



UNIVERSITAS INDONESIA

KUALITAS UDARA MIKROBIOLOGIS RUANG KELAS:  
STUDI KASUS GEDUNG PERKULIAHAN A DAN K FTUI

SKRIPSI

ALEXANDRA WIDYANARESWARE  
0606077951

FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN  
DEPOK  
JUNI 2010



UNIVERSITAS INDONESIA

**KUALITAS UDARA MIKROBIOLOGIS RUANG KELAS:  
STUDI KASUS GEDUNG PERKULIAHAN A DAN K FTUI**

**SKRIPSI**

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana

**ALEXANDRA WIDYANARESWARI**  
0606077951

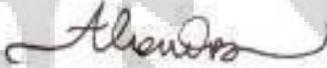
**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN  
DEPOK  
DESEMBER 2010**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama : Alexandra Widyanareswari**

**NPM : 0606077951**

**Tanda Tangan :** 

**Tanggal : 23 Juni 2010**

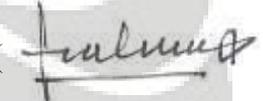
## HALAMAN PENGESAHAN

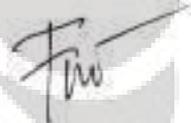
Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Alexandra Widyanareswari  
NPM : 0606077951  
Program Studi : Teknik Lingkungan  
Judul Skripsi :

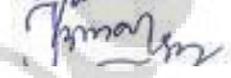
Kualitas Udara Mikrobiologis Ruang Kelas:  
Studi Kasus Gedung Perkuliahan A dan K FTUI

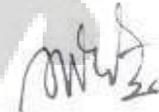
**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.**

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Ir. Gabriel S. Boedi Andari M.Eng.,Ph.D (  )

Pembimbing II: Ir. Firdaus Ali, M.Sc., Ph.D. (  )

Penguji : Ir. Irma Gusniani, M.Sc. (  )

Penguji : Evy Novita, ST, M.Si. (  )

Ditetapkan di : Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik  
Universitas Indonesia, Depok

Tanggal : 23 Juni 2010

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya sampaikan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmatnya, sehingga laporan Kualitas Udara Mikrobiologis Ruang Kelas: Studi Kasus Gedung Perkuliahan A dan K FTUI ini dapat diselesaikan.

Laporan ini dapat selesai dengan bantuan berbagai pihak. Karenanya saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ir. Gabriel S. Boedi Andari M.Eng., Ph.D selaku dosen pembimbing I yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penelitian dan penyusunan skripsi;
2. Ir. Firdaus Ali M.Sc., Ph.D selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktu dan memberi bimbingan dalam penyusunan skripsi ini;
3. Ir. Irma Gusniani, M.Sc. dan Evy Novita, ST, M.Si. selaku dosen penguji yang telah bersedia meluangkan waktu untuk menguji hasil penelitian dan penyusunan skripsi;
4. Saudari Licka Kamadewi dan Sri Diah H.S. selaku laboran Program Studi Teknik Lingkungan yang bersedia meluangkan waktunya untuk memberi pengarahan, diskusi, dan masukan;
5. Bapak Djum dan Bapak Teguh atas kesediaannya meluangkan waktu untuk memberi informasi mengenai gedung perkuliahan teknik serta bantuan gambar tekniknya;
6. Para dosen pengajar di Departemen Teknik Sipil Universitas Indonesia;
7. Segenap staf karyawan/karyawati di Departemen Teknik Sipil FTUI yang telah memberikan dukungan selama masa perkuliahan;
8. Mas dan Mbak officeboy yang telah membantu membuka ruang kelas saat pengambilan sampel serta atas kesediaannya di wawancara;
9. Kedua orang tua saya dan adik-adik saya atas doanya yang tak pernah putus dalam menyertai setiap langkah hidup saya, dan semua keluarga yang memberikan dukungan material dan moral;
10. Teman-teman yang telah banyak membantu saya. Saya merasa beruntung mempunyai rekan-rekan yang luar biasa;

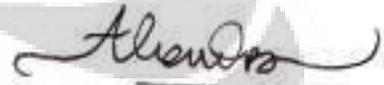
Serta semua pihak yang lain yang penulis tidak dapat sebutkan semua yang telah membantu dalam penulisan laporan.

Saya menyadari adanya kekurangan dalam penyusunan skripsi ini karena keterbatasan pengetahuan penulis. Untuk itu saya mengharapkan saran dan kritik membangun dari semua pihak agar menjadi lebih baik di masa yang akan datang.

Besar harapan penulis bahwa laporan seminar ini dapat memberikan informasi dan manfaat serta pengetahuan bagi pembaca.

Depok, 23 Juni 2010

Penulis



(Alexandra Widyanareswari)

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Alexandra Widyanareswari  
NPM : 0606077951  
Program Studi : Teknik Lingkungan  
Departemen : Teknik Sipil  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

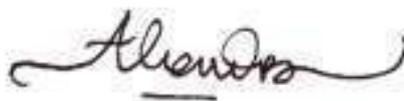
**KUALITAS UDARA MIKROBIOLOGIS RUANG KELAS:  
STUDI KASUS GEDUNG PERKULIAHAN A DAN K FTUI**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada tanggal : 23 Juni 2010

Yang menyatakan,



(Alexandra Widyanareswari)

## ABSTRAK

Nama : Alexandra Widyanareswari  
Program Studi : Teknik Lingkungan  
Judul : Kualitas Udara Mikrobiologis Ruang Kelas: Studi Kasus  
Gedung A dan K, FTUI

Jumlah mikroba di udara dalam ruangan merupakan salah satu indikator kualitas udara dalam ruangan. Kualitas udara dalam ruangan sering kali terabaikan, padahal manusia menghabiskan sebagian besar waktunya di dalam ruangan. Pentingnya menjaga kualitas udara dalam ruangan terkait dengan kenyamanan lingkungan kerja dan kesehatan pemakai ruangan. Gangguan kesehatan yang dapat terjadi terutama pada daerah tubuh atau organ tubuh yang kontak langsung dengan udara, seperti mata, kulit, hidung, saluran pernapasan. Adanya gangguan kesehatan dan kenyamanan lingkungan akan berpengaruh terhadap kinerja dari tiap orang. Ada empat faktor yang perlu diperhatikan untuk menjaga kualitas udara dalam ruangan yaitu faktor bangunan, pemilihan perabot yang digunakan dalam ruangan tersebut, peran manusia dan kondisi udara di sekitar bangunan. Penelitian dilakukan di gedung perkuliahan A dan K, FTUI. Pemilihan kedua gedung ini berdasarkan adanya perbedaan waktu pembangunan dan pengoperasian. Analisis dilakukan dengan melihat apakah ada perbedaan jumlah mikroba di udara dalam ruangan yang signifikan antara gedung perkuliahan A dan K, FTUI. Selain itu juga dilihat jumlah mikroba maksimum dan minimum di gedung tersebut serta perbandingan jumlah mikroba di udara dengan standard dan hasil penelitian lain. Dari hasil pengukuran jumlah mikroba di dalam ruang kelas, selanjutnya akan dilihat faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi udara di ruang tersebut. Faktor-faktor tersebut antara lain suhu dan kelembaban, material dan *furniture* yang digunakan, ventilasi bangunan, perawatan dan pemeliharaan yang dilakukan serta adanya pengaruh udara luar terhadap kualitas udara dalam ruangan. Perbaikan kualitas udara dalam ruangan dapat dilakukan dengan pengaturan jadwal pemeliharaan dan perawatan, pengecekan kebocoran pada sistem perpipaan dan *air conditioner*, serta pengaturan posisi kelas terhadap orientasi bangunan.

Kata kunci:  
Kualitas udara dalam ruang, mikroba, kelas

## ABSTRACT

Name : Alexandra Widyanareswari  
Study Program : Environmental Engineering  
Title : Microbiological Indoor Air Quality in Classrooms: Case Study Campus Buildings A and K, Engineering Faculty UI

The number of microbes in the indoor air is one of indoor air quality indicators. Indoor air quality is often neglected, whereas human spend most of their time indoor. Importance of maintaining indoor air quality influenced the convenience of the user work environment and health of the room. Health problems can occur especially in the body or organs having direct contact with air, such as eyes, skin, nose, respiratory tract. The disruption of health and comfort of the environment will affect the performance of each person. There were four factors that need to be considered for maintaining indoor air quality such as building factor, the selection of furniture in the room, human influence and condition of the air around buildings. This research conducted in the campus building A and K, Engineering Faculty, University of Indonesia. The two building was selected because of the time difference in construction and operation. The analysis is done by observing whether there are significant differences in the number of microbes in indoor air between campus building A and K, University of Indonesia. In addition, maximum and minimum number of microbes found in the building and compared the number of microbes in the air with the standard and the results of other studies. From the number of microbes in the classroom, the factors that influence the air in that classroom will be analyzed. These factors are temperature and humidity, materials and furniture in the building, building ventilation, service and maintenance performed as well as the influence of outside air to indoor air quality. Indoor air quality improvements can be done by arranging maintenance schedules, checking leaks on piping systems and air conditioner, and redesigning the class position in the building.

Key words:

Indoor air quality, microbes, classroom

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
LEMBAR PESETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....	vi
ABSTRAK .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR RUMUS .....	xv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xvi
<b>1. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Hipotesis .....	3
1.4 Ruang Lingkup .....	4
1.5 Tujuan Penelitian .....	4
1.6 Manfaat Penelitian .....	4
1.7 Penyelesaian Masalah .....	4
1.8 Sistematika Penulisan .....	5
<b>2. STUDI KEPUSTAKAAN.....</b>	<b>6</b>
2.1 Pengertian Pencemaran Udara .....	6
2.2 Indoor Air Pollution .....	6
2.2.1 Sumber Pencemar .....	7
2.2.2 Jenis Pencemar .....	7
2.3 Pencemar Udara Mikrobiologis dalam Ruangan .....	8
2.3.1 Jenis-jenis Pencemar Mikrobiologis .....	8
2.3.2 Pengaruh Kesehatan yang Disebabkan Pencemar Mikrobiologi .....	9
2.3.3 Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan Jamur dan Bakteri.....	9
a. Air/Kelembaban .....	10
b. Temperatur .....	12
c. Kebutuhan Nutrisi .....	13
2.4 Faktor yang Mempengaruhi Kualitas Udara Dalam Ruangan .....	14
2.4.1 Kondisi Bangunan .....	14
2.4.2 Material dan Furniture .....	17
2.4.3. Pengaruh Manusia .....	18
2.4.4. Pengaruh Udara Outdoor .....	21
2.5. Peraturan Terkait Kualitas Udara Dalam Ruangan .....	29
<b>3. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>32</b>
3.1 Kerangka Kerja Penelitian .....	32
3.2 Pendekatan Penelitian .....	33
3.3 Waktu Penelitian .....	34
3.4 Lokasi Penelitian .....	34

3.5 Pengumpulan Data .....	36
3.6 Pengambilan Data Sampel .....	37
3.6.1 Alat Penelitian.....	37
3.6.2 Media Penelitian .....	38
3.6.3 Cara Pengambilan Sampel .....	39
3.6.4 Penelitian di Laboratorium .....	41
3.7 Analisis Data .....	42
<b>4. PEMBAHASAN .....</b>	<b>45</b>
4.1 Gambaran Data Penelitian .....	45
4.1.1 Karakteristik Lokasi .....	45
4.1.2 Karakteristik Bangunan .....	46
4.2 Analisa Data .....	48
4.2.1 Indoor (Dalam Ruangan) .....	48
4.2.1.1 Perbandingan Jumlah Mikroba .....	49
4.2.1.2 Nilai Maksimum dan Minimum .....	54
4.2.1.3 Perbandingan Penelitian Sebelumnya .....	65
4.2.2 Outdoor .....	70
4.2.3 Perbandingan Indoor dan Outdoor .....	72
<b>5. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>77</b>
5.1 Kesimpulan .....	77
5.2 Saran .....	79
<b>DAFTAR REFERENSI .....</b>	<b>83</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Jenis Jamur dan Bakteri yang ada di dalam Ruangan.....	8
Tabel 3.1 .	Waktu Penelitian.....	34
Tabel 3.2.	Lokasi Pengambilan Sampel .....	35
Tabel 3.3.	Data Penelitian .....	37
Tabel 3.4.	Media Agar .....	38
Tabel 4.1.	Jumlah Jamur dan Jumlah Bakteri di Udara Indoor Gedung A dan K, FTUI Saat Tidak Ada Orang.....	48
Tabel 4.2.	Jumlah Jamur dan Jumlah Bakteri di Udara Indoor Gedung A dan K, FTUI Saat Ada Orang.....	49
Tabel 4.3	Jumlah Bakteri di Udara dalam Ruangan, Gedung K ( $X_1$ ) dan Gedung A ( $X_2$ ), FTUI .....	50
Tabel 4.4	Nilai Varians Sampel TSA .....	51
Tabel 4.5	Jumlah Jamur di Udara dalam Ruangan, Gedung K ( $Z_1$ ) dan Gedung A ( $Z_2$ ), FTUI .....	53
Tabel 4.6	Nilai Varians Sampel PDA .....	53
Tabel 4.7	Nilai Suhu dan Kelembaban pada Kelas yang Mencapai Nilai Maksimum dan Minimum .....	55
Tabel 4.8	Nilai Kelembabn yang Melewati Batas Maksimum dan Minimum .....	56
Tabel 4.9.	Jumlah Jamur dan Bakteri di Gedung A, FTUI .....	60
Tabel 4.10.	Jumlah Bakteri dan Jamur di kelas K.202 dan K.207.....	62
Tabel 4.11.	Perbandingan Jumlah Bakteri Gedung K dengan Standard	65
Tabel 4.12.	Perbandingan Jumlah Bakteri Gedung A dengan Standard	66
Tabel 4.13.	Perbandingan Jumlah Jamur Gedung K dengan Standard	66
Tabel 4.14.	Perbandingan Jumlah Jamur Gedung A dengan Standard	67
Tabel 4.15.	Perbandingan Jumlah Mikroba Gedung A dan K FTUI dengan Gedung Sejenis .....	68
Tabel 4.16.	Perbandingan Jumlah Mikroba Gedung A dan K FTUI dengan Kegiatan atau Tempat Lain .....	69
Tabel 4.17.	Jumlah Jamur dan Jumlah Bakteri di Udara Outdoor Gedung K dan Gedung A .....	70

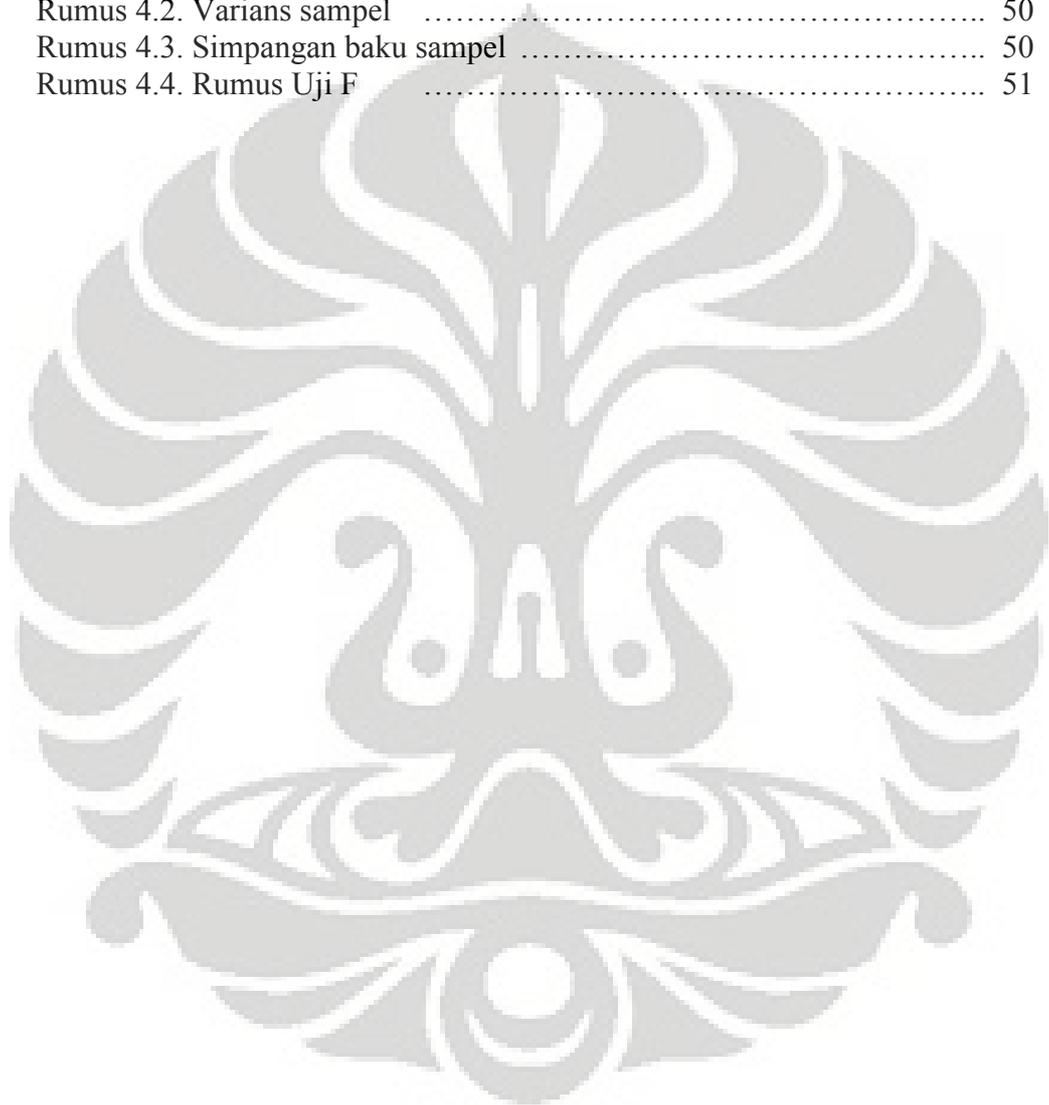
## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Tingkat Kelembaban Relatif dalam Ruang.....	11
Gambar 2.2.	Permukaan Cekung .....	22
Gambar 2.3.	Permukaan Cembung .....	22
Gambar 2.4.	Tipikal Aliran Udara di Sekeliling Bangunan .....	23
Gambar 2.5.	Timbulnya Daerah Tenang pada Sisi yang Berhadapan dan Membelakangi Arah Aliran Udara .....	23
Gambar 2.6.	Pengontrolan Aliran Udara yang Baik dapat Dilakukan dengan Pemilihan dan Penempatan Vegetasi yang Tepat .....	24
Gambar 2.7.	Kumpulan Vegetasi dari Berbagai Spesies (a) lebih Efektif dalam Menurunkan Kecepatan Aliran Udara daripada Hanya Satu Jenis (b) .....	24
Gambar 2.8.	Ilustrasi Aliran Udara yang Dipengaruhi Tanaman Pagar dengan Ketinggian Kurang dari 1 m dengan Variasi Jarak Tanaman tersebut ke Bukaannya .....	25
Gambar 2.9.	Ilustrasi Aliran Udara yang Dipengaruhi Tanaman Pagar dengan Ketinggian Kurang dari 1,5 m dengan Variasi Jarak Tanaman tersebut ke Bukaannya .....	25
Gambar 2.10.	Ilustrasi Aliran Udara yang Dipengaruhi Tanaman Pagar dengan Ketinggian Sama dengan Bangunan dengan Variasi Jarak Tanaman tersebut ke Bukaannya .....	25
Gambar 2.11.	Ilustrasi Aliran Udara yang Dipengaruhi Semak-semak dengan Ketinggian 1 m dan 1,5 m dengan Variasi Jarak Tanaman tersebut ke Bukaannya .....	26
Gambar 2.12.	Ilustrasi Aliran Udara yang Dipengaruhi Pohon dengan Variasi Jarak Tanaman tersebut ke Bukaannya .....	26
Gambar 2.13.	Ilustrasi Aliran Udara yang Dipengaruhi Tanaman Pagar dengan Ketinggian 1 m dan Ditempatkan Dekat Bukaannya serta Pohon yang Ditempatkan pada jarak 1,5 m dari Bangunan .....	27
Gambar 2.14.	Ilustrasi Aliran Udara yang Dipengaruhi Semak-semak dengan Ketinggian 1 m dan terletak 1,5 m dari Bukaannya serta Pohon yang Ditempatkan pada jarak 3 m dari Bangunan .....	27
Gambar 2.15.	Ilustrasi Aliran Udara yang Dipengaruhi Tanaman Pagar dengan Ketinggian 1 m dan Ditempatkan 3 m dari Bangunan serta Pohon yang Ditempatkan pada jarak 1,5 m dari Bangunan .....	27
Gambar 2.16.	Ilustrasi Aliran Udara yang Dipengaruhi Tanaman Pagar dengan Ketinggian 1 m dan Ditempatkan 10 m dari Bangunan serta Pohon yang Ditempatkan pada jarak 6 m dari Bangunan .....	28

Gambar 2.17. Ilustrasi Aliran Udara yang Dipengaruhi Tanaman Pagar dengan Ketinggian 1 m dan Ditempatkan 3 m dari Bangunan serta Pohon yang Ditempatkan pada jarak 6 m dari Bangunan .....	28
Gambar 2.18. Ilustrasi Aliran Udara yang Dipengaruhi Semak-semak dengan Ketinggian 1 m dan Ditempatkan 1,5 m dari Bangunan serta Pohon yang Ditempatkan pada jarak 3 m dari Bangunan .....	28
Gambar 2.19. Ilustrasi Aliran Udara yang Dipengaruhi Tanaman Pagar dengan Ketinggian Sedang dan Ditempatkan pada Berbagai Posisi disekitar Bangunan .....	29
Gambar 2.20. Ilustrasi Aliran Udara yang Dipengaruhi Pohon yang Ditempatkan pada berbagai Posisi disekitar Bangunan ....	29
Gambar 3.1. Kerangka Konsep .....	33
Gambar 3.2. Lokasi Pengambilan Sampel Luar Ruangan .....	35
Gambar 3.3. EMS Cascade Impactor .....	38
Gambar 3.4. Pemasangan EMS E6 Bioaerosol Sampler .....	40
Gambar 4.1. Sebaran Jumlah Mikroba pada Gedung A dan K, FTUI	55
Gambar 4.2. Dinding Tampak Luar Bangunan .....	58
Gambar 4.3. Orientasi Bangunan Gedung A FTUI .....	60
Gambar 4.4. Orientasi Bangunan Gedung K FTUI .....	61
Gambar 4.5. Ilustrasi Aliran Udara Luar Ruangan Gedung K, FTUI.....	71
Gambar 4.6. Ilustrasi Aliran Udara Luar Ruangan Gedung K, FTUI.....	71
Gambar 4.7. Denah Lokasi Pengambilan Sampel di Gedung K .....	72
Gambar 4.8. Denah Lokasi Pengambilan Sampel di Gedung K .....	74
Gambar 4.9. Denah Lokasi Pengambilan Sampel di Gedung A .....	75
Gambar 4.10. Denah Lokasi Pengambilan Sampel di Gedung A .....	76
Gambar 4.11. Denah Lokasi Pengambilan Sampel di Gedung A .....	76
Gambar 5.1. Pembagian Ruang Lantai 2 Gedung Perkuliahan K FTUI..	81
Gambar 5.2. Rekomendasi Desain Pembagian Ruang Lantai 2 Gedung K FTUI.....	81

## DAFTAR RUMUS

Rumus 3.1. Volume Udara dalam Ruangan .....	42
Rumus 3.2. Volume Udara luar Ruangan .....	42
Rumus 3.3. Jumlah Mikroba .....	42
Rumus 3.4. <i>Separated Varians</i> .....	43
Rumus 3.5. <i>Polled Varians</i> .....	43
Rumus 4.1. Nilai rata-rata .....	50
Rumus 4.2. Varians sampel .....	50
Rumus 4.3. Simpangan baku sampel .....	50
Rumus 4.4. Rumus Uji F .....	51



## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Data Jumlah Jamur dan Bakteri Gedung Perkuliahan K
- Lampiran 2. Data Jumlah Jamur dan Bakteri Gedung Perkuliahan A
- Lampiran 3. Data Jumlah Jamur dan Bakteri di Luar Gedung Perkuliahan K
- Lampiran 4. Data Jumlah Jamur dan Bakteri di Luar Gedung Perkuliahan A
- Lampiran 5. Data Jumlah Jamur dan Bakteri Gedung Perkuliahan K dan A saat Ada Orang
- Lampiran 6. Tabel Nilai-nilai Dalam Distribusi T
- Lampiran 7. Tabel Nilai-nilai Untuk Distribusi F
- Lampiran 8. Daftar Pemeliharaan yang Dapat Dilakukan Menurut Peraturan Menteri P.U. No.24/PRT/M/2008 tentang Pedoman Pemeliharaan dan Perawatan Bangunan Gedung.
- Lampiran 9. Prosedur Dan Metode Pemeliharaan, Perawatan Dan Pemeriksaan Periodik Bangunan Gedung Menurut Peraturan Menteri P.U. No.24/PRT/M/2008 tentang Pedoman Pemeliharaan dan Perawatan Bangunan Gedung.
- Lampiran 10. Foto Sampel Bakteri
- Lampiran 11. Foto Sampel Jamur
- Lampiran 12. Foto Kondisi Kelas

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.9 LATAR BELAKANG**

Pencemaran udara diartikan sebagai adanya bahan-bahan atau zat-zat asing di udara yang menyebabkan perubahan susunan (komposisi) udara sehingga mutu udara tidak dapat memenuhi fungsinya dan dapat terjadi di luar ruangan maupun di dalam ruangan. Perhatian terhadap pencemaran udara dalam ruangan meningkat karena manusia menghabiskan waktunya 93% dalam ruangan, 5% dihabiskan dalam perjalanan, dan hanya 2% dihabiskan di udara bebas (Nriagu, 1992). Selain itu, pentingnya menjaga kualitas udara dalam ruangan terkait dengan kenyamanan lingkungan kerja dan kesehatan pemakai ruangan. Gangguan kesehatan yang dapat terjadi terutama pada daerah tubuh atau organ tubuh yang kontak langsung dengan udara, seperti mata, kulit, hidung, saluran pernapasan. Adanya gangguan kesehatan dan kenyamanan lingkungan akan berpengaruh terhadap kinerja dari tiap orang.

Ada empat faktor yang perlu diperhatikan untuk menjaga kualitas udara dalam ruangan. Pertama, faktor bangunan. Pemilihan spesifikasi bangunan, seperti material yang digunakan, jenis ventilasi, orientasi bangunan serta berbagai detail desain lainnya, akan mempengaruhi keadaan lingkungan di dalam ruangan. Kondisi iklim di Indonesia yang cenderung lembab menjadi pertimbangan dalam menentukan spesifikasi bangunan serta pemilihan material yang tepat untuk menjaga kualitas udara dalam ruangan. Adan (1994) menemukan bahwa material finishing pada bangunan memainkan peranan penting dalam pertumbuhan jamur dan kualitas lingkungan dalam ruangan. Seiring dengan bertambahnya umur bangunan maka daya tahan material terhadap kelembaban akan berkurang. Menurut Environmental Protection Agency (EPA), kelembaban relatif yang direkomendasikan untuk rumah berkisar antara 30-50%.

Faktor kedua adalah pemilihan perabot yang digunakan dalam ruangan tersebut. Perabot seperti kayu contohnya, kayu yang terkena air atau menjadi lembab, dapat menjadi tempat berkembangnya mikroba. Faktor ketiga adalah

peran manusia. Faktor yang paling menentukan dalam menjaga kualitas udara dalam ruangan adalah manusia. Peran manusia dimulai dari pemilihan spesifikasi bangunan, perabot, serta proses perawatan dan pemeliharaan yang dilakukan. Faktor keempat adalah kondisi sekitar bangunan. Kualitas udara di dalam ruangan juga dipengaruhi oleh udara di luar ruangan. Sumber kontaminasi dari luar ruangan dapat memasuki ruang melalui celah, pintu, serta jendela.

Jenis pencemar dalam ruangan dapat dibagi menjadi pencemar fisik, kimia dan biologi. Pertama adalah parameter pencemar fisik seperti temperatur, kebisingan, pencahayaan, radiasi elektromagnetik, radioactivity, dan keberadaan *high energy particle* (*cosmic ray*, *high energy radiation*). Kedua adalah pencemar kimia termasuk produk pembakaran seperti nitrogen oksida, CO, CO<sub>2</sub>, SO, SO<sub>2</sub>, uap air, gas buang (*exhaust gases*) material konstruksi seperti serat asbestos, serat kaca, dan debu kayu, plastik, pestisida, dan *volatile organic compounds* (VOCs). Ketiga adalah pencemar biologi termasuk bakteri, jamur, lumut, virus, *animal dander and cat saliva*, *house dust mites*, serangga dan serbuk sari.

Parameter yang akan diukur dalam penelitian ini adalah parameter mikrobiologis. Parameter ini dipilih mengingat kondisi di Indonesia yang cenderung lembab, dimana kelembaban merupakan salah satu faktor utama berkembangnya mikroba.

Penelitian ini akan dilakukan di ruang perkuliahan dengan pertimbangan ruang kuliah merupakan salah satu tempat melakukan aktivitas serta diperlukannya kualitas udara dalam ruangan yang baik untuk mendukung aktivitas belajar mengajar dan menjaga kinerja optimal tiap orang. Dengan mempertimbangkan keempat faktor yang perlu diperhatikan untuk menjaga kualitas udara dalam ruangan maka dipilih gedung perkuliahan A dan K, Fakultas Teknik UI. Gedung A dan gedung K memiliki perbedaan dari waktu pembangunan dan pengoperasian bangunan serta spesifikasi bangunan. Dari perbedaan ini akan dilihat apakah ada perbedaan jumlah mikroba yang signifikan antara gedung A dan gedung K kemudian ditelaah lebih jauh secara

kualitatif dengan keempat faktor yang mempengaruhi udara dalam ruang. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan teknik sampling di lapangan.

#### **1.10 PERUMUSAN MASALAH**

Penelitian akan dilakukan di institusi pendidikan dimana tempat ini banyak digunakan terutama oleh orang yang sedang dalam masa perkuliahan. Dalam masa perkuliahan, kondisi badan sering kali tidak stabil karena tingginya tingkat aktivitas. Kualitas udara yang baik diperlukan untuk mendukung agar aktivitas (situasi belajar mengajar) dapat berlangsung. Kondisi udara yang menurun dapat memperbesar kemungkinan terkena penyakit, padahal selama masa perkuliahan kondisi badan yang fit diperlukan untuk mencapai hasil akademik yang maksimal.

Bangunan di institusi pendidikan yang akan diteliti telah beroperasi cukup lama dan direncanakan akan dapat beroperasi dalam jangka waktu tertentu, sementara performa bangunan akan terus menurun seiring berjalannya waktu. Penurunan performa bangunan tidak boleh mempengaruhi kualitas udara dalam ruangan. Dalam penelitian ini, pemilihan bangunan perkuliahan didasarkan pada adanya perbedaan tahun pembangunan dan pengoperasian. Fokus dari penelitian ini adalah apakah terdapat perbedaan signifikan jumlah mikroba di udara dalam ruangan diantara gedung perkuliahan A dan K Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

#### **1.11 HIPOTESIS**

Hipotesis dari penelitian ini adalah terdapat berbagai faktor yang mempengaruhi kualitas udara mikroorganisme di gedung perkuliahan A dan K Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

### 1.12 RUANG LINGKUP

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan maka penelitian ini dibatasi pada :

- Jumlah mikroba di udara dalam ruangan kelas
- Perbandingan jumlah mikroba di udara dalam ruangan pada gedung perkuliahan A dan K Fakultas Teknik Universitas Indonesia

### 1.13 TUJUAN PENELITIAN

1. Mengetahui jumlah mikroba di dalam ruang kelas
2. Mencari faktor-faktor yang mempengaruhi jumlah mikroba dalam ruangan

### 1.14 MANFAAT PENELITIAN

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat :

- Bagi pemerintah

Penelitian ini diharapkan dapat berguna bagi pemerintah sebagai pertimbangan dalam pengambilan keputusan dan pembuatan peraturan. Diharapkan faktor mikrobiologis dalam ruangan menjadi perhatian sehingga untuk ke depannya dapat dilakukan antisipasi dan pengaturan kualitas udara dalam ruangan.

- Bagi institusi pendidikan

Adanya penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi institusi pendidikan, sebagai referensi atau acuan untuk penelitian selanjutnya.

### 1.15 PENYELESAIAN MASALAH

Penyelesaian masalah dalam penelitian ini dilakukan dengan memberikan rekomendasi tindakan yang perlu dilakukan untuk mengurangi jumlah mikroba dalam ruangan, yang meliputi :

- aspek desain bangunan
- proses pemeliharaan dan perawatan

## **1.16 SISTEMATIKA PENULISAN**

Sistematika penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

### **BAB I : PENDAHULUAN**

Bab ini berisi mengenai latar belakang, perumusan masalah, hipotesis, ruang lingkup, tujuan penelitian, manfaat penelitian, penyelesaian masalah, sistematika penulisan.

### **BAB II : STUDI KEPUSTAKAAN**

Pada bab ini dijelaskan teori-teori yang menjadi dasar analisis dan pembahasan. Teori yang digunakan mengenai sumber pencemar, faktor yang mempengaruhi kualitas udara dalam ruangan, jenis pencemar, pengaruh terhadap kesehatan, faktor yang mempengaruhi pertumbuhan jamur dan bakteri, aliran udara serta peraturan terkait udara dalam ruangan.

### **BAB III : METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab ini berisi mengenai metode yang digunakan dalam penelitian, langkah-langkah pengambilan data, cara pengolahan dan analisis data.

### **BAB IV : PEMBAHASAN**

Pada bab ini dilakukan pengolahan dan analisis data dengan mempertimbangkan faktor yang mempengaruhi kualitas udara mikrobiologis dalam ruangan serta membandingkan hasil penelitian yang diperoleh melalui pengambilan sampel dengan hasil penelitian lain.

### **BAB V : PENUTUP**

Pada bab ini terdapat kesimpulan yang diambil berdasarkan tujuan penelitian, data, serta pengolahan dan analisa data yang dilakukan. Pada bab ini juga terdapat saran yang diberikan oleh penulis yang berkaitan dengan penelitian.

## **BAB 2**

### **STUDI KEPUSTAKAAN**

#### **2.1 PENGERTIAN PENCEMARAN UDARA**

Menurut PP No. 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, yang dimaksud pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya. Udara ambien menurut PP NO. 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara adalah udara bebas dipermukaan bumi pada lapisan troposfir yang berada di dalam wilayah yurisdiksi Republik Indonesia yang dibutuhkan dan mempengaruhi kesehatan manusia, makhluk hidup dan unsur Lingkungan hidup lainnya.

Pencemaran udara dapat dibedakan menjadi dua menurut sumbernya yaitu pencemar udara luar ruangan (*outdoor*) dan pencemar udara dalam ruangan (*indoor*). Pembahasan selanjutnya akan lebih ditekankan pada pencemar udara dalam ruangan.

#### **2.2 PENCEMAR UDARA DALAM RUANGAN**

Beberapa tahun terakhir ini, perkembangan ilmu pengetahuan mengindikasikan bahwa kualitas udara dalam bangunan dapat lebih buruk dibandingkan udara luar (*outdoor air*). Penelitian oleh EPA tentang pola aktivitas mengindikasikan bahwa manusia menghabiskan kira-kira 90% waktunya di dalam ruangan dibandingkan di luar ruangan. Beberapa faktor berpengaruh dalam peningkatan pencemar udara di dalam ruangan seperti adanya sumber pencemar, ventilasi, temperatur, dan kelembaban.

### 2.2.1 Sumber Pencemar

Terdapat berbagai sumber pencemar dalam ruangan seperti minyak, gas, kerosene, batu bara, kayu, rokok, material bangunan dan perabotannya, asbestos, material penyekat (partisi), karpet yang basah atau lembab, dan kabinet atau perabot yang terbuat dari produk kayu (*pressed wood products*) bahan pembersih, sistem pemanas dan pendingin sentral, sumber outdoor seperti radon, dan pestisida. Sumber lain dari pencemar mikrobiologi adalah perpipaan pada pengatur udara seperti sistem *air conditioning* dan *heating* terpusat. Melalui sistem perpipaan tersebut, pencemar biologi dapat didistribusikan ke tempat-tempat lain.

Jumlah polutan yang diemisikan dan tingkat bahayanya tergantung pada beberapa faktor seperti umur sumber dan pemeliharaan. Semakin tua umur sumber maka tingkat performanya makin menurun, karenanya pemeliharaan dilakukan untuk memperlambat penurunan performa sumber. Pemeliharaan dilakukan untuk mengurangi jumlah polutan dan mengurangi tingkat bahayanya.

Berbagai polutan dapat diemisikan dalam rentang waktu yang berbeda. Beberapa sumber seperti material bangunan, perabot, dan produk rumah tangga seperti *air freshener*, mengemisikan polutan secara terus menerus, sedangkan sumber lain yang berhubungan dengan aktifitas di rumah, mengemisikan polutan dalam waktu yang tidak tetap, selain itu beberapa polutan juga dapat menetap di udara untuk periode yang lama.

### 2.2.2 Jenis Pencemar

Berbagai jenis pencemar udara diemisikan di dalam ruangan, baik pencemar fisik, kimia maupun biologi. Parameter pencemar fisik seperti temperatur, kebisingan, pencahayaan, radiasi elektromagnetik, radioaktivitas, dan keberadaan *high energy particle* (*cosmic ray*, *high energy radiation*). Sedangkan yang termasuk pencemar kimia termasuk produk pembakaran seperti nitrogen oksida, CO, CO<sub>2</sub>, SO,

SO<sub>2</sub>, uap air, gas buang (*exhaust gases*), material konstruksi seperti serat asbestos, serat kaca, dan debu kayu, plastik, pestisida, dan *volatile organic compounds* (VOCs). Yang dimaksud pencemar biologi misalnya bakteri, jamur, lumut, virus, *animal dander and cat saliva*, *house dust mites*, serangga dan serbuk sari. Pembahasan berikut akan lebih ditekankan kepada pencemar udara mikrobiologis.

## 2.3 PENCEMAR UDARA MIKROBIOLOGIS DALAM RUANGAN

Pencemar mikrobiologis dapat berasal dari berbagai macam sumber seperti serbuk sari yang berasal dari tanaman, virus berpindah dari hewan dan manusia, bakteri yang dapat dibawa oleh orang, hewan, tanah dan tanaman. Protein dalam urin dari tikus dan binatang pengerat juga berpotensi sebagai sumber alergi.

### 2.3.1 Jenis-jenis Pencemar Mikrobiologis

Jenis-jenis pencemar mikrobiologis dapat berupa jamur dan bakteri.

Tabel 2.1. Jenis Jamur dan Bakteri yang ada di dalam ruangan

Jamur	Bakteri
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Cladosporium cladosporioides</i></li> <li>• <i>Non-sporulating fungi</i></li> <li>• <i>Epicoccum nigrum</i></li> <li>• <i>Ulocladium chartarum</i></li> <li>• <i>Yeast</i></li> <li>• <i>Arthrographis sp.</i></li> <li>• <i>Penicillium brevicompactum</i></li> <li>• <i>Tritichium sp.</i></li> <li>• <i>Aureobasidium pullulans</i></li> <li>• <i>Pithomyces chartarum</i></li> <li>• <i>Aspergillus</i></li> <li>• <i>Alternaria</i></li> <li>• <i>Aureobasidium</i></li> <li>• <i>Fusarium</i></li> <li>• <i>Zygomycetes</i></li> <li>• <i>Curvularia</i></li> <li>• <i>Coelomycetes</i></li> <li>• <i>Paecilomyces</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Legionella</i></li> <li>• <i>Actinomycetes</i></li> <li>• <i>Gram+rods</i> lainnya</li> <li>• <i>Gram+cocci</i></li> <li>• <i>Gram-rods</i></li> <li>• <i>Gram-cocci</i></li> </ul>

Sumber: AIHA, 2005

### 2.3.2 Pengaruh Kesehatan yang Disebabkan Pencemar Mikrobiologis

Beberapa pencemar mikrobiologis dapat memacu reaksi alergi, termasuk hipersensitivitas, pneumonitis, *allergic rhinitis*, dan beberapa tipe asma. Selain itu, jamur dan lumut juga menyebabkan gejala kesehatan termasuk bersin, mata berair, batuk, kesulitan bernapas, pusing, lesu, demam, dan masalah pencernaan.

Pada umumnya reaksi alergi setelah terkena penyebab alergen biologi bersifat spesifik tergantung pada sensitivitas manusia. Anak-anak, lansia dan penderita masalah pernapasan, alergi, dan penyakit paru-paru lebih mudah terkena penyakit yang disebabkan pencemar mikrobiologis pada udara dalam ruangan.

Sebagai contoh beberapa penyakit, seperti *humidifier fever* disebabkan oleh toksin dari mikroorganisme yang dapat tumbuh di sistem ventilasi bangunan. Selain itu mikroorganisme penghasil toksin tersebut juga dapat tumbuh di sistem pemanas dan pendingin serta alat pengatur kelembaban ruangan.

Adapun yang akan terpengaruh oleh SBS (*Sick Building Syndrome*), gejala yang akan dialami tergantung pada sifat-sifat personal (misalnya jenis kelamin dan alergi), jenis pekerjaan, faktor-faktor psikososial, serta karakteristik bangunan dan ruang (Sundell, 1996).

Contoh faktor-faktor teknis yang terkait dengan prevalensi tinggi SBS adalah usia bangunan (keluhan yang paling sering terjadi pada bangunan yang dibangun atau direnovasi setelah pertengahan 1970-an), laju aliran udara di luar ruangan (*outdoor*), masalah kelembaban, serta standar perawatan dan pemeliharaan yang rendah (Sundell, 1996).

### 2.3.3 Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan Jamur dan Bakteri

Penelitian laboratorium telah menemukan bahwa faktor abiotik dan biotik, keduanya mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangbiakan jamur dan bakteri. Yang termasuk faktor abiotik seperti air,

temperatur, nutrient (karbon, nitrogen, sulphur), berbagai macam *macro-elements* (termasuk vitamin, biotin, thiamin), dan *micro-elements* (besi, seng, tembaga, dan lain-lain) yang berguna untuk proses enzimisasi dan metabolisme, pH, pencahayaan, karbon dioksida, dan tekanan oksigen. Sedangkan yang termasuk faktor biotik seperti interaksi antar organisme seperti *antagonism*, *competition*, *predation*, dan parasitisme (AIHA, 2005).

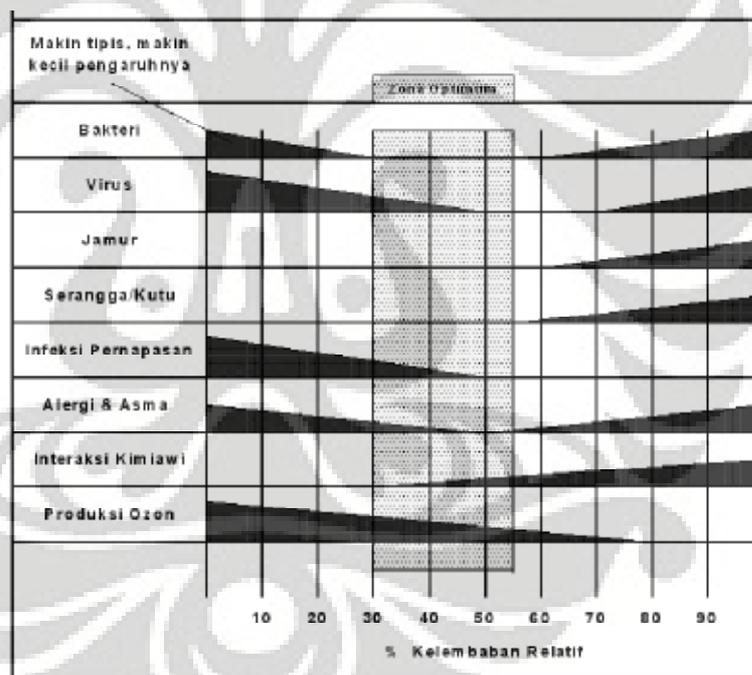
Dari kesemua faktor yang mempengaruhi perkembangbiakan jamur pada bangunan di atas, yang paling berpengaruh adalah air/kelembaban, temperatur, dan keberadaan nutrient (AIHA, 2005). Ketiganya bukan hanya faktor penentu dari pertumbuhan dan perkembangbiakan jamur dan bakteri, tetapi juga berpengaruh pada jenis dan komunitas dari jamur itu sendiri.

a. Air/Kelembaban

Kelembaban udara dalam ruangan merupakan faktor penting yang mempengaruhi konsumsi energi suatu bangunan, daya tahan dari komponen bangunan, dan kualitas udara dalam ruangan. Kelembaban dalam ruangan tergantung pada beberapa faktor, seperti sumber kelembaban, aliran udara, penyerapan oleh material dan kemungkinan terjadinya kondensasi (Woloszyn dan Rode, 2008). Kelembaban tidak tersebar secara merata pada suatu media dan dapat berubah-ubah. Sebagai contoh pada permukaan horizontal seperti langit-langit, *water activity* akan lebih tinggi pada lokasi yang dekat dengan sumber air dan makin menurun seiring bertambahnya jarak dari sumber air. Pada lokasi di dekat sumber, kemungkinan mycoflora akan didominasi oleh spesies hidrofilik, sedangkan disekelilingnya akan lebih banyak spesies xerofilik. Untuk permukaan vertikal, *water activity* kemungkinan akan lebih tinggi pada bagian bawah meskipun sumber kelembaban berasal dari atas, hal ini dikarenakan gravitasi.

Keberadaan air penting karena air memungkinkan terjadinya difusi dan pencernaan. Air juga mempengaruhi substrat pH dan osmolaritas dan merupakan sumber dari hidrogen dan oksigen, yang dibutuhkan untuk proses biosintesa. Setiap mikroorganisme memiliki persyaratan kelembaban minimal dan optimal tertentu. Jamur dapat tumbuh atau tidak bergantung pada *water activity* ( $a_w$ ), atau kandungan air dari substrat tersebut. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa kebutuhan *water activity* minimum untuk pertumbuhan jamur adalah 0.64, beberapa spesies tertentu dapat tumbuh pada  $a_w$  sekitar 0.61 (AIHA, 2005).

Kualitas udara dalam ruang yang baik serta kelembaban udara yang optimum harus dijaga agar tidak menimbulkan dampak pada kesehatan dan kenyamanan manusia.



Sumber: Peraturan Menteri P.U. No. 24/PRT/M/2008 tentang Pedoman Pemeliharaan dan Perawatan Bangunan Gedung.

Gambar 2.1. Tingkat Kelembaban Relatif dalam Ruang

Gambar di atas menunjukkan tingkat kelembaban relative dalam pengaruhnya terhadap mikroba dan kemungkinan terjadinya efek terhadap kesehatan.

Bangunan lembab (damp building) dapat dibagi ke dalam bangunan dengan kerusakan karena terkena kelembaban secara langsung sebagai akibat dari penetrasi air hujan, kebocoran pipa air serta bangunan dengan tingkat ventilasi rendah disertai dengan kelembaban meningkat dan adanya kondensasi pada permukaan (Sundell, 1996).

b. Temperatur

Setiap mikroorganisme mempunyai kebutuhan temperatur minimum dan optimum. Temperatur merupakan faktor fisik penting yang mempengaruhi pertumbuhan jamur dan bakteri secara langsung dengan mempengaruhi performa psikologi dari organisme, dan secara tidak langsung mempengaruhi kebutuhan minimum *water activity*.

Berdasarkan temperatur optimum, jamur dikelompokkan menjadi mesofilik, psikofilik, dan termofilik. Kebanyakan jamur yang terisolasi dalam bangunan adalah mesofilik. Jamur jenis ini tumbuh optimal pada temperatur 10 °C-40 °C.

Jamur termofilik mempunyai temperatur pertumbuhan minimum >20°C dan maksimum >50°C. Species termotoleran, yang terpisah dari species termofilik, tumbuh pada temperatur 20°C-50°C, tidak seperti jamur termofilik, jamur termotoleran biasanya ditemukan pada beberapa tipe material bangunan. Pada bangunan, *Asp. fumigatus* dan *Paecilomyces variotii* dapat terisolasi dari pertambahan debu di ruang mekanik dan rongga dinding karena permasalahan kelembaban pada alat pemanas. Temperatur juga mempengaruhi kebutuhan minimum *water activity* untuk pertumbuhan jamur. Pada rentang *water activity* ( $a_w$ ) 0.20-0.80 ada perkiraan kenaikan 0.03  $a_w$  setiap pertambahan temperatur 10°C. Perubahan  $a_w$  yang relatif kecil ini berhubungan dengan kondisi yang memungkinkan jamur dan bakteri tumbuh (AIHA, 2005).

### c. Kebutuhan Nutrisi

Semua jamur bersifat heterotropik. Molekul organik kompleks yang tersedia di lingkungan digunakan sebagai sumber makanan seperti karbon, hidrogen, nitrogen, phosphorus, potassium, dan sulphur untuk proses biosintesa dan sumber energi. Vitamin, terutama biotin dan thiamine, dan *micro-elements* (besi, seng, tembaga, mangan, dan lain-lain), juga dibutuhkan untuk fungsi enzim dan metabolisme.

Jamur dan bakteri dapat tumbuh pada kebanyakan material di bangunan dikarenakan material tersebut menyediakan *water activity* untuk memenuhi kebutuhan minimum untuk tumbuh. Material yang paling memungkinkan untuk pertumbuhan jamur dan bakteri adalah material yang terbuat dari material organik yang dapat ditemukan di alam.

Bahan yang paling sering ditemukan sebagai nutrisi dari material bangunan adalah selulosa, yang dapat dibagi menjadi *lignified* (struktur kayu), *delignified* (*drywall surfaces*, *blown insulation*, *fiberglass insulation backing*, dan lain sebagainya) atau ester (*water based paint thickener*), dan lain-lain. Jamur yang biasanya berasal dari struktur kayu (*lignified*) yang terkontaminasi seperti *Acremonium strictum*, *Asp. Versicolor*, *C. cladosporioides*, *C. herbarum*, *mon-sporulating Basidiomycetes*, *Pen. brevicompactum*, *Pen. chrysogenum*, *Pen. glabrum*, *Pen. commune*, *Pen. crustosum*, *Pen. spinulosum*, *Phoma herbarum*, *Trichoderma harzianum*, *T. viride* dan ragi. Jamur yang berasal dari material yang mengandung *delignified cellulose* seperti *Acremonium strictum*, *Asp. Niger*, *Asp. Sydowii*, *Asp. Ustus*, *Asp. Versicolor*, *C. cladosporioides*, *C. herbarum*, *C. sphaerospermum*, *Chaetomium globosum*, *Eurotium herbariorum*, non-sporulating Basidiomycetes, *Paec. Variotii*, *Pen. aurantiogriseum*, *Pen. chrysogenum*, *Pen. citrinum*, *Pen. commune*, *Pen. corylophilum*, *Pen. crustosum*, *Pen. spinulosum*, *Pen. variabile*, *Pen. viridicatum*

dan *Stachybotrys chartarum* dan ragi. Jamur yang berasal dari material yang mengandung *cellulose-ester thickened paints* seperti *Asp. Niger*, *Asp. Sydowii*, *Asp. Versicolor*, *C. cladosporides*, *C. herbarum*, *C. sphaerospermum*, *Eurotium herbariorum*, non-sporulating Basidiomycetes, *Pen. aurantiogriseum*, *Pen. chrysogenum*, *Pen. citrinum*, *Pen. commune*, *Pen. corylophilum*, *Pen. crustosum*, *Pen. spinulosum*, *Pen. viridicatum* dan ragi (AIHA, 2005).

## 2.4 FAKTOR YANG MEMPENGARUHI KUALITAS UDARA DALAM RUANGAN

Udara dalam ruangan pada suatu bangunan dipengaruhi oleh empat faktor yaitu kondisi bangunan, material dan perabot yang digunakan, pengaruh manusianya serta pengaruh udara luar ruangan (*outdoor*). Keempat faktor tersebut memiliki peran penting dalam menjaga kualitas udara dalam bangunan.

### 2.4.1 Kondisi bangunan

Saat ini paradigma bangunan sehat adalah bangunan dengan sirkulasi udara yang baik, kontrol suhu dan cahaya yang baik, tempat yang ergonomik dan kualitas lingkungannya terjaga, adanya akses ke lingkungan alam, penggunaan lahan yang efisien (*Center for Building Performance and Diagnostics/Advanced Building Systems Integration Consortium*, 2005).

Kesemua faktor tadi akan dibahas satu persatu di bawah ini:

#### a. Sirkulasi udara yang baik.

Cara untuk menyediakan sirkulasi udara yang baik yaitu dengan memaksimalkan ventilasi alami dan penggunaan sistem *air conditioning* (HVAC), serta mengontrol sumber polutan dan infiltrasi. Dalam proses infiltrasi, udara luar mengalir ke dalam ruangan melewati bukaan, sambungan, dan retakan di dinding, lantai, dan langit-langit dan sekitar jendela dan pintu; sedangkan pada ventilasi alami, pergerakan udara dilakukan melewati pintu dan jendela yang

terbuka. Pergerakan udara yang berhubungan dengan infiltrasi dan ventilasi alami disebabkan oleh perbedaan temperatur udara diantara dalam dan luar ruangan serta karena pergerakan angin. Pada ventilasi mekanik, digunakan berbagai peralatan mekanik seperti kipas dan jaringan perpipaan dari luar hingga ke dalam. Apabila pertukaran udara dengan infiltrasi, ventilasi alami, atau ventilasi mekanik kurang maka dapat terjadi peningkatan konsentrasi polutan dalam ruangan bahkan dapat mempengaruhi kesehatan dan permasalahan kenyamanan. Ruangan yang didesain dan dibangun untuk meminimalisasi jumlah udara luar yang masuk dan keluar ruangan dapat memiliki level polutan yang lebih tinggi daripada ruangan lain. Aspek penting dari ventilasi adalah waktu pengoperasian dan laju aliran udara di luar ruangan (Sundell, 1996). Studi kasus internasional telah mendemonstrasikan bahwa strategis ventilasi dengan performa tinggi mereduksi penyakit pernapasan 9-20% dan meningkatkan produktivitas individu diantara 0.48-11%, serta 25-50% penyimpanan energi untuk ventilasi alami (Fisk and Rosenfeld, 1997; Kroeling *et al.*, 1988).

b. Kontrol suhu.

Kondisi ruang yang nyaman dapat tercapai dengan suhu antara 18-28°C (KEPMENKES RI No.1405/MENKES/SK/XI/2002). Mikroorganisme membutuhkan suhu tertentu untuk tumbuh karenanya pengontrolan suhu juga dapat mengurangi kemungkinan berkembangnya mikroba di ruangan. Dengan adanya pengontrolan suhu kualitas udara dalam ruangan juga dapat terjaga. Studi kasus internasional mendemonstrasikan bahwa adanya pengontrolan suhu menambah produktivitas individu untuk setiap pekerja sebesar 0.2-3% dan mengurangi gejala *sick building syndrome* (SBS) dan kecenderungan absen (Wyon, 1996).

c. Pencahayaan yang cukup.

Komponen ketiga ini dapat dicapai dengan memaksimalkan penggunaan cahaya matahari, pemilihan peralatan penerangan dengan kualitas tinggi, dan mendesain zona pencahayaan yang dinamik. Pencahayaan yang baik akan mengurangi kemungkinan mikroorganisme untuk tumbuh dan meningkatkan kualitas udara dalam ruangan. Penelitian oleh Heschong menunjukkan bahwa mengembangkan desain pencahayaan menambah produktivitas individu antara 0.7 dan 23%, mengurangi sakit kepala dan gejala SBS antara 10-25%, serta mereduksi beban energi tahunan sebesar 27-88% (Heschong *et al.*, 2002).

d. Tempat bekerja yang ergonomik dan kualitas lingkungan yang terjaga.

Tujuan pengembangan komponen keempat ini adalah agar para pekerja dapat bekerja lebih baik dan efisien, selain itu dapat tercipta efisiensi energi, pencahayaan optimal, dan temperatur yang cukup. Dengan terciptanya kondisi diatas, kualitas udara dalam ruangan yang baik dapat tercipta. Desain berkelanjutan bergantung pada penggunaan material yang mendukung lingkungan yang sehat. Pemilihan material sangat penting untuk performa thermal, kualitas udara dan pengeluaran gas, kandungan racun pada api, serat penyebab kanker, dan jamur, kesemuanya mempengaruhi sistem pernapasan dan pencernaan, mata, dan kulit (Dainoff, 1990).

e. Akses ke lingkungan alam.

Komponen kelima tercapai dengan menyediakan akses ke alam dengan memaksimalkan pencahayaan, memaksimalkan penggunaan ventilasi alami dengan penggabungan model HVAC, dan pendesainan pemanas dan pendingin yang baik. Dengan adanya akses ke lingkungan alam, sirkulasi udara dan pencahayaan yang baik dapat tercipta dan kualitas udara dalam ruanganpun akan meningkat.

Akses ke lingkungan alam dapat meningkatkan produktivitas individu sebesar 0.4-18% dan mengurangi ketidakhadiran, SBS, serta penggantian waktu ketika menyimpan 40% energi pencahayaan (Center for Building Performance and Diagnostics/Advanced Building Systems Integration Consortium, 2005).

#### 2.4.2 Material dan Furniture

*Humidity, moisture* dan masalah jamur pada bangunan adalah faktor utama yang mempengaruhi kualitas udara (Institute of Medicine, 2004). Fenomena ini berhubungan kepada efek kesehatan seperti gejala pernapasan dan asma (Bornehag *et al.*, 2001, 2004; IOM, 2004; Peat *et al.*, 1998). Kelembaban dan jamur, keduanya merupakan masalah yang kompleks bila dilihat dari sudut pandang konstruksi bangunan dan kesehatan manusia. Walaupun spora jamur ada dimana-mana, ketika kelembaban tidak terkontrol maka jamur tumbuh dan berkembang. Material dari bangunan yang sehat harus kokoh dan resistan terhadap pertumbuhan *microbial*. Adan (1994) menemukan bahwa material finishing pada bangunan memainkan peranan penting dalam pertumbuhan jamur dan kualitas lingkungan dalam ruangan. Material bangunan yang biasanya digunakan sebagai sumber nutrisi adalah selulosa, yang dapat dibagi menjadi *lignified* (struktur kayu), *delignified* (*drywall surfaces, blown insulation, fiberglass insulation backing*, dan lain sebagainya) atau ester (*water based paint thickener*), dan lain-lain (AIHA, 2005). Jamur dapat tumbuh pada bahan bangunan termasuk pada kertas di papan gypsum di dinding, ceiling tiles, produk kayu, cat, wallpaper, karpet, beberapa perabot, buku / kertas, pakaian, dan kain lainnya. Jamur juga bisa tumbuh pada lembab, permukaan kotor seperti beton, fiberglass, dan ubin keramik (NYC HMM, 2008).

Jenis jamur yang umumnya mampu berkoloni di material dalam ruangan biasanya bersifat:

- Mempunyai jangkauan kebutuhan nutrisi yang luas
- Yang mampu membentuk koloni pada lingkungan yang sangat kering
- Organism yang mampu mendegradasi selulosa dan lignin pada banyak material dalam ruangan secara cepat

Penggunaan pemberantas jamur atau produk disinfektan tidak menyelesaikan masalah dan malah dapat menambah beban kepada paparan bahan kimia di dalam ruangan. Efek paling nyata di tempat dengan beban *moisture* yang tinggi seperti kamar mandi. Finishing dinding yang kurang baik memungkinkan terjadinya kelembaban permukaan yang tinggi, walaupun ketika udara dalam ruangan kering. Ini menjelaskan mengapa pada tempat tinggal dengan tingkat isolasi dingin yang tinggi sekarang ini dan iklim maritim sedang, resiko jamur merupakan persoalan utama dari properti material.

Kontrol *moisture* akan sulit diatur di bangunan yang telah ada, oleh karena itu perlu dilakukan penanganan terhadap material yang telah terpapar. Selain itu, penyebaran informasi dan akses untuk pelatihan tentang resiko dari kelembaban dan jamur menjadi penting untuk mengontrol permasalahan ini. Pelatihan harus diarahkan oleh para ahli dalam bidang desain bangunan dan konstruksi juga dalam hal pemeliharaan bangunan, manajemen, dan renovasi. Masyarakat sebagai pengguna dan penghuni dari bangunan, memainkan peran penting dalam pencegahan dan pengontrolan masalah ini.

#### 2.4.3 Pengaruh manusia

Kenyamanan dan kondisi udara di dalam ruangan dipengaruhi juga oleh banyaknya serta kepadatan dari manusia (penghuni ruangan). Kapasitas suatu ruangan harus dibatasi sebagaimana sehingga kondisi ruangan menjadi nyaman.

Selain itu, gaya hidup manusia juga memainkan peran penting dalam memelihara kualitas dari lingkungan dalam ruangan (Loftness, 2007). Gaya hidup yang mempengaruhi kualitas udara dalam ruangan seperti:

- a. Perawatan dan Pemeliharaan yang dilakukan. Definisi pemeliharaan bangunan gedung menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No.24/PRT/M/2008 tentang Pedoman pemeliharaan dan perawatan bangunan gedung adalah kegiatan menjaga keandalan bangunan gedung beserta prasarana dan sarananya agar bangunan gedung selalu layak fungsi. Sedangkan pengertian perawatan bangunan gedung adalah kegiatan memperbaiki dan/atau mengganti bagian bangunan gedung, komponen, bahan bangunan, dan/atau prasarana dan sarana agar bangunan gedung tetap layak fungsi. Pembersihan ruangan termasuk dalam bagian pemeliharaan bangunan. Kegiatan pembersihan ini dapat meningkatkan kualitas udara dalam ruang. Salah satu contohnya termasuk seberapa sering menyedot debu dan membersihkan perabot. Contoh dari sumber-sumber polutan dalam ruangan seperti timah, pestisida, *Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAHs)*, alergen, dan senyawa organik yang mudah menguap (VOCs) termasuk produk-produk pembersih, debu yang ada di karpet dan mebel, hewan peliharaan, atau polutan memasuki rumah dari udara luar. Pengakumulasian debu di karpet, sofa, dan kasur merupakan sumber utama pajanan, pestisida, alergen, PAHs, dan VOCs dan dapat dipengaruhi oleh kebiasaan pembersihan seperti frekuensi dari penyedotan debu (Roberts dan Dickey, 1995).
- b. Kebiasaan personal lain di dalam ruangan seperti seberapa sering kipas di dapur dan kamar mandi digunakan serta kapan jendela dibuka untuk menambah sirkulasi udara. Perilaku seperti pembukaan jendela dan menggunakan *exhaust* dapat memiliki dampak yang signifikan dalam mengurangi pajanan dari aktivitas seperti stripping cat (Riley *et al.*, 2000). Membuka jendela dapat memperbesar laju pertukaran udara, maka dari itu, faktor ini harus dimasukkan ke analisis paparan ketika manusia memperkirakan paparan terhadap polutan udara dalam

ruangan (Howard-Reed *et al.*, 2002). Perilaku yang berkaitan dengan pemanasan dan pendinginan bangunan juga dapat mempengaruhi laju pertukaran udara dan prevalensi kontaminasi mikroba dan bahan kimia (Flannigan dan Miller, 2001). Aktivitas rumah tangga yang menggunakan bahan kimia seperti mandi, mencuci pakaian, mencuci tangan, mencuci piring, dapat meningkatkan eksposur kimia dalam ruangan. Kegiatan seperti memasak, seni dan kerajinan, membersihkan lantai, dan lukisan dapat berkontribusi dalam peningkatan tingkat VOC dalam ruangan. Kadar VOC dapat dikurangi dengan menyalakan sistem air conditioning (Clobes *et al.*, 1992). Kegiatan yang menghasilkan jumlah partikulat dalam ruangan yang cukup besar termasuk memasak, merokok, kegiatan pembersihan, sumber-sumber seperti rokok, lilin, lilin beraroma, penyedot debu, semprotan penyegar udara, radiator listrik, serta kompor gas dan listrik (Afshari *et al.*, 2005). Sebuah studi oleh Ferro *et al.* (2004) tentang konsentrasi *partikel matter* (PM) di dalam ruangan dan diluar ruangan untuk berbagai kegiatan manusia menemukan bahwa kegiatan yang menghasilkan eksposur tertinggi untuk *partikel matter* dengan diameter aerodinamis  $\geq 2.5 \mu\text{m}$  (PM<sub>2.5</sub>),  $\geq 5 \mu\text{m}$  (PM<sub>5</sub>), dan  $\geq 10 \mu\text{m}$  (PM<sub>10</sub>) seperti pada pengeringan debu, melipat pakaian dan selimut, dan pembuatan tempat tidur. Kegiatan-kegiatan semacam itu merupakan penampungan debu di furnitur dan tekstil. Kegiatan dan jenis lantai juga faktor penting bagi resuspension debu. Temuan menunjukkan bahwa berbagai kegiatan dalam ruangan manusia meningkatkan pemaparan manusia untuk *partikel matter* dan memberikan kontribusi kepada efek *personal cloud* (Ferro *et al.*, 2004).

- c. Tipe dari produk yang dibeli dan kapan, dimana serta bagaimana pemakaiannya. Berbagai produk rumah tangga dapat digunakan sendiri atau bersama-sama dengan produk lain untuk proses pembersihan, kosmetik, atau berbagai keperluan lain. Sebuah penelitian telah menemukan bahwa terdapat perbedaan besar dari variasi individual

dalam frekuensi, durasi, dan jumlah penggunaan produk-produk seperti detergen pencuci, pestisida, produk pembersih, dan produk penataan rambut (Weegels dan van Veen, 2001). Kegiatan rumah tangga umumnya dapat meningkatkan paparan ke bahan kimia organik yang mudah menguap (VOCs) dibandingkan dengan paparan selama periode tidur dan jauh dibawah konsentrasi tertinggi luar ruangan. Kombinasi produk-produk konsumen, atau campuran produk-produk konsumen dengan udara luar, dapat menghasilkan iritasi saluran pernafasan. Agen pembersih dan penyegar udara dapat mengandung bahan kimia yang bereaksi dengan kontaminan udara yang berpotensi berbahaya untuk menghasilkan produk-produk sekunder. Sebagai contoh, *terpenes* dari produk konsumen dapat bereaksi dengan ozon di udara dalam ruangan dan menghasilkan polutan sekunder (Clausen *et al.*, 2001; Nazaroff dan Weschler, 2004).

- d. Pemilihan tipe perabot. Keputusan tentang perabot rumah tangga dan dekorasi yang digunakan, seperti jenis-jenis mebel yang dibeli, kehadiran karpet dan tirai di berbagai ruangan, dan pilihan renovasi, bisa juga mempengaruhi paparan kontaminan dalam ruangan. Misalnya, mengubah permodelan dari tempat tinggal dan penerapan metode konservasi energi yang dapat mengurangi ventilasi akan meningkatkan kelembaban relatif. Perubahan dalam faktor-faktor ini dapat meningkatkan kadar debu, debu tungau, jamur, VOCs, dan polutan udara dalam ruangan lain (Roberts dan Dickey, 1995).

#### 2.4.4 Pengaruh udara outdoor

Udara luar ruangan (*outdoor*) dapat mempengaruhi udara dalam ruangan melalui pertukaran udara melalui jendela, pintu, maupun celah-celah lainnya. Pertukaran udara diperlukan tetapi akan menjadi masalah bila terdapat sumber kontaminan di udara luar ruangan (*outdoor*) yang dapat menurunkan kualitas udara dalam ruang. Sumber kontaminan dari udara luar ruangan seperti tempat pembakaran sampah, dekat peternakan, dan banyak lagi lainnya. Adanya kontaminasi dari sumber alami (seperti

dari pepohonan) dapat dihindari dengan memanfaatkan desain bangunan sedemikian rupa sehingga kualitas udara dalam ruang tidak menurun. Aliran udara membawa turut membawa kontaminan di dalam alirannya maka dari itu arah aliran udara penting untuk diketahui karena akan berpengaruh terhadap udara dalam ruangan.

Suatu aliran udara dapat terhalang atau berubah aliran karena adanya elemen penghalang. Elemen penghalang ini dapat berupa tapak, bangunan dan vegetasi (pohon atau semak). Berikut akan dijelaskan lebih lanjut mengenai elemen-elemen penghalang tersebut.

a. Tapak

Pada saat udara mengalir atau bergerak di permukaan bumi, udara akan melalui daerah-daerah yang memiliki perbedaan ketinggian. Adanya tapak akan merubah pola aliran dan mengurangi kecepatan aliran udara. Selain itu adanya tapak juga membelokkan dan merintang aliran udara. Tapak yang cekung cenderung menarik aliran udara sedangkan tapak cembung akan cenderung membelokkan aliran udara.



Gambar 2.2. Permukaan Cekung (Boutet, 1987)

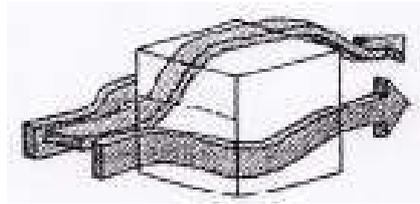


Gambar 2.3. Permukaan Cembung (Boutet, 1987)

b. Bangunan

Seberapa besar pengaruh bangunan pada aliran udara yang melalui bangunan tergantung pada panjang, lebar, tinggi dan bentuk bangunan. Bangunan akan menghalangi kemudian membelokkan aliran udara sekaligus memperlambat kecepatan aliran udara. Saat aliran udara

mengenai sisi bangunan yang tegak lurus arah angin, udara akan dibelokkan ke bagian-bagian bangunan lainnya seperti akan melingkupi bangunan.



Gambar 2.4. Tipikal Aliran Udara di Sekeliling Bangunan (Boutet, 1987)

Aliran udara yang mengenai sisi bangunan akan berubah aliran dan membentuk daerah tenang pada sisi yang berhadapan dengan angin dan pada sisi yang terletak dibelakangnya. Pada dua daerah ini, pergerakan udara cukup kecil. Pergerakan udara di daerah tenang tersebut tergantung pada tinggi dan lebar serta angin itu sendiri.



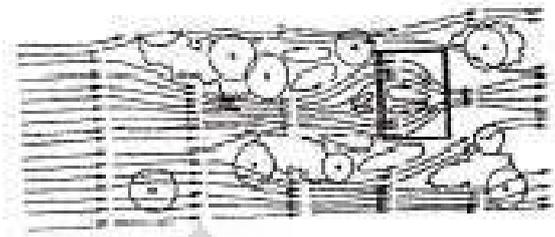
Gambar 2.5. Timbulnya Daerah Tenang pada Sisi yang Berhadapan dan Membelakangi Arah Aliran Udara (Boutet, 1987)

Selain dari terbentuknya daerah tenang, kecepatan aliran udara akan meningkat pada sisi kiri kanan bangunan hingga dua sampai tiga kali lipat dari kecepatan awalnya. Hal ini dapat terjadi bila tidak terdapat bangunan lain disekelilingnya.

#### c. Vegetasi

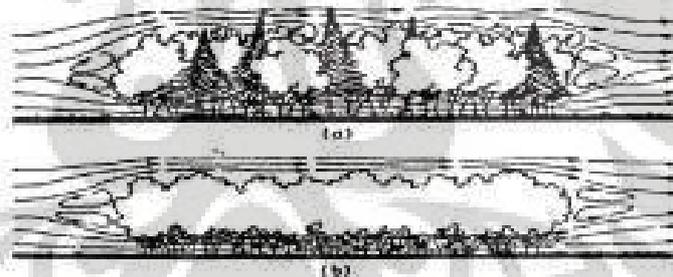
Adanya vegetasi (pepohonan dan semak-semak) dapat mempengaruhi aliran udara yang melewati bangunan. Penempatan dan pemilihan jenis vegetasi yang sesuai pada bangunan dapat mengontrol aliran udara. Pepohonan dapat menyaring, memperlambat dan membelokkan aliran udara. Efektivitas pepohonan tergantung dari beberapa karakteristik pohon seperti: bentuk pohon, kepadatan dedaunan, kekakuannya, serta

karakteristik lainnya. Karakteristik pohon ini akan mempengaruhi kecepatan aliran, pola aliran dan kualitas aliran udara.



Gambar 2.6. Pengontrolan Aliran Udara yang Baik dapat Dilakukan dengan Pemilihan dan Penempatan Vegetasi yang Tepat (Boutet, 1987)

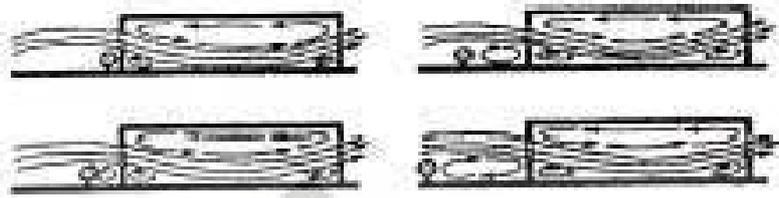
Vegetasi dapat menciptakan gesekan pada aliran udara. Kepadatan dedaunannya dapat menurunkan kecepatan aliran udara sampai 70%. Kepadatan suatu vegetasi bisa berupa daun, dahan, ranting dan batang pohon. Kecepatan aliran udara akan lebih menurun saat melewati pepohonan dari spesies yang berbeda-beda daripada saat melewati pepohonan dengan spesies yang sama.



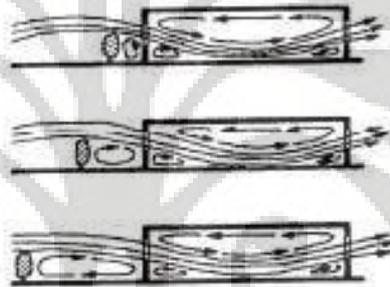
Gambar 2.7. Kumpulan Vegetasi dari Berbagai Spesies (a) lebih Efektif dalam Menurunkan Kecepatan Aliran Udara daripada Hanya Satu Jenis (b) (Boutet, 1987)

Selain itu, vegetasi juga dapat mengurangi kebisingan, menyaring partikel, menyerap karbon dioksida dan menurunkan temperature udara ketika uap air dan oksigen dilepaskan. Uap air dan oksigen yang dilepaskan ini akan menurunkan temperatur aliran udara yang melewati vegetasi.

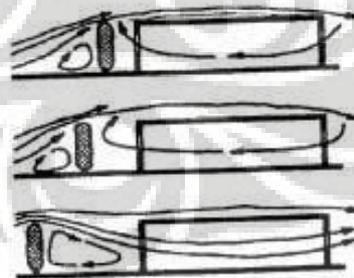
Berikut merupakan ilustrasi penempatan vegetasi (tanaman pagar, semak dan pohon) serta aliran udara yang dihasilkan.



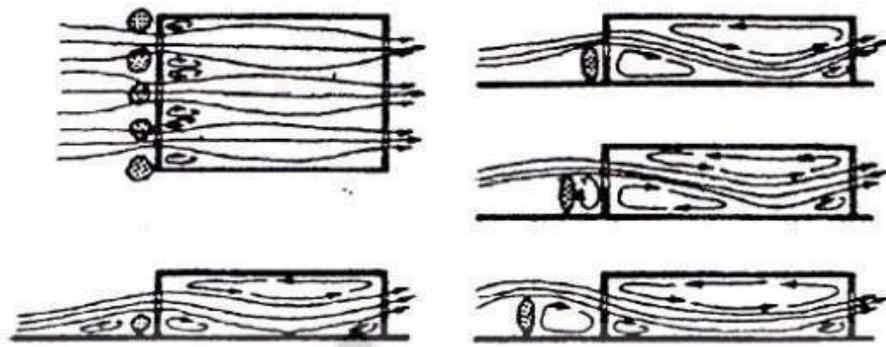
Gambar 2.8. Ilustrasi Aliran Udara yang Dipengaruhi Tanaman Pagar dengan Ketinggian Kurang dari 1 m dengan Variasi Jarak Tanaman tersebut ke Bukaan (Boutet, 1987)



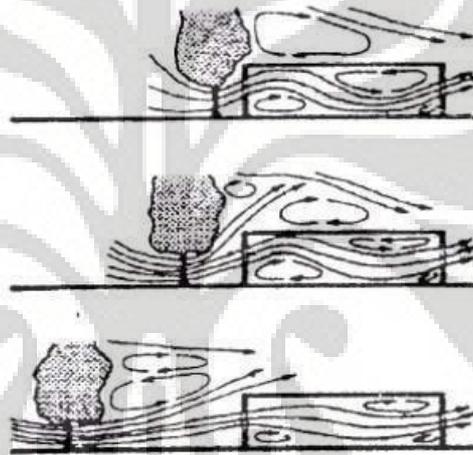
Gambar 2.9. Ilustrasi Aliran Udara yang Dipengaruhi Tanaman Pagar dengan Ketinggian Kurang dari 1,5 m dengan Variasi Jarak Tanaman tersebut ke Bukaan (Boutet, 1987)



Gambar 2.10. Ilustrasi Aliran Udara yang Dipengaruhi Tanaman Pagar dengan Ketinggian Sama dengan Bangunan dengan Variasi Jarak Tanaman tersebut ke Bukaan (Boutet, 1987)

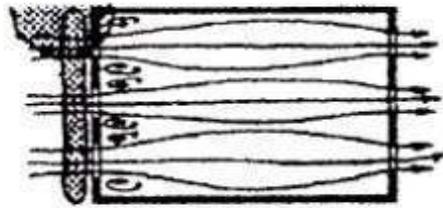


Gambar 2.11. Ilustrasi Aliran Udara yang Dipengaruhi Semak-semak dengan Ketinggian 1 m dan 1,5 m dengan Variasi Jarak Tanaman tersebut ke Bukaan (Boutet, 1987)

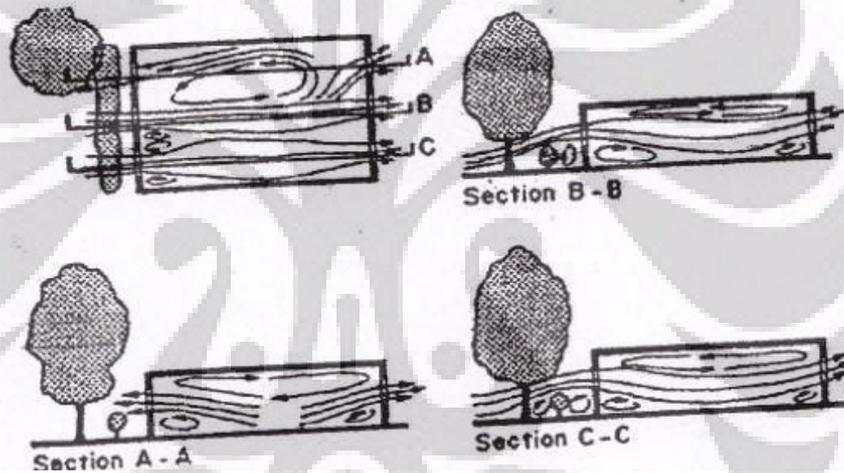


Gambar 2.12. Ilustrasi Aliran Udara yang Dipengaruhi Pohon dengan Variasi Jarak Tanaman tersebut ke Bukaan (Boutet, 1987)

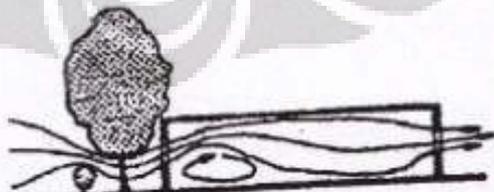
Bila di sekeliling bangunan terdapat lebih dari satu vegetasi, maka aliran yang terjadi bisa digambarkan seperti pada contoh gambar dibawah ini. Kombinasi bisa dari segi jenis vegetasi juga dari segi jarak vegetasi terhadap bangunan.



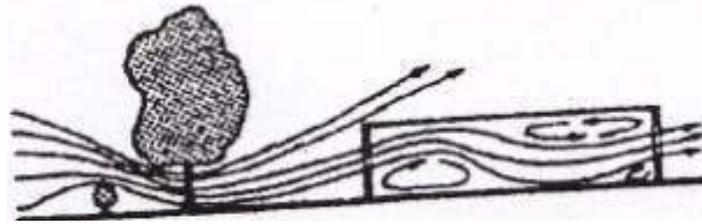
Gambar 2.13. Ilustrasi Aliran Udara yang Dipengaruhi Tanaman Pagar dengan Ketinggian 1 m dan Ditempatkan Dekat Bukaannya serta Pohon yang Ditempatkan pada jarak 1,5 m dari Bangunan (Boutet, 1987)



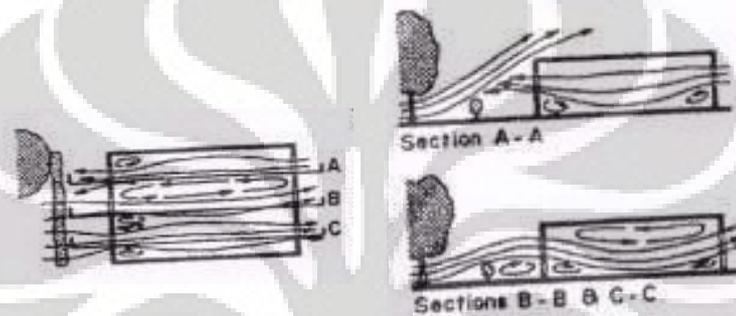
Gambar 2.14. Ilustrasi Aliran Udara yang Dipengaruhi Semak-semak dengan Ketinggian 1 m dan terletak 1,5 m dari Bukaannya serta Pohon yang Ditempatkan pada jarak 3 m dari Bangunan (Boutet, 1987)



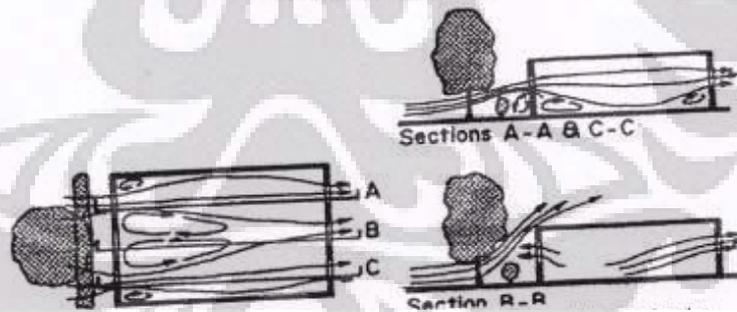
Gambar 2.15. Ilustrasi Aliran Udara yang Dipengaruhi Tanaman Pagar dengan Ketinggian 1 m dan Ditempatkan 3 m dari Bangunan serta Pohon yang Ditempatkan pada jarak 1,5 m dari Bangunan (Boutet, 1987)



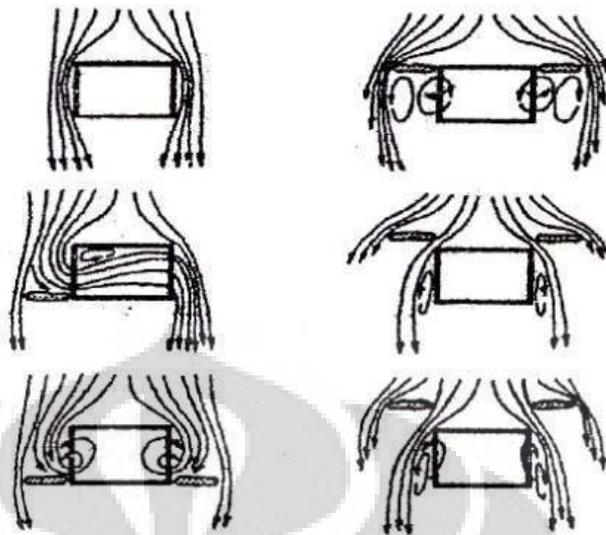
Gambar 2.16. Ilustrasi Aliran Udara yang Dipengaruhi Tanaman Pagar dengan Ketinggian 1 m dan Ditempatkan 10 m dari Bangunan serta Pohon yang Ditempatkan pada jarak 6 m dari Bangunan (Boutet, 1987)



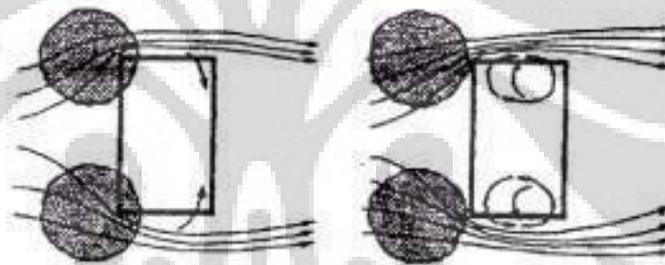
Gambar 2.17. Ilustrasi Aliran Udara yang Dipengaruhi Tanaman Pagar dengan Ketinggian 1 m dan Ditempatkan 3 m dari Bangunan serta Pohon yang Ditempatkan pada jarak 6 m dari Bangunan (Boutet, 1987)



Gambar 2.18. Ilustrasi Aliran Udara yang Dipengaruhi Semak-semak dengan Ketinggian 1 m dan Ditempatkan 1,5 m dari Bangunan serta Pohon yang Ditempatkan pada jarak 3 m dari Bangunan (Boutet, 1987)



Gambar 2.19. Ilustrasi Aliran Udara yang Dipengaruhi Tanaman Pagar dengan Ketinggian Sedang dan Ditempatkan pada Berbagai Posisi disekitar Bangunan (Boutet, 1987)



Gambar 2.20. Ilustrasi Aliran Udara yang Dipengaruhi Pohon yang Ditempatkan pada berbagai Posisi disekitar Bangunan (Boutet, 1987)

## 2.5 PERATURAN TERKAIT KUALITAS UDARA DALAM RUANGAN

Peraturan terkait udara dalam ruangan tercantum dalam Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No.1405/MENKES/SK/XI/2002 tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran dan Industri. Dalam peraturan ini terdapat persyaratan udara dalam ruangan seperti:

a. Suhu dan Kelembaban

Suhu : 18-28 °C

Kelembaban : 40%-60%

## b. Debu

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

No.	Jenis Debu	Konsentrasi Maksimal
1.	Debu Total	0,15 mg/m <sup>3</sup>
2.	Asbes Bebas	5 serat/ml udara dengan panjang serat 5 μ (mikron)

Sumber: Keputusan Menteri Kesehatan R.I No.1405/MENKES/SK/XI/2002

c. Pertukaran Udara: 0.283 m<sup>3</sup>/menit/orang dengan laju ventilasi: 0,15-0,25 m/detik. Untuk ruangan kerja yang tidak menggunakan pendingin harus memiliki lubang ventilasi minimal 15% dari luas lantai dengan menerapkan sistim ventilasi silang.

## d. Gas pencemar

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

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

Sumber: Keputusan Menteri Kesehatan R.I No.1405/MENKES/SK/XI/2002

## e. Mikrobiologi

Angka kuman kurang 700 koloni/m<sup>3</sup> udara

Bebas kuman patogen

Standard jamur di dalam ruangan menurut:

- a. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)
  - $<100 \text{ CFU/m}^3$  = rendah
  - $100 - 1000 \text{ CFU/m}^3$  = sedang
  - $>1000 \text{ CFU/m}^3$  = tinggi
- b. **American Industrial Hygiene Association (AIHA)**
  - $>1000 \text{ CFU/m}^3$  = tinggi
- c. *Environmental Protection Agency* (EPA) Taiwan
  - $1000 \text{ CFU/m}^3$

Standard bakteri di dalam ruangan menurut *Environmental Protection Agency* (EPA) Taiwan:

- 500 untuk sekolah, tempat edukasi, tempat rekreasi anak, tempat perawatan medis, tempat untuk orang lanjut usia, tempat untuk orang dengan kekurangan fisik
- 1000 untuk tempat umum dan gedung perkantoran seperti tempat perbelanjaan, tempat pameran, angkutan umum, stasiun

## **BAB 3**

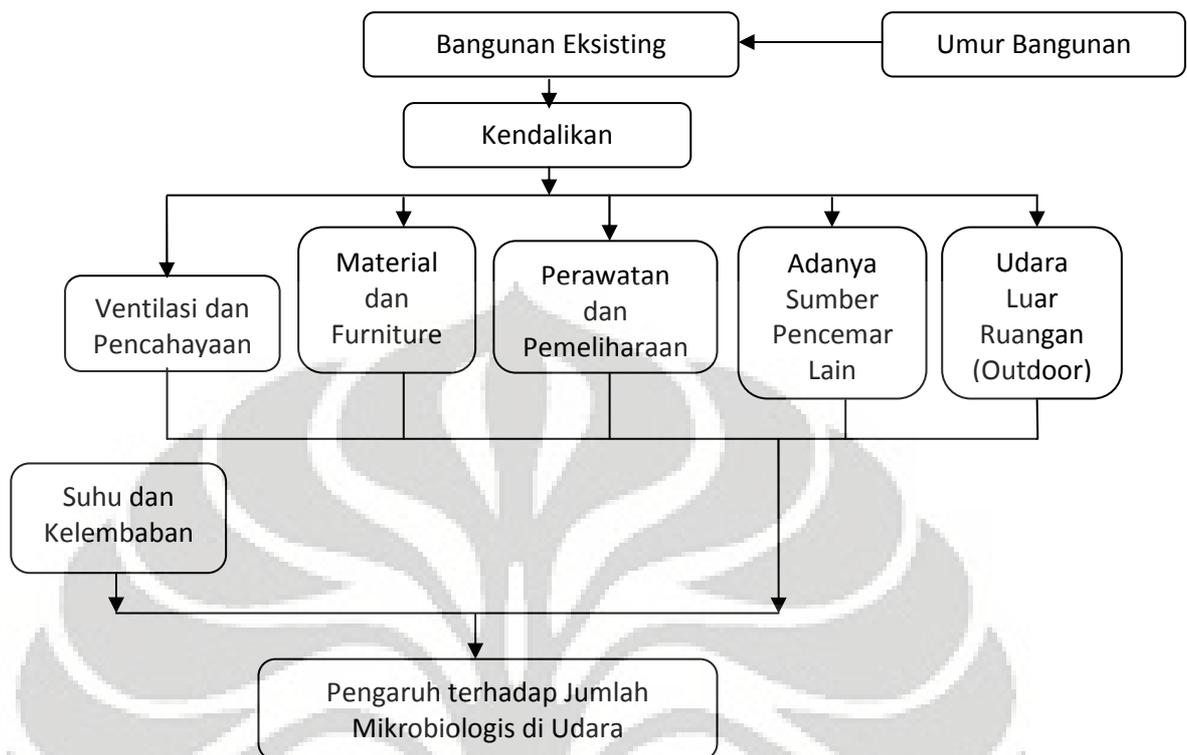
### **METODOLOGI PENELITIAN**

Penelitian merupakan proses pemikiran secara sistimatis dalam jangka waktu tertentu dengan menggunakan metode tertentu mengenai berbagai masalah yang pemecahannya memerlukan pengumpulan dan analisa data. Konseptualisasi proses tersebut kemudian dituangkan menjadi suatu metode penelitian. Di dalam penelitian ini tujuan yang akan dicapai adalah mengetahui jumlah mikroba di dalam ruangan kelas; mengetahui pengaruh umur bangunan, suhu, dan kelembaban terhadap jumlah mikroba dalam ruangan; mengetahui pengaruh faktor-faktor lain seperti bangunan itu sendiri, material yang digunakan serta perawatan yang dilakukan; serta memberi rekomendasi solusi untuk mengurangi jumlah mikroba dalam ruangan.

#### **3.8 KERANGKA KERJA PENELITIAN**

Penelitian ini dilakukan mengingat manusia menghabiskan sebagian besar waktunya di dalam ruangan. Mahasiswa terutama, menghabiskan kebanyakan waktunya di dalam ruangan kelas. Mengingat faktor rentang umur mahasiswa yang masih dalam masa pertumbuhan dan pentingnya menjaga kesehatan agar dapat beraktifitas secara optimal, maka dilakukan penelitian terhadap kualitas udara mikroorganisme di dalam ruangan. Pengontrolan jumlah mikroba dalam ruangan paling baik dilakukan dari tahap pendesainan bangunan. Penelitian akan dilakukan di gedung perkuliahan dengan perbedaan umur bangunan. Di dalam ruangan kelas gedung perkuliahan tersebut akan diukur jumlah bakteri dan jamur. Dilakukan pula pengukuran suhu dan kelembaban di ruangan kelas tersebut. Selain itu juga dilihat faktor-faktor bangunan lain yang mempengaruhi kualitas udara mikrobiologis dalam ruangan.

Berikut merupakan kerangka dari penelitian ini:



Gambar 3.1. Kerangka Konsep.

### 3.9 PENDEKATAN PENELITIAN

Pendekatan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan kuantitatif. Pendekatan kuantitatif adalah pendekatan yang menggunakan angka-angka dan data statistik, seperti eksperimental, studi korelasi dengan survey dan standarisasi prosedur observasi, simulasi, dan materi pendukung untuk studi kasus. Pendekatan kuantitatif diambil sebagai cara untuk mengetahui kualitas udara di dalam ruangan. Dengan mengetahui jumlah dari mikroba di udara dalam ruangan dapat dilihat bagaimana kualitas udara di ruangan tersebut.

Metode penelitian yang akan digunakan adalah penelitian eksperimental di laboratorium dengan contoh atau sampel yang diambil langsung dari udara di ruangan kelas gedung A dan K, Fakultas Teknik UI.

### 3.10 WAKTU PENELITIAN

Penelitian dilakukan pada bulan Januari-Maret untuk melihat pengaruh faktor lingkungan seperti kelembaban dan suhu pada jumlah mikroba dalam ruangan. Pengambilan sampel akan dilakukan pada jam kuliah pada saat ruangan kelas digunakan sesuai dengan fungsinya. Selain itu pengambilan sampel juga dilakukan pada saat ada orang di kelas dan di luar ruangan (outdoor).

Tabel 3.1. Waktu Penelitian

	Januari																	
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Persiapan																		
Pengambilan sampel																		
Perhitungan jumlah mikroba																		
	Februari																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Persiapan																		
Pengambilan sampel																		
Perhitungan jumlah mikroba																		

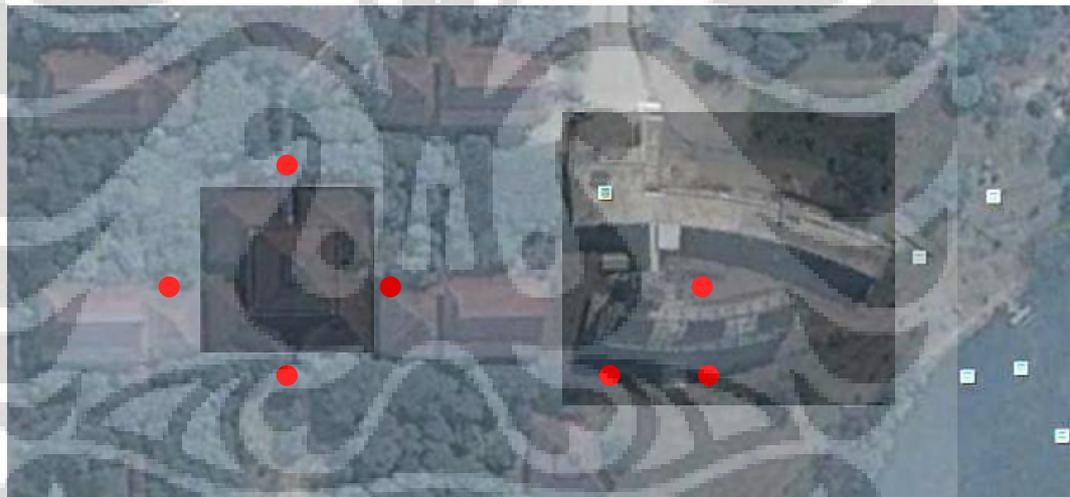
### 3.11 LOKASI PENELITIAN

Penelitian dilakukan di ruangan kelas gedung A dan K, Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Gedung A dan K ini dipilih karena memiliki perbedaan waktu pembangunan dan pengoperasian. Pemilihan titik-titik pengamatan berdasarkan tingkat kemungkinan terjadinya kontaminasi, seperti ruangan yang terdapat kebocoran perpipaan, *air conditioner* yang rusak, berada di dekat kamar mandi, serta berada dekat tempat sampah. Pengambilan sampel dilakukan saat ruangan sedang digunakan (ada orang di dalam ruangan) serta saat tidak ada aktivitas dalam ruang (tidak ada orang).

Tabel 3.2. Lokasi Pengambilan Sampel

	Januari							Februari		16	April
	14	18	19	21	25	26	27	8	10		13
Ruang Kelas	K.101	K.103	K.201	K.205	A.201	A.601	A.604	outdoor	outdoor	outdoor	ada orang
	K.102	K.104	K.202	K.207	A.202	A.602	A.605	outdoor	outdoor	outdoor	ada orang
	K.107	K.105	K.203	K.209	A.203	A.603	A.101			outdoor	ada orang
	K.108	K.106	K.204	K.210	A.204		A.102				

Selain itu juga dilakukan pengambilan sampel di luar ruangan kelas. Pengambilan sampel di luar ruangan dilakukan sebagai kontrol pembanding dan penyebab jumlah mikroba di dalam ruangan kelas. Pengambilan sampel di luar ruangan memperhatikan aspek-aspek seperti arah angin, dekat tempat pengambilan udara *air conditioner*, serta dekat tempat pertukaran udara.



Gambar 3.2. Lokasi Pengambilan Sampel Luar Ruangan  
(tanda lingkaran)

### 3.12 Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data primer dan data sekunder. Dalam rangka pengumpulan kedua jenis data tersebut, maka akan digunakan berbagai macam teknik pengumpulan data mengingat masing-masing teknik pengumpulan data tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan pada penerapannya. Dengan demikian, masing-masing teknik diharapkan dapat saling melengkapi data yang diperlukan. Berikut ini adalah teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini:

#### 1. Studi Literatur

Teknik pengumpulan data dengan cara studi literatur dikenal juga dengan kajian pustaka, di mana data dikumpulkan dari sumber yang berupa dokumen atau sumber tertulis, misalnya buku, jurnal penelitian, media, peraturan tertulis, dan lain sebagainya. Teknik ini digunakan untuk mengumpulkan data sekunder. Buku yang digunakan yang menjelaskan tentang pencemaran udara dalam ruangan dan kontaminan biologi. Jurnal yang digunakan berisi tentang penelitian faktor-faktor dalam bangunan, mikroorganisme dalam ruangan serta kualitas dalam ruangan dan kaitannya dengan sick building sindrom.

#### 2. Pengukuran

Pengukuran dilakukan untuk mendapatkan data primer di mana yang menjadi objek pengukuran adalah parameter-parameter yang telah ditetapkan sebelumnya dalam tujuan penelitian. Pada penelitian ini dilakukan pengukuran suhu, kelembaban serta jumlah mikroba di udara dalam ruangan serta sekitar ruangan.

#### 3. Observasi

Observasi atau pengamatan juga dilakukan terhadap hasil pengambilan sampel lewat media agar di laboratorium yang dilakukan secara visual. Selain itu dilakukan pengamatan juga terhadap ruangan kelas tempat pengambilan sampel.

Tabel 3.3 . Data Penelitian

<b>Data</b>	<b>Jenis Data</b>	<b>Metode Pengumpulan Data</b>
Denah kelas	Sekunder	Survey institusional dan observasi
Jenis material	Sekunder	Survey institusional dan observasi
Umur bangunan	Sekunder	Survey institusional
Jadwal pemeliharaan bangunan	Sekunder	Survey institusional
Suhu	Primer	Pengukuran
Kelembaban	Primer	Pengukuran
Jumlah Bakteri	Primer	Pengukuran
Jumlah Jamur	Primer	Pengukuran

### 3.13 Pengambilan Data Sampel

Data penelitian didapatkan dari pengambilan sampel dan penelitian di laboratorium. Data yang diteliti berupa jumlah mikroba yang terisolasi di dalam media agar.

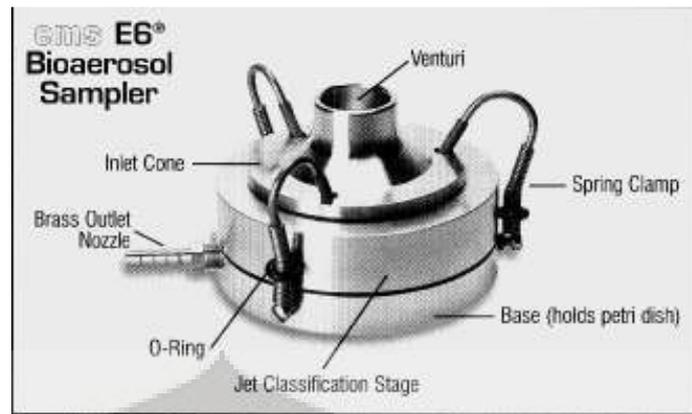
#### 3.6.5 Alat Penelitian

##### a. Suhu dan Kelembaban

Untuk mengukur suhu dan kelembaban digunakan alat hygrometer.

##### b. Mikroorganisme

Untuk pengambilan sampel dalam penelitian ini digunakan alat EMS Cascade Impactor. Alat ini berguna sebagai vakum udara dalam ruangan, dimana didalamnya akan ditaruh media agar sehingga didapatkan jumlah mikroba dalam ruangan tersebut. *Flow rate* yang digunakan 28.3 lpm.



Gambar 3.3. EMS Cascade Impactor

### 3.6.6 Media Penelitian

Media agar yang digunakan adalah PDA (*Potato Dextrose Agar*) dan TSA (*Tryptic Soy Agar*). PDA secara umum digunakan untuk mengisolasi fungi dan mold. TSA digunakan untuk mengisolasi dan membiakan bakteri (gram positif dan negatif).

Tabel 3.4. Media Agar

	TSA	PDA
Jenis Mikroorganisme	Mesophilic bacteria dan thermophilic actinomycetes	Fungi
Suhu (°C)	35±2	25-30
Lama Inkubasi (jam)	48	48
Waktu Pengambilan Sampel	5 menit	5 menit

Tiap-tiap kelas diambil sampel duplo. Sehingga didapatkan total media agar yang digunakan untuk tiap kelas adalah dua untuk TSA dan dua untuk PDA.

### 3.6.7 Cara Pengambilan Sampel

#### a. Persiapan pembuatan media agar

- Mencuci cawan petri
- Mensterilkan cawan petri dengan menggunakan autoclave
- Menaruh cawan petri di oven, setelah kering dikeluarkan
- Tunggu hingga cawan mencapai suhu ruang
- Menimbang bubuk media agar sesuai yang dibutuhkan dalam labu erlenmeyer
- Larutkan dengan air panas
- Sterilkan di autoclave
- Tunggu hingga suhu agar menurun
- Setelah cawan petri dan agar siap, tuangkan agar pada cawan petri, lakukan di dekat spiritus yang menyala
- Mendinginkan agar sampai mengeras
- Masukkan ke dalam kulkas
- Media agar siap digunakan

Jumlah media agar yang diperlukan sebanyak 39g media agar PDA (*Potato Dextrose Agar*) untuk 1000ml aquades dan 40g media agar TSA (*Tryptic Soy Agar*) untuk 1000ml aquades.

#### b. Pengukuran suhu dan kelembaban

- Menentukan lokasi pengukuran
- Menyiapkan alat *hygrometer*
- Menyalakan alat *hygrometer*
- Mencatat hasil pembacaan

#### c. Pengambilan sampel mikroorganisme di udara

- Menentukan lokasi pengukuran
- Membersihkan tangan dengan pembersih *anti-microbial*
- Menghubungkan salah satu ujung *flexible tubing* ke *vacuum pump* dan ujung lainnya ke *ems E6 sampler*

- Mengkalibrasi *vacuum pump* ke 28.3 lpm dengan alat kalibrasi
- Menggunakan *sterile gauze pad* setelah mengkalibrasi untuk menyeka semua permukaan dengan *isopropyl alcohol*
- Dengan pembersih *ems E6 sampler*, memindahkan *inlet cone* dan *jet classification stage* dan meletakkan piringan agar yang terbuka (TSA atau PDA) ke dasar sampler dan secepatnya mensegel dengan tiga *spring clamp*
- Menyalakan *vacuum pump* selama lima menit. Udara akan masuk melewati *inlet cone* ke *jet classification stage* dimana terdapat 400 lubang dengan diameter lubang masing-masing 0.25 mm dan udara akan masuk ke agar. Udara yang telah melewati agar akan keluar melewati *brass outlet nozzle* lalu ke *flexible tubing* dan *vacuum pump*
- Membuka *spring clamp*, kemudian memindahkan piringan agar.
- Meletakkan agar dalam *zip-lock bag* dan biarkan tetap dingin

Pada saat pengambilan sampel perlu diperhatikan untuk tidak menggunakan media sampel yang telah terkontaminasi, retak atau kadaluarsa. Selain itu pengkalibrasi *vacuum pump* sesering mungkin diperlukan untuk memastikan pengambilan sampel yang konsisten.



Gambar 3.4. Pemasangan EMS E6 Bioaerosol Sampler

### 3.6.8 Penelitian di Laboratorium

Setelah pengambilan sampel dilakukan, selanjutnya media agar diinkubasi sesuai dengan lamanya waktu inkubasi masing-masing media agar. Setelah waktu inkubasi terpenuhi, dihitung jumlah mikroba (jamur dan bakteri) yang ada pada media agar. Jumlah mikroba yang dihitung dalam satuan CFU.

Ciri-ciri yang perlu diperhatikan dalam pembacaan jumlah mikroba adalah sebagai berikut (Pradhika, 2008):

a. Ukuran

- *pinpoint/punctiform* (titik) 
- *Small* (kecil) 
- *Moderate* (sedang) 
- *Large* (besar) 

b. Pigmentasi : mikroorganisme kromogenik sering memproduksi pigmen intraseluler, beberapa jenis lain memproduksi pigmen ekstraseluler yang dapat terlarut dalam media

c. Karakteristik optik : diamati berdasarkan jumlah cahaya yang melewati koloni.

*Opaque* (tidak dapat ditembus cahaya), *Translucent* (dapat ditembus cahaya sebagian), *Transparent* (bening)

d. Bentuk :

- *Circular* 
- *Irregular* 
- *Spindle* 
- *Filamentous* 
- *Rhizoid* 

e. Elevasi :

- *Flat* 
- *Raised* 
- *Convex* 
- *Umbonate* 

f. Permukaan :

- Halus mengkilap
- Kasar
- Berkerut
- Kering seperti bubuk

g. Margins :

- Entire
- Lobate
- Undulate
- Serrate
- Felamentous
- Curled



### 3.14 Analisis Data

Setelah dilakukan pengambilan sampel, kemudian dilakukan pengolahan data. Pertama-tama dilakukan pengukuran volume udara yang dijadikan sampel ( $m^3$ ) dengan rumus:

$$\begin{aligned} \text{Volume Udara dalam Ruangan (m}^3\text{)} \\ = (\text{lama pengambilan sampel(menit)}) \times \left(0.0283 \frac{\text{m}^3}{\text{menit}}\right) \quad \dots(3.1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume Udara luar Ruangan (m}^3\text{)} \\ = (\text{lama pengambilan sampel(menit)}) \times \left(0.0283 \frac{\text{m}^3}{\text{menit}}\right) \quad \dots(3.2) \end{aligned}$$

Setelah mengetahui volume udara yang dijadikan sampel, kemudian jumlah koloni mikroba pada media agar (dalam satuan CFU) dibagi dengan volume udara (dalam satuan  $m^3$ ) sehingga didapatkan jumlah mikroba dalam satuan CFU/ $m^3$ .

$$\text{Jumlah mikroba} \left(\frac{\text{CFU}}{\text{m}^3}\right) = \frac{\text{jumlah koloni pada media agar (CFU)}}{\text{volume udara (m}^3\text{)}} \quad \dots(3.3)$$

Kemudian setelah dilakukan pengolahan data, dilakukan tahap analisis data. Data primer dan sekunder akan diolah sehingga nantinya dianalisis dan didapatkan kesimpulan dari penelitian ini.

Untuk membandingkan jumlah mikroba pada gedung perkuliahan A dan K FTUI maka dilakukan pengujian hipotesis menggunakan independent sampel T-test. Independent sampel T-test merupakan analisis statistik yang dapat digunakan untuk menguji hipotesis komparatif, khususnya perbedaan rata-rata dua kelompok sampel yang tidak saling berhubungan (Sugiyono, 2007). Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengetahui signifikan atau tidaknya perbedaan rata-rata antara dua kelompok sampel. Dalam penelitian ini dua kelompok sampel yang dimaksud adalah jumlah mikroba pada ruangan kelas gedung A dan gedung K.

Terdapat dua rumus t-test yang dapat digunakan untuk menguji hipotesis komparatif dua sampel independen. Berikut merupakan rumus untuk menghitung nilai t :

$$\text{Separated Varians: } t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad \dots(3.4)$$

$$\text{Polled Varians: } t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{(n_1 - n_2)s_1^2 + (n_2 - n_1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} \quad \dots(3.5)$$

Dimana:

$\bar{x}_1$  = rata-rata sampel 1

$\bar{x}_2$  = rata-rata sampel 2

$s_1$  = simpangan baku sampel 1

$s_2$  = simpangan baku sampel 2

$s_1^2$  = varians sampel 1

$s_2^2$  = varians sampel 2

Untuk menentukan rumus t-test mana yang akan digunakan dalam pengujian harus dilakukan beberapa pertimbangan sebagai berikut:

- a. Apakah jumlah data dari dua sampel sama atau tidak?
- b. Apakah varians data dari dua sampel itu homogen atau tidak. Untuk menjawab pertanyaan ini diperlukan uji homogenitas varians (dengan uji F).

Berdasarkan dua hal tersebut di atas, maka berikut ini merupakan petunjuk untuk memilih rumus t-test:

- a. Bila jumlah anggota sampel  $n_1 = n_2$  dan varians homogen ( $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ ), maka dapat digunakan kedua rumus t-test.
- b. Bila  $n_1 \neq n_2$ , varians homogen ( $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ ), dapat digunakan t-test dengan pooled varians. Besarnya  $dk = n_1 + n_2 - 2$ .
- c. Bila  $n_1 = n_2$ , varians tidak homogen ( $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ ), dapat digunakan kedua rumus t-test. Dengan  $dk = n_1 - 1$  atau  $dk = n_2 - 1$ .
- d. Bila  $n_1 \neq n_2$ , varians tidak homogen ( $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ ), dapat digunakan t-test dengan separated varians. Harga t sebagai pengganti harga t tabel, dihitung dari selisih harga t tabel dengan  $dk = n_1 - 1$  dan  $dk = n_2 - 1$ , dibagi dua dan kemudian ditambah dengan harga t terkecil.

## **BAB IV**

### **PEMBAHASAN**

Penelitian dilakukan di Depok, tepatnya di gedung perkuliahan A dan K, Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Karakteristik lokasi penelitian dan analisa data hasil penelitian dijabarkan dibawah ini.

#### **4.1 GAMBARAN DATA PENELITIAN**

Dalam menganalisa data hasil pengukuran jumlah mikroba diperlukan karakteristik lokasi dan bangunan dari tempat pengambilan sampel. Berikut karakteristik lokasi dan bangunan pada tempat pengambilan sampel.

##### **4.1.1 Karakteristik Lokasi**

Depok merupakan salah satu kota yang terletak di Selatan Jakarta. Secara Geografis Kota Depok terletak di 06°19'00"-06°28'00" Lintang Selatan dan 106°43'00"-106°55'30" Bujur Timur. Letak geografis Depok yang berbatasan langsung dengan ibu kota Jakarta menjadikan Depok sebagai akses utama menuju kota Jakarta, yang secara tidak langsung telah memicu timbulnya titik-titik pertumbuhan di kawasan Depok (Website Pemerintah Kota Depok, 2010).

Secara umum wilayah Kota Depok di bagian utara merupakan daerah dataran tinggi, sedangkan di bagian selatan merupakan daerah perbukitan bergelombang lemah. Berdasarkan elevasi atau ketinggian garis kontur, maka bentang alam daerah Depok dari selatan ke utara merupakan daerah dataran rendah atau perbukitan bergelombang lemah, dengan elevasi antara 50-140 meter di atas permukaan laut. Berdasarkan data RTRW Kota Depok (Anonymous, 2000), sebagian besar wilayah Kota Depok memiliki kemiringan lereng kurang dari 15%. Bentuk kemiringan wilayah tersebut menentukan jenis penggunaan lahan, intensitas penggunaan lahan dan kepadatan bangunan.

Wilayah Depok termasuk daerah beriklim tropis yang dipengaruhi oleh iklim muson, musim kemarau Bulan April – September dan musim penghujan antara Bulan Oktober – Maret. Kondisi iklim di daerah Depok relatif sama

yang ditandai oleh perbedaan curah hujan yang cukup kecil. Temperatur berkisar antara 24,3°-33° Celsius. Kelembaban rata-rata 25 % dan penguapan rata-rata 3,9 mm/th. Kecepatan angin rata-rata sebesar 14,5 knot sedangkan penyinaran matahari rata-rata 49,8 %. Jumlah curah hujan di kota Depok 2684 m/th dengan jumlah hari hujan 222 hari/tahun (Website Pemerintah Kota Depok, 2010).

Fakultas Teknik UI terletak di kawasan kampus Depok. Luas lahan di kampus Depok mencapai 320 hektar dengan atmosfer *green campus* karena hanya 25% lahan digunakan sebagai sarana akademik, riset dan kemahasiswaan sedangkan 75% wilayah kampus merupakan area hijau berwujud hutan kota dimana di dalamnya terdapat delapan danau alam (Profil Universitas Indonesia, 2010).

#### 4.1.2 Karakteristik Bangunan

Pengambilan sampel serta pengamatan dilakukan pada gedung perkuliahan A dan K, Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Gedung perkuliahan A dan K memiliki perbedaan waktu pembangunan dan pengoperasian. Pada pembahasan selanjutnya akan dilihat apakah adanya perbedaan waktu pembangunan dan pengoperasian serta karakteristik bangunan akan berpengaruh pada jumlah mikroba dalam ruangan. Pengamatan karakteristik bangunan yang dilakukan seperti material bangunan, ventilasi, sistem pencahayaan, furniture yang digunakan serta perawatan dan pemeliharaan yang dilakukan pada bangunan.

##### a. Material bangunan

Sebagian besar dinding kelas gedung K menggunakan dinding bata *finishing cat* sebagai penyekat ruangan. Tetapi beberapa ruangan menggunakan papan gypsum dengan rangka hollow sebagai pembatas. Dinding bagian luar gedung K, menggunakan dinding terakota. Untuk kusen jendela dan pintu, menggunakan kusen aluminium. Lantai menggunakan keramik roman ukuran 20cmx20cm. Plafon menggunakan *plafon gypsum*.

Kolom pada gedung A berupa beton dengan finishing cat. Sebagai penyekat antar ruang menggunakan papan gypsum. Dinding bagian luar gedung berupa jendela dengan rangka aluminium kaca bening. Lantai menggunakan keramik roman ukuran 20cmx20cm. Plafon menggunakan plafon akustik rangka menti.

b. Ventilasi

Gedung K dan gedung A menggunakan *air conditioner*. Jumlah AC pada tiap-tiap kelas bergantung pada luas kelas. Untuk kelas besar menggunakan kurang lebih empat AC sedangkan untuk kelas kecil menggunakan dua AC.

c. Pencahayaan

Pencahayaan yang digunakan ada pencahayaan alami dan buatan. Pencahayaan alami dengan memanfaatkan sinar yang masuk melalui jendela. Sedangkan cahaya buatan berasal dari lampu TL dan lampu *downlight*.

d. Furniture

Pada gedung K ruangan kelas lantai dua terdapat kursi kayu dengan rangka besi, sedangkan untuk lantai satu menggunakan kursi rangka besi dengan alas tulis dari kayu. Selain itu terdapat podium dan meja dosen yang terbuat dari kayu. Sebagian besar ruang kelas telah menggunakan *whiteboard*, tetapi beberapa masih terdapat papan tulis kapur selain *whiteboard*.

Gedung A menggunakan kursi rangka besi dengan alas tulis dari kayu dan untuk media ajar menggunakan *whiteboard*.

e. Perawatan dan pemeliharaan bangunan

Perawatan dan pemeliharaan yang dilakukan di gedung A dan K, Fakultas Teknik UI ini meliputi pemeliharaan kursi, papan tulis, lantai, plafon, serta *air conditioner*. Kursi dilap seminggu sekali, papan tulis dibersihkan dengan *tinner* seminggu sekali (untuk papan tulis kapur dengan kain basah). Lantai disapu setiap kelas usai dan dipel seminggu sekali. Plafon diseka dengan kemoceng bila dirasa perlu untuk menghindari adanya debu dan sarang laba-laba yang menempel. *Air conditioner* dibersihkan tiga bulan sekali.

## 4.2 ANALISA DATA

Pengambilan sampel mikroba serta pengamatan terhadap kondisi kelas dilakukan pada ruangan kelas gedung perkuliahan A dan K, Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Selain itu dilakukan pula pengambilan sampel luar ruangan (*outdoor*) pada gedung A dan K.

### 4.2.1 Indoor (Dalam Ruangan)

Untuk mengetahui kualitas udara dalam ruangan kelas, dilakukan pengukuran jumlah mikroba (jamur dengan media agar PDA dan bakteri dengan media agar TSA) di ruangan kelas gedung A dan gedung K. Pengukuran dilakukan sekitar jam 09.00 sampai dengan 12.00 WIB. Dengan rentang suhu antara 21,4°C-29,1°C serta kelembaban 44-68%. Pada gedung A, pengambilan sampel dilakukan pada 11 ruang kelas. Sedangkan pada gedung K dilakukan pengambilan sampel pada 16 ruang kelas. Pengambilan sampel dilakukan di tengah-tengah ruangan kelas dimana pada titik tersebut dianggap dapat mewakili kualitas udara ruangan kelas. Pengambilan sampel dilakukan saat ruangan sedang tidak dipergunakan (tidak ada orang di dalam ruangan). Tabel 4.1 merupakan data hasil pengambilan sampel dalam ruangan (*indoor*) di gedung A dan K, FTUI.

Tabel 4.1. Jumlah Jamur dan Jumlah Bakteri di Udara Indoor Gedung A dan K, FTUI Saat Tidak ada Orang

Indoor	Jamur			Bakteri		
	Rata-rata	Minimum	Maksimum	Rata-rata	Minimum	Maksimum
Gedung A	846.772	544.169	1409.894	776.743	303.887	1749.117
Gedung K	1031.802	409.894	1883.392	810.071	303.887	1773.852

Sumber: Appendix 1

Tabel 4.1 diatas memperlihatkan nilai rata-rata, maksimum serta minimum jumlah jamur dan bakteri dalam satuan CFU/m<sup>3</sup> dari gedung A dan K. Perhitungan ini didapat dari data hasil pengukuran yang dapat dilihat pada lampiran.

Selain itu juga dilakukan pengukuran jumlah jamur dan jumlah bakteri saat ruangan sedang digunakan untuk proses belajar mengajar (ada orang di dalam ruangan).

Tabel 4.2. Jumlah Jamur dan Jumlah Bakteri di Udara Dalam Ruangan Gedung A dan K, FTUI Saat ada Orang

Indoor	Jamur	Bakteri
Gedung A	2318.021	2533.569
Gedung K	2204.947	2448.763

Sumber: Appendix 5

Pengukuran jumlah mikroba di udara dalam ruangan pada saat proses belajar mengajar (ada orang di ruangan) dilakukan untuk mengetahui apakah dengan adanya orang di ruangan akan menambah jumlah mikroba di udara. Dari hasil yang diperoleh, jumlah mikroba di udara meningkat bila terdapat aktivitas atau orang di ruangan. Melihat bahwa jumlah mikroba akan meningkat bila terdapat aktivitas dalam ruangan, maka kualitas udara dari segi bangunan itu sendiri harus dikontrol.

#### 4.2.1.1 Perbandingan Jumlah Mikroba

Untuk mengetahui apakah ada perbedaan yang signifikan antara jumlah mikroba pada gedung perkuliahan K dan A FTUI, diperlukan pengujian hipotesis. Pengujian hipotesis dilakukan dengan cara t-test (Sugiyono, 2007).

##### a. Hasil Pengukuran Bakteri

Data pertama adalah hasil pengukuran bakteri dengan media agar TSA pada gedung perkuliahan K dan A. Jumlah sampel pada gedung K ( $X_1$ ) adalah 16 sampel, sedangkan pada gedung A ( $X_2$ ) 11 sampel.

Tabel 4.3. Jumlah Bakteri di Udara dalam Ruangan, Gedung K ( $X_1$ )  
dan Gedung A ( $X_2$ ), FTUI

Bakteri ( $X_1$ )	Bakteri ( $X_2$ )
452.2968	1180.212
639.576	568.9046
544.1696	689.0459
349.8233	1749.117
321.5548	759.7173
318.0212	879.8587
678.4452	533.5689
303.8869	303.8869
1773.852	575.9717
844.523	431.0954
1091.873	872.7915
766.7845	
1604.24	
826.8551	
1371.025	
1074.205	

Sumber: Appendix 1 dan 2

Dari data pada tabel diatas dihitung nilai rata-rata dan varians data tersebut. Cara perhitungannya sebagai berikut:

$$\text{Nilai rata-rata: } \bar{x} = \frac{\text{nilai total}}{n} \dots\dots\dots (4.1)$$

$$\text{Varians sampel: } s^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{(n-1)} \dots\dots\dots (4.2)$$

$$\text{Simpangan baku sampel: } s = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}} \dots\dots\dots (4.3)$$

dimana:

s = simpangan baku sampel

$s^2$  = varians sampel

n = jumlah sampel

Didapatkan hasil:

Tabel 4.4. Nilai Varians Sampel TSA

	Bakteri (X <sub>1</sub> )	Bakteri (X <sub>2</sub> )
Total	12961.13	8544.17
n	16	11
$\bar{x}$	810.07	776.74
s	463.37	402.72
s <sup>2</sup>	214712	162184.1

Sumber: Hasil Olahan Data

Hipotesis dari pengujian ini adalah apakah terdapat perbedaan signifikan antara data jumlah bakteri gedung K dan gedung A.

Ho : Tidak terdapat perbedaan signifikan antara data jumlah bakteri gedung perkuliahan K dan A.

Ha : Terdapat perbedaan signifikan antara data jumlah bakteri gedung perkuliahan K dan A.

Untuk menentukan rumus t-test mana yang digunakan pada pengujian hipotesis ini, maka perlu diuji dulu apakah varians kedua sampel homogen atau tidak. Pengujian homogenitas varians dilakukan dengan uji F. Rumus uji F sebagai berikut:

$$F_{hitung} = \frac{\text{varians terbesar}}{\text{varians terkecil}} \quad \dots(4.4)$$

Dalam uji F ini berlaku ketentuan, bila harga  $F_{hitung}$  lebih kecil atau sama dengan  $F_{tabel}$  maka varians homogen. Dari rumus diatas dapat dilihat bahwa nilai  $F_{hitung}$  didapat dengan membagi varians ( $s^2$ ) yang lebih besar terhadap varians ( $s^2$ ) yang lebih kecil.  $F_{hitung}$  yang didapat sebesar 1.32. Lalu dicari nilai  $F_{tabel}$  dengan menggunakan dk pembilang dan penyebut. Dk pembilang didapatkan dari  $dk=(n \text{ terbesar} - 1)$  sedangkan dk penyebut didapat dari  $dk=(n \text{ terkecil} - 1)$ . Dengan taraf kesalahan 5%, maka dari tabel nilai distribusi F didapatkan nilai  $F_{tabel}$  sebesar 2.84. Setelah itu dibandingkan nilai  $F_{hitung}$  dan  $F_{tabel}$ , hasilnya  $F_{hitung}$  lebih kecil maka varians homogen ( $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ ).

Berdasarkan uji F, data jumlah bakteri pada gedung K dan A bersifat  $n_1 \neq n_2$  dan varians homogen ( $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ ), maka digunakan rumus t-test polled varians dengan besarnya  $dk = n_1 + n_2 - 2$ .

$$\begin{aligned}
 t_{hitung} &= \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} \\
 &= \frac{81.00707 - 77.67427}{\sqrt{\frac{(16 - 1) \times 2147.12 + (16 - 1) \times 1621.841}{16 + 11 - 2} \left(\frac{1}{16} + \frac{1}{11}\right)}} \\
 &= 0.830183
 \end{aligned}$$

$$dk = n_1 + n_2 - 2 = 16 + 11 - 2 = 25$$

Dari hasil perhitungan diatas, didapatkan nilai  $t_{hitung}$  sebesar 0.83. Nilai  $t_{hitung}$  tersebut selanjutnya dibandingkan dengan nilai  $t_{tabel}$ . Dari tabel t-test dengan taraf kesalahan ( $\alpha$ ) 5% maka didapatkan nilai  $t_{tabel}$  sebesar 2.06. Karena nilai  $t_{hitung}$  lebih kecil daripada  $t_{tabel}$  maka  $H_0$  ditolak berarti ada perbedaan yang signifikan antara jumlah mikroba (bakteri) gedung K dan gedung A.

#### b. Hasil Pengukuran Jamur

Selanjutnya adalah data hasil pengukuran jamur dengan media agar PDA pada gedung K dan gedung A. Jumlah sampel pada gedung K ( $X_1$ ) adalah 16 sampel, sedangkan pada gedung A ( $X_2$ ) 11 sampel. Hipotesa dari perhitungan ini adalah apakah terdapat perbedaan signifikan antara data jumlah jamur gedung K dan gedung A.

$H_0$  : Tidak terdapat perbedaan signifikan antara data jumlah bakteri gedung perkuliahan K dan A.

$H_a$  : Terdapat perbedaan signifikan antara data jumlah bakteri gedung perkuliahan K dan A.

Tabel 4.5. Jumlah Jamur di Udara dalam Ruangan, Gedung K ( $Z_1$ ) dan Gedung A ( $Z_2$ ), FTUI

Jamur ( $Z_1$ )	Jamur ( $Z_2$ )
795.053	1166.078
731.4488	823.3216
572.4382	632.5088
724.3816	1409.894
420.4947	1003.534
487.6325	575.9717
409.894	1014.134
554.7703	544.1696
1703.18	766.7845
1003.534	784.4523
1318.021	593.6396
1017.668	
1911.661	
1883.392	
1505.3	
1469.965	

Sumber: Appendix 1 dan 2

Dari data pada tabel diatas dihitung nilai rata-rata dan varians data dari sampel. Dari hasil perhitungan didapatkan:

Tabel 4.6. Nilai Varians Sampel PDA

	Jamur ( $Z_1$ )	Jamur ( $Z_2$ )
Total	16508.83	9314.49
n	16	11
$\bar{x}$	1031.80	846.77
s	528.21	275.20
$s^2$	279009.6	75736.4

Sumber: Hasil Olahan Data

Untuk menentukan rumus t-test mana yang digunakan pada pengujian hipotesis ini, maka perlu diuji dulu apakah varians kedua sampel homogen atau tidak. Pengujian homogenitas varians dilakukan dengan uji F. Dalam uji F ini berlaku ketentuan, bila harga  $F_{hitung}$  lebih kecil atau sama dengan  $F_{tabel}$  maka varians homogen. Nilai  $F_{hitung}$  didapat dengan membagi varians ( $s^2$ ) yang lebih besar terhadap varians ( $s^2$ ) yang lebih kecil.  $F_{hitung}$  yang

didapat sebesar 3.68. Lalu dicari  $F_{\text{tabel}}$  dengan menggunakan dk pembilang dan penyebut. Dk pembilang didapatkan dari  $dk=(n \text{ terbesar} - 1)$  sedangkan dk penyebut didapat dari  $dk=(n \text{ terkecil} - 1)$ . Dengan taraf kesalahan 5%, maka dari tabel nilai distribusi F didapatkan nilai  $F_{\text{tabel}}$  sebesar 2.84. Setelah itu dibandingkan nilai  $F_{\text{hitung}}$  dan  $F_{\text{tabel}}$ , hasilnya  $F_{\text{hitung}}$  lebih besar maka varians tidak homogen ( $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ ).

Berdasarkan uji F didapatkan  $n_1 \neq n_2$  dan varians tidak homogen ( $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ ), maka digunakan rumus t-test separated varians. Harga  $t_{\text{hitung}}$ :

$$t_{\text{hitung}} = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} = \frac{103.1802 - 84.67716}{\sqrt{\frac{2790.096}{16} + \frac{757.3643}{11}}} = 1.186404$$

Dari hasil perhitungan diatas, didapatkan nilai  $t_{\text{hitung}}$  sebesar 1.186. Nilai  $t_{\text{hitung}}$  tersebut selanjutnya dibandingkan dengan nilai  $t_{\text{tabel}}$ . Nilai  $t_{\text{tabel}}$  didapat dengan cara dihitung dari selisih harga  $t_{\text{tabel}}$  dengan  $dk=n_1-1$  dan  $t_{\text{tabel}}$  dengan  $dk=n_2-1$ , harga kedua nilai  $t_{\text{tabel}}$  tersebut kemudian dibagi dua lalu ditambah dengan harga t terkecil.

$$dk = n_1 - 1 = 16 - 1 = 15 \quad \rightarrow \quad t_{\text{tabel}_1} = 2.131$$

$$dk = n_2 - 1 = 11 - 1 = 10 \quad \rightarrow \quad t_{\text{tabel}_2} = 2.228$$

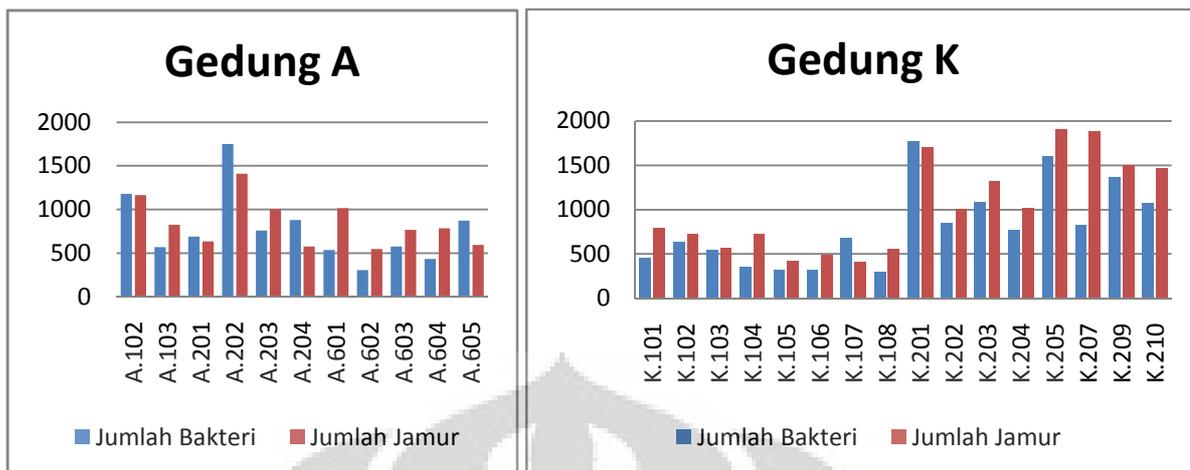
$$\text{maka, nilai } t_{\text{tabel}} = \frac{(2.131 + 2.228)}{2} + 2.131 = 2.1795$$

Karena nilai  $t_{\text{hitung}}$  lebih kecil daripada  $t_{\text{tabel}}$  maka  $H_0$  ditolak.  $H_0$  ditolak maka terdapat perbedaan signifikan dari jumlah jamur antara gedung K dan gedung A.

#### 4.2.1.2 Nilai Maksimum dan Minimum

Dalam pembahasan selanjutnya akan dilihat lebih lanjut lokasi yang memiliki nilai maksimum dan minimum serta faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi nilai tersebut.

Pada gedung K, nilai maksimum didapat pada kelas K.201 (bakteri) dan K.207 (jamur). Sedangkan nilai minimum diperoleh dari kelas K.108 (bakteri) dan K.107 (jamur). Pada gedung A, nilai maksimum didapat pada kelas A.202 (bakteri dan jamur). Sedangkan nilai minimum diperoleh dari kelas A.602 (bakteri dan jamur).



Sumber: Apendix 1 dan 2

Gambar 4.1. Sebaran Jumlah Mikroba pada Gedung A dan K, FTUI

#### a. Suhu dan Kelembaban

Bila dilihat dari kelas dengan nilai maksimum dan minimum, nilai suhu dan kelembaban masih memenuhi persyaratan udara ruangan menurut Keputusan Menteri Kesehatan No.1405 Tahun 2002 tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran dan Industri. Nilai suhu yang disyaratkan 18-28°C sedangkan untuk kelembaban 40%-60%.

Tabel 4.7. Nilai suhu dan kelembaban pada kelas yang mencapai nilai maksimum dan minimum

Kelas	Suhu (°C)	Kelembaban (%)	Mikroba	CFU/m <sup>3</sup>
K.107	22.6	44	Bakteri	678.44
			Jamur	409.89
K.108	23.5	49	Bakteri	303.89
			Jamur	554.77
K.201	21.7	57	Bakteri	1773.85
			Jamur	1703.18
K.207	21.9	54	Bakteri	826.85
			Jamur	1883.39
A.202	21.4	55	Bakteri	1749.12
			Jamur	1409.89
A.602	25.6	50	Bakteri	303.89
			Jamur	544.17

Sumber: Apendix 1 dan 2

Nilai kelembaban justru terlewati oleh beberapa kelas lain seperti K.105, K.205, K.210, A.604 dan A.605. Pengambilan sampel pada ruang kelas K.105, A.604 dan A.605 dilakukan pada saat *air conditioner* baru dinyalakan, sehingga suhu dan kelembaban dalam ruang belum stabil. Hasil pengukuran jamur dan bakteri yang didapatkan pada kelas A.604 dan A.605 relatif kecil kemungkinan dikarenakan pengoperasian ruangan tersebut menggunakan *air conditioner* sehingga nilai suhu dan kelembaban dapat menurun. Sedangkan pada kelas K.205 dan K.210, *air conditioner* telah dinyalakan beberapa menit sebelumnya sehingga suhu dan kelembaban ruang sudah stabil, tetapi jumlah bakteri dan jamur yang diperoleh cukup tinggi. Hal ini dikarenakan ada faktor-faktor lain yang mempengaruhi jumlah mikroba di ruang tersebut. Pada saat pengambilan sampel dilakukan di kelas K.210, terdapat kebocoran pada salah satu *air conditioner* hingga air menggenang di lantai. Selain itu dilihat dari letak ruang kelasnya, kelas K.210 kurang mendapat sinar matahari sehingga apabila terdapat kebocoran, tempat tersebut akan menjadi lembab. Untuk kelas K.205, ruang kelas ini hanya mendapat sedikit sinar matahari. Hal ini dikarenakan letak orientasi jendela. Penjelasan mengenai orientasi dapat dilihat pada subbab berikutnya.

Tabel 4.8. Nilai kelembaban yang melewati batas maksimum dan minimum

<b>Kelas</b>	<b>Suhu (°C)</b>	<b>Kelembaban (%)</b>	<b>Mikroba</b>	<b>CFU/m<sup>3</sup></b>
K.105	24.2	61	Bakteri	321.55
			Jamur	420.49
K.205	24.2	62	Bakteri	1604.24
			Jamur	1911.66
K.210	26	64	Bakteri	1074.20
			Jamur	1469.96
A.604	28.8	68	Bakteri	431.09
			Jamur	784.45
A.605	29.1	61	Bakteri	872.79
			Jamur	593.64

Sumber: Appendix 1 dan 2

Pada saat pengambilan sampel di kelas K.210, *air conditioner* pada kelas tersebut bocor dan airnya menggenang di lantai. Adanya kebocoran ini akan menambah jumlah mikroba. Selain itu kelas K.210 tidak ada akses langsung ke matahari, sehingga apabila kebocoran terjadi akan sulit untuk kering kembali sehingga udara menjadi lembab. Untuk kelas K.205, dari segi letak kelas dan jendela yang ada, kesempatan cahaya matahari masuk hanya sedikit, untuk pembahasan lebih lanjut ada pada bagian ventilasi. Faktor-faktor yang mempengaruhi lainnya seperti material dan furniture, ventilasi serta perawatan dan pemeliharaan yang dilakukan, akan dibahas lebih dalam pada sub berikutnya.

Kelembaban pada lantai bawah (lantai 1) biasanya lebih tinggi dibandingkan pada lantai atas (lantai 2), tetapi pada gedung K nilai kelembaban relatif sama. Hal ini dikarenakan adanya pengontrolan suhu dan kelembaban oleh *air conditioner*.

#### **b. Material dan Furniture**

Yang harus diperhatikan pada pemilihan material bangunan dalam hubungannya dengan jumlah mikroba adalah kandungan nutrisi dalam material tersebut. Mikroba menyukai kandungan nutrisi tertentu dalam material, terutama material yang terbuat dari material organik yang terdapat di alam seperti kayu. Jumlah mikroba pada beberapa ruang kelas di lantai 2 gedung perkuliahan K termasuk tinggi. Pada ruang kelas ini ditemukan adanya bekas kebocoran pada bagian plafon, adanya kebocoran ini menjadi salah satu faktor yang menyebabkan jumlah mikroba pada kelas tersebut tinggi, hal ini sejalan dengan pernyataan Trasher bahwa pertumbuhan jamur pada berbagai macam material bangunan tergantung juga dari kandungan air pada material tersebut. Dilihat dari bahan pembuatnya gypsum termasuk material yang tidak kedap air dan berpotensi sebagai tempat berkembangnya mikroba bila tidak diperlakukan dengan baik. Partisi dinding untuk gedung A kebanyakan menggunakan gypsum, untuk gedung K sebagian

menggunakan gypsum. Bagian dinding luar gedung K menggunakan bata terakota sedangkan gedung A menggunakan beton. Belum terbukti bahwa material atau jenis bangunan konstruksi tertentu telah menimbulkan masalah, tetapi lebih kepada adanya salah penanganan material. Material dan konstruksi itu sendiri akan berfungsi baik jika tidak terkena kelembaban secara berlebihan seperti dari kebocoran atap dan dari kondensasi AC. Jumlah mikroba di ruang kelas gedung A lebih relatif lebih rendah dibandingkan gedung K. Karenanya masih harus dilihat lagi perawatan dan pemeliharaan yang dilakukan pada kedua gedung.



Gambar 4.2. Dinding Tampak Luar Bangunan (Kiri: Terakota, Kanan:Kaca)

Material bangunan di gedung K yang mengandung dapat dijadikan sumber nutrisi bagi mikroba seperti kayu (pada kursi, podium dosen, papan tulis), gypsum (penyekat antar kelas). Pada ruangan kelas K.201 dan K.207 terdapat kursi kayu dengan rangka besi, sedangkan untuk K.107 dan K.108 menggunakan kursi rangka besi dengan alas tulis dari kayu. Selain itu seluruh kelas terdapat podium dan meja dosen yang terbuat dari kayu. Kelas K.107, K.108, K.201 dan K.207 menggunakan papan tulis kapur selain *whiteboard*. Gedung A menggunakan kursi rangka besi dengan alas tulis dari kayu dan untuk media ajar menggunakan *whiteboard*. Kayu merupakan bahan material dari alam yang berpotensi menyerap air dan kemungkinan sebagai tempat berkembang biak mikroba bila dibiarkan lembab terlalu lama. Karenanya diperlukan perlakuan khusus dalam perawatannya.

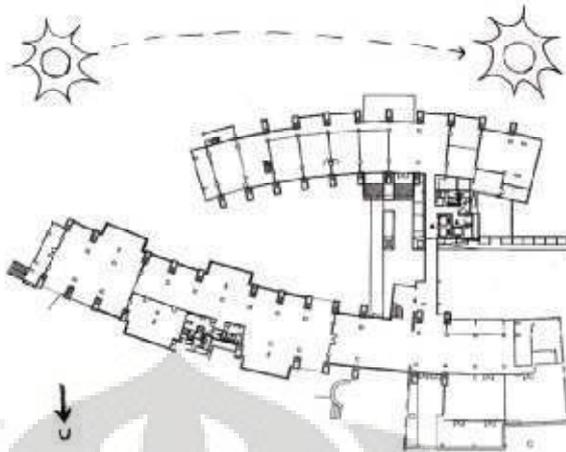
### c. Ventilasi dan Pencahayaan

Gedung A dan gedung K menggunakan *air conditioner*, proses pertukaran udara terjadi melalui *air conditioner*, jendela hanya berfungsi sebagai tempat masuknya cahaya matahari. Karena itu, proses pemeliharaan *air conditioner* secara rutin diperlukan untuk tetap menjaga kualitas udara di dalam ruangan.

Pada tahap perancangan, gedung K di desain agar udara dapat bersirkulasi tanpa perlu menggunakan ventilasi buatan seperti *air conditioner*. Karenanya pada dinding bagian atas terdapat lubang sirkulasi udara serta adanya exhaust pada dinding bagian bawah. Sekarang ini exhaust tersebut sudah tidak berfungsi, tetapi udara dapat masuk melalui celah-celahnya.

Gedung A memang dirancang dengan dinding *full windows* dengan maksud agar tidak bergantung pada penggunaan *air conditioner*, kecuali pada ruangan lantai satu, jendela tidak dirancang untuk dapat dibuka. Walaupun dirancang untuk tidak bergantung pada *air conditioner* tetapi pada pemakaiannya, *air conditioner* digunakan sebagai alat sirkulasi utama.

Sistem dinding dengan *full windows* pada gedung A ini memfasilitasi agar cahaya matahari dapat masuk ke ruang kelas. Orientasi bangunan gedung A dibuat dengan pertimbangan pemanfaatan cahaya matahari secara maksimal. Dengan adanya pencahayaan dari sinar matahari, kemungkinan terjadi kelembaban akan semakin berkurang. Dengan berkurangnya kelembaban maka kemungkinan mikroba untuk tumbuh dan berkembang akan semakin kecil.



Gambar 4.3. Orientasi Bangunan Gedung A FTUI

Seperti dapat dilihat pada gambar, letak orientasi bangunan gedung A memungkinkan ruangan kelas mendapat cahaya matahari sepanjang hari. Dengan letak jendela yang menghadap utara dan selatan, cahaya matahari akan tetap dapat menyinari ruangan mulai dari terbit hingga terbenam.

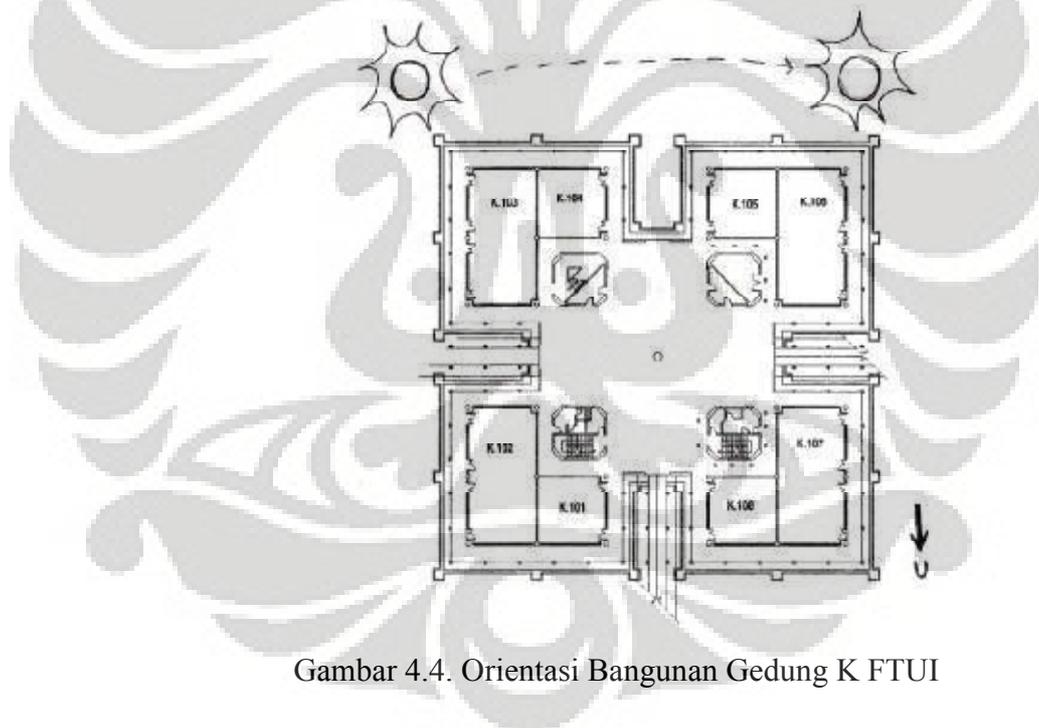
Tabel 4.9. Jumlah Jamur dan Bakteri di Gedung A, FTUI

Kelas	Suhu (°C)	Kelembaban (%)	Mikroba	CFU/m <sup>3</sup>
A.102	26	53	Bakteri Jamur	1180.21 1166.08
A.103	24.2	43	Bakteri Jamur	568.905 823.322
A.201	24.6	51	Bakteri Jamur	689.046 632.509
A.202	21.4	55	Bakteri Jamur	1749.12 1409.89
A.203	23.8	44	Bakteri Jamur	759.717 1003.53
A.204	23.2	52	Bakteri Jamur	879.859 575.972
A.601	23.8	52	Bakteri Jamur	533.569 1014.13
A.602	25.6	50	Bakteri Jamur	303.887 544.17
A.603	24.2	49	Bakteri Jamur	575.972 766.784
A.604	28.8	68	Bakteri Jamur	431.095 784.452
A.605	29.1	61	Bakteri Jamur	872.792 593.64

Sumber: Hasil Pengambilan Sampel

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa jumlah mikroba pada kelas A.203 dan A.204 cukup banyak dibandingkan pada kelas lain. Salah satu hal yang mempengaruhi jumlah tersebut adalah pada kelas A.203 dan A.204 tidak terdapat jendela. Dengan tidak terdapatnya jendela ini, cahaya matahari tidak dapat masuk sehingga pertukaran udara hanya bisa diatur dengan *air conditioner*.

Pada gedung K, bentuk bangunan membuat beberapa ruang kelas tidak mendapat cahaya matahari secara maksimal. Pada ruang K.209 dan K.210 walaupun terdapat jendela tetapi jendela tersebut tidak terhubung langsung dengan udara luar. Jendela pada kedua ruang tersebut juga bagian diberi kaca film warna hitam, sehingga pencahayaan pada ruang tersebut bergantung pada lampu dan untuk pertukaran udara bergantung pada *air conditioner*.



Gambar 4.4. Orientasi Bangunan Gedung K FTUI

Ruang kelas K.205 walaupun terdapat jendela, tetapi letak jendela kurang memungkinkan cahaya matahari yang masuk. Letak jendela yang menghadap timur hanya memungkinkan masuknya sinar matahari pada pagi hari, ditambah adanya sisi bangunan lain di hadapan jendela membuat waktu masuknya sinar matahari semakin berkurang. Jumlah mikroba di ruang kelas K.203 cukup tinggi. Pada ruang kelas K.203, letak jendela

menghadap ke arah utara dan selatan. Salah satu faktor jumlah mikroba yang tinggi pada kelas ini karena jendela (baik yang mengarah ke utara dan timur) berhadapan dengan sisi bangunan lain.

Pembagian ruang kelas pada lantai 1 sudah baik. Pembagian mempertimbangkan arah orientasi bangunan sehingga tiap kelas mendapat sinar matahari yang cukup. Hal ini menjelaskan jumlah mikroba yang lebih banyak pada lantai 2 dibandingkan pada lantai 1.

#### d. Adanya Sumber Pencemar Lain

Yang dimaksud dengan adanya sumber pencemar lain dapat berupa kamar mandi, tong sampah dan lain sebagainya. Kamar mandi merupakan salah satu ruang dengan tingkat kelembaban tinggi sehingga jumlah mikroba di kamar mandi termasuk tinggi. Ruang kelas K.207 dan K.202 terletak didekat kamar mandi. Pintu masuk ruang kelas K.202 berhadapan dengan pintu kamar mandi wanita. Ruang kelas K.207 berhadapan dengan pintu kamar mandi pria.

Tabel 4.10. Jumlah Bakteri dan Jamur di kelas K.202 dan K.207

Kelas	Mikroba	CFU/m <sup>3</sup>
K.202	Bakteri	844.52
	Jamur	1003.53
K.207	Bakteri	826.85
	Jamur	1883.39

Sumber: Hasil Pengambilan Sampel

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa pada ruang kelas K.207 jumlah jamur lebih tinggi, hal ini kemungkinan disebabkan karena pada saat pengoperasian pintu kamar mandi pria biasa terbuka sedangkan kamar mandi wanita pintu biasa ditutup. Dengan pintu yang terbuka sirkulasi udara dari kamar mandi ke luar (termasuk kelas) menjadi lebih lancar. Dengan adanya sirkulasi udara dari kamar mandi ke ruang kelas maka kemungkinan masuknya mikroba ke ruang kelas akan meningkat terutama bila pintu kamar mandi terbuka.

Jumlah bakteri di ruang kelas K.201 mencapai nilai tertinggi dibandingkan dengan ruang kelas lainnya. Tingginya jumlah bakteri di ruang K.201 kemungkinan juga disebabkan karena latak pintu kelas yang berada dekat tong sampah. Tempat sampah ini tidak selalu penuh karena sampah akan diambil pada waktu-waktu tertentu, tetapi adanya sumber polutan akan memberi kesempatan kepada mikroba untuk berkembang.

#### **e. Perawatan dan Pemeliharaan**

Mikroorganisme mampu tumbuh pada semua bahan bangunan dan perabotan. Pertumbuhan mikroba di dalam struktur bangunan tidak secara otomatis mengakibatkan meningkatnya konsentrasi mikroorganisme udara di lingkungan indoor atau dalam risiko kesehatan. Peningkatan jumlah mikroba di ruangan memerlukan waktu, karenanya perawatan dan pemeliharaan yang baik akan mencegah terjadinya peningkatan jumlah mikroba di ruangan.

Perawatan dan pemeliharaan yang dilakukan di gedung A dan K, Fakultas Teknik UI ini meliputi pemeliharaan kursi, papan tulis, lantai, plafon, serta *air conditioner*. Selain itu juga perlu diperhatikan sambungan-sambungan pipa yang ada dari kemungkinan adanya kebocoran serta celah jendela dari kemungkinan merembesnya air ke dalam ruangan. Pada saat mengambil sampel di ruang K.210 ditemukan air menetes dari *air conditioner* hingga menggenang di lantai. Pemeriksaan *air conditioner* secara rutin diperlukan untuk mencegah terjadinya hal tersebut. Selain itu juga diperlukan penggantian freon secara berkala.

Selain di kelas K.210, di ruang kelas K.202 juga ditemukan adanya kebocoran. Kebocoran tidak terjadi pada waktu pengambilan sampel. Kebocoran terjadi dari arah jendela pada saat hari cerah tetapi tidak diketahui secara pasti dari mana kebocoran itu berasal.

Semakin sering dan semakin menyeluruh perawatan dan pemeliharaan dilakukan maka ruangan akan lebih mudah bersih dan akan mencegah meningkatnya jumlah mikroba di ruangan. Prosedur dan metode pemeliharaan, perawatan dan pemeriksaan periodik bangunan gedung

dapat dilihat pada Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 24/PRT/M/2008 tentang Pedoman pemeliharaan dan perawatan bangunan gedung. Peraturan Menteri ini memuat kapan harus dilakukan perawatan dan pemeliharaan. Perawatan dan pemeliharaan yang dilakukan ada yang bersifat harian, mingguan, bulanan, maupun tiga bulanan. Selain itu perawatan dan pemeliharaan yang dilakukan harus memperhatikan bahan dan karakteristik dari struktur bangunan maupun *furniture* yang ada. Pemeliharaan yang baik terhadap salah satu peralatan akan menentukan bagaimana kesiapan dan kelangsungan pengoperasian peralatan tersebut. Dengan pemeliharaan yang baik, maka diharapkan *life time* dari suatu peralatan akan menjadi lebih panjang serta dapat dioperasikan setiap saat. Prosedur dan metode pemeliharaan dan perawatan yang dapat dilakukan pada gedung perkuliahan A dan K dapat dilihat pada lampiran. Pemeliharaan yang dapat dilakukan seperti misalnya pada lantai, dinding, plafon, dan lain sebagainya.

Hal pertama yang harus dilakukan dalam perawatan dan pemeliharaan bangunan adalah mendata semua komponen bangunan yang ada pada gedung, seperti terbuat dari bahan apa, karakteristiknya bagaimana, serta bagaimana cara perawatan dan pemeliharaan yang tepat. Kemudian Menyusun program dan jadwal pemeliharaan yang akan dilakukan. Kemudian menentukan skala prioritas pelaksanaan perbaikan serta usulan teknis pelaksanaan perawatan bangunan. Selain itu juga diperlukan rencana anggaran biaya pelaksanaan pemeliharaan dan perawatan. Bila rencana perawatan dan pemeliharaan sudah disetujui, maka selanjutnya perlu dilakukan penginformasian jadwal pelaksanaan kepada pihak-pihak terkait. Dalam pelaksanaan pekerjaan perawatan dan pemeliharaan bangunan diperlukan pengawasan dan pengecekan apakah perawatan dan pemeliharaan dilaksanakan sesuai dengan yang direncanakan.

#### 4.2.1.3 Perbandingan Penelitian Sebelumnya

Pada subbab ini, hasil pengambilan sampel di gedung perkuliahan A dan K FTUI akan dibandingkan dengan standard dan hasil penelitian lainnya. Perbandingan ini dilakukan untuk melihat apakah kualitas udara pada ruang kelas gedung perkuliahan A dan K FTUI termasuk baik atau kurang baik.

Tabel-tabel dibawah ini berisi perbandingan jumlah mikroba hasil pengambilan sampel di gedung perkuliahan A dan K FTUI dengan standard. Standard bakteri yang digunakan  $500 \text{ CFU/m}^3$ , sedangkan untuk jamur karena gedung perkuliahan A dan K FTUI termasuk dalam tempat edukasi maka digunakan  $1000 \text{ CFU/m}^3$ .

Tabel 4.11. Perbandingan Jumlah Bakteri Gedung K dengan Standard

KELAS	CFU/m <sup>3</sup>	Memenuhi standard
		Bakteri (500 CFU/m <sup>3</sup> )
K.101	452.297	ok
K.102	639.576	melewati
K.103	544.169	melewati
K.104	349.823	ok
K.105	321.555	ok
K.106	318.021	ok
K.107	678.445	melewati
K.108	303.887	ok
K.201	1773.852	melewati
K.202	844.523	melewati
K.203	1091.873	melewati
K.204	766.7844	melewati
K.205	1604.240	melewati
K.207	826.855	melewati
K.209	1371.025	melewati
K.210	1074.205	melewati

Sumber: Pengolahan Data

Tabel 4.12. Perbandingan Jumlah Bakteri Gedung A dengan Standard

KELAS	CFU/m <sup>3</sup>	Memenuhi standard
		Bakteri (500 CFU/m <sup>3</sup> )
A.102	1180.212	melewati
A.103	568.905	melewati
A.201	689.046	melewati
A.202	1749.117	melewati
A.203	759.717	melewati
A.204	879.859	melewati
A.601	533.569	melewati
A.602	303.887	ok
A.603	575.972	melewati
A.604	431.095	ok
A.605	872.791	melewati

Sumber: Pengolahan Data

Tabel 4.13. Perbandingan Jumlah Jamur Gedung K dengan Standard

KELAS	CFU/m <sup>3</sup>	Memenuhi standard
		Jamur (1000 CFU/m <sup>3</sup> )
K.101	795.053	ok
K.102	731.449	ok
K.103	572.439	ok
K.104	724.382	ok
K.105	420.495	ok
K.106	487.632	ok
K.107	409.894	ok
K.108	554.770	ok
K.201	1703.180	melewati
K.202	1003.534	melewati
K.203	1318.021	melewati
K.204	1017.668	melewati
K.205	1911.661	melewati
K.207	1883.392	melewati
K.209	1505.300	melewati
K.210	1469.965	melewati

Sumber: Pengolahan Data

Tabel 4.14. Perbandingan Jumlah Jamur Gedung A dengan Standard

KELAS	CFU/m <sup>3</sup>	Memenuhi standard
		Jamur (1000 CFU/m <sup>3</sup> )
A.102	1166.078	melewati
A.103	823.322	ok
A.201	632.509	ok
A.202	1409.894	melewati
A.203	1003.534	melewati
A.204	575.972	ok
A.601	1014.134	melewati
A.602	544.169	ok
A.603	766.784	ok
A.604	784.452	ok
A.605	593.639	ok

Sumber: Pengolahan Data

Selain perbandingan dengan standard, dilakukan pula perbandingan dengan penelitian lain. Perbandingan dengan penelitian lain dilakukan mengingat belum lengkapnya standard jumlah mikroba untuk berbagai jenis ruang dan kegiatan di Indonesia. Perbandingan dengan penelitian lain dilakukan untuk melihat jumlah mikroba di tempat tersebut dengan turut mempertimbangkan adanya perbedaan kondisi dan waktu penelitian yang berbeda. Kondisi dan waktu penelitian akan turut mempengaruhi jumlah mikroba di suatu tempat. Selain itu jenis kegiatan yang dilakukan di tempat tersebut juga turut mempengaruhi jumlah mikroba.

Perbandingan pertama akan dilakukan dengan ruang yang digunakan untuk kegiatan yang relatif sama yaitu ruangan yang dipakai untuk kegiatan belajar mengajar dan perkantoran. Perbedaan dari penelitian yang dibandingkan terletak dari perbedaan musim (suhu dan kelembaban) serta dari faktor-faktor bangunan.

Tabel 4.15. Perbandingan Jumlah Mikroba Gedung A dan K FTUI dengan Gedung Sejenis

Jenis Kegiatan/ Tempat	Lokasi	Jumlah Jamur (CFU/m <sup>3</sup> )	Jumlah Bakteri (CFU/m <sup>3</sup> )	Referensi
Gedung Perkuliahan	Gedung A, FT UI	544.17 -1409.89	303.88 -1749.12	Pengambilan Sampel Pengambilan Sampel
	Gedung K, FT UI	409.89 -1883.39	303.88 -1773.85	
Gedung Perkantoran Musim dingin Musim panas Musim peralihan	USA		252 306 280	Tsai, FC <i>et al.</i> (2002)
Kampus Ruang Kelas Ruang Rapat Elevator Toilet	Taipei	594.3 1782.9 1528.2 764.1	1188.6 509.4 1273.5 2122.5	Chen, Wang Kun <i>et al.</i> (2007)
Bangunan	USA	300- >8200 (930)		Shelton <i>et al.</i> (2002)
Ruang tamu dan kamar tidur	England	28- >35000 (1096)		Hunter dan Lea. (1994)

Pengambilan sampel pada penelitian di Taipei dilakukan bulan april pada saat suhu diluar ruangan 22°C – 24°C dan kelembaban relatif 75% – 78% (Chen, 2007). Kondisi ventilasi ruang kelas sangat baik karena terdapat jendela pada kedua sisi. Ruang rapat selalu tertutup kecuali bila diadakan rapat di ruang tersebut. Kondisi ventilasi pada toilet hanya bergantung pada satu pintu masuk dan jendela kecil di dinding bagian atas.

Pengambilan sampel pada penelitian di gedung perkantoran di USA dilakukan pada 100 gedung dari 25 kota berbeda baik pada musim panas maupun musim dingin. Pemilihan sampel dilakukan secara acak dari 10 zona iklim yang berbeda (Tsai, 2002).

Pengambilan sampel pada ruang tamu dan kamar tidur di England dilakukan dengan variasi musim dan lokasi. Hasil pengambilan sampel rata-rata sekitar <1000 CFU/m<sup>3</sup> untuk bulan November hingga April, hingga terus meningkat pada bulan Oktober dengan jumlah jamur 4000 CFU/m<sup>3</sup>. Penelitian ini menunjukkan lokasi memiliki pengaruh yang kecil

dilihat dari jumlah jamur 1047 CFU/m<sup>3</sup> di daerah kota, 1023 CFU/m<sup>3</sup> di pinggiran kota, 1202 CFU/m<sup>3</sup> di pedesaan dan 1174 CFU/m<sup>3</sup> dekat pantai.

Perbandingan selanjutnya dilakukan terhadap jenis kegiatan lain seperti kompos dan tempat fasilitas hewan. Perbandingan ini dilakukan untuk melihat apakah kualitas udara di gedung perkuliahan FTUI mendekati kualitas udara di tempat-tempat dengan kondisi adanya sumber pencemar ekstrem atau tidak.

Tabel 4.16. Perbandingan Jumlah Mikroba Gedung A dan K FTUI dengan Kegiatan atau Tempat Lain

Jenis Kegiatan/ Tempat	Lokasi	Jumlah Jamur (CFU/m <sup>3</sup> )	Jumlah Bakteri (CFU/m <sup>3</sup> )	Referensi
Gedung Perkuliahan	Gedung A, FT UI	544.17-1409.89	303.88-1749.12	Pengambilan Sampel Pengambilan Sampel
	Gedung K, FT UI	409.89-1883.39	303.88-1773.85	
Animal Facilities		10 <sup>2</sup> -10 <sup>8</sup>	10 <sup>3</sup> -10 <sup>5</sup>	Stetzenbach,L . (1997)
Composting		10 <sup>2</sup> -10 <sup>7</sup>	10 <sup>3</sup> -10 <sup>6</sup>	Stetzenbach,L . (1997)
Agricultural Harvesting and Storage		10 <sup>3</sup> -10 <sup>9</sup>	10 <sup>2</sup> -10 <sup>3</sup>	Stetzenbach,L . (1997)
Sawmill		10 <sup>2</sup> -10 <sup>4</sup>	10-10 <sup>3</sup>	Stetzenbach,L . (1997)
Manufacturing Technology		10 <sup>2</sup> -10 <sup>6</sup>	10 <sup>2</sup> -10 <sup>6</sup>	Stetzenbach,L . (1997)
Water Treatment Activated Sludge		10-10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup> -10 <sup>6</sup>	Stetzenbach,L . (1997)
Composting Yard Waste	Illinois	8.65x10 <sup>3</sup> - 3.07x10 <sup>3</sup>	4.8x10 <sup>2</sup> - 7.8x10 <sup>4</sup>	Hryhorczuk <i>et al.</i> , (2001)
Enclosed System Mixed Waste	Canada	7x10 <sup>2</sup> - 7.2x10 <sup>3</sup>	8.7x10 <sup>3</sup> - 5.3x10 <sup>5</sup>	Marchand <i>et al.</i> , (1995)
Source Separated Household Waste	Denmark		1.7x10 <sup>7</sup>	Nielson <i>et al.</i> , (1997)

Perbandingan jumlah mikroba diatas menunjukkan bahwa kualitas udara mikrobiologis di gedung A dan K FTUI dapat dikatakan harus mendapat perhatian, bila tidak dilakukan tindakan seperti perawatan dan pemeliharaan bukanlah tidak mungkin jumlah mikroba akan meningkat pesat.

#### 4.2.2 Outdoor

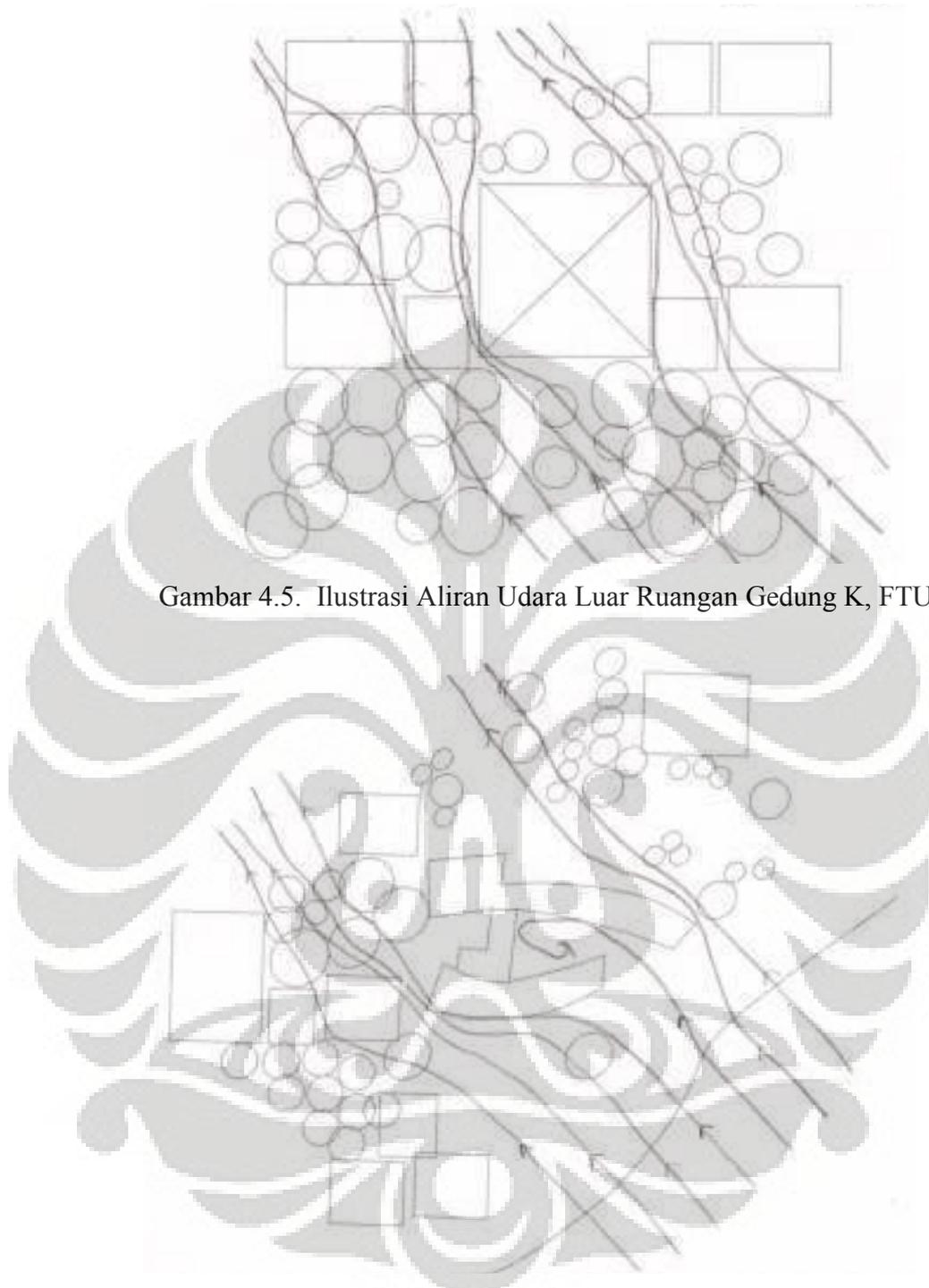
Selain pengukuran *indoor* dilakukan pula pengambilan sampel *outdoor* pada gedung K dan A. Pengukuran outdoor pada gedung K dilakukan pada empat titik sedangkan pada gedung A diambil tiga titik. Penentuan titik pengambilan sampel ini dilakukan dengan mempertimbangkan daerah mana yang bisa mewakili udara outdoor tanpa terkontaminasi (terletak dekat) sumber pencemar tertentu. Hal ini dimaksudkan agar sampel udara yang diambil tidak terpaku pada kondisi udara yang terpengaruh oleh sumber kegiatan tertentu, seperti dekat tempat pembuangan sampah atau dekat tempat dimana terdapat genangan air. Pengambilan sampel dilakukan pada suhu antara 30.7 - 43.8°C dan kelembaban antara 39% -78%.

Tabel 4.17. Jumlah Jamur dan Jumlah Bakteri di Udara Outdoor Gedung K dan Gedung A

Outdoor	Jamur (CFU/m <sup>3</sup> )			Bakteri (CFU/m <sup>3</sup> )		
	Rata-rata	Minimum	Maksimum	Rata-rata	Minimum	Maksimum
Gedung A	449.5485	223.7927	624.26384	265.0177	170.7892	371.024735
Gedung K	840.6949	441.6961	1266.19552	596.2898	253.2391	995.288575

Sumber: Appendix

Melihat dari hasil jumlah mikroba indoor, terlihat bahwa jumlah mikroba lebih banyak pada outdoor gedung K. Dilihat dari lokasi, gedung K dikelilingi oleh pepohonan dan gedung lain, sehingga aliran udara akan terhambat oleh pepohonan. Sedangkan gedung A terletak dekat lapangan terbuka, sehingga udara lebih bebas. Jenis dan letak pepohonan dapat mempengaruhi aliran udara ke dalam gedung. Berikut akan digambarkan ilustrasi aliran angin luar ruangan pada masing-masing gedung. Arah angin datang dari arah tenggara (Arjangga, 2000).



Gambar 4.5. Ilustrasi Aliran Udara Luar Ruang Gedung K, FTUI

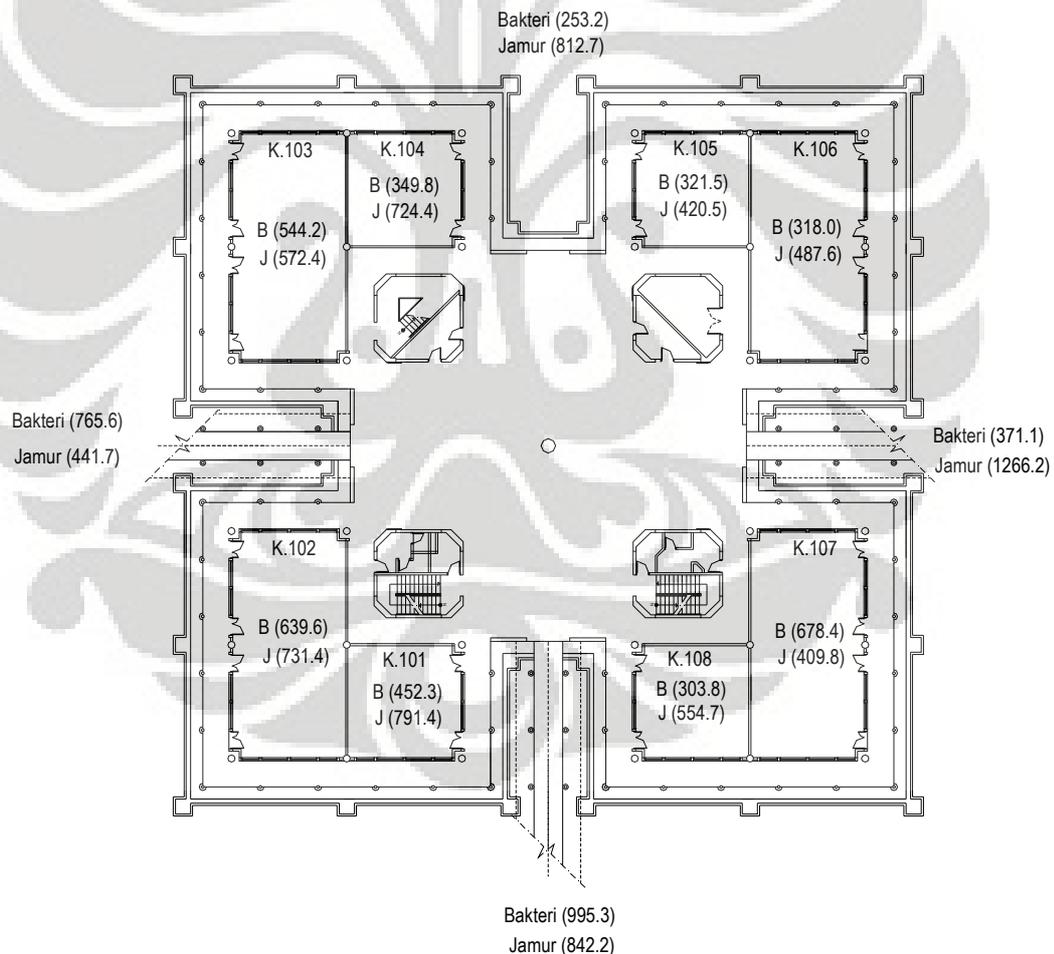
Gambar 4.6. Ilustrasi Aliran Udara Luar Ruang Gedung A, FTUI

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa sirkulasi udara pada outdoor gedung K akan berlangsung lebih lambat. Adanya bangunan lain akan membuat udara melewati celah antara dua gedung bukan masuk ke dalam ruangan. Adanya tumpukan daun kering dan sampah halaman juga dapat

menimbulkan kontaminan. Pada daerah luar bangunan (outdoor), mikroba dapat tumbuh dan berkembang dengan menggunakan tanaman dan pembusukan bahan organik (seperti dedaunan yang telah rontok) sebagai sumber nutrisi. Terutama pada saat pembersihan lahan, kontaminan akan terbang dan terbawa media udara. Selain itu adanya tempat penampungan air pada saluran drainase menyebabkan banyaknya mikroba pada udara sekitar. Terbawanya kontaminan oleh aliran udara dapat masuk ke ruangan melalui celah-celah serta melalui intake *air conditioner*.

#### 4.2.3 Perbandingan *Indoor* dan *Outdoor*

Dari hasil jumlah mikroba indoor dan outdoor, maka dilihat apakah udara outdoor mempengaruhi udara indoor.

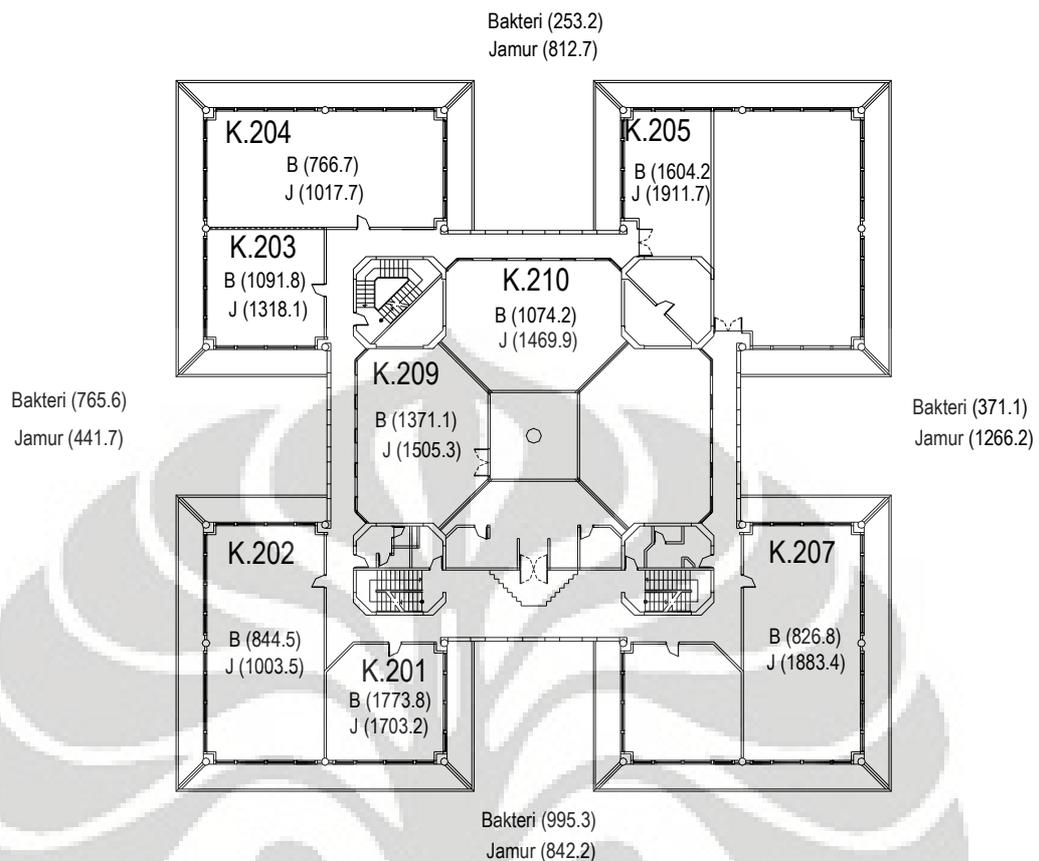


Gambar 4.7. Denah Lokasi Pengambilan Sampel di Gedung K

Gedung perkuliahan K didesain dengan sistem ventilasi alami, karenanya terdapat lubang ventilasi dan *exhaust* pada tiap kelas. Tetapi pada pengoperasian sekarang ini, ruang kelas gedung perkuliahan K menggunakan *air conditioner*. Perubahan sistem ventilasi dari alami ke buatan ini tidak diikuti dengan perubahan desain bangunan. Pada beberapa kelas ditemukan masih adanya lubang ventilasi dan *exhaust* yang masih terbuka. Adanya bukaan ini mengakibatkan ada kemungkinan intrusi udara luar ruangan (*outdoor*) ke dalam ruangan. Dengan adanya intrusi polutan dari luar ruangan yang turut mempengaruhi kualitas udara dalam ruangan maka perlu diperhatikan sistem ventilasi buatan yang digunakan. Sistem ventilasi buatan yang digunakan pada gedung K memakai sistem mengambil udara panas dari dalam ruangan kemudian didinginkan dan disirkulasikan kembali ke dalam ruangan. Sehingga apabila ada intrusi polutan maka polutan tersebut akan tersirkulasikan berulang kali.

Gambar 4.7 menunjukkan bahwa jumlah mikroba terbanyak terdapat pada kelas K.102. Melihat dari jumlah mikroba pada sampel outdoor, kelas K.102 dipengaruhi oleh outdoor sisi barat dan sisi selatan bangunan. Jumlah bakteri pada sisi selatan bangunan memang yang tertinggi dibandingkan dari sisi lain.

Pada sisi timur bangunan, jumlah jamur lebih banyak dibanding sisi lain tetapi jumlah bakterinya cukup sedikit. Hal ini kemungkinan dikarenakan adanya dinding setinggi kira-kira 1.5 m di sepanjang sisi timur gedung K. Adanya dinding dan atap menutup sinar matahari sehingga memungkinkan mikroba tumbuh. Tetapi banyaknya jamur pada outdoor sebelah timur bangunan, tidak terlalu mempengaruhi kelas-kelas disekitarnya (K.106 dan K.107).

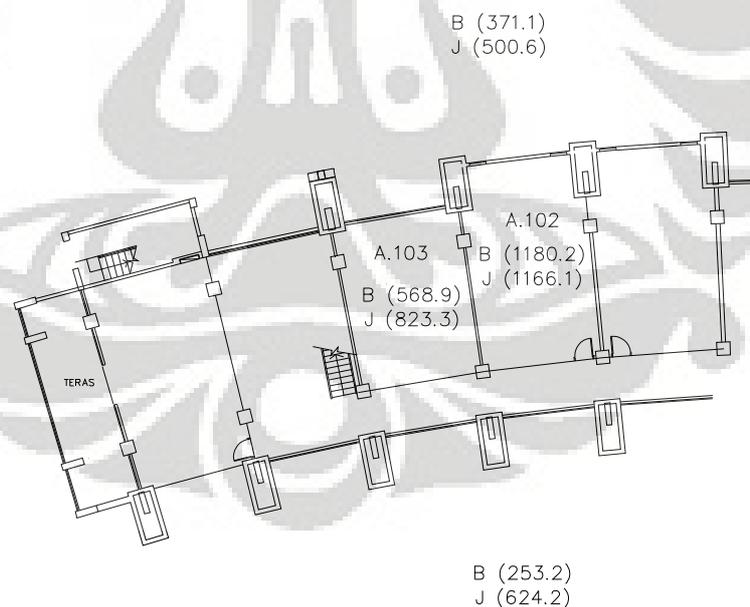


Gambar 4.8. Denah Lokasi Pengambilan Sampel di Gedung K

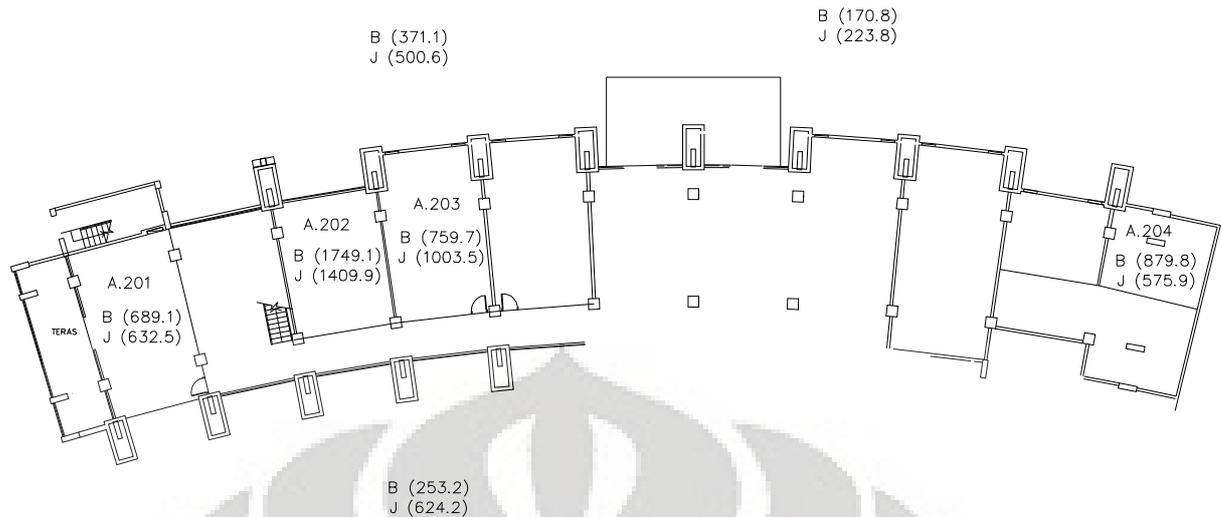
Pada hasil pengambilan sampel jumlah mikroba lantai dua, jumlah jamur pada timur bangunan terlihat mempengaruhi jumlah jamur di udara indoor pada kelas K.207. Jumlah jamur dan bakteri pada kelas K.201 lebih banyak dibanding pada kelas lainnya, jumlah jamur dan bakteri pada udara outdoornya juga cukup tinggi. Hal ini memperlihatkan bahwa udara outdoor pada sisi selatan bangunan turut mempengaruhi udara dalam ruang kelas, terbukti pengaruh dapat dilihat dari jumlah jamur pada kelas K.101 dan K.201.

Pada gedung K terdapat lubang ventilasi dan *exhaust* pada sekeliling dinding. Melihat dari arah aliran udara pada sub bab sebelumnya, aliran udara yang masuk melalui lubang ventilasi akan melewati pepohonan rindang terlebih dahulu. Hal ini perlu diperhatikan, karena mikroba dapat tumbuh pada pembusukan daun yang rontok. Minimalisasi penimbunan daun kering dapat dilakukan dengan adanya pembersihan rutin.

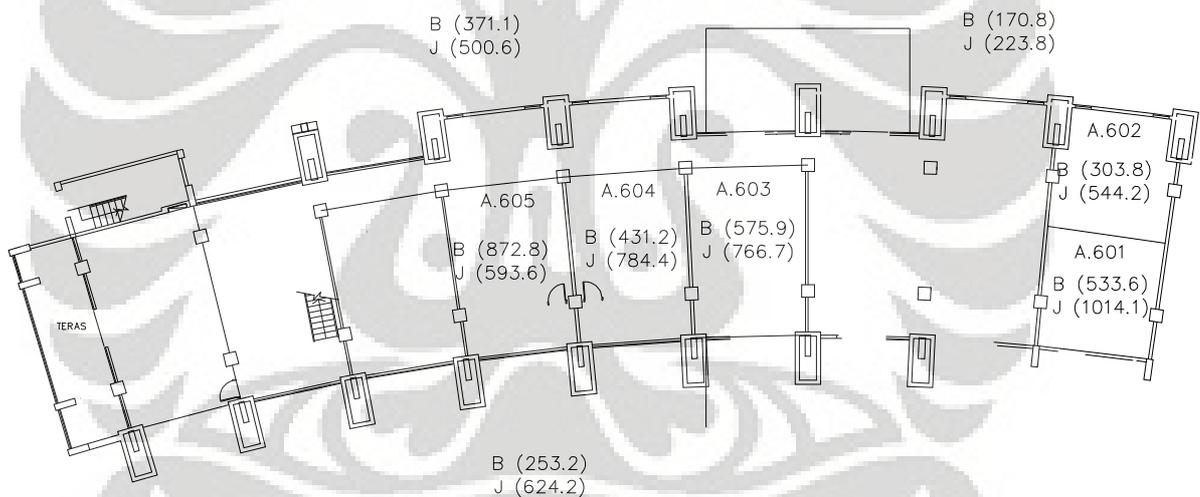
Gedung perkuliahan A didesain menggunakan sistem ventilasi buatan, sehingga tidak ada lubang ventilasi pada bagian dinding gedung ini. Hal ini meminimalisasi adanya intrusi udara dari luar ruangan ke dalam ruangan. Jumlah mikroba luar ruangan (outdoor) yang lebih kecil daripada jumlah mikroba dalam ruangan (indoor) memperlihatkan bahwa kualitas udara luar ruangan pada gedung perkuliahan A tidak terlalu mempengaruhi kualitas udara dalam ruang. Kualitas udara dalam ruang pada gedung perkuliahan A lebih disebabkan karena faktor dalam bangunan tersebut. Jumlah mikroba pada kelas A.102 lebih dikarenakan faktor lain, seperti apakah ada kebocoran atau rembesan air dari pipa *air conditioner* ataupun sebab lainnya. Outdoor pada bagian selatan denah tidak mempengaruhi kualitas udara pada ruangan kelas lantai satu gedung A. Hal ini dikarenakan tidak adanya akses masuk udara keluar maupun masuk dari arah tersebut. Selain itu ada jeda jalan yang membuat walaupun ada celah tetapi udara sudah terdispersi .



Gambar 4.9. Denah Lokasi Pengambilan Sampel di Gedung A



Gambar 4.10. Denah Lokasi Pengambilan Sampel di Gedung A



Gambar 4.11. Denah Lokasi Pengambilan Sampel di Gedung A

Melihat dari kecilnya terjadi intrusi dari udara luar ke dalam ruangan serta jumlah mikroba di udara outdoor yang relatif kecil, maka faktor-faktor lain lebih dominan pada kualitas di ruang kelas lantai dua. Seperti misalnya pada kelas K.202, pada kelas ini pernah terdapat rembesan air dari jendela sehingga air menggenang di lantai. Kebocoran ini apabila tidak ditangani dengan baik maka akan meningkatkan jumlah mikroba di ruang tersebut, terutama karena kebocoran terletak di dekat kayu pada dinding.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat diambil kesimpulan dan saran sebagai berikut:

#### **5.1 KESIMPULAN**

Kualitas udara mikrobiologis dalam ruangan dipengaruhi oleh beberapa faktor. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jumlah mikroba di dalam ruang kelas dan mencari faktor-faktor yang mempengaruhi jumlah mikroba di dalam ruangan. Lokasi penelitian bertempat di gedung perkuliahan A dan K FTUI. Dari penelitian ini dapat diambil kesimpulan:

1. Gedung perkuliahan A dan K FTUI memiliki perbedaan waktu pembangunan dan pengoperasian bangunan, penggunaan material bangunan, serta furniture yang digunakan.
2. Sistem ventilasi gedung perkuliahan A dan K FTUI menggunakan air conditioner sedangkan sistem pencahayaan menggunakan pencahayaan alami dan buatan, kecuali untuk beberapa kelas seperti A.203 dan A.204.
3. Perawatan dan pemeliharaan yang dilakukan di gedung A dan K, Fakultas Teknik UI ini meliputi pemeliharaan kursi, papan tulis, lantai, plafon, serta *air conditioner*. Perawatan air conditioner pada gedung perkuliahan A dan K FTUI dilakukan setiap 3 bulan sekali.
4. Pada gedung perkuliahan A jumlah jamur rata-rata 846,772 CFU/m<sup>3</sup>, nilai minimal 544,169 CFU/m<sup>3</sup> dan nilai maksimal 1409,894 CFU/m<sup>3</sup>. Sedangkan pada gedung perkuliahan K jumlah jamur rata-rata 1031,802 CFU/m<sup>3</sup>, nilai minimal 409,894 CFU/m<sup>3</sup> dan nilai maksimal 1883,392 CFU/m<sup>3</sup>.
5. Jumlah bakteri rata-rata pada gedung perkuliahan A 776,743 CFU/m<sup>3</sup>, nilai minimum 303,887 CFU/m<sup>3</sup> dan nilai maksimal 1749,117 CFU/m<sup>3</sup>. Sedangkan pada gedung perkuliahan K jumlah bakteri rata-rata 810,071 CFU/m<sup>3</sup>, nilai minimum 303,887 CFU/m<sup>3</sup> dan nilai maksimal 1773,852 CFU/m<sup>3</sup>.

6. Berdasarkan perhitungan dengan t-test terdapat perbedaan signifikan antara jumlah mikroba (bakteri dan jamur) pada gedung perkuliahan A dan K FTUI.
7. Beberapa ruang kelas pada gedung perkuliahan A dan K FTUI melewati standard jumlah mikroba (bakteri dan jamur). Ruang yang melewati standard jumlah bakteri di ruangan adalah ruang kelas K.102, K.103, K.107, K.201, K.202, K.203, K.204, K.205, K.207, K.209, K.210, A.102, A.103, A.201, A.202, A.203, A.204, A.601, A.603, dan A.605. Ruang kelas yang melewati standard jumlah jamur di dalam ruang adalah ruang kelas K.201, K.202, K.203, K.204, K.205, K.207, K.209, K.210, A.102, A.202, A.203, dan A.601.
8. Pada beberapa kelas terdapat nilai kelembaban yang melewati standard Keputusan Menteri Kesehatan RI No.1405/MENKES/SK/XI/2002 seperti pada kelas K.105, K.205, K.210, A.604 dan A.605.
9. Jumlah mikroba (bakteri dan jamur) pada lantai 2 gedung K FTUI lebih tinggi dibandingkan pada lantai 1.
10. Pembagian pada gedung K lantai 2 FTUI kurang mempertimbangkan segi orientasi bangunan sehingga kurang memaksimalkan kemungkinan cahaya matahari untuk masuk. Kurang maksimalnya kemungkinan cahaya matahari untuk masuk terjadi pada kelas K.203 dan K.205.
11. Pada beberapa kelas ditemukan adanya intrusi air dari jendela, adanya kondensasi dari *air conditioner*, serta bekas terjadi kebocoran seperti pada kelas K.210 dan A.202. Adanya intrusi air yang berlebih ini bila tidak ditangani dengan baik akan meningkatkan kelembaban dan mempengaruhi kualitas udara dalam ruang.
12. Aliran udara di luar ruangan pada gedung perkuliahan A dan K FTUI juga dipengaruhi oleh tumbuhan dan pepohonan serta bangunan lain di sekitarnya.

## 5.2 SARAN

Berikut merupakan saran yang dapat diberikan dari penelitian ini:

### 5.2.1 Bagi Instansi Terkait

- a. Bagi pihak perancang bangunan, pada tahap pendesainan perlu diperhatikan bagaimana caranya untuk memaksimalkan kondisi alam. Selain itu diusahakan agar perawatan dan pemeliharaan dapat dilakukan dengan mudah.
- b. Pada tahap pembangunan, diperlukan kontrol mutu yang baik, sehingga dapat meminimalisir kemungkinan kebocoran karena adanya kelalaian pada saat pembangunan.
- c. Pada tahap pengoperasian bangunan, perlu diperhatikan ruangan atau bagian tertentu yang memerlukan perawatan dan pemeliharaan tertentu. Penentuan lokasi ekstrem ini (kemungkinan terjadi kebocoran, di dekat kamar mandi, dan sebagainya) akan mempermudah perawatan dan pemeliharaan. Jadwal pemeliharaan juga harus jelas dan terkontrol.
- d. Bagi pihak perancang peraturan: perlunya penetapan standard kualitas udara dalam ruangan berdasarkan jenis mikroba dan peruntukan ruang. Adanya standard yang jelas akan mempermudah pengontrolan dan pemeliharaan kualitas udara dalam ruangan sehingga resiko kesehatan dapat diperkecil.

### 5.2.2 Bagi Penelitian Berikutnya

Penelitian ini dapat digunakan sebagai salah satu referensi untuk meningkatkan kualitas udara mikrobiologis ruang kelas. Namun, penelitian ini belum mencakup penyelesaian masalah secara menyeluruh karena adanya kendala yang dihadapi oleh penulis. Oleh karena itu, penulis menyampaikan saran untuk dapat ditindaklanjuti dengan penelitian lanjutan, yaitu:

- a. Penelitian berikutnya dapat meneliti lebih jauh spesies mikroba (bakteri dan jamur) di ruangan tersebut. Dari pengidentifikasian jenis mikroba akan diketahui resiko kesehatan apa saja yang

mungkin timbul secara lebih pasti serta apakah toksisitas mikroba tersebut tinggi. Dari pengidentifikasian spesies maka juga dapat diketahui secara lebih jelas faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi jumlah mikroba di udara dalam ruangan yang mempengaruhi kualitas udara di ruangan tersebut.

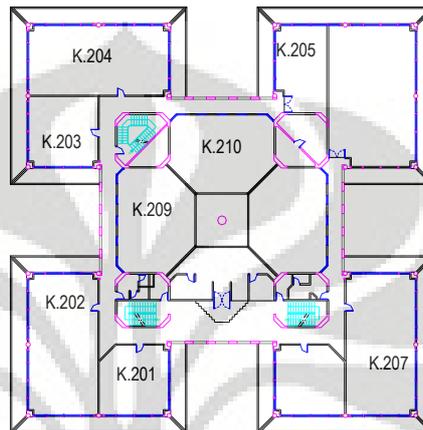
- b. Pada penelitian lanjutan dapat dilakukan survey terhadap para pemakai ruangan. Survey dapat berisi apakah kondisi udara dalam ruangan memberikan efek terhadap kesehatan pemakai. Hasil dari survey ini dapat dijadikan penguat mengapa perlu dilakukannya pemeriksaan kualitas udara dalam ruangan.

### 5.2.3 Bagi Masyarakat

- a. Dengan adanya kesadaran akan pentingnya menjaga kualitas udara dalam ruangan diharapkan masyarakat akan lebih menyadari perlunya melakukan perawatan dan pemeliharaan secara rutin pada bangunan.
- b. Dengan adanya pengenalan bahwa udara luar mempengaruhi kualitas udara dalam ruangan diharapkan adanya kesadaran untuk menghindari adanya kegiatan yang dapat menimbulkan sumber pencemar di dekat bangunan. Bila kegiatan tertentu menimbulkan sumber pencemar, maka perlu dicari cara agar tidak mempengaruhi kualitas udara dalam ruangan secara signifikan.

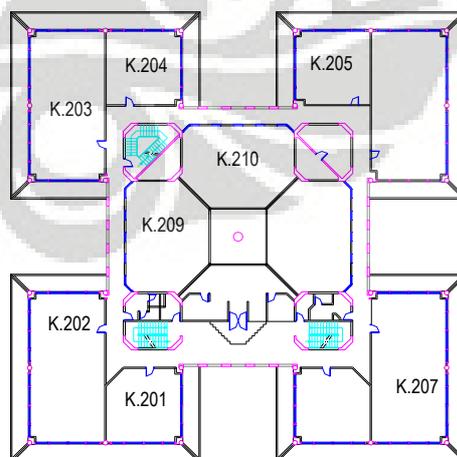
#### 5.2.4 Rekomendasi Desain

Dari tahap analisa diketahui bahwa pengaturan ruang di lantai 2 gedung perkuliahan K FTUI kurang memaksimalkan kondisi alam sehingga cahaya matahari sulit untuk masuk. Berikut merupakan rekomendasi desain yang dapat dilakukan.



Gambar 5.1. Pembagian Ruang Lantai 2 Gedung Perkuliahan K FTUI

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa pada kelas K.203 dan K.205 kurang mendapatkan cahaya matahari dikarenakan orientasi kelasnya kurang memungkinkan. Rekomendasi desain dibawah ini akan memaksimalkan kemungkinan cahaya matahari untuk masuk.



Gambar 5.2. Rekomendasi Desain Pembagian Ruang Lantai 2 Gedung K FTUI

Dengan pembagian ruangan seperti pada gambar rekomendasi, maka cahaya matahari dapat dimaksimalkan. Pembagian ruang ini juga mempertimbangkan jumlah mahasiswa yang semakin banyak dengan memperluas ruang kelas K.205. Selain itu letak papan tulis juga diatur sedemikian rupa sehingga tidak menutupi jendela seperti keadaan ruang kelas K.204 sekarang ini.



## DAFTAR PUSTAKA

- Arjanggi, Dipo. *Analisis dan Karakteristik Aliran Udara Alami dalam Ruang (studi kasus kantin FTUI dan kantin FEUI)*. Depok.
- Boutet, Terry S. (1987). *Controlling Air Movement: a Manual for Architects and Builders*. New York: Mc Graw Hill Book Company.
- Burrell, Robert. (1991). *Microbiological Agents As Health Risks in Indoor Air*. Environmental Health Perspectives Vol.95, pp. 29-34.
- Center for Building Performance and Diagnostics/Advanced Building Systems Integration Consortium. (2005). *eBIDS- Energy Building Investment Decision Support*. Pittsburgh, PA: Carnegie Mellon University.  
<http://cbpd.arc.cmu.edu/ebids/>
- Chen, Wang Kun, *et al.* *Field investigation of the bio-aerosol concentration of a school campus in taipei*. Taiwan.
- Collett, Christopher W, *et al.* (1994). *Quality Assurance Strategies for Investigating IAQ Problems*. ASHRAE Journal June 2004.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2008). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 24/PRT/M/2008 tentang Pedoman pemeliharaan dan perawatan bangunan gedung*. Indonesia: Departemen Pekerjaan Umum.
- Dainoff MJ. (1990). *Ergonomic improvements in VDT workstations: health and performance effects*. In: *Promoting Health and Productivity in the Computerized Office: Models of Successful Ergonomic Interventions* (Sauter SL, Dainhoff MJ, Smith MJ, eds). London: Taylor & Francis, 49-67.
- Mangunwijaya, YB. (1997). *Pengantar Fisika Bangunan*. Jakarta: Djambatan.
- Europe World Health Organization. (2005). *Air quality guidelines*. Denmark: Author.

- Fisk WJ, Rosenfeld AH. (1997). *Estimates of improved productivity and health from better indoor environments*. Indoor Air 7:158-172.
- Geshwiler, Mildred. (2006) . *ASHRAE Green guide: The design, construction, and operation of sustainable buildings*. Atlanta: ASHRAE
- H, Rolka, et al. (2005). *Indoor Air Studies of Fungi Contamination of Social Welfare Home in Czerewki in North-East Part of Poland*. Roczniki Akademii Medycznej w Białymstoku · Vol. 50, 2005, Suppl. 1
- Heschong L, Wright RL, Okura S. 2002. Daylighting impacts on retail sales performance. J Illum Engineer Soc 31:21-25.
- Kroeling P. (1988). *Health and well-being disorders in air-conditioned buildings; comparative investigations of the "building illness" syndrome*. Energy Buildings 11:277-282
- Lebowitz, Michael. (1991). *Biological Responses to Indoor Air Contaminants*. USA.
- Loftness, V, et al. (2007). *Elements that contribute to healthy building design*. Finland.
- Miller, D, et al. (2005). *Field guide for the determination of biological contaminants in environmental sampels*. Fairfax, Virginia: AIHA.
- Nevers, N. (2000). *Air pollution control engineering*. New York : McGraw-Hill.
- Pradhika, Indra. (2008). *Morfologi Mikroba*. <http://ekmonsaurus.blogspot.com/2008/11/bab-5-morfologi-mikroba.html>.
- Prasad, Munoo, et al. (2004). *Bioaerosols and Composting- A Literature Evaluation*. Composting Association Of Ireland TEO.
- Profil Daerah Kota Depok*. <http://regionalinvestment.com/sipid/id/area>.
- Salon Sinaga. (2009). *Pembuatan papan gypsm plafon dengan bahan pengisi limbah padat pabrik kertas rokok dan perekat polivinil alcohol*.

Spengler, J. (2001). *Indoor air quality handbook*. New York : McGraw-Hill.

Sundell, Jan. (1996). *What We Know, and Don't Know About Sick Building Syndrome*. ASHRAE Journal.

*The inside story: A guide to indoor air quality*. [www.epa.gov](http://www.epa.gov).

Tsai, FC, et al. (2002). *Concentrations of airborne bacteria in 100 u.s. office buildings*. USA.

Website Resmi Pemerintah Kota Depok. <http://www.depok.go.id/profil-kota/geografi>

Woloszyn, Monika dan Rode, Carsten. (2008). *Tools for Performance Simulation of Heat, Air and Moisture Conditions of Whole Buildings*.

Wyon DP. (1996). *Indoor Environmental Effects on Productivity*. In: *Proceedings of IAQ96. Paths to Better Building Environments, Baltimore, MD*. Atlanta: American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc., 5-15.



**LAMPIRAN  
(APPENDIX)**

## 1. Data Jumlah Jamur dan Bakteri Gedung Perkuliahan K

KELAS	TANGGAL PENGAMBILAN	SUHU (°C)	KELEMBABAN (%)	MIKROBA	CFU		CFU/m3		CFU/m3
K.101	14/01/2010	23,1	46	Bakteri	58	70	409,9	494,7	452,297
				Jamur	103	122	727,9	862,191	795,053
K.102	14/01/2010	23,5	48	Bakteri	107	74	756,2	522,968	639,576
				Jamur	92	115	650,2	812,721	731,449
K.103	18/01/2010	24,1	59	Bakteri	86	68	607,8	480,565	544,17
				Jamur	80	82	565,4	579,505	572,438
K.104	18/01/2010	23,2	56	Bakteri	46	53	325,1	374,558	349,823
				Jamur	109	96	770,3	678,445	724,382
K.105	18/01/2010	24,2	61	Bakteri	45	46	318	325,088	321,555
				Jamur	70	49	494,7	346,29	420,495
K.106	18/01/2010	23,7	58	Bakteri	40	50	282,7	353,357	318,021
				Jamur	64	74	452,3	522,968	487,633
K.107	14/01/2010	22,6	44	Bakteri	102	90	720,8	636,042	678,445
				Jamur	48	68	339,2	480,565	409,894
K.108	14/01/2010	23,5	49	Bakteri	34	52	240,3	367,491	303,887
				Jamur	69	88	487,6	621,908	554,77
K.201	19/01/2010	21,7	57	Bakteri	237	265	1675	1872,79	1773,85
				Jamur	256	226	1809	1597,17	1703,18
K.202	19/01/2010	21,4	55	Bakteri	104	135	735	954,064	844,523
				Jamur	165	119	1166	840,989	1003,53
K.203	19/01/2010			Bakteri	159	150	1124	1060,07	1091,87
				Jamur	188	185	1329	1307,42	1318,02
K.204	19/01/2010			Bakteri	107	110	756,2	777,385	766,784
				Jamur	144	144	1018	1017,67	1017,67
K.205	21/01/2010	24,2	62	Bakteri	228	226	1611	1597,17	1604,24
				Jamur	261	280	1845	1978,8	1911,66
K.207	21/01/2010	21,9	54	Bakteri	99	135	699,6	954,064	826,855
				Jamur	282	251	1993	1773,85	1883,39
K.209	21/01/2010	22,7	45	Bakteri	181	207	1279	1462,9	1371,02
				Jamur	213		1505		1505,3
K.210	21/01/2010	26	64	Bakteri	147	157	1039	1109,54	1074,2
				Jamur	208		1470		1469,96
rata2							Bakteri	810,071	
							Jamur	1031,8	
max							Bakteri	177,385	
							Jamur	188,339	
min							Bakteri	30,388	
							Jamur	40,989	

## 2. Data Jumlah Jamur dan Bakteri Gedung Perkuliahan A

KELAS	TANGGAL PENGAMBILAN	SUHU (°C)	KELEMBABAN (%)	MIKROBA	CFU		CFU/m <sup>3</sup>		CFU/m <sup>3</sup>
A.102	27/01/10	26	53	Bakteri	170	164	1201	1159,01	1180,21
				Jamur	162	168	1145	1187,28	1166,08
A.103	27/01/10	24,2	43	Bakteri	78	83	551,2	586,572	568,905
				Jamur	123	110	869,3	777,385	823,322
A.201	25/01/10	24,6	51	Bakteri	114	81	805,7	572,438	689,046
				Jamur	95	84	671,4	593,64	632,509
A.202	25/01/10	21,4	55	Bakteri	243	252	1717	1780,92	1749,12
				Jamur	228	171	1611	1208,48	1409,89
A.203	25/01/10	23,8	44	Bakteri	106	109	749,1	770,318	759,717
				Jamur	108	176	763,3	1243,82	1003,53
A.204	25/01/10	23,2	52	Bakteri	138	111	975,3	784,452	879,859
				Jamur	82	81	579,5	572,438	575,972
A.601	26/01/10	23,8	52	Bakteri	75	76	530	537,102	533,569
				Jamur	137	150	968,2	1060,07	1014,13
A.602	26/01/10	25,6	50	Bakteri	41	45	289,8	318,021	303,887
				Jamur	73	81	515,9	572,438	544,17
A.603	26/01/10	24,2	49	Bakteri	87	76	614,8	537,102	575,972
				Jamur	115	102	812,7	720,848	766,784
A.604	27/01/10	28,8	68	Bakteri	60	62	424	438,163	431,095
				Jamur	111		784,5		784,452
A.605	27/01/10	29,1	61	Bakteri	120	127	848,1	897,527	872,792
				Jamur	58	110	409,9	777,385	593,64
rata2							Bakteri	776,743	
							Jamur	846,772	
max							Bakteri	174,912	
							Jamur	140,989	
min							Bakteri	30,388	
							Jamur	54,417	

### 3. Data Jumlah Jamur dan Bakteri di Luar Gedung Perkuliahan K

KELAS	TANGGAL PENGAMBILAN	SUHU (°C)	KELEMBABAN (%)	MIKROBA	CFU		CFU/m <sup>3</sup>		CFU/m <sup>3</sup>
outdoor I	8/2/2010	30,9	78	Bakteri	65		765,6		765,607
				Jamur	40	35	471,1	412,25	441,696
outdoor II	8/2/2010	30,7	76	Bakteri	94	75	1107	883,392	995,289
				Jamur	87	56	1025	659,6	842,167
outdoor III	10/2/2010	36	50	Bakteri	16	27	188,5	318,021	253,239
				Jamur	46	92	541,8	1083,63	812,721
outdoor IV	10/2/2010	42,5	39	Bakteri	39	24	459,4	282,686	371,025
				Jamur	114	101	1343	1189,63	1266,2
rata2							Bakteri		596,29
							Jamur		840,695

### 4. Data Jumlah Jamur dan Bakteri di Luar Gedung Perkuliahan A

KELAS	TANGGAL PENGAMBILAN	SUHU (°C)	KELEMBABAN (%)	MIKROBA	CFU		CFU/m <sup>3</sup>		CFU/m <sup>3</sup>
outdoor I	16/02/2010	35,6	70	Bakteri	13	16	153,1	188,457	170,789
				Jamur	17	21	200,2	247,35	223,793
outdoor II	16/02/2010	43,8	48	Bakteri	28	35	329,8	412,25	371,025
				Jamur	45	40	530	471,143	500,589
outdoor III	16/02/2010	42	50	Bakteri	24	19	282,7	223,793	253,239
				Jamur	71	35	836,3	412,25	624,264
rata2							Bakteri		265,018
							Jamur		449,548

### 5. Data Jumlah Jamur dan Bakteri Gedung Perkuliahan K dan A saat Ada Orang

KELAS	TANGGAL PENGAMBILAN	SUHU (°C)	KELEMBABAN (%)	MIKROBA	CFU		CFU/m <sup>3</sup>		CFU/m <sup>3</sup>
K.203	13/04/2010	25,9	60	Bakteri	342	351	2417	2480,57	2448,76
				Jamur	312		2205		2204,95
A.103		27,3	68	Bakteri	354	363	2502	2565,37	2533,57
				Jamur	328		2318		2318,02
K.102		23,9	55	Bakteri	346		2445		2445,23
				Jamur					

6. Tabel Nilai-nilai Dalam Distribusi T

$\alpha$ untuk uji dua pihak (two tail test)						
	0,50	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01
$\alpha$ untuk uji satu pihak (one tail test)						
dk	0,25	0,10	0,05	0,025	0,01	0,005
1	1,000	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657
2	0,816	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925
3	0,765	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841
4	0,741	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604
5	0,727	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032
6	0,718	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707
7	0,711	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499
8	0,706	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355
9	0,703	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250
10	0,700	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169
11	0,697	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106
12	0,695	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055
13	0,692	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012
14	0,691	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977
15	0,690	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947
16	0,689	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921
17	0,688	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898
18	0,688	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878
19	0,687	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861
20	0,687	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845
21	0,686	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831
22	0,686	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819
23	0,685	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807
24	0,685	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797
25	0,684	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787
26	0,684	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779
27	0,684	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771
28	0,683	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763
29	0,683	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756
30	0,683	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750
40	0,681	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704
60	0,679	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660
120	0,677	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617
$\infty$	0,674	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576

7. Tabel Nilai-nilai Untuk Distribusi F

Baris atas untuk 5%  
Baris bawah untuk 1%

V <sub>1</sub> = dk Penyebut	V <sub>2</sub> = dk pembilang																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	20	24	30	40	50	60	78	100	200	500	0
1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	246	248	249	250	251	252	253	253	253	254	254	254
2	4,088	4,989	5,403	5,784	6,088	6,334	6,525	6,681	6,822	6,956	7,082	7,199	7,308	7,410	7,506	7,598	7,686	7,770	7,850	7,927	8,001	8,072	8,140	8,205	8,268
3	18,51	19,00	19,19	19,35	19,50	19,63	19,75	19,87	19,98	20,09	20,19	20,29	20,38	20,47	20,55	20,63	20,71	20,78	20,85	20,92	20,99	21,06	21,13	21,19	21,25
4	88,48	89,00	89,17	89,25	89,33	89,39	89,44	89,48	89,51	89,54	89,56	89,58	89,60	89,61	89,62	89,63	89,64	89,65	89,66	89,67	89,68	89,69	89,70	89,71	89,72
5	10,13	9,59	9,28	9,12	9,01	8,94	8,88	8,84	8,81	8,79	8,78	8,77	8,76	8,75	8,74	8,73	8,72	8,71	8,70	8,69	8,68	8,67	8,66	8,65	8,64
6	34,18	30,81	28,48	26,71	25,24	24,01	22,97	22,06	21,24	20,50	19,84	19,24	18,70	18,21	17,77	17,38	17,03	16,72	16,44	16,18	15,94	15,72	15,51	15,31	15,12
7	7,71	6,84	6,39	6,09	5,88	5,71	5,58	5,48	5,40	5,33	5,27	5,21	5,16	5,11	5,06	5,01	4,96	4,91	4,86	4,81	4,76	4,71	4,66	4,61	4,56
8	21,20	18,00	16,58	15,28	14,08	13,01	12,07	11,24	10,50	9,84	9,24	8,70	8,21	7,77	7,38	7,03	6,72	6,44	6,18	5,94	5,72	5,51	5,31	5,12	4,93
9	5,81	5,19	4,81	4,53	4,30	4,14	4,01	3,91	3,83	3,76	3,70	3,64	3,59	3,54	3,49	3,44	3,39	3,34	3,29	3,24	3,19	3,14	3,09	3,04	2,99
10	19,28	13,27	12,06	11,38	10,67	10,07	9,52	9,01	8,54	8,11	7,71	7,33	6,98	6,65	6,34	6,04	5,76	5,49	5,23	4,98	4,74	4,51	4,28	4,05	3,82
11	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06	4,03	4,00	3,98	3,95	3,92	3,89	3,86	3,83	3,80	3,77	3,74	3,71	3,68	3,65	3,62
12	13,74	10,92	9,78	9,15	8,75	8,47	8,26	8,10	7,98	7,87	7,78	7,72	7,66	7,61	7,56	7,51	7,46	7,41	7,36	7,31	7,26	7,21	7,16	7,11	7,06
13	5,59	4,74	4,36	4,14	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,63	3,60	3,57	3,54	3,51	3,48	3,44	3,41	3,38	3,34	3,31	3,28	3,25	3,22	3,19	3,16
14	12,25	9,55	8,45	7,85	7,46	7,19	7,00	6,84	6,71	6,62	6,54	6,47	6,40	6,33	6,27	6,21	6,15	6,09	6,03	5,97	5,91	5,85	5,79	5,73	5,66
15	5,32	4,48	4,07	3,84	3,66	3,56	3,48	3,42	3,36	3,31	3,28	3,23	3,20	3,16	3,12	3,08	3,05	3,01	2,98	2,94	2,90	2,86	2,82	2,78	2,74
16	11,26	8,65	7,56	7,01	6,63	6,37	6,19	6,03	5,91	5,82	5,74	5,67	5,60	5,54	5,48	5,42	5,36	5,30	5,23	5,17	5,11	5,05	4,99	4,93	4,86
17	5,12	4,28	3,86	3,63	3,46	3,37	3,29	3,23	3,18	3,13	3,10	3,07	3,02	2,98	2,93	2,89	2,84	2,79	2,73	2,68	2,62	2,56	2,50	2,44	2,37
18	10,56	8,02	6,99	6,42	6,08	5,82	5,64	5,47	5,35	5,25	5,18	5,11	5,04	4,98	4,92	4,86	4,80	4,74	4,68	4,62	4,56	4,50	4,44	4,38	4,31
19	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,97	2,94	2,91	2,89	2,87	2,84	2,81	2,78	2,75	2,72	2,69	2,66	2,63	2,60	2,57	2,54
20	10,04	7,56	6,55	5,98	5,64	5,39	5,21	5,05	4,95	4,85	4,78	4,71	4,65	4,59	4,52	4,46	4,40	4,34	4,28	4,22	4,16	4,10	4,04	3,98	3,91
21	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90	2,85	2,82	2,79	2,77	2,74	2,70	2,65	2,61	2,57	2,53	2,50	2,47	2,44	2,41	2,38	2,34
22	9,65	7,20	6,22	5,67	5,32	5,07	4,88	4,74	4,63	4,54	4,45	4,40	4,34	4,28	4,21	4,14	4,07	4,01	3,95	3,89	3,83	3,77	3,70	3,64	3,58

(lanjutan)

$V_1 = dk$  pembilang

$V_2 = dk$ Penyebut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	20	24	30	40	50	75	100	200	500	0	
12	4,75	3,69	3,49	3,28	3,11	3,00	2,92	2,85	2,80	2,78	2,72	2,69	2,64	2,60	2,54	2,50	2,46	2,42	2,40	2,36	2,35	2,32	2,31	2,30	2,30
13	6,33	6,03	5,95	5,41	5,06	4,82	4,65	4,50	4,39	4,30	4,22	4,16	4,05	3,98	3,86	3,78	3,70	3,61	3,56	3,49	3,46	3,41	3,38	3,35	3,35
14	9,07	8,71	8,74	8,00	7,54	7,27	7,04	6,83	6,72	6,63	6,56	6,50	6,40	6,33	6,24	6,16	6,07	5,98	5,93	5,86	5,82	5,77	5,74	5,74	5,74
15	8,88	8,51	8,58	8,03	7,57	7,30	7,07	6,86	6,75	6,66	6,60	6,54	6,44	6,37	6,28	6,20	6,11	6,02	5,97	5,90	5,86	5,81	5,78	5,78	5,78
16	4,54	3,88	3,29	3,05	2,90	2,79	2,70	2,64	2,59	2,55	2,51	2,48	2,43	2,39	2,33	2,28	2,25	2,21	2,18	2,15	2,12	2,10	2,08	2,07	2,07
17	4,48	3,83	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54	2,49	2,45	2,42	2,37	2,33	2,28	2,24	2,20	2,16	2,13	2,09	2,07	2,04	2,02	2,01	2,01
18	6,53	6,23	6,28	4,77	4,44	4,20	4,03	3,89	3,78	3,69	3,61	3,55	3,45	3,37	3,25	3,18	3,10	3,01	2,96	2,89	2,86	2,80	2,77	2,75	2,75
19	4,41	3,56	3,16	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46	2,41	2,37	2,34	2,29	2,25	2,19	2,15	2,11	2,07	2,04	2,00	1,98	1,95	1,93	1,92	1,92
20	8,28	8,01	8,09	4,53	4,25	4,01	3,85	3,71	3,60	3,51	3,44	3,37	3,27	3,19	3,07	3,00	2,91	2,83	2,78	2,71	2,68	2,62	2,59	2,57	2,57
21	4,35	3,48	3,10	2,87	2,71	2,60	2,52	2,45	2,40	2,35	2,31	2,28	2,23	2,18	2,12	2,08	2,04	2,00	1,96	1,92	1,90	1,87	1,85	1,84	1,84
22	8,10	7,83	7,91	4,43	4,15	3,91	3,75	3,61	3,50	3,41	3,34	3,27	3,17	3,09	2,97	2,90	2,81	2,73	2,68	2,61	2,58	2,53	2,49	2,49	2,49
23	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,49	2,42	2,37	2,32	2,28	2,25	2,20	2,15	2,09	2,05	2,00	1,96	1,93	1,89	1,87	1,84	1,82	1,81	1,81
24	8,02	7,78	7,87	4,37	4,09	3,85	3,69	3,55	3,44	3,34	3,27	3,17	3,07	2,99	2,88	2,80	2,72	2,63	2,58	2,51	2,47	2,42	2,38	2,36	2,36
25	7,94	7,72	7,82	4,31	4,03	3,79	3,63	3,49	3,38	3,28	3,18	3,12	3,02	2,94	2,83	2,76	2,67	2,58	2,53	2,46	2,41	2,37	2,33	2,31	2,31
26	4,28	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,45	2,38	2,32	2,28	2,24	2,20	2,14	2,10	2,04	2,00	1,98	1,94	1,91	1,87	1,84	1,81	1,80	1,78	1,78
27	7,98	7,76	7,86	4,26	3,98	3,74	3,58	3,44	3,33	3,23	3,14	3,07	2,97	2,89	2,78	2,70	2,62	2,53	2,48	2,41	2,37	2,32	2,28	2,26	2,26
28	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,43	2,36	2,30	2,26	2,22	2,18	2,13	2,08	2,02	1,98	1,94	1,90	1,86	1,82	1,80	1,77	1,74	1,73	1,73
29	7,82	7,60	7,70	4,24	3,96	3,72	3,56	3,42	3,31	3,21	3,11	3,03	2,93	2,85	2,74	2,66	2,58	2,49	2,44	2,36	2,33	2,27	2,23	2,21	2,21
30	7,77	7,55	7,65	4,22	3,94	3,70	3,54	3,40	3,29	3,19	3,09	3,01	2,91	2,83	2,72	2,64	2,56	2,47	2,42	2,34	2,31	2,25	2,21	2,19	2,19
31	4,22	3,37	2,98	2,74	2,58	2,47	2,39	2,32	2,27	2,22	2,18	2,15	2,10	2,05	1,99	1,95	1,90	1,85	1,82	1,78	1,76	1,72	1,70	1,69	1,69
32	7,72	7,50	7,60	4,14	3,86	3,62	3,46	3,32	3,21	3,11	3,01	2,93	2,83	2,75	2,64	2,56	2,47	2,41	2,33	2,28	2,21	2,15	2,11	2,09	2,09

(lanjutan)

$V_1 = \text{dk pemotong}$

$V_2$ ds Penyebut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	20	24	30	40	50	60	75	100	200	500	∞
27	4,21	2,20	2,06	2,73	2,07	2,40	2,37	2,90	2,25	2,20	2,18	2,13	2,08	2,03	1,97	1,93	1,88	1,84	1,80	1,76	1,76	1,74	1,71	1,68	1,67
28	7,68	6,40	4,00	4,11	3,79	3,60	3,50	3,50	3,14	3,00	2,93	2,83	2,83	2,74	2,65	2,55	2,47	2,38	2,33	2,31	2,28	2,21	2,16	2,19	2,10
28	4,95	3,34	2,95	2,71	2,66	2,44	2,36	2,30	2,24	2,19	2,15	2,10	2,05	2,02	1,96	1,91	1,87	1,81	1,78	1,76	1,76	1,72	1,69	1,67	1,66
29	7,64	5,40	4,07	4,07	3,76	3,59	3,53	3,53	3,23	3,00	2,95	2,90	2,85	2,71	2,60	2,46	2,38	2,30	2,25	2,23	2,20	2,15	2,10	2,09	2,00
30	4,18	3,33	2,93	2,70	2,64	2,43	2,36	2,30	2,28	2,10	2,14	2,08	2,03	2,00	1,94	1,89	1,85	1,80	1,77	1,76	1,75	1,71	1,65	1,64	1,64
30	7,65	5,48	4,04	4,04	3,73	3,60	3,53	3,53	3,28	3,00	2,92	2,87	2,79	2,65	2,57	2,49	2,41	2,33	2,27	2,25	2,22	2,15	2,10	2,09	2,00
32	7,68	5,39	4,31	4,02	3,70	3,47	3,35	3,27	3,21	2,18	2,12	2,06	2,04	1,99	1,93	1,88	1,84	1,79	1,76	1,72	1,69	1,69	1,64	1,62	2,01
32	4,10	3,30	2,90	2,87	2,51	2,40	2,32	2,25	2,19	2,14	2,10	2,07	2,03	1,97	1,91	1,86	1,82	1,78	1,74	1,74	1,69	1,67	1,64	1,61	1,59
34	7,60	5,34	4,48	3,97	3,66	3,48	3,33	3,21	3,01	2,94	2,88	2,80	2,70	2,62	2,51	2,43	2,34	2,26	2,20	2,18	2,12	2,08	2,00	1,98	1,89
34	4,13	3,28	2,88	2,68	2,49	2,38	2,30	2,23	2,17	2,12	2,08	2,05	2,00	1,95	1,89	1,84	1,80	1,74	1,71	1,69	1,67	1,64	1,61	1,59	1,57
34	7,44	5,29	4,42	3,92	3,61	3,43	3,21	3,08	2,87	2,80	2,72	2,65	2,55	2,47	2,35	2,26	2,17	2,10	2,03	2,01	1,95	1,82	1,84	1,81	1,81
35	4,11	3,26	2,85	2,63	2,45	2,35	2,28	2,21	2,15	2,10	2,05	2,03	1,98	1,93	1,87	1,82	1,78	1,72	1,69	1,65	1,62	1,54	1,50	1,48	1,47
35	7,38	5,25	4,38	3,88	3,55	3,35	3,18	3,04	2,84	2,80	2,72	2,62	2,54	2,43	2,33	2,23	2,14	2,08	2,00	1,97	1,82	1,84	1,81	1,81	1,81
38	4,10	3,25	2,85	2,62	2,43	2,35	2,28	2,18	2,14	2,08	2,05	2,02	1,95	1,92	1,85	1,80	1,75	1,71	1,67	1,63	1,58	1,54	1,49	1,48	1,47
38	7,35	5,21	4,34	3,83	3,54	3,32	3,15	3,02	2,81	2,80	2,75	2,68	2,58	2,51	2,40	2,32	2,22	2,14	2,08	1,97	1,82	1,84	1,81	1,81	1,81
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,43	2,34	2,25	2,15	2,12	2,07	2,04	2,00	1,93	1,90	1,84	1,79	1,74	1,69	1,65	1,61	1,59	1,54	1,49	1,48	1,47
40	7,31	5,18	4,31	3,83	3,51	3,29	3,12	2,99	2,80	2,80	2,72	2,65	2,55	2,48	2,37	2,29	2,20	2,11	2,05	1,97	1,82	1,84	1,81	1,81	1,81
42	4,07	3,22	2,83	2,59	2,44	2,32	2,24	2,17	2,11	2,06	2,02	1,99	1,94	1,89	1,83	1,78	1,73	1,68	1,64	1,61	1,59	1,54	1,49	1,48	1,47
44	7,27	5,15	4,29	3,80	3,48	3,26	3,10	2,96	2,80	2,77	2,70	2,64	2,54	2,48	2,35	2,26	2,17	2,08	2,02	1,94	1,81	1,83	1,80	1,80	1,80
44	4,06	3,21	2,82	2,58	2,43	2,31	2,23	2,15	2,10	2,05	2,01	1,98	1,92	1,89	1,81	1,76	1,72	1,68	1,63	1,60	1,58	1,54	1,49	1,48	1,47
46	7,24	5,12	4,26	3,76	3,48	3,24	3,07	2,94	2,84	2,75	2,68	2,60	2,50	2,44	2,30	2,21	2,12	2,06	2,00	1,92	1,81	1,83	1,80	1,80	1,80
46	4,05	3,20	2,81	2,57	2,42	2,30	2,22	2,14	2,09	2,04	2,00	1,97	1,91	1,87	1,81	1,76	1,71	1,66	1,62	1,58	1,54	1,49	1,48	1,47	1,46
46	7,21	5,10	4,24	3,74	3,44	3,22	3,05	2,92	2,82	2,73	2,65	2,55	2,48	2,40	2,25	2,16	2,07	2,01	1,93	1,81	1,83	1,80	1,80	1,80	1,80
48	4,04	3,19	2,80	2,56	2,41	2,30	2,21	2,14	2,08	2,03	1,99	1,96	1,90	1,85	1,79	1,74	1,70	1,64	1,61	1,58	1,53	1,49	1,47	1,46	1,45
48	7,18	5,08	4,22	3,74	3,43	3,20	3,04	2,91	2,80	2,71	2,64	2,55	2,48	2,40	2,24	2,15	2,06	2,00	1,92	1,81	1,83	1,80	1,80	1,80	1,80
50	4,03	3,18	2,79	2,55	2,40	2,30	2,20	2,13	2,07	2,02	1,98	1,93	1,89	1,83	1,78	1,74	1,69	1,65	1,60	1,58	1,53	1,49	1,47	1,46	1,45
50	7,17	5,06	4,20	3,72	3,41	3,18	3,02	2,88	2,76	2,70	2,63	2,56	2,46	2,38	2,21	2,12	2,03	1,97	1,89	1,81	1,83	1,80	1,80	1,80	1,80
58	4,02	3,17	2,78	2,54	2,38	2,27	2,18	2,11	2,05	2,00	1,97	1,93	1,86	1,83	1,78	1,72	1,67	1,63	1,58	1,56	1,51	1,47	1,46	1,45	1,44
58	7,12	5,01	4,16	3,68	3,37	3,15	2,99	2,86	2,75	2,69	2,62	2,53	2,43	2,35	2,18	2,09	2,00	1,94	1,86	1,78	1,81	1,80	1,80	1,80	1,80

(lanjutan)

$V_i = dk$  pembilang

$V_i = dk$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	20	24	30	40	50	75	100	200	500	$\infty$	
60	4,00	3,15	2,76	2,52	2,37	2,25	2,17	2,10	2,04	1,99	1,95	1,92	1,85	1,81	1,75	1,70	1,65	1,60	1,59	1,56	1,50	1,48	1,44	1,41	1,38
65	7,08	4,98	4,13	3,65	3,34	3,12	2,95	2,82	2,72	2,63	2,56	2,50	2,40	2,32	2,20	2,12	2,03	1,93	1,87	1,81	1,79	1,74	1,68	1,63	1,60
70	7,04	4,95	4,10	3,62	3,31	3,09	2,93	2,79	2,70	2,61	2,54	2,47	2,37	2,30	2,18	2,09	2,00	1,90	1,84	1,78	1,76	1,71	1,64	1,60	1,56
80	3,98	3,13	2,74	2,50	2,35	2,23	2,14	2,07	2,01	1,97	1,93	1,89	1,84	1,79	1,72	1,67	1,62	1,56	1,53	1,53	1,47	1,45	1,40	1,37	1,35
80	7,01	2,92	4,08	3,60	3,29	3,07	2,91	2,77	2,67	2,59	2,51	2,45	2,35	2,28	2,15	2,07	1,98	1,88	1,82	1,82	1,74	1,69	1,62	1,56	1,53
100	3,96	3,11	2,72	2,48	2,33	2,21	2,12	2,05	1,99	1,95	1,91	1,88	1,82	1,77	1,70	1,65	1,60	1,54	1,51	1,51	1,45	1,42	1,38	1,35	1,32
100	6,98	4,88	4,04	3,56	3,25	3,04	2,87	2,74	2,64	2,55	2,48	2,41	2,32	2,24	2,11	2,03	1,94	1,84	1,78	1,78	1,70	1,65	1,57	1,52	1,49
125	3,94	3,09	2,70	2,46	2,30	2,18	2,10	2,03	1,97	1,92	1,88	1,85	1,79	1,75	1,68	1,63	1,57	1,51	1,48	1,48	1,42	1,39	1,34	1,30	1,28
125	6,90	4,82	3,98	3,51	3,20	2,99	2,82	2,69	2,59	2,51	2,43	2,36	2,28	2,19	2,06	1,96	1,89	1,79	1,73	1,73	1,64	1,59	1,51	1,46	1,43
150	3,92	3,07	2,68	2,44	2,29	2,17	2,08	2,01	1,95	1,90	1,86	1,83	1,77	1,72	1,65	1,60	1,55	1,49	1,46	1,46	1,39	1,36	1,31	1,27	1,25
150	6,84	4,76	3,94	3,47	3,17	2,95	2,79	2,66	2,55	2,47	2,40	2,33	2,23	2,15	2,03	1,94	1,86	1,75	1,70	1,70	1,59	1,54	1,46	1,40	1,37
200	3,91	3,06	2,67	2,43	2,27	2,16	2,07	2,00	1,94	1,89	1,85	1,82	1,76	1,71	1,64	1,59	1,54	1,47	1,44	1,44	1,37	1,34	1,29	1,25	1,22
200	6,81	4,75	3,91	3,44	3,14	2,92	2,76	2,62	2,53	2,44	2,37	2,30	2,2	2,12	2,00	1,91	1,83	1,72	1,66	1,66	1,56	1,51	1,43	1,37	1,33
400	3,89	3,04	2,65	2,41	2,25	2,14	2,05	1,98	1,92	1,87	1,83	1,8	1,74	1,69	1,62	1,57	1,52	1,45	1,42	1,42	1,35	1,32	1,28	1,22	1,19
400	6,76	4,71	3,88	3,41	3,11	2,9	2,73	2,60	2,50	2,41	2,34	2,28	2,17	2,09	1,97	1,88	1,79	1,69	1,62	1,62	1,53	1,48	1,39	1,33	1,28
1000	3,86	3,02	2,62	2,39	2,23	2,12	2,03	1,96	1,90	1,85	1,81	1,78	1,73	1,67	1,60	1,54	1,49	1,42	1,38	1,38	1,32	1,28	1,23	1,18	1,13
1000	6,70	4,68	3,83	3,36	3,06	2,85	2,69	2,55	2,46	2,37	2,29	2,23	2,12	2,04	1,92	1,84	1,74	1,64	1,57	1,57	1,47	1,42	1,32	1,24	1,19
$\infty$	6,66	4,62	3,80	3,34	3,04	2,82	2,66	2,53	2,43	2,34	2,26	2,20	2,09	2,01	1,89	1,81	1,71	1,61	1,54	1,54	1,44	1,38	1,28	1,19	1,11
$\infty$	3,84	2,99	2,60	2,37	2,21	2,09	2,01	1,94	1,88	1,83	1,79	1,75	1,69	1,64	1,57	1,52	1,46	1,40	1,35	1,35	1,28	1,24	1,17	1,11	1,00
$\infty$	6,64	4,60	3,78	3,32	3,02	2,80	2,64	2,51	2,41	2,32	2,24	2,18	2,07	1,99	1,87	1,79	1,69	1,59	1,52	1,52	1,41	1,35	1,25	1,15	1,00



9. Prosedur Dan Metode Pemeliharaan, Perawatan Dan Pemeriksaan Periodik Bangunan Gedung Menurut Peraturan Menteri P.U. No.24/PRT/M/2008 tentang Pedoman Pemeliharaan dan Perawatan Bangunan Gedung.

Meliputi aktivitas pemeriksaan, pengujian, pemeliharaan dan perawatan untuk seluruh komponen bangunan gedung.

Dinding Kaca

- Pada bangunan yang tinggi siapkan gondola secara aman sesuai dengan prosedur yang ditetapkan.
- Periksa semua karet atau *sealant* perekat kaca yang bersangkutan, bila terdapat kerusakan *sealant* atau karet perekat kaca perbaiki dengan *sealant* baru dengan tipe yang sesuai.
- Bersihkan kaca dengan bahan deterjen dan bersihkan dengan sikat karet. Jangan menggunakan bahan pembersih yang mengandung *tinner* atau *benzene* karena akan merusak elastisitas karet atau *sealant*.

Dinding Keramik

- Bersihkan setiap hari sebanyak minimal 2 (dua) kali.
- Gunakan bahan pembersih yang tidak merusak semen pengikat keramik. Disarankan yang tidak mengandung air keras atau asam kuat. 1) Sikat permukaan keramik dengan sikat plastik halus dan bilas dengan air bersih. 2) Gunakan *disinfectant* untuk membunuh bakteri yang ada dilantai atau dinding yang bersangkutan minimal 2 (dua) bulan sekali. 3) Keringkan permukaan dengan kain pel kering.

Pemeliharaan Plafon Akustik.

- Sebelum pekerjaan dimulai, siapkanlah peralatan kerja selengkapnya: *absolute, Sprayer, Activator, Enzyme* /Deterjen, spons, ember, kain majun, check mesin harus siap laik pakai, bila kedapatan ada kabel yang terkelupas harus diperbaiki dahulu, karena sangat berbahaya bagi keselamatan.

(lanjutan)

- Semprotkan formula *enzyme* / deterjen ke permukaan plafon akustik, tunggu beberapa detik, kemudian sapukan merata, gunakan *extension poles* pasang spons (*drop clothes*), sehingga kotoran yang melekat akan terangkat sampai ke pori-porinya. Ulangi lagi apabila masih kotor.
- Campurkan *formula activator* untuk memudahkan pengangkatan kotoran kuat, tunggu beberapa detik lalu disapukan dengan spons, dan spons yang telah kotor dibilas air bersih setelah itu dapat digunakan lagi.
- Untuk menjaga kebersihan lantai, jangan terlalu banyak menggunakan cairan, gunakanlah secara bertahap atau gunakan alas plastik di bawahnya.
- Lakukan pembersihan setiap 2 (dua) bulan sekali.

#### Pemeliharaan Plafon Gypsum.

Perhatikan plafon gipsium yang berada pada sisi luar bangunan gedung, bila terkena air akibat atap yang bocor, segera ganti dengan yang baru atau diperbaiki.

Cara memperbaikinya:

- Kupas/korek bagian yang telah rusak karena air.
- Tutup dengan bahan serbuk gipsium (*gypsum powder*) yang telah diaduk dengan air.
- Ratakan dengan menggunakan kape atau plastik keras hingga rata dengan permukaan di sekitarnya.
- Tunggu hingga kering, kemudian ampelas dengan ampelas no. 2.
- Tutup dengan plamur tembok dan cat kembali sesuai dengan warna yang dikehendaki.

#### Pemeliharaan Kusen Aluminium.

- Kusen aluminium harus diperlihara pada bagian karet penjepit kaca (*sealant*).
- Kusen aluminun harus dibersihkan dengan *finishing powder coating* setiap 1 (satu) buan sekali.
- Pada tempat-tempat yang menghasilkan debu, pembersihan dilakukan setiap hari.

(lanjutan)

- Jangan menggunakan bahan pembersih yang korosif kecuali dengan sabun cair atau pembersih kaca.

#### Pemeliharaan Kebersihan Partisi.

- Sebelum pekerjaan dimulai, siapkan peralatan kerja selengkapnya yaitu: *vacuum cleaner*, kain majun, sikat nylon, deterjen, shampo, *furniture polish*, spons, ember, *bottle sprayer*.
- Pertama-tama perhatikan *finishing* dinding partisi, sesuaikan cara pembersihan dan penggunaan bahan kimia yang sesuai.
- Pembersihan wall paper didahulukan dengan *vacuum cleaner*, untuk menghilangkan debu yang menempel pada dinding *wall paper* gunakan *stick* yang memakai sikat nylon (*brush*).
- Hilangkan noda dengan menggunakan spons campur busa noda cairan shampo yang diencerkan oleskan tepat di atas dan kerjakan dengan hati-hati, jangan terlalu banyak menggunakan air, apabila ingin mengulang tunggu kering dahulu. Apabila noda tetap tidak hilang sebaiknya jangan diteruskan, laporkan kepada atasan untuk penanganan lebih lanjut.
- Untuk pembersihan profil kayu, plin kayu, panel kayu, kusen plitur gunakan *furniture polish* atau yang setara secukupnya, gunakan lap bersih dan kering.
- Pembersihan daun pintu diutamakan, terutama *handle* daun pintu bagian bawah seringkali terjadi noda/spot akibat sentuhan ujung sepatu yang bersemir.
- Bersihkan kaca dan partisi aluminium atau kusen kayu, pada waktu membersihkan kaca.
- Untuk kusen kayu pakailah *furniture polish*, gunakan lap kering.
- Wall paper yang mengelupas harus dilem lagi, bila keadaannya masih utuh.

(lanjutan)

#### Pemeliharaan Kebersihan Perabot dan Peralatan Kantor

- Sebelum pekerjaan dimulai, siapkan peralatan kerja yang diperlukan selengkapnya yaitu: kain majun, shampo karpet, *furniture polish, freshphone, multi purpose cleaner, metal polish, baby oil, otosol*.
- Bersihkan semua kotoran / sampah yang berada di meja sebelum pekerjaan pengelapan dilakukan, periksa laci meja bersihkan agar bebas dari debu.
- Bersihkan semua permukaan kayu furniture dilakukan dengan seksama sampai pada cela-cela kayu, agar bebas debu dan mengkilap, gunakan *furniture polish* atau yang setara untuk kayu, logam / *stainless steel* dengan *metal polish* atau yang setara.
- Bersihkan kaki kursi dengan teliti, apabila dari logam *stainless steel* gunakan lap kering ditambah metal polish atau yang setara, apabila logam bercat gunakan lap basah dan lap kering kembali, bila kayu bersihkan dengan *furniture polish*.
- Bersihkan *filling cabinet*, bersihkan bagian atasnya sesering mungkin, karena biasanya banyak terdapat debu, gunakan lap ½ basah.
- Bersihkan debu pada cabinet dengan menggunakan lap ½ basah, mulai bagian atasnya kemudian dindingnya.
- Semprotkan pengharum ruangan.

#### Pemeliharaan Kebersihan Lantai Keramik

- Sebelum pekerjaan dimulai, siapkan peralatan kerja selengkapnya yaitu: Mesin poles, *dry & wet vacuum cleaner*, ember, *stripping pad, chemical cleaner*, sikat tangan, *sponge/tapas, stick mop, check* mesin-mesin harus siap pakai, bila kedapatan ada kabel yang terkelupas harus diperbaiki dahulu, karena sangat berbahaya bagi keselamatan.
- Kosongkan dan bersihkan semua tempat sampah / asbak dan benda lain yang berada pada lokasi kerja, kemudian disingkirkan untuk sementara dan ditempatkan kembali apabila pekerjaan telah selesai dikerjakan. *Vacuum*/sapu lantai keramik terlebih dahulu untuk menghilangkan debu c. Basahilah lantai

(lanjutan)

keramik merata, gunakan bahan kimia *chemical cleaner* atau yang setara dicampur air (1:20) tunggu  $\pm$  5 (lima) menit, lakukan *brushing* dengan pad halus.

- Lakukan pembersihan sudut-sudut lantai yang tidak terjangkau oleh mesin poles, gunakan sikat dorong (sikat tangan/tapas) pakai sarung tangan karet untuk mencegah kulit tangan terlindung dari bahan kimia yang digunakan.
- Gunakan *wet vacuum cleaner* untuk menghisap cairan kotoran lantai keramik yang terangkat.
- Pel berulang kali, minimal 3 (tiga) kali, bilas dengan air bersih gunakan *stick mop* katun.

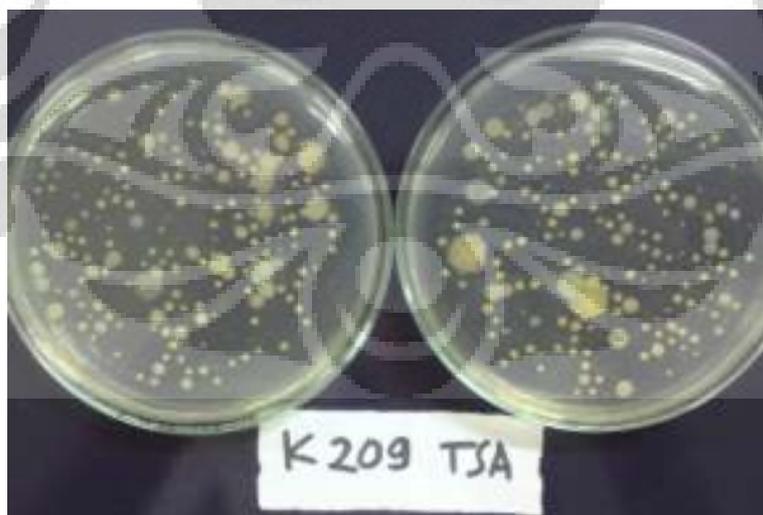
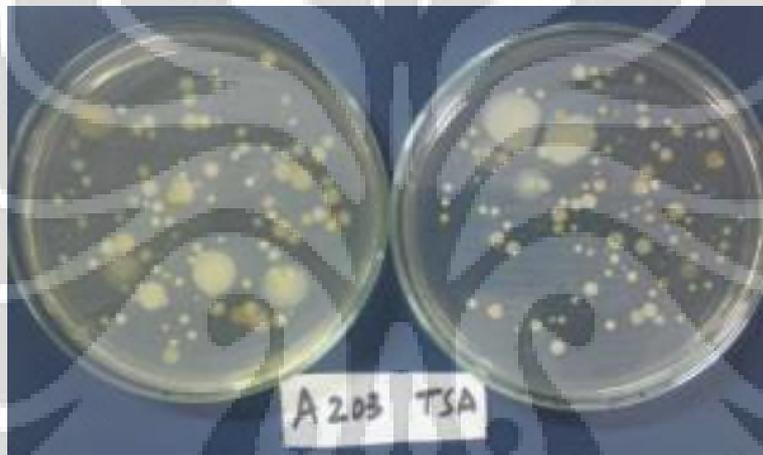
#### Pemeliharaan Kebersihan Dinding Kaca Dalam

- Sebelum pekerjaan dimulai, siapkanlah peralatan kerja selengkapnya yaitu: ember, *wash applicator*, *wiper* kaca atau *unger kit*, kain majun, tapas, *bottle sprayer*, *glass cleaner*.
- Bersihkan debu yang melekat pada *frame* kaca dengan larutan *multi purpose cleaner* campuran 1:20, gunakan kain majun, kemudian keringkan.
- Bersihkan noda kaca yang terkena cat, lem, plitur, dempul, gunakan *trim scrapper & blade* (silet kaca).
- Bersihkan dinding kaca dalam, celupkan *wash applicator* atau *unger kit* dalam larutan *glass cleaner*, campuran 1:20, basahkan / semprotkan tipis, gunakan *bottle sprayer*, gosok dinding kaca dalam yang akan dibersihkan, setelah itu tarik dengan *wiper* kaca secara vertikal, hingga kaca benar - benar bersih.
- Untuk menjaga kebersihan lantai, bagian bawah dinding kaca diberi alas plastik, sisa air yang menempel pada plin kayu, harus dilap sampai kering.

### Pemeliharaan Kebersihan Dinding Cat

- Sebelum pekerjaan dimulai, siapkanlah peralatan kerja selengkapnya yaitu: tangga, rakbol, ember, kain majun, *stick mop*, deterjen, tapas, *sponge*.
- Bersihkan debu yang melekat pada dinding bercat minyak (*waterseal*) dengan menggunakan kain majun. Pembersihan ini untuk *daily maintenance*.
- Bersihkan noda yang terdapat pada dinding bercat minyak, gunakan campuran deterjen dengan air secukupnya sapukan merata, apabila terlalu banyak menggunakan air akibatnya akan merusak permukaan cat.
- Caranya hilangkan noda secara bertahap, tunggu kering dahulu baru diulang kembali, gunakan *sponge* dan langsung keringkan dengan kain majun. Setelah itu bersihkan sisa larutan yang jatuh kelantai gunakan *stick mop*. Pembersihan ini dilakukan secara priodik bulanan.
- Bersihkan noda (*spot & kotoran*) yang terdapat pada dinding bercat minyak (*water seal*), gunakan larutan *washing compound* digosok dengan *sponge*, kemudian bilas dengan air bersih sampai larutan tidak tersisa dan biarkan dinding sampai kering kembali. Setelah itu bersihkan sisa larutan yang jatuh kelantai gunakan *stick mop*. Pembersihan ini dilakukan secara priodik bulanan.

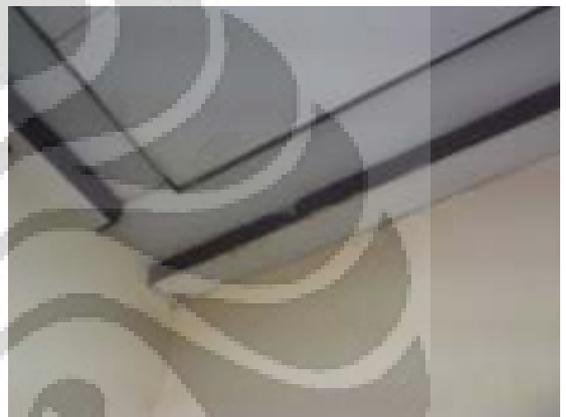
10. Foto Sampel Bakteri



11. Foto Sampel Jamur



## 12. Foto Kondisi Kelas



(lanjutan)



## AKRONIM

<b>AIHA</b>	American Industrial Hygiene Association
<b>CFU</b>	Colony Forming Unit
<b>EPA</b>	Environmental Protection Agency
<b>EMS</b>	Environmental Monitoring Systems
<b>HVAC</b>	Heating, Ventilation, and Air Conditioning
<b>IOM</b>	Institute of Medicine
<b>PAHs</b>	Polycyclic Aromatic Hydrocarbons
<b>PDA</b>	<i>Potato Dextrose Agar</i>
<b>PM</b>	Particulate Matter
<b>RTRW</b>	<i>Rencana Tata Ruang Wilayah</i>
<b>SBS</b>	<i>Sick Building Syndrome</i>
<b>TSA</b>	<i>Tryptic (Trypticase) Soy Agar</i>
<b>VOCs</b>	<i>Volatile Organic Compounds</i>