan Laplace memperkenalkan hubungan kuantitatif antara penggunaan oksigen, pembebasan karbon dioksida dan pembebasan haba. Mereka menghubungkan kaitkan tindakbalas tersebut dengan haba pembentukan karbon dioksida dan sebagai sampingan membangunkan prinsip pemeliharaan zarah. Dalam tahun 1784 Lavoiser menerbitkan bukti eksperimental bahawa air yang merupakan satu daripada empat unsur yang diakui sejak zaman purbakala bukannya merupakan suatu unsur kimia. Dalam tahun 1787 Lavoiser menggunakan bahan percubaan untuk menunjukkan bahawa tekanan oksigen mutlak merupakan penentu kepada kewujudan yang berterusan organ-organ pernafasan, bukannya campuran gas. Beliau membangunkan secara keseluruhannya sistem penamaan (*nomenclature*) kimia baru dan dalam tahun 1789 beliau menerbitkan buku teks yang perlu untuk menerangkan kimia baru. Pada tahun 1789 dan 1790, dengan bantuan Seguin, beliau menerbitkan hasil eksperimennya yang terkenal yang mana eksperimen tersebut dilakukannya pada tahun 1785. Menurut hasil daripada eksperimen tersebut seseorang manusia akan menyedut 5 kaki padu udara bagi setiap jam, daripadanya hanya 2160 auns oksigen yang diserap, manakala 1645 auns karbon dioksida dihembus keluar, dengan 514 auns air sebagai hasil buangan sampingan. Jumlah perpeluhan kulit adalah setara dengan haba bagi 18 auns air yang didapatkan melalui pembakaran alkohol.

### 3.2 Udara Tercemar

Suatu ketika dahulu umumnya sudah diakui bahawa kandungan oksigen dan karbon dioksida di udaralah yang menjadi penentu samada udara itu bersih atau pun kotor. Kemudiannya Max von Pettenkoffer, seorang penyelidik

Munich, telah menggunakan peralatan hasil rekabentuknya sendiri untuk memastikan bahawa paras karbon dioksida di dalam udara dalaman yang kotor adalah tidak mencukupi untuk menjelaskan tentang masalah ketidakselesaan yang dialami oleh manusia. Beliau telah mengenal pasti bahawa kelembapan dan suhulah yang menentukan keselesaan dan ianya bertindak secara sinergistik. Von Pettenkofer mempertahankan bahawa karbon dioksida merupakan sebagai suatu pegasan untuk keselesaan. Beliau mengakui bahawa hasil-hasil kesan metaboliklah yang bertanggungjawab terhadap bau badan yang terhasil dan bau dari udara yang kotor. Beliau juga menekankan tentang pentingnya interaksi yang wujud antara keselesaan dan iklim.

Seiring dengan Von Pettenkofer ialah Reignault dan Reiset dari Perancis yang membangunkan konsep "hasil bahagi pernafasan". Konsep ini merupakan nisbah isipadu isipadu karbon dioksida terhadap oksigen. Selepas Von Pettenkofer rekabentuk alat pernafasan telah dibuat dengan lebih baik sehinggalah Atwater dan Benedict (1905) di Universiti Wesleyan, dengan sokongan Jabatan Pertanian Amerika Syarikat dan nasihat daripada Biro Piawai Kebangsaan telah menyempurnakan kalorimeter pernafasan yang boleh menjadi alat percubaan kepada manusia untuk beberapa ketika bagi mendapatkan data thermal, kimia dan berat sehingga ke ketepatan antara 0.2%. Dengan menggunakan pelajar-pelajar perubatan sebagai bahan percubaannya, Atwater mengukur suatu turun naik haba sebanyak 2113 cal/hari dalam kalorimeter, berbanding dengan pengambilan tenaga daripada makanan sebanyak 2088 cal/hari yang dikira oleh kalorimeter bagi makanan dan hasil buangan. Penggunaan oksigen yang berkaitan adalah sebanyak 435.7 liter bertentangan dengan karbon dioksida pernafasan sebanyak 332.36 liter. Air daripada pernafasan dan perpeluhan adalah sebanyak 838 g.

### 3.3 Pembentukan Undang-undang Berkenaan Pencemaran Udara

Pembentukan undang-undang dan peraturan-peraturan yang berkaitan dengan penjagaan udara persekitaran supaya kurang tercemar oleh pihak-pihak yang berkuasa telah pun lama wujud. Undang-undang yang menyatakan bahawa pemilik sumber bertanggungjawab sepenuhnya terhadap pembuangan udara merbahaya telah diperkenalkan oleh negara-negara Jerman dan Austria dalam tahun 1820. Ini diikuti oleh England pada tahun 1863 dengan mengeluarkan Akta Peraturan Kerja-kerja Alkali yang mana ini banyak mempengaruhi tindakan yang dibuat di Amerika Syarikat. Contohnya dalam tahun 1876 di St. Louis cerobong-cerobong asap dikehendaki mencapai ketinggian 20 kaki daripada bumbung yang mana ini merupakan permulaan kepada tindakan oleh pihak perbandaran di negeri ini, manakala di Chicago pula dalam tahun 1881 denda untuk pengeluaran asap tebal telah diperkenalkan. Bagaimana pun untuk 40 tahun yang berikutnya telah berlaku permusuhan antarabangsa yang telah menghilangkan tumpuan terhadap kebersihan dan kesihatan umum dan ini telah membawa kepada insiden-insiden antarabangsa seperti 63 kematian di Lembah Meuse, Belgium dalam tahun 1930 dan lebih 4000 kematian dalam bulan Disember 1950 di London. Insiden-insiden seperti inilah yang kemudiannya mendorong usaha seluruh dunia untuk membersihkan udara.

Semua peristiwa ini dikaitkan dengan kemajuan ekonomi yang menyusuli Perang Dunia Kedua. Kegiatan udara bersih boleh berlaku hanya kerana masyarakat yang mewah pada ketika itu mampu menggantikan arang dengan pembakaran minyak yang lebih bersih. Pembangunan lepas perang juga telah membawa pencemar-pencemar baru yang menggantikan sulfur dioksida iaitu bahan kimia sintetik.

Sepanjang tahun 1950-an bahan buangan industri di dalam paras udara telah mencapai ke paras yang sebegitu rupa di mana sintesis berlaku di dalam aliran pencemar-pencemar tercampur.

Di Amerika Syarikat pula kawalan pencemaran udara kekal berada di bawah hak istimewa negeri-negeri dan perbandaran-perbandaran sehinggalah enakmen dibuat dalam tahun untuk Akta Kawalan Pencemaran Udara Kebangsaan. Dua belas tahun kemudiannya akta ini telah dikuatkuasakan pula oleh dokumen-dokumen kriteria pencemar. Hanya Jepun dan Sweden yang mengalami peraturan kerajaan bagi udara dalaman yang tidak berkenaan dengan pekerjaan.

### **3.4 Kebersihan dan Kualiti Udara di Tempat Kerja**

Sehingga dua dekad yang lalu, minat di dalam kawalan pencemaran udara tertumpu sepenuhnya terhadap tempat kerja. Orang-orang Mesir purba telah pun menyedari bahawa habuk silika yang dihasilkan melalui pemotongan batu boleh menyebabkan penyakit pernafasan. Hippocrates dalam tahun 500 Sebelum Masihi menekankan bahawa udara di dalam lombong-lombong adalah sangat merbahaya kepada kesihatan. Dalam tahun ke 23 Masihi pula dikatakan bahawa tukang-tukang batu dan pelombong-pelombong asbestos tidak boleh melakukan kerja tanpa menggunakan pelindung muka sebagai penapis kepada udara pernafasan. Seterusnya Agricola (1494 - 1555) merekodkan bahawa banduan-banduan di kalangan pekerja-pekerja lombong yang dikurung di dalam terowong ketika malam, mengalami lebih penderitaan dan mati lebih cepat daripada mereka yang dapat berada di luar terowong sepanjang malam. Kenyataan-kenyataan ini menunjukkan betapa hebatnya keadaan udara di tempat kerja dalam mempengaruhi pernafasan dan kesihatan.

Hampir setiap benda yang kita ketahui tentang pengaruh terhadap kesihatan akibat pencemar-pencemar udara dalaman dipelajari dalam pekerjaan. Tambahan pula penyakit yang berkaitan dengan kerja yang dilakukan sehingga kini dianggap sebagai sesuatu yang tidak dapat dielakkan. John Griscom (1850) telah mengeluarkan hasil analisis terperinci beliau yang tidak dapat disangsikan lagi bahawa faktor penyebab utama penyakit-penyakit yang berpunca di tempat kerja adalah udara dalaman.

Tatkala Griscom memberikan tumpuan terhadap kajian kes bagi berbagai-bagai pekerjaan dan menganalisis keadaan-keadaan lazim dalam hubungan udara dan kesihatan di tempat kerja, sebahagian dari mereka yang sezaman dengannya telah pun terlebih dahulu terlibat di dalam kajian epidemiologi (wabak penyakit) yang sangat sofistikated. Contohnya, di akhir tahun 1840, Dr. Guy telah melaporkan kepada Griscom suatu penemuan bahawa insiden ludah berdarah di kalangan 500 pencetak persuratan adalah berkaitan secara langsung dengan saiz ruang kerja di mana mereka berada. Daripada 100 pekerja-pekerja yang mempunyai 500 kaki padu udara bernafas atau kurang, 13% daripadanya mengalami ludah berdarah, manakala mereka yang mempunyai 500 hingga 600 kaki padu udara bernafas, 4.4% daripadanya mengalami ludah berdarah dan akhirnya bagi mereka yang mempunyai lebih daripada 600 kaki padu udara hanya 3.96% daripadanya mengalami ludah berdarah. Dr. Guy juga mengumpulkan data-data tentang penyakit-penyakit lain dan mendapati bahawa insiden yang berlaku tetap pada paras yang konstan iaitu 17.31% hingga 17.8% di kalangan semua kumpulan yang beliau kaji.

Hampir 50 tahun kemudiannya pula, Rehn (1895) telah memulakan kajian epidemiologi pekerjaan yang lebih kuantitatif terhadap barah dan beliau mendapati bahawa barah pundi kencing berpunca dari pewarna *aniline* (bahan yang diperolehi daripada tar arang batu). Dalam tahun 1906 Fisher

mengenalpasti bahawa pewarna *azo*, seperti warna merah terang, adalah suatu karsinogen (bahan penyebab barah). Seterusnya dalam tahun 1935, L. Smith merupakan orang pertama mengeluarkan kenyataan bahawa asbestos tertahan di dalam paru-paru dan menyebabkan barah. Kemudiannya pula dalam tahun 1942 Schriz dan Mehlinger menyatakan bahawa logam-logam boleh menyebabkan barah. Ini mengesahkan kes kromium 3 yang telah pun disuarakan oleh Pye dalam tahun 1885.

Terdapat banyak bahan yang telah lama diketahui bertindak sebagai racun namun begitu banyak yang masih perlu dikaji. Antaranya termasuklah nikel (Mastromatteo, 1967) dan arsenik, yang pertama kali didakwa oleh Hutchison dalam tahun 1988. Bagaimana pun pada hakikatnya banyak daripada bahan penyebab barah dihasilkan dengan meluas selepas Perang Dunia Pertama.

### 3.5 Keselesaan Udara Dalaman

Adalah sesuatu yang sukar bagi kita untuk menghargai sepenuhnya usaha yang mustahil dilakukan pada masa kini yang diperlukan untuk membina dan mengekalkan bangunan-bangunan 2000 tahun yang lalu. Sukar juga untuk diterima bahawa peradaban-peradaban yang terdahulu, tanpa bantuan sains dan kejuruteraan moden, telah merekabentuk dan menghasilkan bangunan-bangunan besar yang tahan lebih lama daripada apa yang kita bina pada hari ini. Saeltzer (1872) telah menjalankan analisis tentang sistem-sistem pengudaraan dan pemanasan bagi orang-orang Rom dan beliau mendapati bahawa antara faktor-faktor yang menyebabkan kediaman-kediaman golongan hartawan mereka begitu selesa adalah aliran udara segar yang dibenarkan masuk ke dalam ruang kediaman sebagai satu keperluan untuk pelbagai aktiviti dan suhu *gradient*

vertikal yang lebih kecil daripada apa yang kita dapati pada masa kini yang menyediakan suasana yang cukup melegakan.

John Griscom (1850) telah pun menyedari sedalam-dalamnya bahawa semua aktiviti manusia bergantung kepada suatu sukatan yang besar bagi udara dalaman yang segar. Ini didapatinya hasil daripada kajian yang beliau jalankan. Sebagai seorang ahli bedah, beliau begitu berminat terutamanya dalam penyakit paru-paru (iaitu barah paru-paru - *tuberculosis*) yang mana statistik menunjukkan menunjukkan pada ketika itu penyakit ini banyak berlaku di England dan didapati bahawa yang paling banyak menghidapinya ialah mereka yang terdedah kepada penyedutan habuk ketika bernafas dan mereka yang berada pada tempat-tempat di mana arangbatu dibakar dalam jangka waktu yang panjang. Pada ketika ini telah pun diketahui bahawa penyakit tersebut (barah paru-paru) disebarkan melalui udara. Jarak masa 100 tahun antara 1830 sehingga 1930 telah dihantui perasaan bimbang yang amat sangat terhadap barah paru-paru dan penyakit-penyakit lain yang diketahui merebak di tempat-tempat yang sesak. Kemudiannnya semakin disedari bahawa jangkitan dipindahkan di kalangan orang-orang yang berkongsi ruang bilik yang sama. Lister (1868) mula menggunakan fenol sebagai rawatan antiseptik ketika malakukan pembedahan dan Miquel menjalankan suatu siri kajian di hospitalnya di Paris (1883 - 1890) yang mana beliau mengikuti perkembangan tentang penyebaran organisma-organisma hidup melalui udara. Kajian-kajian yang seiring dengannya telah dibuat di Jerman oleh Flugge (1897) dan Cornet (1889) yang mana mereka lebih menumpukan terhadap laluan mikrob.

Pada masa yang hampir sama bandar-bandar secara perlahan-lahan mendapatkan kawalan yang lebih baik terhadap bahan buangan manusia dan haiwan. Pada ketika ini Haldane telah melibatkan diri dengan kajian yang menyeluruh tentang pencemaran udara yang mengambil kira keperluan untuk

mengatasi "udara pembedungan najis". Sementara itu tabiat merokok telah melalui beberapa kitaran penerimaan dan penolakan. Sekitar tahun 1880, merokok telah dikenali secara meluas sebagai "suatu tabiat yang menjijikkan dan membahayakan", yang mana tabiat merokok ini telah dilarang di dalam 15 negeri-negeri di Amerika kerana dikatakan sebagai menyalahi moral dan atas sebab-sebab kesihatan. Sepanjang waktu ini Persatuan Jurutera Pengudaraan dan Pemanasan Amerika (*American Society of Ventilation and Heating Engineers - ASVHE*) telah ditubuhkan dan dengan segera persatuan ini telah menyumbang dengan banyaknya terhadap pemahaman yang asas terhadap bidang pengudaraan bagi mendapatkan ruang dengan sistem pengudaraan yang baik dan berkesan kepada pengguna-pengguna untuk keselesaan dan kesihatan.

### 3.6 Pembinaan dan Bahan Binaan

Udara dalaman yang segar merupakan suatu bahagian yang bersifat hakiki bagi rekabentuk bangunan. Ini bermaksud dalam pada kita merekabentuk sesuatu bangunan faktor udara dalaman yang segar tidak dapat tidak mesti dipertimbangkan untuk memastikan keselesaan pengguna atau penghuni yang akan memduduki bangunan tersebut. Simbiosis antara seni intuitif dan sains deduktif yang mencirikan senibina telah pun diketengahkan di dalam setiap sejarah senibina. Ini termasuklah seperti yang dipaparkan di dalam penulisan-penulisan oleh Sigfried Giedion yang bertajuk *Space, Time and Architecture* dalam tahun 1945, Rene Alleau yang bertajuk *Histoire des Grandes Constructions* dalam tahun 1966 dan Carl Condit yang bertajuk *American Building* dalam tahun 1968.

Bahan-bahan seperti selut, tanah liat, pokok, batu dan rumput purun telah digunakan oleh manusia sebagai bahan binaan mengikut keterdapatannya

sehingga kini. Jika terdapat batu kapur ianya dicampurkan sebagai plaster. Kayu balak juga telah digunakan dengan meluas. Kayu balak telah dikenali dengan cepat sebagai suatu bahan ciri-ciri fizikal dan psikologikal yang dikehendaki. Kuil-kuil Jepun dan ketimuran yang lain telah menunjukkan bahawa jika kayu digunakan dengan baik ianya mempunyai jangka hayat ketahanan yang kedua lamanya daripada bahan-bahan yang lain termasuk marmar. Walau bagaimana pun, kayu yang lembap akan mereput dalam masa sepuluh tahun dan ianya mudah rosak seperti mana juga batu kapur dan marmar yang mana tidak dapat bertahan lebih lama jika terdedah kepada pencemaran udara yang tinggi.

Piramid orang-orang Mesir diperbuat daripada batu kapur. Konkrit di bangunan dan digunakan dengan luas orang-orang Greek. bata telah dijumpai dan tercipta dengan sendirinya oleh beberapa peradaban yang terdahulu. Bata menjadi begitu popular pada abad ke-17 di negeri yang kita kenali sekarang sebagai Virginia. Batu pula oleh kerana ia mudah pecah dan berat maka ianya hanya digunakan untuk kegunaan yang terhad pada bangunan-bangunan.

Pembinaan menggunakan besi telah dimulakan di Liverpool dalam tahun 1772 untuk pembinaan gereja St. Anne dan kemudiannya penggunaan besi dalam pembinaan menjadi sangat popular. Bagaimana pun pada suatu ketika banyak bangunan yang menggunakan besi sebagai bahan binaannya telah runtuh dan buat seketika bahan ini hilang popularitinya di Amerika Syarikat selepas perang saudara sehinggalah *Home Insurance Building* dan *Auditorium* dibina dalam tahun 1889 di Chicago yang memulakan perkembangan pesat pembinaan bangunan pencakar langit. Seiring dengan bangunan-bangunan keluli di Chicago konkrit monolitik telah dibangunkan dan digunakan dalam pembinaan Ponce de Leon Hotel di St. Augustine, Florida dalam tahun 1886. Konkrit telah digunakan dengan meluas sejak dahulu tetapi pengetahuan tentang bagaimana membuat dan menggunakannya telah hilang selama 14 abad sehinggalah John

Smeaton membuat penemuan semula di England sekitar 1600. Pembinaan konkrit moden telah dijadikan kenyataan oleh David O. Saylor pada tahun 1871 yang telah diberikan hak paten. Struktur konkrit tinggi yang pertama ialah Bangunan Ingalls di Cincinnati yang dibina dalam tahun 1903. Kombinasi keluli dan konkrit dengan teknologi kendalian bahan moden membuatkan pembangunan bangunan-bangunan pejabat moden yang tinggi dengan dinding tabir kaca yang digantung oleh tiang tingkap keluli daripada teras perkhidmatan konkrit tetulang menjadi kenyataan.

Pembangunan bangunan-bangunan pemasangan kilang (pasang siap) akan hanya mencapai matlamatnya apabila ianya menjadi cukup ekonomik untuk dipindahkan dengan beban yang berat. Kelebihan-kelebihan teknik pembinaan modular pemasangan kilang ini adalah jelas namun begitu teknologi ini mempunyai masalah bukan teknikal seperti ianya terhad kepada pembinaan bangunan-bangunan yang besar sahaja.

Perkembangan di dalam bahan binaan dan teknologi pembinaan adalah jelas. Namun begitu bahan-bahan terdahulu yang digunakan dalam pembinaan bangunan mungkin tidak mendatangkan kesan yang ketara terhadap kulaiti udara dalaman bagi sesebuah bangunan seperti pada hari ini. Kini pelbagai bahan digunakan untuk membuat bahan binaan termasuklah bahan-bahan kimia tertentu yang mana ini secara disedari atau tidak disedari telah menyumbang kepada permasalahan kualiti udara dalaman.

#### 4.0 MASALAH-MASALAH KUALITI UDARA DALAMAN

Kualiti udara dalaman yang berpatutan adalah udara di mana tidak terdapatnya pencemar-pencemar pada kepekatan yang membahayakan sebagaimana yang telah ditentukan oleh pihak berkuasa yang berkenaan dan di mana majoriti yang besar (80 peratus atau lebih) bagi penghuni atau pengguna tidak menyatakan rasa tidak puas hati. Ini adalah definisi yang diberikan oleh Piawaian ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) 62 - 1989. Masalah kualiti udara dalaman (*Indoor Air Quality - IAQ*) yang kadangkalanya dinyatakan sebagai "sindrom bangunan sakit" (*Sick Building Syndrome - SBS*), telah menjadi suatu masalah kesihatan dan keselesaan yang makin dimaklumi di negara-negara industri yang mengalami permasalahan ini. Bangunan dikategorikan sebagai "sakit" apabila penghuni-penghuninya membuat aduan tentang simptom-simptom yang teruk seperti sakit kepala, rangsangan pada mata, hidung dan kerongkong, pitam, rasa mual, sensitif kepada bauan dan kesukaran di dalam menumpukan perhatian. Kes yang lebih berat ialah jangkitan sistem pernafasan. Petanda umum bahawa masalah kualiti udara dalaman itu wujud ialah apabila penghuni mendapati bahawa simptom-simptom yang dihidapi itu akan hilang apabila mereka meninggalkan bangunan di penghujung masa kerja atau di hujung minggu dimana mereka tidak bekerja. Dalam kata lain kelegaan daripada simptom-simptom SBS hanya boleh dicapai apabila penghuni meninggalkan bangunan tersebut dan dalam sesetengah kes, suatu jangka masa pemulihan yang lebih lama diperlukan.

#### 4.1 Punca-punca Masalah Kualiti Udara Dalam

Seperti yang telah dinyatakan di Bahagian 1.1, bangunan-bangunan pejabat yang baru dan dimodelkan semula dikatakan mudah dipengaruhi oleh masalah kualiti udara dalaman (IAQ) dan anggaran yang dibuat oleh Pertubuhan Kesihatan Sedunia (*World Health Organization* - WHO) menunjukkan bahawa sehingga 30 peratus daripada bangunan-bangunan pejabat yang baru dan yang dimodelkan semula mungkin mengalami masalah IAQ. Terdapat beberapa punca yang menyebabkan masalah kualiti udara dalaman ini terjadi terhadap bangunan-bangunan yang dimaksudkan.

Dalam mengenalpasti punca-punca masalah kualiti udara dalaman dan peratusan sumbangannya, beberapa penyiasatan haruslah dilakukan. Satu contoh penyiasatan yang telah dijalankan adalah seperti yang dibuat oleh Institut Kebangsaan untuk Keselamatan dan Kesihatan Pekerjaan (*National Institute for Occupational Safety and Health* - NIOSH), Amerika Syarikat dalam tahun 1986. Penyiasatan ini menunjukkan dengan jelas punca-punca masalah IAQ yang berlaku di bangunan-bangunan pejabat di negara tersebut. Ini boleh dijadikan panduan untuk kita mengenalpasti punca-punca yang mungkin menyumbang kepada masalah kualiti udara dalaman untuk bangunan-bangunan pejabat. Dalam penyiasatan ini NIOSH telah menjalankan sebanyak 446 penilaian tentang bahaya kesihatan IAQ. Majoriti daripada penilaian dibuat terhadap bangunan-bangunan pejabat kerajaan dan sektor swasta. Bagaimana pun 20 peratus daripadanya termasuklah penilaian yang dibuat terhadap sekolah-sekolah, kolej-kolej dan juga pusat-pusat kesihatan. Secara tipikalnya, simptom-simptom dan aduan-aduan kesihatan yang dilaporkan oleh pekerja-pekerja di bangunan-bangunan terbabit adalah berbagai-bagai dan tidak spesifik kepada sebarang diagnosis perubatan tertentu atau yang telah sedia berkaitan dengan suatu agen yang positif. Simptom-simptom yang tipikal adalah sakit

kepala, pelbagai darjah rangsangan pada mata, rangsangan pada kulit termasuklah ruam-ruam, masalah-masalah rongga hidung, kekeringan dan keperitan pada kerongkong dan sakit pernafasan. Persekitaran tempat kerja dibabitkan oleh fakta sebenar bahawa simptom-simptom penyakit yang melanda pekerja-pekerja biasanya hilang pada hujung minggu atau apabila mereka tidak berada di pejabat. Dalam sesetengah kes simptom-simptom yang ditunjukkan adalah sangat teruk yang mengakibatkan kerja tidak dapat dilakukan, penyerahan semula tugas dan juga kerja terpaksa ditamatkan. Walaupun sesetengah daripada bahagian-bahagian yang berkenaan adalah multifaktor namun NIOSH berusaha untuk mengklaskan penilaiannya kepada jenis masalah utama yang didapati. Ini ditunjukkan pada *Jadual 4.1*.

*Jadual 4.1 - Contoh keputusan penilaian bahaya kesihatan kualiti udara  
dalam*

Punca Pencemaran	Peratus Sumbangan
Pengudaraan yang tidak mencukupi	52%
Pencemaran daripada dalam bangunan	17%
Pencemaran daripada luar bangunan	11%
Pencemaran daripada mikrob	5%
Pencemaran daripada fabrik bangunan	3%
Punca pencemaran yang tidak diketahui	12%

*Sumber : Comfort and Indoor air Quality - Patterson, N. R.*

Daripada nilai-nilai yang ditunjukkan dalam *Jadual 4.1*, jelas bahawa pengudaraan mempunyai peranan yang besar di dalam penentuan kualiti udara dalam. Ciri-ciri utama kebanyakan persekitaran pejabat yang baru, pertamanya ialah, udara segar disalurkan masuk melalui sistem pengudaraan mekanikal dan sebahagian kecil daripada udara meresap masuk ke dalam bangunan daripada luaran. Tingkap-tingkap dibuat sedemikian rupa supaya tidak

dapat digunakan untuk mengedapkan bangunan dan mengurangkan peresapan. Kedua-dua, udara di kitaran semula ke seluruh bahagian bangunan. Suatu bahagian yang besar bagi udara dibawa masuk dari luaran digunakan semula sebelum disalurkan keluar. Ini dilakukan untuk mengurangkan kos penyejukan (atau pemanasan). Kedua-dua faktor ini membawa kepada pertambahan kepekatan pencemaran janaan dalaman. Pengudaraan yang tidak mencukupi merupakan masalah paling lazim yang dialami oleh bangunan-bangunan. Walaupun ianya meluas, masalah pengudaran biasanya membenarkan kehadiran pencemar-pencemar yang membawa kepada kesan yang berlawanan dialami atau ianya membenarkan persekitaran binaan menjadi tidak selesa kepada penghuni-penghuni. Untuk itu satu pendekatan penyelesaian yang harus diberi keutamaan yang paling tinggi ialah pengudaraan bangunan.

Punca-punca masalah kualiti udara dalaman boleh juga dibahagikan menurut sumber-sumber pencemaran seperti yang berikut:

1. Pencemaran daripada sumber-sumber dalaman.

Pencemaran ini berpunca daripada bahan-bahan binaan dan kemasan-kemasan, bahan pencuci yang digunakan untuk penyucian, mesin-mesin dan aktiviti-aktiviti yang dijalankan di dalam ruang bangunan.

2. Pencemaran daripada sumber luaran.

Ini mempunyai perkaitan dengan pengambilan udara segar ke dalam bangunan dan dengan persekitaran luaran.

3. Pencemaran biologikal.

Pencemaran ini mempunyai kaitan dengan rekabentuk dan senggaraan bangunan dan juga berkaitan dengan aktiviti-aktiviti pengguna atau penghuni bangunan.

4. Sistem pengudaraan dan penyamanan udara.

Pencemaran daripada sistem pengudaraan dan penyamanan udara disebabkan oleh operasi sistem yang tidak berkesan, senggaraan sistem yang