

PENENTUAN TABURAN HARIAN LEVOGLUKOSAN DI UDARA SECARA KOLORIMETRI

(Determination of Levoglucosan Diurnal Pattern in Air by Colorimetric Method)

Mohd Zaidi Mat Satar¹, Mohd Talib Latif², Mohamed Rozali Othman^{1*}

¹Pusat Pengajian Sains Kimia dan Teknologi Makanan,

²Pusat Pengajian Sains Sekitaran dan Sumber Alam,

Fakulti Sains dan Teknologi,

Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan, Malaysia

*Corresponding author: rozali@ukm.my

Abstrak

Levoglukosan (1, 6-anhidro- β -D-gukopiranosa) berpotensi dijadikan sebagai pengesan spesifik bagi partikel yang terbebas daripada pembakaran biojisim disebabkan kestabilannya di atmosfera serta wujud dalam komposisi yang banyak. Kaedah yang tepat bagi penentuan kandungan levoglukosan di udara adalah penting bagi mengkaji pelbagai kesan levoglukosan terhadap atmosfera. Kajian ini bertujuan mengkaji dan membangunkan satu kaedah pensampelan optimum yang berpotensi dalam menyerap kandungan maksimum levoglukosan yang hadir di udara. Pensampelan udara dijalankan dengan menggunakan sistem penjerap udara yang mengandungi air nyahion. Sampel yang diperolehi kemudiannya dianalisis menggunakan kaedah kolorimetri Anthrone-Asid Sulfurik di mana serapan analit diukur menggunakan spektrometer ultra lembayung-nampak pada panjang gelombang 620 nm. Hasil kajian menunjukkan bahawa keadaan yang optimum bagi pensampelan levoglukosan di udara adalah dengan menggunakan air nyahion sebagai larutan penyerap pada kadar alir 1.0 L/min. Kepekatan levoglukosan didapati tidak dipengaruhi oleh tempoh penyimpanan menunjukkan levoglukosan di dalam larutan penyerap adalah stabil. Penutupan tiub penyerap semasa pensampelan didapati mampu mempengaruhi kepekatan levoglukosan di udara.

Kata kunci: Kolorimetri, Levoglukosan (1,6-anhidro- β -D-glukopiranosa), udara persekitaran

Abstract

Levoglucosan (1,6-anhydro- β -d-gucopyranose) in the atmosphere a major constituent of biomass burning smoke was able to be used as a specific indicator due to their stability during atmospheric transport and present at expected levels. Therefore, accurate determination of levoglucosan is crucial in order to investigate the possible effects of levoglucosan on the atmosphere. The aim of this study was to identify the optimum sampling method for measuring the maximum quantity of levoglucosan present in ambient air. Air samples were collected using an air absorbing system containing deionised distilled water. Samples obtained were analysed by colourimetry anthrone-sulphuric acid method where absorbance of analyte was measured at 620 nm using UV-visible spectrophotometer. Results obtained found that the optimum sampling method consisted of deionised water as an absorbent solution with the flow rate of 1.0 L/min. The concentration of levoglucosan in all sampling methods remained constant regardless of the storage period (1 day and 4 days), indicating that levoglucosan in the absorbing solution are quite stable. Covering the impinger tube with aluminium foil was shown to influence the amount of levoglucosan detected.

Keywords: colorimetry, Levoglucosan (1, 6-anhydro- β -d-gucopyranose), ambient air

Pengenalan

Levoglukosan telah digunakan sebagai penunjuk untuk menganggarkan pembebasan partikel daripada pembakaran biojisim kerana daya ketahanannya daripada terdegradasi di atmosfera [1, 2]. Levoglukosan adalah stabil di atmosfera dan tidak terurai selepas lapan jam terbebas ke udara [3]. Levoglukosan terhasil daripada pembakaran biojisim melalui penguraian terma selulosa yang wujud di dalam tumbuhan dan telah dikenalpasti wujud di atmosfera dalam kuantiti yang agak tinggi [4, 5]. Levoglukosan berada pada fasa partikel seni di dalam asap pembakaran biojisim dan kadar penghasilannya berada dalam julat antara 2–18 mg/min [2]. Levoglukosan di

atmosfera boleh digunakan sebagai pengesan pencemaran udara yang mudah, murah serta tersedia bagi mengesan penghasilan asap pembakaran kayu [6].

Selain daripada levoglukosan, sebatian manosakarida lain yang boleh dikesan di dalam atmosfera adalah seperti mannosan (1,6-anhidro- β -D-mannopiranosa) dan galaktosan (1,6-anhidro- β -D-galaktopiranosa) [7]. Keadaan suhu yang berbeza semasa pembakaran menyebabkan proses penguraian dan pertukaran sebatian organik boleh berlaku. Keamatan pembakaran, penganginan, tempoh pembakaran dan tempoh nyalaan akan mempengaruhi komposisi dan nisbah terhadap produk yang terhasil [8]. Penguraian terma selulosa berlaku melalui dua keadaan, pertamanya pada suhu kurang daripada 300°C yang melibatkan proses nyahpempolimeran, penguraian air, fragmentasi dan pengoksidaan dan diakhiri dengan penghasilan bahan yang hangus. Manakala pada suhu lebih daripada 300°C pula melibatkan pemecahan pada ikatan [8]. Penguraian pada keadaan kedua ini akan menghasilkan molekul yang berpotensi menjadi sebagai pengesan pembakaran biojisim terutamanya 1, 6 anhidrida glukosa yang juga dikenali sebagai levoglukosan [9]. Molekul lain yang terbentuk pada suhu ini adalah seperti isomer furanosa dan dianhidrida.

Sehingga kini kajian yang berkaitan dengan paras levoglukosan di udara adalah melibatkan penentuan levoglukosan dalam zarahhan terampai di udara, oleh itu penentuannya hanyalah pengutipan zarahhan terampai di udara untuk ditentukan kandungan levoglukosan di dalamnya [10, 11], dimana tiada kajian yang dilakukan untuk menentukan paras levoglukosan di udara dengan menyerap secara terus sampel udara ke dalam larutan penyerap tertentu. Kajian ini bertujuan bagi mengoptimumkan kaedah analisis levoglukosan di udara. Oleh yang demikian, parameter yang menyumbang kepada keefisiennan pam udara untuk menyerap levoglukosan di udara dikaji.

Bahan dan Kaedah

Penyediaan larutan piawai

Levoglukosan

Larutan piawai levoglukosan disediakan dengan menimbang dengan tepat kira-kira 0.1624 g serbuk levoglukosan dan dilarutkan dalam air nyahion dalam kelalang isipadu 1L yang akan memberikan kepekatan larutan levoglukosan kira-kira 1 mM. Lengku kalibrasi dengan kepekatan 0-2.5 μ M disediakan dari larutan piawai berkenaan.

Anthrone (9,10-dihydro-9-oxoanthracene)

Sebanyak kira-kira 200 mg serbuk anthrone dilarutkan dengan 100 ml asid sulfurik pekat, H_2SO_4 di dalam bikar. Campuran berkenaan kemudiannya dikacau dengan menggunakan rod kaca bagi memastikan semua serbuk anthrone terlarut. Larutan anthrone yang segar perlu disediakan sebelum analisis kerana warna larutan ini akan berubah mengikut masa. Larutan anthrone yang segar berwarna kuning keemasan.

Kaedah penentuan kepekatan levoglukosan

Kepekatan levoglukosan dalam sampel dikesan dan diukur dengan menggunakan kaedah Kolorimetri-Anthrone-Asid Sulfurik seperti yang telah dicadangkan sebelum ini [12]. Sebanyak 10 mL larutan anthrone segar dimasukkan ke dalam kelalang isipadu yang mengandungi 5 mL larutan sampel. Percampuran ini dijalankan pada suhu bilik. Percampuran ini akan menghasilkan larutan yang berwarna hijau cair (campuran yang menggunakan larutan anthrone yang tidak segar akan memberikan warna keperangan ataupun coklat). Larutan ini kemudiannya dipanaskan di dalam kukus air pada suhu 100 °C selama 10 minit sebelum disejukkan dalam air ais selama 5 minit. Akhirnya, serapan larutan diambil menggunakan Spektrometer UV-nampak pada panjang gelombang 620 nm.

Pengoptimuman keadaan persampelan

Kaedah untuk menentukan keadaan optimum penentuan levoglukosan di udara dibahagikan kepada dua langkah. Langkah pertama adalah untuk menentukan larutan penyerap yang paling baik diikuti dengan keadaan optimum analisis levoglukosan untuk menentukan kepekataanya di udara. Persampelan dilakukan di kawasan tepi jalan di sekitar Dewan Canselor Tun Abdul Razak (DECTAR), Universiti Kebangsaan Malaysia pada waktu pagi bagi memastikan terdapat sumber-sumber kehadiran levoglukosan melalui pembakaran biojisim menggunakan tiga pam La Motte yang dijalankan serentak bagi mendapatkan data triplikat. Secara prinsipnya, kaedah penentuan levoglukosan di udara adalah melalui peyerapannya ke dalam larutan penyerap (air nyahion atau 0.1 M asid sulfurik) di dalam tiub penyerap yang berupaya menyerap partikel levoglukosan di udara. Penentuan tahap

kandungan levoglukosan di udara ditentukan melalui kepekatan levoglukosan dalam larutan penyerap ini setelah diekstrak menggunakan larutan anthrone.

Pemilihan larutan penyerap terbaik

Langkah pertama kajian ini adalah dengan menentukan larutan penyerap terbaik bagi penentuan levoglukosan di udara. Untuk itu, dua larutan penyerap telah diuji iaitu air nyahion dan larutan 0.1 M asid sulfurik. Larutan penyerap berbentuk pewarna tidak diuji di dalam kajian ini memandangkan penggunaan pewarna hanya akan menyebabkan sampel rosak di mana percampuran antara larutan anthrone segar dengan larutan penyerap pewarna akan menghasilkan pemendakan. Jadi, serapan oleh spektrometer UV-VIS akan memberikan bacaan yang sangat tinggi yang berada di luar julat kepekatan levoglukosan yang sebenar di udara.

Kadar alir dan masa penyimpanan

Selepas larutan penyerap optimum ditentukan, kajian diteruskan dijalankan bagi menentukan keadaan optimum bagi prosedur dan peralatan untuk persampelan seperti parameter kadar alir pada pam udara dan keadaan tiub penyerap sama ada berbalut ataupun tidak iaitu dibiarkan terdedah kepada cahaya matahari. Kesan tempoh penyimpanan sampel (sehari atau lebih) terhadap kandungan levoglukosan yang diserap oleh larutan penyerap juga dikaji. Bagi menentukan kadar alir yang optimum, pam udara telah diselaraskan kepada beberapa kadar yang berbeza (0.5 L/min, 1.0 L/min and 2.0 L/min) terhadap udara selama 1 jam. Untuk parameter tempoh penyimpanan sampel, larutan penyerap yang mengandungi sampel disimpan di makmal selama sehari sehingga empat hari.

Pemilihan keadaan optimum bagi keadaan tiub penyerap

Untuk mengkaji pengaruh cahaya matahari terhadap tindak balas antara larutan penyerap dan levoglukosan pula, tiub penyerap dibalut dengan kerajang aluminium. Parameter untuk mengoptimumkan kaedah analisis levoglukosan di udara diringkaskan seperti dalam Jadual 1. Untuk kerja-kerja pengoptimuman ini persampelan perlu dilakukan pada waktu yang sama untuk setiap parameter yang sama tetapi berbeza nilai atau bahan.

Hasil dan perbincangan

Pengoptimuman keadaan persampelan

Purata kepekatan levoglukosan yang diperolehi bagi setiap faktor yang dikaji adalah seperti yang diringkaskan dalam Jadual 1.

Jadual 1: Purata kepekatan (n=3) levoglukosan bagi setiap faktor yang diuji

Faktor	Elemen	Purata kepekatan ($\mu\text{mol}/\text{m}^3$)
Larutan penyerap	Air suling	0.182±0.185
	Asid sulfurik (0.01M)	0.144±0.127
Keadaan tiub penyerap	Berbalut-aluminium	0.532±0.091
	Tidak berbalut	0.232±0.098
Kadar alir	0.5 L/min	0.158±0.039
	1.0 L/min	0.313±0.264
	1.5 L/min	0.027±0.006
Tempoh simpanan	Sehari	0.145±0.059
	4 hari	0.174±0.011

Hasil kajian mendapati air suling merupakan larutan penyerap yang paling baik dengan nilai kepekatan di udara setinggi $0.182 \pm 0.185 \mu\text{mol}/\text{m}^3$ berbanding dengan larutan 0.01M H_2SO_4 yang menunjukkan bacaan lebih rendah

iaitu $0.144 \pm 0.127 \mu\text{mol}/\text{m}^3$. Ini memandangkan levoglukosan merupakan satu sebatian yang sangat polar. Oleh itu sebatian ini sangat mudah diekstrak ke dalam fasa akuas [13]. Walau bagaimanapun ujian statistik yang dijalankan menggunakan ujian t-berpasangan antara kedua-dua larutan ini menunjukkan perbezaan yang tidak bererti ($p > 0.05$) diperolehi. Dengan ini, dapat disimpulkan bahawa jenis larutan penyerap tidak begitu mempengaruhi kepekatan levoglukosan di udara. Walau bagaimanapun, air suling dipilih sebagai larutan penyerap yang paling sesuai untuk digunakan semasa persampelan udara memandangkan ia mencatatkan bacaan yang tertinggi dan penggunaannya yang lebih mudah.

Tiub penyerap yang berbalut mencatatkan bacaan kepekatan levoglukosan yang lebih tinggi iaitu sebanyak $0.532 \pm 0.09 \mu\text{mol}/\text{m}^3$ berbanding tiub penyerap yang tidak berbalut iaitu sebanyak $0.232 \pm 0.098 \mu\text{mol}/\text{m}^3$. Keadaan tiub penyerap yang berbalut mencatatkan kepekatan purata yang lebih tinggi mungkin kerana larutan penyerap tidak didedahkan dengan cahaya matahari akibat dilindung oleh kerajang aluminium. Suhu yang tinggi mungkin menyebabkan molekul levoglukosan akan terurai terlebih dahulu di dalam larutan penyerap. Ini menunjukkan bahawa levoglukosan yang telah diserap masuk ke dalam larutan penyerap tidak sesuai didedahkan kepada cahaya matahari. Walau bagaimanapun, partikel levoglukosan di udara sangat dipengaruhi oleh suhu. Keadaan suhu yang berbeza menyebabkan proses penguraian dan pertukaran sebatian organik boleh berlaku [9]. Dapat disimpulkan di sini bahawa faktor suhu hanya memainkan peranan ke atas komposisi levoglukosan di udara sahaja dan bukannya ke atas larutan penyerap.

Sementara itu, tiub penyerap yang terdedah dengan sinaran matahari juga masih dapat mencatatkan purata kepekatan yang agak tinggi. Ini adalah kerana levoglukosan merupakan molekul yang amat stabil di udara dan hadir dalam kuantiti yang banyak berbanding molekul yang lain [1]. Oleh itu, kebarangkalian untuk menyerap levoglukosan adalah tinggi. Walau bagaimanapun tiub penyerap yang berbalut dipilih kerana ia menunjukkan bacaan yang lebih tinggi. Perbandingan menggunakan ujian t-berpasangan antara tiub penyerap yang berbalut dengan kerajang aluminium dengan yang tidak berbalut menunjukkan bahawa perbezaannya adalah bererti ($p < 0.05$). Ini menunjukkan bahawa perbezaan keadaan tiub penyerap yang digunakan semasa persampelan menunjukkan perbezaan secara bererti terhadap kepekatan levoglukosan yang dikaji.

Kadar alir 1.0 L/min menunjukkan bacaan purata levoglukosan yang tertinggi iaitu sebanyak $0.313 \pm 0.264 \mu\text{mol}/\text{m}^3$ manakala kadar alir 0.5 dan 1.5 L/min masing-masing menunjukkan bacaan sebanyak $0.158 \pm 0.039 \mu\text{mol}/\text{m}^3$ dan $0.027 \pm 0.006 \mu\text{mol}/\text{m}^3$. Pam penyedut udara LaMotte yang telah diselaraskan dengan kadar alir yang rendah menyebabkan udara yang disedut juga adalah rendah. Oleh yang demikian, levoglukosan yang dijerap oleh larutan penyerap juga adalah rendah. Pelarasan kadar alir yang terlalu tinggi pula menyebabkan kemungkinan berlakunya tindak balas lain yang seterusnya menyebabkan kepekatan levoglukosan yang dapat dikesan adalah rendah. Disamping itu juga mungkin disebabkan kelarutan levoglukosan yang agak perlahan sehingga menyebabkan sebahagian daripadanya akan terbebas semula tanpa diserap oleh larutan penyerap yang digunakan.

Perbandingan menggunakan ujian ANOVA yang dilakukan ke atas ketiga-tiga kadar alir di atas menunjukkan perbezaan yang tidak bererti ($p > 0.05$). Ketiga-tiga kadar alir yang digunakan tidak menunjukkan perbezaan yang bererti. Walau bagaimanapun, kadar alir 1.0 L/min dipilih kerana mencatatkan bacaan kepekatan levoglukosan yang lebih memuaskan. Oleh yang demikian, dapat disimpulkan di sini bahawa kadar alir 1.0 L/min merupakan kadar alir yang paling sesuai digunakan semasa persampelan udara dijalankan. Kepekatan levoglukosan dapat dikesan dengan nilai yang tinggi pada kadar alir ini.

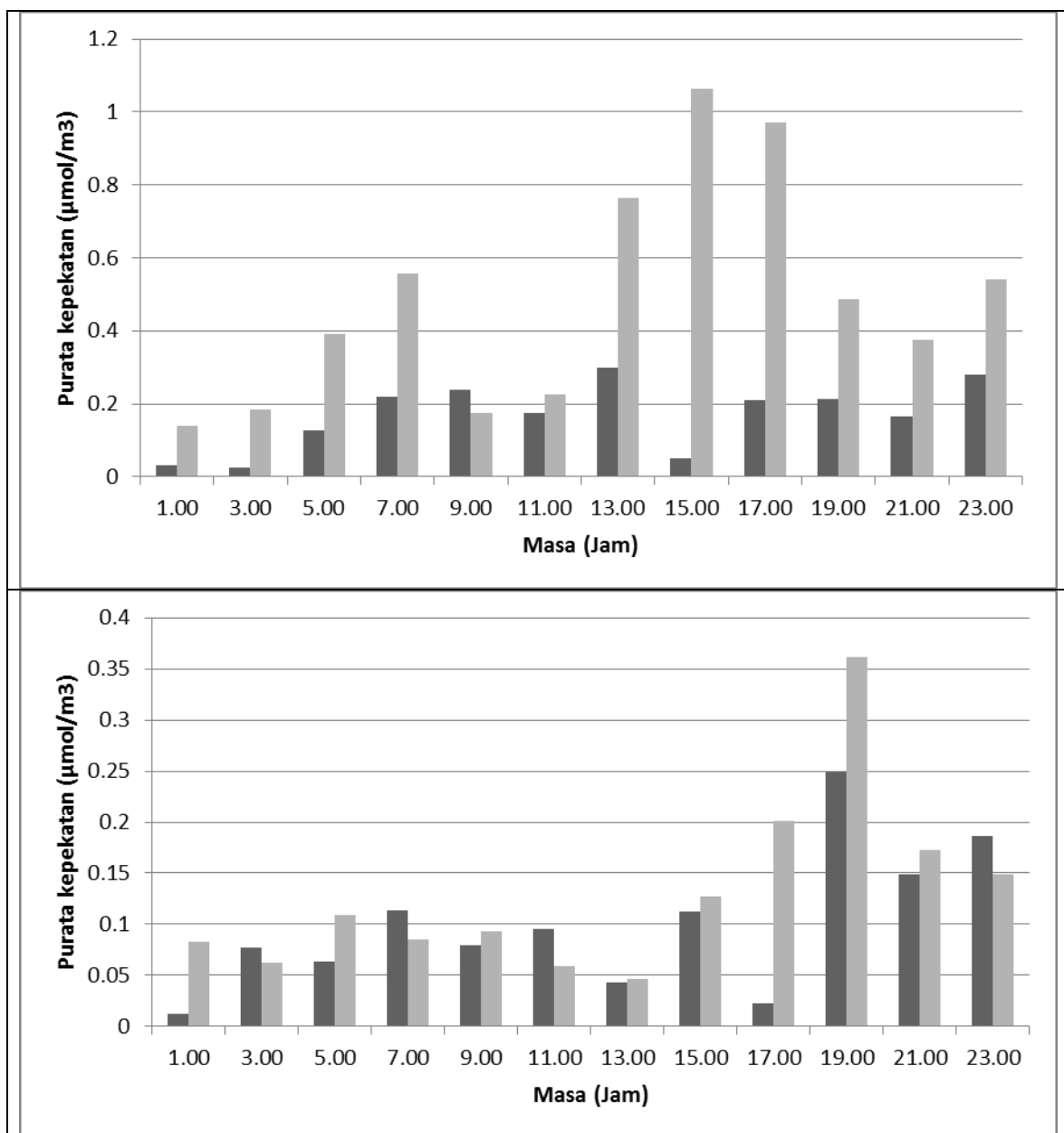
Taburan Harian Levoglukosan Di Udara

Dengan menggunakan keadaan persampelan yang telah dioptimumkan, kajian telah dilakukan untuk menentukan corak taburan levoglukosan di dua kawasan berbeza iaitu kawasan pinggir jalan dan kawasan perumahan di sekitar Kajang, Selangor.

Kepekatan purata levoglukosan di udara kawasan pinggir jalan

Kepekatan levoglukosan pada waktu cuti adalah lebih tinggi berbanding waktu bekerja (Rajah 1). Ujian ANOVA satu hala yang dijalankan menunjukkan bahawa perbezaan kepekatan levoglukosan antara hari bekerja dan hari cuti adalah bererti ($p < 0.05$). Aktiviti pembakaran yang dilakukan oleh penduduk menghasilkan asap yang

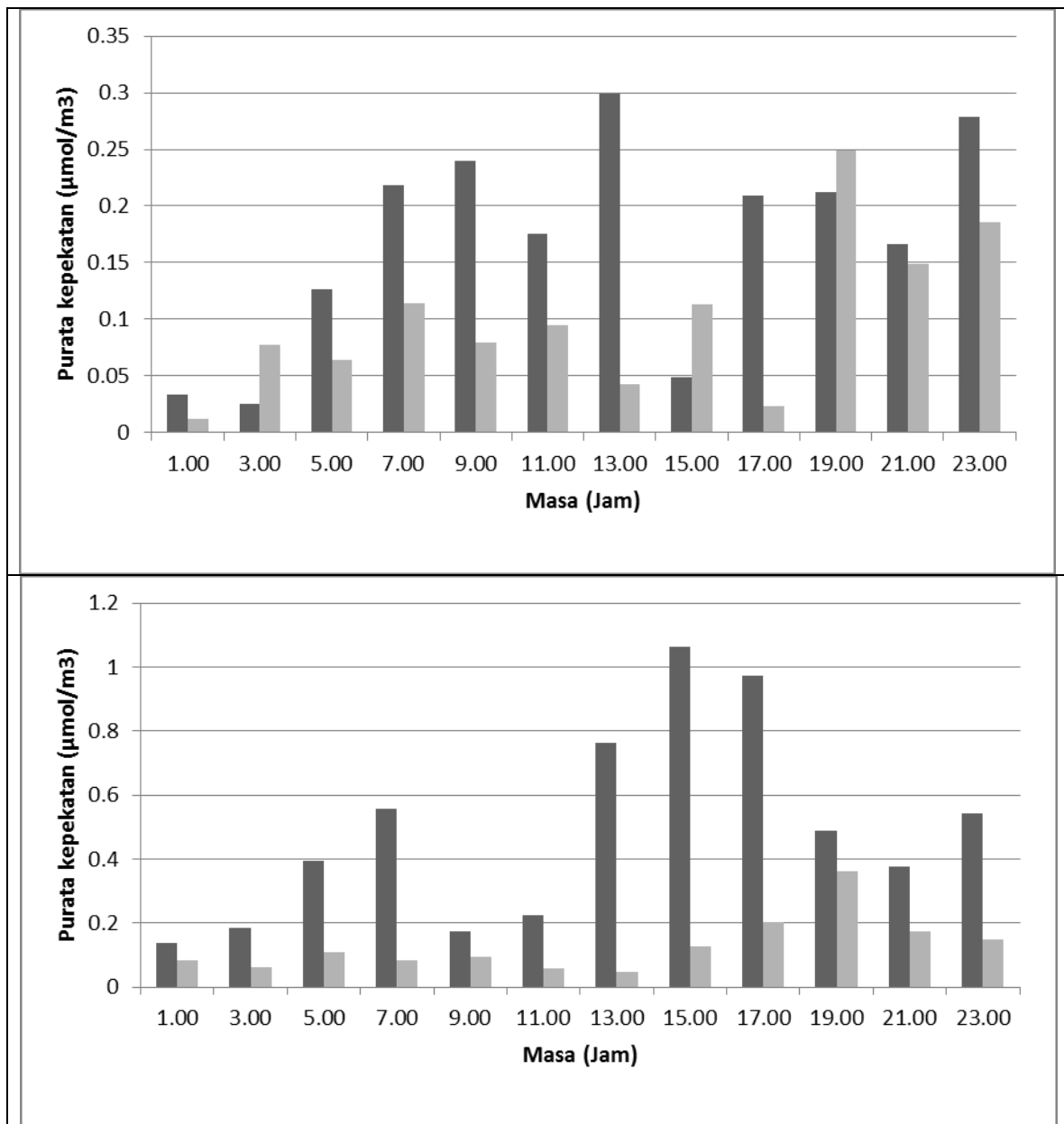
seterusnya menyebabkan penguraian terma selulosa boleh berlaku. Kepekatan levoglukosan dalam partikel asap pembakaran tumbuhan, kayu, unggun api, asap rokok dan bahan api adalah tinggi [2, 6, 8]. Kepekatan levoglukosan di udara adalah tinggi pada waktu penduduk bercuti mungkin kerana banyak aktiviti pembakaran tumbuhan yang berlaku pada waktu ini.



Rajah 1: Perbandingan kepekatan levoglukosan pada waktu bekerja (■) dan cuti (□) di kawasan pinggir jalan (atas) dan di kawasan perumahan (bawah)

Perbandingan kepekatan purata levoglukosan di udara di kawasan perumahan

Corak taburan kepekatan levoglukosan yang hampir sama juga diperolehi di kawasan perumahan (Rajah 2) dan ujian ANOVA yang dijalankan mendapati perbezaan kepekatan levoglukosan antara hari bekerja dan hari cuti adalah bererti ($p < 0.05$). Jika dibandingkan antara kedua-dua keadaan, kepekatan levoglukosan dapat dikesan dalam julat yang tinggi pada waktu petang. Keamatan cahaya yang berbeza-beza antara jam-jam tersebut menyebabkan berlakunya corak taburan levoglukosan yang tidak sekata. Pendedahan kepada sinaran ultra lembayung (UV) akan mempercepatkan kadar pemutusan ikatan antara ikatan karbon dalam molekul levoglukosan.



Rajah 2: Perbandingan kepekatan levoglukosan di udara pada hari bekerja (atas) dan hari cuti (bawah) di kawasan pinggir jalan (■) dan kawasan perumahan (□)

Perbandingan kepekatan levoglukosan di udara pada hari bekerja dan hari cuti

Kepekatan levoglukosan di udara pada hari bekerja adalah tinggi di kawasan pinggir jalan berbanding kawasan perumahan (Rajah 2A). Hasil ujian ANOVA mendapati bahawa perbezaan kepekatan levoglukosan antara kedua-dua hari berkenaan adalah bererti ($p < 0.05$). Jika dibandingkan antara kedua-dua keadaan, kepekatan levoglukosan dapat dikesan dalam julat yang tinggi pada waktu petang. Walau bagaimanapun, kepekatan levoglukosan di udara semakin menurun selepas jam 1900 petang mungkin kerana faktor cuaca yang menyebabkan asap daripada pembakaran biojisim tidak dapat bertahan lama di sesuatu kawasan kerana tiupan angin berupaya membawa hasil pembakaran biojisim ini ke tempat yang lebih jauh.

Kepekatan levoglukosan di udara pada hari cuti antara kawasan pinggir jalan dan kawasan perumahan

Terdapat perbezaan yang agak ketara antara kepekatan levoglukosan di kawasan pinggir jalan dan perumahan pada hari cuti (Rajah 2B). Kepekatan levoglukosan pada hari cuti adalah tinggi di kawasan pinggir jalan berbanding di kawasan perumahan. Ujian ANOVA menunjukkan bahawa perbezaan bagi kedua-dua kawasan ini adalah bererti ($p < 0.05$).

Kesimpulan

Levoglukosan (1, 6-anhidro- β -D-gukopiranos) berpotensi dijadikan sebagai pengesan spesifik bagi partikel yang terbebas daripada pembakaran biojisim disebabkan kestabilannya di atmosfera serta wujud dalam komposisi yang banyak. Kaedah yang tepat bagi penentuan kandungan levoglukosan di udara adalah penting bagi mengkaji pelbagai kesan levoglukosan terhadap atmosfera. Kajian ini bertujuan mengkaji dan membangunkan satu kaedah pensampelan optimum yang berpotensi dalam menyerap kandungan maksimum levoglukosan yang hadir di udara. Pensampelan udara dijalankan dengan menggunakan sistem penjerap udara yang mengandungi air nyahion. Sampel yang diperolehi kemudiannya dianalisis menggunakan kaedah kolorimetri Anthrone-Asid Sulfurik di mana serapan analit diukur menggunakan spektrometer ultra lembayung-nampak pada panjang gelombang 620 nm. Hasil kajian menunjukkan bahawa keadaan yang optimum bagi pensampelan levoglukosan di udara adalah dengan menggunakan air nyahion sebagai larutan penyerap pada kadar alir 1.0 L/min. Kepekatan levoglukosan didapati tidak dipengaruhi oleh tempoh penyimpanan menunjukkan levoglukosan di dalam larutan penyerap adalah stabil. Penutupan tiub penyerap semasa pensampelan didapati mampu mempengaruhi kepekatan levoglukosan di udara.

Kaedah optimum untuk menentukan levoglukosan di udara yang menggunakan pam LaMotte adalah dengan menggunakan larutan penyerap air suling dan udara disedut masuk pada 1.0 L/minit. Selain itu, keadaan tiub penyerap yang berbalut juga dipilih semasa persampelan udara dilakukan ini bagi mengelakkan daripada levoglukosan yang telah terperangkap terdedah kepada sinaran matahari. Sampel yang telah diambil pula boleh dianalisis pada bila-bila masa memandangkan tempoh simpanan sampel tidak memberikan perbezaan secara bererti terhadap kepekatan levoglukosan. Kaedah penentuan levoglukosan di udara yang telah dibangunkan ini telah berjaya diaplikasikan dalam penentuan kepekatan di udara dan hasil yang diperolehi adalah memberangsangkan.

Penghargaan

Pengarang ingin mengucapkan ribuan terima kasih kepada Universiti Kebangsaan Malaysia melalui geran penyelidikan DLP-2012-024 yang membolehkan kerja-kerja dalam kajian ini dapat dilakukan dengan jayanya.

Rujukan

1. Fraser, M. P. and Lakshmann, K. (2000). Using levoglucosan as a molecular marker for the long range transport of biomass combustion aerosols. *Environ. Sci. Technol.* 34, 4560-4564.
2. Simoneit, B. R. T. (2002). Biomass burning: A review of organic tracers for smoke from incomplete combustion. *Appl. Geochem.* 17, 129-162.
3. Locker, H.B. (1988). The use of levoglucosan to assess environmental impact of residential wood burning on air quality. PhD thesis Dartmouth College, Hanover NH.
4. Dixon, R. W. and Baltzell, G. (2006). Determination of levoglucosan in atmospheric aerosols using High Performance Liquid Chromatography with aerosol charge detection. *J. Chrom. A* 1109, 214-221.

5. Dos Santos, C. Y. M., Azevedo, D. D. A. and De Aquino Neto, F. R. (2002). Selected organic compounds from biomass burning in the atmospheric particulate matter over sugarcane plantation areas. *Atmos. Environ.* 36, 3009-3019.
6. Jordan T. B., Seen, A. J. and Jacobsen. (2006). Levoglucosan as an atmospheric tracer for woodsmoke. *Atmos. Environ.* 40:5316-5321.
7. Nolte, C. G., Schauer, J. J., Cass, G. R. and Simoneit, B. R. T. (2001). Highly polar organic compounds present in wood smoke and in the ambient atmosphere, *Environ. Sci. Technol.* 35, 1912–1919.
8. Simoneit, B. R. T., Schauer, J. J., Nolte, C. G., Oros, D. R., Elias, V. O., Fraser, M. P., Rogge, W. F. and Cass, G. R. 1999. Levoglucosan, a tracer for cellulose in biomass burning and atmospheric particles. *Atmos. Environ.* 33, 173-182.
9. Elias, V. O., Simoneit, B. R. T., Cordeiro, R. C. and Turcq, B. (2001). Evaluating levoglucosan as an indicator of biomass burning in Carajas, Amazonia: A comparison to a charcoal record. *Atmos. Environ.* 65, 267-272.
10. Fuzi Mohamed Fartas, Mohamed Rozali Othman, Faraj Ali Rajeb and Mohd Talib. Latif. (2009). Determination of Levoglucosan in PM10 and Biomass Close Burning Residue Samples Using Anthrone-sulfuric Acid Colorimetric Method. *J. Appl. Sci. Res.* 5(10), 1663-1667.
11. Michihiro Mochida, Kimitaka Kawamura, Pingqing Fu, Toshihiko Takemura. (2010). Seasonal variation of levoglucosan in aerosols over the western North Pacific and its assessment as a biomass-burning tracer. *Atm. Environ.* 44(29): 3511-3518.
12. Laurentin, A. and Edwards, C. A. (2003). A microtiter modification of the anthrone-sulfuric acid colorimetric assay for glucose-based carbohydrates. *Anal. Biochem.* 315, 143-145.
13. Qi Li, Philip H. Steele, Brian Mitchell, Leonard L. Ingram, and Fei Yu. (2013). The addition of water to extract maximum levoglucosan from the bio-oil produced via fast pyrolysis of pretreated loblolly pinewood. *BioResources*, 8(2), 1868-1880.