



Kualiti udara dalam bangunan di bangunan Sains Biologi, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia

Sytty Mazian Mazlan¹, Ainon Hamzah², Mastura Mahmud¹

¹Pusat Pengajian Sains Pembangunan dan Persekitaran, Fakulti Sains Sosial dan Kemanusiaan, Universiti Kebangsaan Malaysia,

²Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia

Correspondence: Sytty Mazian Mazlan (email: miss_mazian.mazlan@yahoo.com)

Abstrak

Kualiti udara dalaman adalah satu istilah yang merujuk kepada kualiti udara di dalam dan di sekitar bangunan dan struktur di mana ia amat berkaitan dengan kesihatan dan keselesaan orang yang berada di dalam bangunan. Kajian ini dijalankan untuk menentukan kualiti udara dalaman pada beberapa makmal di Bangunan Sains Biologi, Fakulti dan Teknologi, UKM di samping dalam mengenal pasti spesies bakteria dan kulat yang hadir serta mengkaji pandangan pengguna tentang kualiti udara dalaman. Pencerapan dilakukan dengan mengukur kepekatan karbon dioksida, suhu dan kelembapan relatif di makmal pada sesi petang dan malam, bilangan bakteria dan kulat di dalam udara dengan mendedahkan piring petri di dalam persekitaran makmal, pengenalpastian genus bakteria dan kulat melalui ujian biokimia dan kit komersial. Di samping itu, satu soalselidik dibentuk untuk mengkaji pandangan pengguna Bangunan Sains Biologi tentang kualiti udara dalaman tempat kerja mereka. Hasil kajian mendapati tahap kepekatan karbon dioksida, suhu dan kelembapan relatif bagi kebanyakan stesen persampelan adalah mengikut piawaian yang dicadangkan oleh pihak DOSH. Hanya purata suhu dan kelembapan relatif di empat iaitu Makmal Pembelajaran Biokimia, Makmal Sains Sekitaran, Makmal Fikologi dan Biologi Akuatik dan Makmal Mikrobiologi Persekitaran menunjukkan bacaan yang tinggi sedikit daripada piawaian dan garis panduan yang disarankan oleh DOSH. Pengenalpastian spesies bakteria dan kulat yang dilakukan di kesemua stesen persampelan mendapati kehadiran spesies bakteria *Bacillus cereus*, *Bacillus laterosporus*, *Bacillus sphaericus*, *Micrococcus luteus*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermis*, *Enterobacter cloacae*, *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas stutzeri* dan *Aeromonas hydrophila* serta spesies kulat *Aspergillus niger*, *Aspergillus nidulans*, *Penicillium digitatum* dan *Fusarium dimerum*. Selanjutnya, hasil soalselidik mendapati hampir keseluruhan responden (96.8%) menyatakan tahap keselesaan serta kesihatan mereka semasa berada di dalam bangunan adalah baik manakala sistem ventilasi bangunan berada pada tahap yang memuaskan. Tahap kesedaran kebanyakan responden mengenai kepentingan kualiti udara dalaman pula adalah pada tahap sederhana. Antara cadangan bagi meningkatkan kualiti udara dalaman yang diperolehi daripada kajian ini ialah memastikan sistem penghawa dingin beroperasi dengan baik dan meningkatkan tahap kesedaran mengenai kepentingan kualiti udara dalaman di kalangan pekerja dan pelajar di Bangunan Sains Biologi.

Katakunci: bakteria, karbon dioksida, kelembapan relatif, kualiti udara dalaman, kulat, suhu

Indoor air quality: The case of the Biology Sciences Building, Faculty of Science And Technology, National University of Malaysia

Abstract

Indoor air quality refers to the air quality in and around buildings and structures related to the health and comfort of those who are in the building. The objectives of this study were to determine the indoor air quality, to identify species of bacteria and fungi present in the room, and to investigate the consumer views on indoor air quality in

Biology Sciences Building, Faculty of Sciences and Technology, National University of Malaysia. This study measures the concentration of carbon dioxide, temperature and relative humidity in the laboratory in the afternoon and at night. The number of bacteria and fungi in the air was determined by exposing a petri dish in a laboratory setting and by biochemical tests. A questionnaire designed to study the Biology Sciences Building was administered to the building users to gauge their views on indoor air quality. The results revealed that carbon dioxide concentration, temperature, and relative humidity for most of the sampling stations were in accordance with the standards set by the DOSH. Only average temperatures and relative humidity at the Learning Lab Biochemistry, Environmental Science Laboratory, the Laboratory Psychology and Aquatic Biology, and the Environmental Microbiology Laboratory showed slightly higher readings compared to those by DOSH. Bacteria and fungi identification procedures carried out at all sampling stations showed the presence of *Bacillus cereus*, *Bacillus laterosporus*, *Bacillus sphaericus*, *Micrococcus luteus*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermis*, *Enterobacter cloacae*, *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas stutzeri* and *Aeromonas hydrophila*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus nidulans*, *Penicillium digitatum* and *Fusarium dimerum*. Furthermore, the survey showed that almost all respondents indicated respectively a good and a satisfactory level of comfort and health while in the building and with regard to the building ventilating system. Users' awareness of the importance of indoor air quality was found to be moderate. In conclusion, to improve indoor air quality the air conditioning system must be operated properly, and workers and students using the Biological Sciences Building must increase their awareness of the importance of indoor air quality.

Keywords: bacteria, carbon dioxide, fungi, indoor air quality, relative humidity, temperature

Pengenalan

Impak pembangunan telah menimbulkan pelbagai isu alam sekitar termasuklah isu kualiti udara dalaman yang hangat dibincangkan pada abad ke-21. Ini adalah disebabkan kualiti udara dalaman sama penting dengan kualiti udara luaran. Pencemaran udara dalam bangunan yang disebabkan oleh bahan pencemar biologi seperti bakteria dan kulat adalah dipengaruhi oleh faktor persekitaran seperti suhu dan kelembapan relatif (Rh). Kebanyakan individu menghabiskan masa hampir 80-90% di dalam bangunan mahupun di dalam rumah (Herberger et al., 2010). Oleh itu, jika persekitaran di dalam sesebuah bangunan adalah dalam keadaan tidak sihat dan tidak bersih, setiap orang berpotensi tinggi untuk mendapat pelbagai masalah kesihatan dan penyakit yang sering dilaporkan seperti asma, gejala Sindrom Bangunan Sakit (SBS) (Erdmann et al., 2002), aspergillosis (CDC, 2012) dan juga penyakit legionnaires (Squier et al., 2005).

Kajian ini bertujuan untuk menentukan kualiti udara di dalam di lapan buah makmal di Bangunan Sains Biologi, FST, UKM daripada segi kepekatan karbon dioksida, suhu dan kelembapan relatif dengan mengenal pasti spesis bakteria dan kulat yang terdapat di dalam udara serta mengkaji pandangan pengguna tentang kualiti udara dalaman di dalam makmal- malmal Bangunan Sains Biologi.

Metodologi kajian

Kaedah kajian

Kajian ini mempunyai tiga bahagian kaedah iaitu: (a) pengukuran karbon dioksida, suhu dan kelembapan relatif, (b) pengenalpastian bakteria dan kulat dan (c) tinjauan kepuasan pengguna.

i) Pengukuran karbon dioksida, suhu dan kelembapan relatif

Pengukuran karbon dioksida, suhu dan kelembapan relatif diambil pada setiap lapan buah stesen kawasan persampelan udara. Alat yang digunakan untuk mengukur ketiga-tiga parameter ini ialah kit pemantauan *Direct Sense*, Graywolf (USA). Bacaan ini diambil dalam dua sesi iaitu petang dan malam. Tempoh

pengukuran yang diambil setiap sesi ialah satu jam. Selepas itu, data ini dianalisis dengan menggunakan perisian *Wolf Sense PC + ARG* dan *Word Excel* untuk mendapatkan bacaan purata, sisihan piawai, minimum, dan maksimum.



Rajah 1. *Stesen 1 (Makmal pembelajaran Biokimia)*



Rajah 2. *Stesen 2 (Makmal Biologi Molekul)*



Rajah 3. *Stesen 3 (Makmal Entomologi)*



Rajah 4. *Stesen 4 (Makmal Sains Sekitaran)*



Rajah 5. *Stesen 5 (Makmal Fikologi dan Biologi Akuatik)*



Rajah 6. *Stesen 6 (Makmal Mikrobiologi Persekitaran)*



Rajah 7. Stesen 7 (Makmal pembelajaran Genetik)



Rajah 8. Stesen 8 (Makmal Ikan Air Tawar)



Rajah 9. Sistem penghawa dingin unit berpusat



Rajah 10. Sistem penghawa dingin unit berasingan

ii) Pengenalpastian bakteria dan kulat

Persampelan udara untuk bahan pencemar bioaerosol seperti kulat dan bakteria dilakukan dengan mendedahkan pering petri di lokasi yang berhampiran dengan sumber sistem pengudaraan yang terdapat di lapan lokasi persampelan. Pering petri ini dibiarkan selama 24 jam. Bagi persampelan bakteria, piring petri mengandungi agar nutrien (Oxoid, England) yang mengandungi 50 µg/mL nistatin (anti-kulat) digunakan manakala bagi persampelan udara kulat piring petri mengandungi agar dektrosa kentang (Difco, Perancis) yang mengandungi 5 g/mL kloramphenikol (anti-mikrob). Selepas 24 jam persampelan udara dilakukan, sampel-sampel bakteria di atas piring petri agar nutrien disubkulturkan ke atas agar nutrien yang baru dan dieram selama 24 jam pada suhu 37°C. Bagi sampel udara kulat, kaedah yang sama dilakukan disubkulturkan di atas agar dektrosa kentang dieram selama 48 jam pada suhu 30°C. Bagi pengenalpastian bakteria, terdapat dua cerapan utama, iaitu pencerapan morfologi dan ujian tindakbalas biokimia. Bagi pencerapan morfologi bakteria, tiga langkah dilakukan, iaitu pengenalpastian bakteria gram positif kumpulan *Basilus*, pengenalpastian bakteria gram positif kumpulan *Kokus* dan pengenalpastian bakteria gram negatif kumpulan *Rod*. Ujian tindakbalas kimia pula dijalankan menggunakan kaedah seperti ujian katalase, pewarnaan gram, pewarnaan spora, ujian hidrolisis kanji, ujian ujian vorges proskauer (VP), ujian penurunan nitrat, ujian fermentasi manitol, ujian fermentasi glukosa, ujian motiliti, ujian sitrat, ujian kagulase dan sensitiviti antibiotik novobiosin melalui penyediaan inokulum piawai. Bagi ujian pengenalpastian kulat pula, pengkelasan kulat dilakukan berdasarkan pencerapan makroskopik dan mikroskopik. Pencerapan makroskopik dilakukan dengan melihat ciri

morfoloji manakala mikroskopik perwarnaannya ke atas spora kulat dilakukan dengan menggunakan larutan metilena biru (Bakare et al., 2003) dan pencerapan spora dilakukan di bawah mikroskop cahaya dan pemerhatian ke atas spora kulat direkodkan. Seterusnya, hasil yang diperolehi dianalisis dengan menggunakan *Mycology Online of The University of Adelaide* (2013).

iii) Tinjauan kepuasan pengguna

Dalam kajian ini populasi sasaran penyelidik terdiri daripada 32 responden daripada pengguna makmal-makmal yang dipilih. Sebanyak lapan buah makmal dipilih secara rawak berstrata sebagai stesen lokasi persampelan iaitu dua buah makmal setiap paras Bangunan Sains Biologi, FST, UKM. Setiap makmal diedarkan sebanyak empat borang soal selidik. Soal selidik yang digunakan dalam kajian ini terdiri daripada empat bahagian, iaitu Latar belakang responden, Latar belakang makmal, Persepsi responden terhadap Kualiti Udara Dalam dan Pandangan Responden terhadap Kualiti Udara Dalam. Latar belakang responden menyentuh aspek jantina, umur, pekerjaan, masalah kesihatan dan jenis penyakit (jika ada). Latar belakang makmal mengetahui jenis kajian dilakukan di dalam makmal, bahan kimia/mikrob yang digunakan, jenis sistem udara dan bilangan jam berada di dalam makmal. Persepsi responden terhadap Kualiti Udara Dalam menyentuh tahap keselesaan dan tahap ventilasi di dalam makmal. Jawapan responden mengikut skala Likert iaitu, skala 4= Sangat memuaskan, 3= Memuaskan, 2= Tidak memuaskan dan 1= Sangat tidak memuaskan. Persoalan berkenaan pengaruh kualiti udara dalaman terhadap kesihatan dan pengaruh kesihatan terhadap produktiviti kerja juga menggunakan skala Likert seperti pilihan berikut, 4= Sangat baik, 3= Baik, 2= Tidak baik dan 1= Sangat tidak baik. Pandangan responden terhadap Kualiti Udara Dalam menyentuh tentang kesedaran responden terhadap kualiti udara dalaman di tempat kerja dan cadangan responden bagi meningkatkan kualiti udara dalaman di tempat kerja. Data yang diperolehi, dianalisis dengan menggunakan perisian SPSS VERSI 19.0 untuk mendapatkan nilai kekerapan dan nilai peratusan bagi tahap keselesaan dan ventilasi makmal. Kemudian, analisis statistik deskriptif dilakukan bagi untuk menghuraikan bentuk taburan data yang dikehendaki dengan mudah dan tepat.

Hasil kajian

i) Kepekatan karbon dioksida, suhu dan kelembapan relatif

Jadual 1 menunjukkan purata bacaan kepekatan karbon dioksida bagi lapan buah stesen lokasi persampelan berada pada tahap yang dicadangkan oleh DOSH (2005) iaitu tidak melebihi 1000 ppm. Bagi purata bacaan suhu, Makmal Sains Sekitaran (Stesen 4) mencatat purata suhu yang tertinggi pada waktu petang dan malam iaitu 26.6°C. Ini kerana, sistem penghawa dingin di stesen ini tidak beroperasi dengan baik akibat penyelenggaraan yang tidak dilakukan secara berkala dan peningkatan bilangan orang di dalam makmal dalam tempoh masa tertentu juga telah mendorong peningkatan suhu.

Seterusnya, Makmal Pembelajaran Biokimia (Stesen 1), Makmal Fikologi dan Biologi Akuatik (Stesen 5) dan Makmal Mikrobiologi Persekitaran (Stesen 6) mencatatkan purata kelembapan relatif yang melebihi piawaian yang dicadangkan oleh Jabatan Keselamatan dan Kesihatan Pekerjaan Malaysia (DOSH) (40.0-70.0%) dengan purata nilai bacaan petang dan malam masing-masing ialah 83.1%, 79.7% dan 77.4%. Ini kerana, Makmal Pembelajaran Biokimia mempunyai keluasan 4161.8 m² iaitu lebih luas berbanding stesen-stesen lain, stesen ini hanya digunakan dalam jangka masa tertentu sahaja untuk sesi amali pelajar pra-siswazah dengan sistem penghawa dingin yang sentiasa dipasang telah menyebabkan peningkatan kelembapan relatif akibat penurunan suhu pada stesen ini. Bagi Makmal Fikologi dan Biologi Akuatik dan Makmal Mikrobiologi Persekitaran, peningkatan kelembapan relatif adalah disebabkan bilangan penghuni stesen tersebut adalah sedikit dengan bilangan penghuni sepatutnya dan juga keluasan stesen sepatutnya.

Keluasan Makmal Fikologi dan Biologi Akuatik adalah 826.2 m² dan hanya terdapat dua orang penghuni sahaja (kurang daripada sepatutnya) manakala Makmal Mikrobiologi Persekitaran mempunyai keluasan 2386.8 m² hanya terdapat tiga orang penghuni sahaja (kurang daripada sepatutnya). Hal ini telah menyebabkan kelembapan relatif meningkat kerana suhu yang disediakan oleh sistem penghawa dingin di dalam stesen tersebut tidak bersesuaian dengan jumlah bilangan orang yang berada di dalam makmal-makmal tersebut.

Jadual 1. Nilai karbon dioksida, suhu, dan kelembapan relatif di stesen lokasi persampelan

Stesen lokasi persampelan	Karbon dioksida (ppm)		Suhu (°C)		Kelembapan relatif (%)	
	Petang	Malam	Petang	Malam	Petang	Malam
1	351 ± 5.8	405 ± 12.1	23.0 ± 0.1	24.4 ± 0.3	85.1 ± 1.4	81.0 ± 0.5
2	473 ± 12.1	435 ± 12.7	24.0 ± 0.5	25 ± 0.8	63.1 ± 2.4	67.7 ± 5.2
3	404 ± 30.2	412 ± 22.5	23.0 ± 0.5	26 ± 1.1	63.4 ± 3.4	63.7 ± 4.4
4	412 ± 31.1	466 ± 41.5	26.2 ± 0.7	27 ± 0.8	67.1 ± 2.0	69.5 ± 8.0
5	399 ± 20.0	445 ± 17.9	24.6 ± 0.7	24 ± 0.5	77.7 ± 3.6	81.6 ± 5.2
6	442 ± 24.0	403 ± 7.6	23.2 ± 0.4	24 ± 0.4	76.7 ± 1.7	78.0 ± 1.5
7	406 ± 84.3	408 ± 13.7	24.0 ± 0.7	25 ± 0.7	49.0 ± 2.6	61.3 ± 3.0
8	402 ± 18.5	402 ± 13.6	26.0 ± 0.6	25 ± 0.4	68.5 ± 3.1	66.2 ± 6.9
Piawai DOSH	1000		23.0-26.0		40.0-70.0	
SIAQC	1000		22.5-25.5		≤ 70	
ASHRAE	1000		22.0-24.0		40-60	

ii) Pengenalpastian spesies bakteria dan kulat yang terdapat di dalam udara

Sebanyak 660 pencilan bakteria dan 47 pencilan kulat telah berjaya dipencilkan dari lapan buah stesen lokasi persampelan tersebut (Jadual 2). Antara spesies bakteria ialah *Bacillus cereus*, *Bacillus laterosporus*, *Bacillus sphaericus*, *Micrococcus luteus*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermis*, *Enterobacter cloacae*, *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas stuzeri* dan *Aeromonas hydrophila* manakala bagi spesies kulat ialah *Aspergillus niger*, *Aspergillus nidulans*, *Penicillium digitatum* dan *Fusarium dimerum*.

Jadual 2. Bilangan koloni spesies bakteria dan kulat / m² selama 24 jam

Stesen	Nama spesies bakteria	Bilangan koloni / m ² / 24 jam	Nama spesies kulat	Bilangan koloni / m ² / 24 jam
1	<i>Micrococcus leteus</i>	8	<i>Aspergillus niger</i>	5
	<i>Bacillus cereus</i>	2	<i>Penicillium chrysogenum</i>	5
	<i>Aeromonas hydrophila</i>	18	<i>Fusarium dimerum</i>	18
	<i>Staphylococcus epidermis</i>	17		
2	<i>Micrococcus leteus</i>	70	<i>Aspergillus niger</i>	3
	<i>Bacillus cereus</i>	20	<i>Penicillium chrysogenum</i>	8
	<i>Pseudomonas stuzeri</i>	12	<i>Fusarium dimerum</i>	18
	<i>Staphylococcus epidermis</i>	40		
	<i>Aeromonas hydrophila</i>	7		

Stesen	Nama spesis bakteria	Bilangan koloni / m ² / 24 jam	Nama spesis kulat	Bilangan koloni / m ² /24 jam
3	<i>Micrococcus leteus</i>	75	<i>Aspergillus niger</i>	3
	<i>Staphylococcus epidermis</i>	110	<i>Fusarium dimerum</i>	5
	<i>Staphylococcus aureus</i>	15		
	<i>Enterobacter cloacae</i>	12		
	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	3		
4	<i>Bacillus sphaericus</i>	7	<i>Aspergillus niger</i>	12
	<i>Bacillus laterosporus</i>	12	<i>Penicillium chrysogenum</i>	5
	<i>Staphylococcus epidermis</i>	10	<i>Fusarium dimerum</i>	35
	<i>Staphylococcus aureus</i>	3		
5	<i>Micrococcus leteus</i>	7	<i>Aspergillus niger</i>	3
	<i>Staphylococcus epidermis</i>	35	<i>Aspergillus nidulans</i>	7
			<i>Penicillium chrysogenum</i>	33
			<i>Fusarium dimerum</i>	10
6	<i>Micrococcus leteus</i>	7	<i>Aspergillus niger</i>	17
	<i>Bacillus cereus</i>	30	<i>Penicillium chrysogenum</i>	38
	<i>Staphylococcus aureus</i>	8	<i>Fusarium dimerum</i>	7
	<i>Aeromonas hydrophila</i>	28		
7	<i>Micrococcus leteus</i>	15	<i>Fusarium dimerum</i>	2
	<i>Bacillus cereus</i>	3		
	<i>Staphylococcus epidermis</i>	12		
	<i>Pseudomonas stuzeri</i>	2		
8	<i>Micrococcus leteus</i>	8	<i>Aspergillus niger</i>	5
	<i>Bacillus sphaericus</i>	5	<i>Penicillium chrysogenum</i>	5
	<i>Bacillus cereus</i>	6	<i>Fusarium dimerum</i>	2
	<i>Staphylococcus epidermis</i>	50		
	<i>Pseudomonas stuzeri</i>	3		

Makmal Entomologi menunjukkan bilangan pencilan bakteria yang paling banyak berbanding dengan makmal-makmal lain iaitu sebanyak 215 pencilan bakteria manakala Makmal Sains Sekitaran dan Makmal Pembelajaran Genetik menunjukkan bilangan pencilan bakteria yang paling sedikit dengan jumlah pencilan masing-masing ialah 32 pencilan bakteria (Jadual 2).

Selain itu, Makmal Mikrobiologi Persekitaran menunjukkan bilangan pencilan kulat yang paling tinggi iaitu sebanyak 62 pencilan manakala Makmal Pembelajaran Genetik menunjukkan bilangan pencilan kulat paling sedikit iaitu sebanyak dua pencilan sahaja (Jadual 2). Perbezaan bilangan pencilan kulat ini mungkin disebabkan jenis kajian yang dilakukan oleh makmal tersebut, Makmal Mikrobiologi Persekitaran banyak menjalankan penyelidikan mengenai pelbagai spesis kulat dan telah mendorong kepada peningkatan bilangan pencilan kulat. Selain itu, perbezaan bilangan pencilan kulat ini juga mungkin didorong oleh faktor kebersihan makmal dan juga sistem penghawa dingin yang beroperasi bagi setiap makmal tersebut.

ii) Pandangan responden terhadap kualiti udara dalaman

Berdasarkan jawapan yang diterima oleh 32 responden, kebanyakan para responden (16%) hanya sedar kemerosotan kualiti udara dalaman berlaku apabila terdapat bau yang tidak menyenangkan terutama semasa menggunakan bahan kimia yang mudah meruap dan menganggap tahap kualiti udara dalaman itu baik selagi tiada bau yang mengganggu mereka. Selain itu, ada sebilangan responden (34%) tidak

mengetahui jenis kandungan bahan pencemar dalaman yang terdapat di dalam udara yang boleh menjejaskan kesihatan mereka dan ada juga responden yang kurang mengambil perhatian tentang kualiti udara dalaman di tempat kerja mereka.

Walau bagaimanapun, terdapat segelintir responden (44%) yang mempunyai tahap kesedaran yang baik mengenai kualiti udara dalaman tentang kepentingan sistem ventilasi dalam sesebuah bangunan dan juga kesan akibat kemerosotan kualiti udara dalaman terhadap kesihatan orang yang berada di dalam bangunan.

Selain itu, kebanyakan responden (81%) memberi respon bahawa dengan memastikan sistem ventilasi yang baik semasa bekerja merupakan salah satu cadangan bagi meningkatkan kualiti udara dalaman di tempat kerja mereka. Dan, pembersihan dan penyelenggaraan sistem penghawa dingin mestilah dilakukan secara berkala. Selain itu, penggunaan kebuk asap semasa mengendalikan bahan kimia yang meruap. Pada masa yang sama, cadangan seperti menerapkan pengetahuan mengenai kualiti udara dalaman di kalangan pelajar dan pekerja.

Perbincangan

Ujian ANOVA satu hala menunjukkan tiada perbezaan yang signifikan ($p > 0.05$) di antara kepekatan karbon dioksida dan suhu lapan buah stesen lokasi persampelan. Ini menunjukkan, nilai purata kepekatan karbon dioksida setiap stesen adalah berada pada tahap yang sesuai dan juga selesa seperti mana yang dicadangkan oleh Garis panduan Kualiti Udara Dalaman Singapura (SIAQG) dan juga *American Society of Heating, Refrigerating & Air Conditioning Engineers* (ASHRAE) iaitu tidak melebihi 1000 ppm dan suhu kesemua stesen lokasi persampelan adalah dikawal sepenuhnya oleh sistem penghawa dingin sama ada jenis unit berpusat atau berasingan. Perkara ini disokong apabila keseluruhan responden (32 responden) berpuas hati dengan tahap sistem ventilasi di tempat kerja mereka.

Manakala, hasil daripada ujian ANOVA bagi kelembapan relatif menunjukkan perbezaan yang bererti ($p < 0.01$) di antara stesen lokasi persampelan yang dipilih secara rawak berstrata di Bangunan Sains Biologi. Hal ini mungkin dipengaruhi oleh faktor saiz bilik, bilangan penghuni yang berada bagi tempoh masa tertentu dan seterusnya menyebabkan peningkatan kelembapan relatif bagi sesetengah stesen lokasi persampelan.

Walau bagaimanapun, berdasarkan persepsi responden terhadap kualiti udara dalaman, hampir keseluruhan responden ($> 75\%$) menyatakan tahap keselesaan semasa berada di dalam makmal adalah pada tahap yang memuaskan dan juga tahap yang sangat memuaskan. Ini membuktikan bahawa faktor persekitaran seperti kepekatan karbon dioksida, suhu dan kelembapan relatif merupakan faktor penting dalam mempengaruhi kualiti udara dalaman sesebuah bangunan dan juga tahap keselesaan para penghuni bangunan (Fang et al., 2004).

Namun demikian, lingkungan suhu dan kelembapan relatif bagi kelapan buah stesen di Bangunan Sains Biologi ini merupakan keperluan fizikal yang mendorong pertumbuhan bakteria dan kulat terutama mikroorganisma kumpulan mesofilik yang hidup pada suhu 20-40°C (Black, 1996).

Mikroorganisma yang sering dijumpai di setiap stesen lokasi persampelan ialah bakteria *Micrococcus* sp., *Bacillus* sp. dan *Staphylococcus* sp. manakala kulat *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp. dan *Fusarium* sp. Jenis mikroorganisma ini juga turut dijumpai oleh kajian Guilio et al. (2010) dalam persekitaran dalaman sepertimana yang telah dikenalpasti di tiga buah bangunan Fakulti Farmasi, Universiti Chieti, Itali. Bacteria *Micrococcus* sp. merupakan normal flora bakteria yang biasa ditemui pada kulit badan manusia dan antara kesan infeksi oleh *Micrococcus luteus* ialah penyakit kulit yang kronik terutama kepada individu yang mempunyai sistem keimunan yang lemah (Smith et al., 1999). Bagi *Staphylococcus aureus* pula, bakteria ini boleh menyebabkan jangkitan kulit, penyakit invasif akibat jangkitan pada luka seperti bakteremia, keracunan makanan dan sindrom kejutan toksin akibat perembesan toksin (Jarraud et al., 2002) manakala *Staphylococcus epidermis*, kesan daripada infeksi boleh menyebabkan jangkitan pada saluran pernafasan yang boleh menyebabkan radang paru-paru, jangkitan pada kulit dan juga jangkitan darah nasokomial (Raad et al., 1998).

Tambahan pula, penghasilan spora-spora kulat yang banyak, ringan dan kecil oleh *Aspergillus* sp. dan *Penicillium* sp. boleh menyebabkan spora-spora tersebut kekal lama di dalam udara berbanding dengan spora-spora yang berat dan besar (Vonberg & Gastmeier, 2006) dan spora ini juga mempunyai peranan dalam menyebabkan penyakit asma (Pastuszka et al., 2000). Masalah kesihatan akibat kontaminasi oleh kulat mungkin disebabkan oleh mikotoksin, mikotoksin merupakan metabolit sekunder kulat yang dihasilkan dalam kuantiti yang kecil dan bertoksik kepada hidupan yang boleh menyebabkan masalah kesihatan yang kronik seperti kerosakan sistem imun, sistem saraf dan kegagalan organ badan daripada berfungsi Johanning et al. (1996).

Kehadiran pelbagai jenis spesis bakteria dan kulat di Bangunan Sains Biologi telah menyebabkan pengaruh kualiti udara dalaman terhadap kesihatan sedikit terjejas apabila terdapat tiga daripada 32 orang responden (9.4%) menyatakan pengaruh kualiti udara dalaman terhadap kesihatan mereka adalah pada tahap yang tidak baik dan didapati ketiga-tiga responden ini mempunyai masalah kesihatan iaitu penyakit asma. Memandangkan kebanyakan manusia menghabiskan masa hampir 90 peratus dalam bangunan, kualiti udara dalaman memainkan peranan penting dalam mempengaruhi kesihatan manusia (Slezakova et al., 2011). Kesan kesihatan akibat bahan pencemar biologi yang terdapat di dalam persekitaran dalaman tidak seharusnya dipandang ringan (Dales et al., 2008) kerana agen biologi ini boleh menyebabkan masalah kesihatan akut dan kronik seperti simptom gejala pernafasan, asma, alahan ekstrinsik alveolitis, dermatitis atopik, tekanan darah tinggi di kalangan orang dewasa dan kesan kepada sistem keimunan manusia (Bernstein et al., 2008).

Kesimpulan

Secara keseluruhannya, faktor persekitaran seperti kepekatan karbon dioksida, suhu dan kelembapan relatif di Bangunan Sains Biologi berada pada tahap yang baik sepertimana yang dicadangkan oleh Jabatan Keselamatan dan Kesihatan Pekerjaan Malaysia(DOSH), Garis panduan Kualiti Udara Dalaman Singapura(SIAQG) dan juga *American Society of Heating, Refrigerating & Air Conditioning Engineers*(ASHRAE). Purata bacaan suhu dan kelembapan relatif yang tinggi seperti di Makmal Pembelajaran Biokimia, Makmal Sains Sekitaran, Makmal Fikologi dan Biologi Akuatik dan Makmal Mikrobiologi Persekitaran tidak menunjukkan perbezaan yang begitu ketara dengan piawai dan garis panduan yang disarankan. Kehadiran bakteria dan kulat mungkin memberi kesan kesihatan kepada sesetengah penghuni yang mempunyai sistem keimunan lemah sama ada buat jangka masa pendek dan panjang. Selain itu, kebanyakan tahap kesedaran responden tentang kualiti udara dalaman masih berada pada tahap yang sederhana. Namun begitu, kebanyakan responden di Bangunan Sains Biologi menyatakan pengaruh kualiti udara dalaman terhadap kesihatan mereka adalah berada pada tahap yang baik.

Rujukan

- ASHRAE (2005) Standard 62-1989. *Ventilation for acceptable air quality*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, United State.
- Black JG (1996) Principle and applications. *Microbiology*. Third Edition. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey. pp.144-148.
- Bernstein JA, Alexis N, Bacchus H, Bernstein IL, Fritz P, Horner E, Li N, Mason S, Nel A, Oullette J, Reijula K, Reponen T, Seltzer J, Smith S, Tarlo SM (2008) The health effects of non-industrial indoor air pollution. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* **121** (3), 585-591.
- CDC (2012) *Aspergillosis*. Centers for Disease Control and Prevention, Georgia.
- Dales R, Liu L, Wheeler AJ, Gilbert NL (2008) Quality of indoor residential air and health. *Canadian Medical Association Journal* **179** (2), 147-152.

- Erdmann CA, Steiner KC, Apte MG (2002) Indoor carbon dioxide concentrations and sick building syndrome symptoms in the base study revisited: Analysis of the 100 building dataset. *Proceedings: Indoor Air*, pp.443-448.
- Fang L, Wyon DP, Clausen G, Fanger PO (2004) Impact of indoor air temperature and humidity in an office perceived air quality, SBS symptoms and performance. *International Journal of Indoor Environment and Health* **14** (7), 74-81.
- Guilio MD, Grande R, Campli ED, Bartolomeo SD, Cellini L (2010) Indoor air quality in University Environments. *Environmental Monitoring Assessment* **170** (1), 509-517.
- Smith KJ, Neafie R, Yeager J, Skelton GH (1999) Micrococcus folliculitis in HIV-1 disease. *British Journal of Dermatology* **141** (3), 558-561.
- Jarraud S, Mougel C, Thioulouse J, Lina G, Meugnier H, Françoise F, Nesme X, Etienne J, Françoise V (2002) Relationships between *Staphylococcus aureus* genetic background, virulence factors, *agr* groups (Alleles) and human disease. *Infection and immunity* **70** (2), 631-641.
- Johanning E, Biagini R, Hull D, Morey P, Jarvis B, Landsbergis P (1996) Health and immunology study following exposure to toxigenic fungi (*Starchybotrys chartarum*) in a water-damaged office environment. *International Archives of Occupational and Environmental Health* **68** (4), 207-218.
- Raad I, Airahwan A, Rolston K (1998) *Staphylococcus epidermis*: Emerging resistance and need for alternative agents. *Clinical Infectious Diseases* **26** (5), 1182-1187.
- Pastuszka JS, Kyaw Tha Paw U, Lis DO, Wlazlo A, Ulfig K (2000) Bacterial and fungal aerosol in indoor environment in Upper. *Sciences Direct* **34** (22), 3833-3842.
- Squier CL, Stout JE, Krystofiak S (2005) A proactive approach to prevention of healthcare-acquired legionnaires disease: The allegheny country (Pittsburgh) experiences. *American Journal of Infection Control* **33** (1), 360-367.
- Slezakova K, Pires JCM, Martins FG, Pereira MC, Alvim-Ferraz MC (2011) Identification of tobacco smoke components in indoor breathable particles by SEM-EDS. *Atmospheric Environment* **45** (4), 863-872.
- Vonberg RP, Gastmeier P (2006) Nosocomial aspergillosis in outbreak settings. *Journal Hospital Infection* **63** (2), 246-254.