

TAHAP KONTAMINASI BIOAEROSOL: SATU KAJIAN KES

J. NORAFIQAH¹, M. RASHID^{2*} & R. FIRDAUSI³

Abstrak. Satu kajian menilai tahap kepekatan bioaerosol di ruangan pejabat telah dijalankan dengan menggunakan teknik persampelan hentaman. Dua pemboleh ubah utama, iaitu kadar alir udara, dan masa persampelan yang optimum ditentukan terlebih dahulu. Kesesuaian pertumbuhan bioaerosol khususnya bakteria dan fungus, juga diuji dengan menggunakan empat jenis agar iaitu *nutrient agar*, *tryptic soy agar*, *potato dextrose agar* dan *malt extract agar*. Keputusan mendapati bahawa kadar alir persampelan 28 liter per minit bersama masa persampelan selama enam minit dan penggunaan medium *tryptic soy agar* memberikan keputusan yang terbaik. Hasil kajian menunjukkan korelasi yang amat baik di antara tahap kontaminasi bioaerosol dan bilangan manusia yang terdapat di ruangan pejabat, dengan pekali korelasi yang amat bererti iaitu $r^2 = 0.99$.

Kata kunci: Kualiti udara dalaman, pencemaran udara dalaman, bioaerosol

Abstract. A study to evaluate the level of bioaerosol contamination in the office spaces was performed using the impaction sampling technique. Two main variables, i.e. sampling air flow rates and duration as well as the suitability of four agar media i.e. nutrient agar, tryptic soy agar, potato dextrose agar and malt extract agar were predetermined. The data showed that the sampling flow rate of 28 Lpm with a sampling duration of 6 minutes applied on tryptic soy agar presented the best results. The study also revealed that there was a strong correlation (i.e. $r^2 = 0.99$) between bioaerosol contamination level and the number of person in the given sampling location.

Keywords: Internal air quality, internal air pollution, bioaerosol

1.0 PENGENALAN

Aerosol ialah koloid yang terapung atau berada di dalam titisan cecair atau partikel pepejal yang terkandung dalam udara. Manakala bioaerosol pula ditakrifkan sebagai aerosol yang berada di udara di mana komponennya terdiri daripada satu atau lebih mikroorganisma seperti bakteria, fungi, virus, alga ataupun protozoa. Selain itu, ia juga termasuk partikel yang dihasilkan oleh mikroorganisma tersebut seperti endotoksin dan mikotoksin. Bioaerosol mungkin dalam keadaan titisan cecair atau partikel pepejal di mana julat saiz bioaerosol adalah dari sekecil mikro-organisma hinggalah sebesar titisan cecair.

^{1&2} Jabatan Kejuruteraan Kimia, Fakulti Kejuruteraan Kimia dan Kejuruteraan Sumber Asli, Universiti Teknologi Malaysia, 81310 UTM Skudai, Johor, Malaysia.

³ Jabatan Kejuruteraan Bioproses, Fakulti Kejuruteraan Kimia dan Kejuruteraan Sumber Asli, Universiti Teknologi Malaysia, 81310 UTM Skudai, Johor, Malaysia.

* To whom correspondence should be addressed.

Bioaerosol berpunca daripada sumber semula jadi ataupun aktiviti manusia [1]. Secara semula jadi, bioaerosol terbentuk apabila angin membawa titisan atau partikel secara langsung ke atmosfera, habuk dan debu dari tanah, sampah dari loji, penyembur dan lain-lain juga menyumbang kepada kewujudan bioaerosol secara semula jadi. Sumber bioaerosol dari aktiviti manusia pula terbahagi kepada dua, iaitu ektramural dan intramural. Bioaerosol ektramural terhasil daripada titisan cecair dari aktiviti seperti semburan dalam sektor pertanian, proses perkilangan, loji rawatan sisa air, dan partikel asap daripada kenderaan. Manakala bioaerosol intramural pula terhasil daripada aktiviti manusia seperti berjalan, bersin, batuk, bercakap, proses pembedahan dan aktiviti di rumah seperti pembersihan, dan pengepaman tandas.

Jenis persampelan bioaerosol terbahagi kepada dua, iaitu persampelan statik dan persampelan tak-statik. Persampelan hentaman aerosol ke atas pepejal (*impaction*), perlanggaran antara cecair dengan aerosol (*impingement*) dan emparan (*centrifugation*) tergolong dalam teknik persampelan statik. Teknik persampelan tak-statik pula termasuklah teknik penapisan (*filtration*), pemendakan elektrostatik (*electrostatic precipitation*) dan pemendakan terma (*thermal precipitation*). Persampelan secara hentaman dipilih dalam kajian ini berdasarkan kepada ciri persampelan yang lebih ringkas, kecekapan yang tinggi, kos yang lebih rendah dan mikroorganisma kekal hidup selepas persampelan dijalankan. Dalam teknik persampelan secara hentaman, partikel (aerosol dan bioaerosol) dari aliran udara dipam menghala ke permukaan agar [2]. Agar tersebut kemudiannya dieram, biasanya dalam tempoh antara 24 dan 48 jam, sehingga koloni mikroorganisma muncul di permukaan agar untuk dihitung.

Skop kajian ini dihadkan kepada persampelan bioaerosol yang mengandungi bakteria dan fungus sahaja kerana kedua-dua mikroorganisma ini merupakan kontaminan utama dalam bioaerosol berbanding alga dan protozoa. Kontaminasi virus juga tidak dimasukkan dalam skop kajian ini. Agar yang sesuai untuk pertumbuhan bakteria seperti *nutrient agar*, *potato dextrose agar* dan *tryptic soy agar* telah dipilih, manakala pertumbuhan fungus diselidik dengan menggunakan *malt extract agar*. Di samping itu, kajian ini dilakukan bagi memperolehi kadar alir udara, masa persampelan yang optimum serta mencari kesesuaian jenis medium sebagai bahan penangkap bioaerosol khususnya bakteria dan fungus. Selain itu, tahap kontaminasi bioaerosol bersandarkan bilangan manusia telah dilakukan dalam kajian ini.

2.0 METODOLOGI

2.1 Penyediaan Medium Agar

Agar (*nutrient agar*, *potato dextrose agar*, *malt extract agar*, *tryptic soy agar*) 10 g/l, NaCl 5 g/l, glukosa 5 g/l. Kesemua bahan (kecuali glukosa) dilarutkan ke dalam air ternyahion, diubah pH pada 7.2 dan diautoklaf pada 121°C selama 15 minit. Larutan glukosa diautoklaf pada 110°C selama 10 minit. Kedua-duanya dicampur dan dituang ke dalam piring Petri bersaiz 60 mm setelah suhu sekitar 60°C dicapai.

2.2 Kaedah Persampelan

Piring petri yang mengandungi agar dimasukkan ke dalam ruang persampelan (Rajah 1). Pam vakum dihidupkan untuk tempoh selama 3, 6 dan 9 minit pada kadar alir udara 15, 20, 25 dan 28 liter per minit (Lpm). Julat masa dan kadar alir udara yang digunakan dalam kajian ini adalah sekitar julat yang dilaporkan dalam literatur [1, 3]. Agar kemudiannya dieram selama 24 hingga 48 jam pada 37°C. Koloni yang terbentuk di permukaan agar kemudiannya dihitung berdasarkan pada bilangan pembentukan koloni per meter padu udara atau CFU/m³.



Rajah 1 Unit persampelan bioaerosol

2.3 Lokasi Persampelan

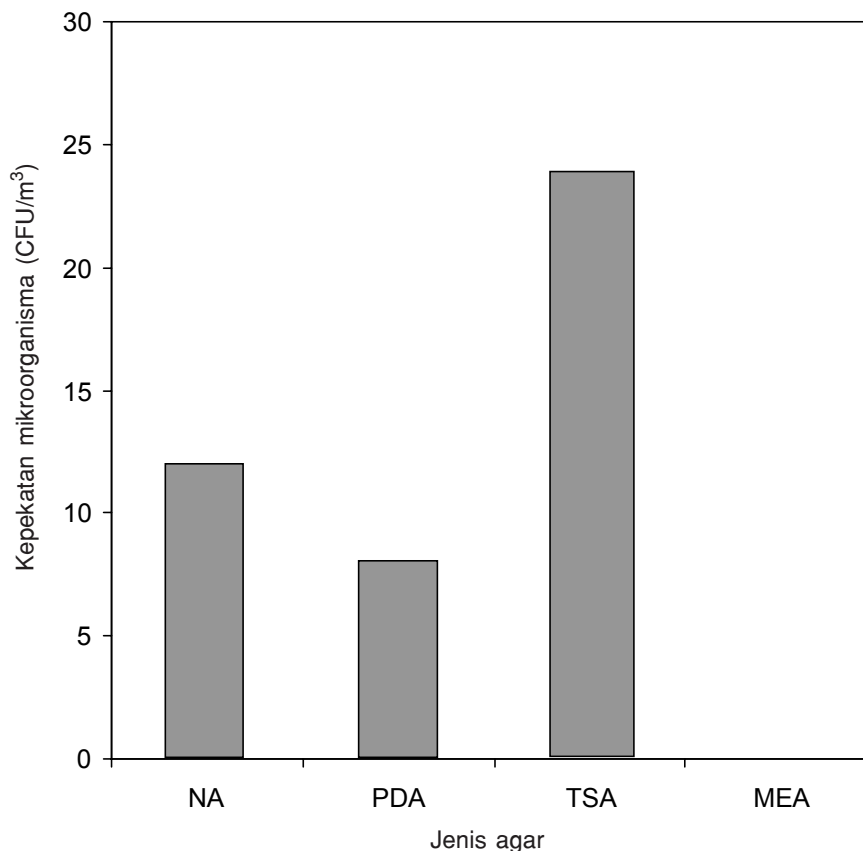
Lokasi yang dipilih untuk persampelan adalah (i) Makmal Biologi, (ii) Pejabat Am Ketua Jabatan, (iii) Pejabat Pentadbiran, (iv) Pejabat Akademik, dan (v) kebuk aliran laminar, semuanya terletak di Fakulti Kejuruteraan Kimia dan Kejuruteraan Sumber Asli, Universiti Teknologi Malaysia. Lokasi (i) hingga (iv) dipilih berdasarkan kehadiran bilangan purata manusia yang ketara perbezaannya antara satu sama lain. Kebuk aliran laminar pula dipilih sebagai lokasi 'kawalan' kerana tahap kontaminasi dijangka adalah paling minimum. Bilangan manusia keluar-masuk di ruangan yang dikaji diambil ketika persampelan. Prosedur terperinci kajian boleh didapati daripada Norafiqah [4].

3.0 KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

3.1 Medium Pertumbuhan Mikroorganisma

Rajah 2 adalah histogram pertumbuhan mikroorganisma yang menunjukkan agar *tryptic soy* adalah yang terbaik untuk memerangkap bioaerosol yang tersedia ada di udara. Untuk kajian penentuan medium agar yang sesuai ini, persampelan dijalankan selama tiga minit sahaja dan dengan kadar alir udara pam 15 Lpm.

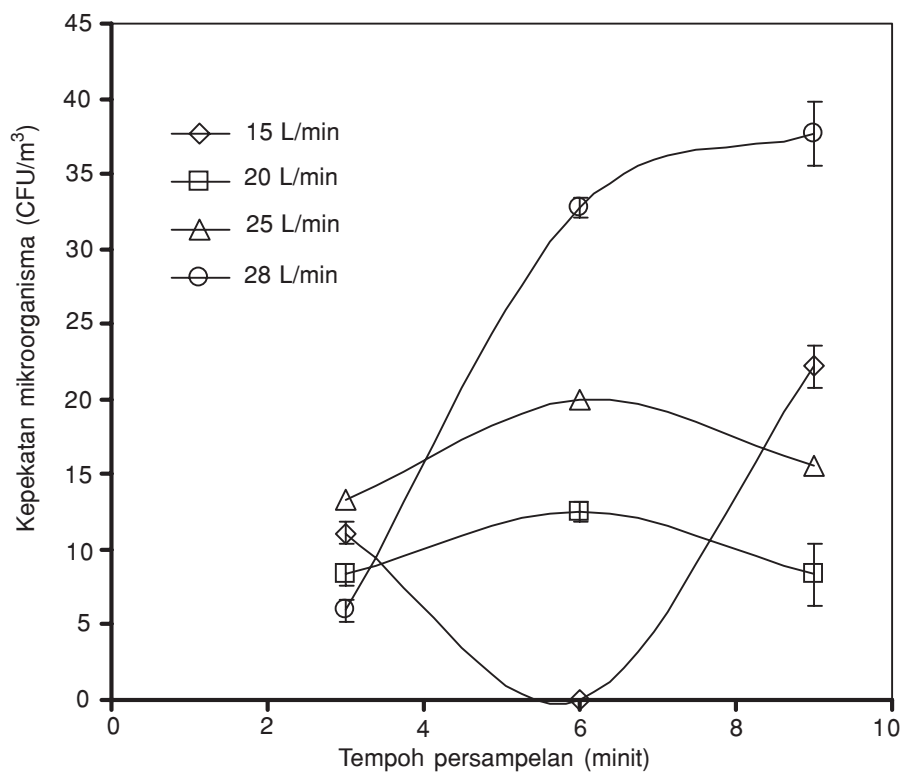
Keputusan awal menunjukkan *tryptic soy agar* adalah medium yang sesuai di mana pertumbuhan mikroorganisma yang tertinggi diperolehi berbanding dengan medium yang lain. Oleh itu, medium ini telah dipilih untuk digunakan dalam kajian selanjutnya kerana pertumbuhan mikroorganisma yang tertinggi dilihat berlaku di atas medium ini. Medium *malt extract agar* langsung tidak menunjukkan pertumbuhan mikroorganisma yang baik, berdasarkan kajian awal tersebut.



Rajah 2 Kepekatan mikroorganisma melawan jenis agar

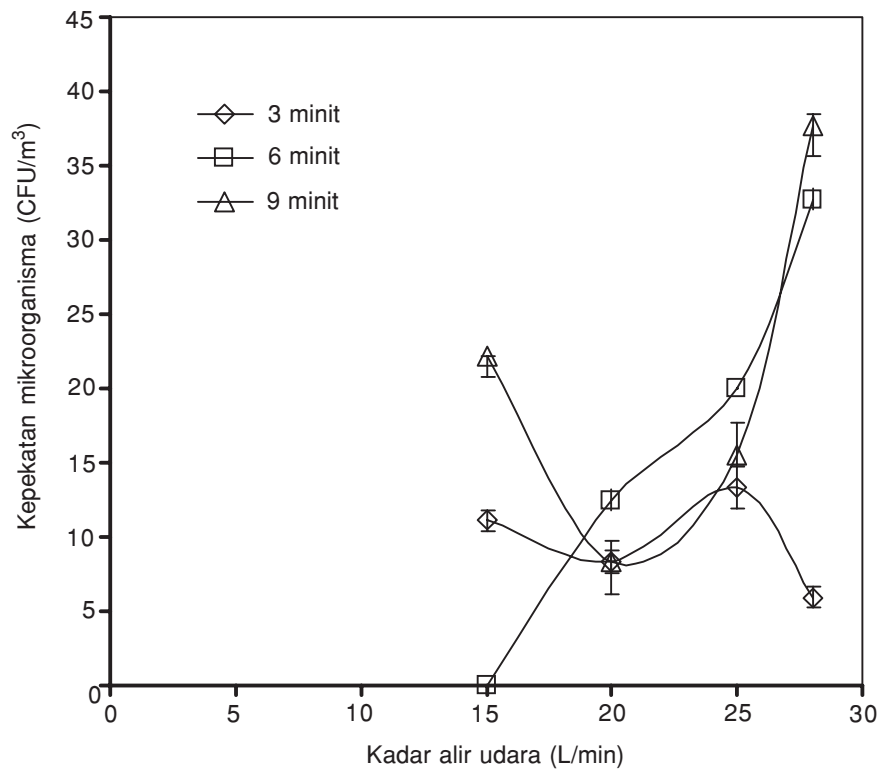
3.1 Hubungan Kepekatan Mikroorganisma dan Kadar Alir Udara serta Tempoh Persampelan yang Berbeza

Rajah 3 menunjukkan profil kepekatan mikroorganisma (CFU/m^3) melawan tempoh persampelan (minit) pada beberapa kadar alir udara (liter per minit). Kecuali pada kadar alir 28 Lpm, semua kadar alir tidak menunjukkan perkadaran langsung di antara kepekatan mikroorganisma dengan tempoh persampelan. Kepekatan mikroorganisma pada 28 Lpm meningkat dan mula konsisten setelah lebih daripada enam minit masa persampelan. Manakala untuk kadar alir 15 – 25 Lpm, kepekatan mikroorganisma yang diperolehi adalah tidak menentu iaitu turun-naik dengan masa persampelan.



Rajah 3 Kepekatan mikroorganisma melawan tempoh persampelan pada beberapa nilai kadar alir

Flannigan *et al.*, [5] dalam kajiannya melaporkan nilai kadar alir udara dalam teknik hentaman adalah pada 28 Lpm. Kadar alir yang sama juga telah digunakan dalam kajian terkini [6]. Justeru itu, keputusan kajian ini juga memper-lihatkan kadar alir optimum untuk semua tempoh masa persampelan adalah sekitar 28 Lpm. Oleh itu, kadar alir 28 Lpm digunakan untuk kajian seterusnya.



Rajah 4 Kepekatan mikroorganisma melawan kadar alir udara pada beberapa tempoh persampelan

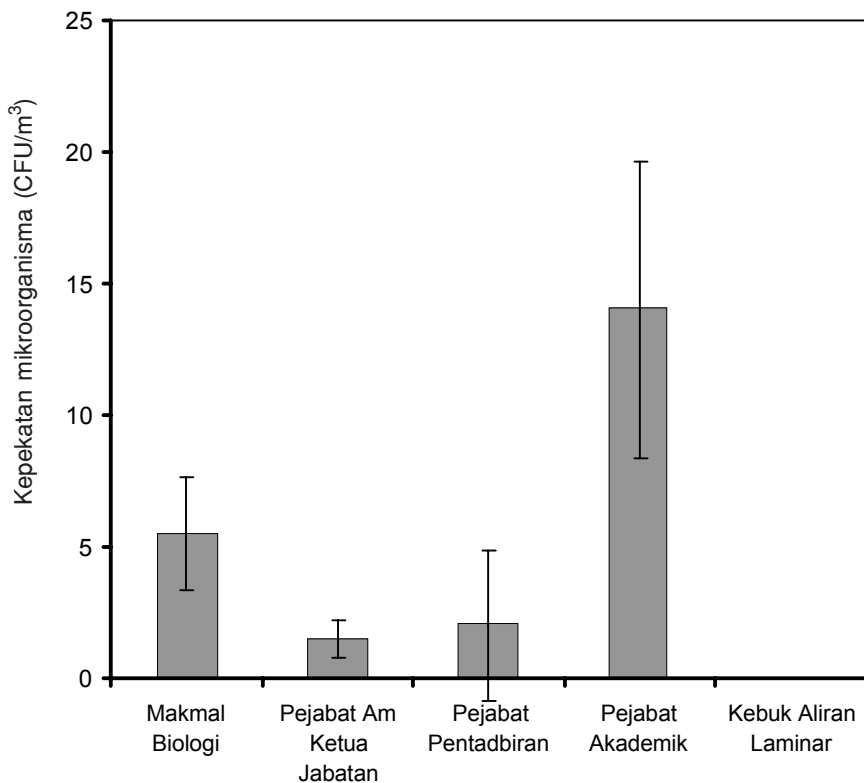
Sebagaimana kadar alir udara yang optimum, tempoh persampelan yang optimum juga penting ditentukan. Rajah 4 adalah keputusan kepekatan mikroorganisma terhadap peningkatan kadar alir udara untuk masa persampelan (dalam minit) yang berbeza-beza. Rajah ini jelas menunjukkan tempoh persampelan selama 6 minit memberikan keputusan perkadaran langsung yang terbaik antara kepekatan mikroorganisma dengan peningkatan kadar alir udara jika dibandingkan dengan masa persampelan 3 dan 9 minit.

Flannigan *et al.*, [5] melaporkan bahawa tempoh persampelan bakteria adalah optimum pada 10 minit, manakala 3 minit adalah tempoh yang optimum untuk persampelan fungus. Namun, Lai dan rakan-rakan (2003) menggunakan jangka masa persampelan selama 5 minit dalam kajian mereka. Perbezaan tempoh persampelan bergantung kepada beberapa faktor seperti geometri radas persampelan serta suasana sekitaran fizikal di mana sesuatu kajian itu dilakukan. Walaupun begitu, jangka masa persampelan yang dilaporkan rata-rata di antara 3 sehingga 10 minit, dan dalam kajian ini 6 minit merupakan jangka masa persampelan yang terbaik (iaitu kadar kepekatan mikroorganisma dengan masa persampelan adalah konsisten) adalah untuk menilai tahap kepekatan kontaminasi bioaerosol di tempat kajian.

3.2 Hubungan Bilangan Manusia dengan Tahap Kontaminasi Bioaerosol

Kajian sebelum ini mendapati bahawa medium pertumbuhan *tryptic soy agar*, kadar alir udara 28 liter per minit dan tempoh persampelan selama 6 minit adalah pemboleh ubah optimum. Kajian selanjutnya adalah untuk menentukan hubungan antara bilangan manusia dengan tahap kontaminasi bioaerosol yang dibebaskan daripada aktiviti manusia. Lima lokasi yang mempunyai purata bilangan manusia yang berbeza-beza telah dikenalpasti iaitu Pejabat Akademik, Makmal Kejuruteraan Bioproses, Pejabat Am Ketua Jabatan, Pejabat Pentadbiran dan kebuk aliran laminar. Makmal Kejuruteraan Bioproses dan kebuk aliran laminar tidak berpendingin udara dengan suhu bilik sekitar 30°C, manakala di kedua-dua ruangan pejabat adalah berhawa dingin (dengan kelembapan relatif lebih rendah daripada keadaan tanpa hawa dingin) dengan suhu sekitar 23°C. Eksperimen dilakukan berlandaskan nilai pemboleh ubah-pemboleh ubah optimum yang telah bincangkan diawal kajian di atas.

Rajah 5 adalah keputusan yang diperolehi di mana kesemua lokasi menunjukkan tahap kontaminasi yang jelas dan berbeza antara satu sama lain. Seperti jangkaan,

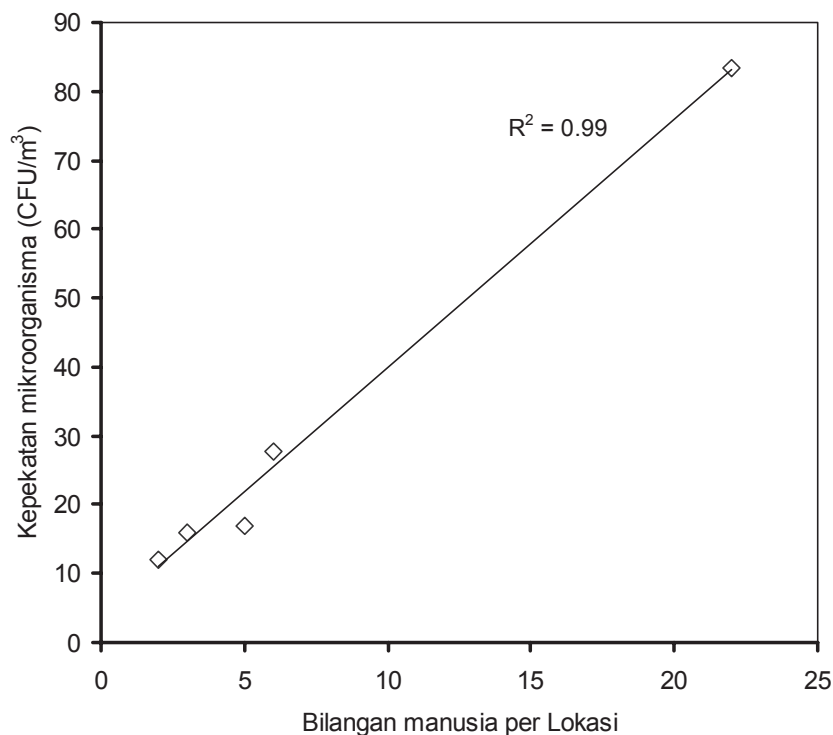


Rajah 5 Kepekatan mikroorganisma di lokasi persampelan

kebuk aliran laminar tiada mencatatkan pertumbuhan mikroorganisma langsung. Keputusan ini sependapat dengan laporan yang menyebutkan bahawa bilangan koloni per meter padu udara yang diambil dari kebuk aliran laminar adalah kurang daripada 4 CFU/m^3 [3].

Pejabat Akademik memperlihatkan kepekatan mikroorganisma yang tertinggi antara lokasi persampelan iaitu dengan nilai purata 83 CFU/m^3 diikuti dengan Makmal Biologi (33 CFU/m^3), Pejabat Pentadbiran (12 CFU/m^3) dan Pejabat Am Ketua-ketua Jabatan (9 CFU/m^3). Storino [7] melaporkan kepekatan bakteria di udara dalaman adalah di antara $350\text{-}2,500 \text{ CFU/m}^3$ manakala bagi udara ambien adalah di antara $100\text{-}1,200 \text{ CFU/m}^3$. Kajian lain melaporkan jumlah bakteria yang terdapat di udara dalaman rumah adalah di antara $35\text{-}22,000 \text{ CFU/m}^3$ [5, 8, 9]. Secara amnya, hasil yang diperolehi ini adalah di dalam julat yang dilaporkan dan dipercayai keputusan banyak dipengaruhi oleh faktor bilangan manusia yang terdapat di lokasi berkenaan. Oleh itu bilangan manusia yang keluar masuk di ruangan atau lokasi persampelan juga telah dicatatkan.

Rajah 6 merupakan plot bilangan manusia pada setiap lokasi berlawanan dengan kepekatan mikroorganisma di udara ketika persampelan dilakukan. Keputusan jelas menunjukkan bahawa perkadaran yang positif yang amat bererti $r^2 = 0.99$. Korelasi



Rajah 6 Kepekatan mikroorganisma melawan bilangan manusia per lokasi

yang tinggi ini membuktikan tahap kontaminasi bioaerosol memang berkait rapat dengan bilangan manusia pada sesuatu lokasi. Dimmick [10] melaporkan bahawa aktiviti manusia seperti bernafas, bercakap, batuk, dan bersin masing-masing mengeluarkan mikroorganisma pada kadar sebanyak 9, 72, 1200 dan 2700 CFU per minut. Sungguhpun kajian ini tidak membuat hubungan dan pengiraan terperinci antara aktiviti ini dengan bilangan manusia, namun secara amnya, nilai korelasi yang diperolehi sudah cukup untuk membuktikan bahawa wujud hubungan langsung di antara kepekatan kontaminan bioaerosol dan bilangan manusia.

4.0 KESIMPULAN

Keputusan menunjukkan medium *tryptic soy agar* serta kadar alir udara 28 Lpm dengan tempoh persampelan selama 6 minut adalah yang paling sesuai bagi menentukan tahap kontaminasi di udara dalaman. Tahap kontaminasi bioaerosol di semua lokasi kajian adalah rendah iaitu di antara 9-83 CFU/m³. Hasil keputusan menunjukkan tahap kontaminan adalah berkait rapat dengan bilangan manusia yang berada di tempat persampelan.

PENGHARGAAN

Pengarang merakamkan setinggi-tinggi penghargaan kepada semua kakitangan makmal Kejuruteraan Bioproses terutamanya Puan Siti Zalita, dan juga kepada semua kakitangan Pejabat Am Ketua Jabatan dan Pejabat Akademik atas segala kerjasama yang diberikan ketika kajian ini dilakukan.

RUJUKAN

- [1] Lighthart, B. dan A. J. Mohr (Ed.). 1994. *Atmospheric microbial aerosols, theory and applications*. New York: Chapman & Hall, One Penn Plaza.
- [2] Willeke, K., S. A. Grinshpun, J. Donnelly, A. Juozaitisy, M. Thompson, W. C. Ching, F. Liebhauer, A. Nevalainen, 1993. "Physical and biology sampling efficiencies of bioaerosol samplers". Proceed. of 6th International Conference on Indoor air Quality and Climate, Volume 4. Particles, Microbes, Radon. pp. 131-138.
- [3] Cox, C. S. dan C. M. Wathes (Eds.). 1995. *Bioaerosols Handbook*. CRC Press. Inc., 2000 Corporate Blvd., N.W., Boca Raton, Florida 33431.
- [4] Norafiqah, J. 2003. *"Persampelan Bioaerosol"*. Projek Sarjana Muda, Fakulti Kejuruteraan Kimia dan Kejuruteraan Sumber Asli, Universiti Teknologi Malaysia.
- [5] Flannigan, B., E. M. McCabe, S. V. Jupe, dan G. Jeffrey. 1993. "Mycological and acarological investigation of complaint and non-complaint houses in Scotland". Proceed. of 6th International Conference on Indoor air Quality and Climate, Volume 4. Particles, Microbes, Radon". pp. 143-148.
- [6] Lai, M. H, D. J. Moschandreas, dan K. R. Pangilla. 2003. "Airborne bacteria control under chamber and test-home conditions". *J. Environmental Eng.*, 129: 202-208.
- [7] Storino, L. V. 1996. *"Seasonal effects and room to room variations of residential indoor airborne viable bacteria"*. MS Thesis, Illinois Institute of Technology, Chicago.
- [8] Gallup, J. M., J. Zanolli, dan L. Olson. 1993. "Airborne bacteria exposure: preliminary results of volumetric studies performed in office buildings, schools, and homes in California". Proceed. of 6th International Conference on Indoor air Quality and Climate, Volume 4. Particles, Microbes, Radon". pp. 167-170.

- [9] Maroni, M., B. Seifert, dan T. Lindvall. 1995. *Indoor air quality: a comprehensive reference book*. Air quality monographs. New York: Elsevier Science. 3: 155-160.
- [10] Dimmick, R. L. dan A. B. Akers. 1969. "An introduction to experimental aerobiology". John Wiley & Sons, Inc., 446-447.