



Analisis pola taburan ruang PM₁₀ dan O₃ di Lembah Klang dengan mengaplikasikan teknik *Geographic Information System* (GIS)

Siti Haslina Mohd Shafie¹, Mastura Mahmud¹

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

Correspondence: Mastura Mahmud (email: mastura@ukm.edu.my)

Abstrak

Sumber utama masalah kemerosotan kualiti udara bandar terutamanya di Lembah Klang adalah berpunca daripada jumlah kenderaan bermotor yang tinggi. Beberapa Laporan Kualiti Alam Sekitar dan Laporan Tahunan yang dikeluarkan oleh Jabatan Alam Sekitar dari 2003 hingga 2009 telah membuktikan pernyataan ini. Oleh itu, kajian ini bertujuan untuk menganalisis tahap kualiti udara dan menganalisis pola taburan ruang tahunan bahan pencemar partikel zarah terampai berdiameter kurang daripada 10 mikrometer (PM₁₀) dan ozon (O₃) di beberapa stesen kualiti udara terpilih di Klang, Petaling Jaya, Kajang, Shah Alam dan Cheras. Analisis pola taburan ruang tahunan menggunakan teknik interpolasi *Inverse Distance Weighted* (IDW) dalam Sistem Maklumat Geografi (GIS) menunjukkan kepekatan PM₁₀ yang berjulat antara 50 hingga 100 µg/m³ turut melebihi nilai setaraan purata tahunan RMAQG (*Recommended Malaysian Air Quality Guidelines*), iaitu 50µg/m³ di setiap stesen kajian antara 2004 dan 2009. Impaknya, kemerosotan kualiti udara bandar Lembah Klang akibat daripada kenderaan bermotor bukan sahaja memburukkan masalah alam sekitar bahkan turut juga memberi kesan negatif terhadap kesihatan manusia.

Katakunci: analisis ruang, *Inverse Distance Weighted* (IDW), kualiti udara bandar, Lembah Klang, pola taburan ruang tahunan bahan pencemar, Sistem Maklumat Geografi

Spatial distribution analysis of PM₁₀ and O₃ in the Klang Valley using Geographic Information System (GIS)

Abstract

Motor vehicles were the main source of air quality deterioration in the Klang Valley according to several Environmental Quality Reports and Annual Reports from 2003 to 2009 published by the Department of Environment. The objectives of this study were to analyse the annual spatial distribution pattern of suspended particulate matter of less than 10 micrometers (PM₁₀) and ozone (O₃) at the Klang, Petaling Jaya, Kajang, Shah Alam and Cheras air quality stations. Using the Inverse Distance Weighted (IDW) interpolation technique in the Geographic Information System (GIS) the findings showed that the maximum concentration of PM₁₀ ranged between 50µg/m³ to 100µg/m³ at each station which were above the RMAQG value of 50µg/m³ from 2004 to 2009. Urban air quality deterioration in the Klang Valley that resulted from the emission of motor vehicles not only exacerbated environmental problems but also had negative impacts on human health.

Keywords: distribution pattern of suspended particulates, Geographic Information System, Inverse Distance Weighted (IDW), Klang Valley, spatial analysis, urban air quality

Pengenalan

Pengangkutan merupakan salah satu elemen yang sangat penting dan diberi keutamaan dalam proses memajukan sesebuah negara terutamanya yang sedang membangun. Pengangkutan yang terbaik dan canggih boleh berfungsi sebagai indikator dalam usaha menstabilkan pertumbuhan ekonomi sesebuah negara. Selain itu, pengangkutan juga dikenali sebagai nadi kepada kehidupan manusia. Hal ini berlaku kerana kadar kebergantungan manusia terhadap pengangkutan adalah sangat tinggi terutama di kawasan pusat bandar negara sedang membangun.

Tambahan pula, teknologi moden masa kini telah dapat melahirkan manusia bersifat "*mobile*", iaitu manusia yang melakukan pergerakan dari satu tempat ke tempat yang lain bertujuan bagi memenuhi pelbagai tuntutan kehidupan seharian. Sebagai contoh, bagi memenuhi tuntutan pekerjaan dan peribadi, manusia terpaksa bergerak menggunakan kenderaan dan ini secara langsung menyebabkan kadar mobiliti harian manusia meningkat pada tahap yang tinggi terutamanya di negara sedang membangun. Pergerakan menggunakan kenderaan moden telah dapat meningkatkan darjah ketersampaian manusia ke sesuatu tempat tanpa sebarang masalah serta menjimatkan masa dan kos perjalanan.

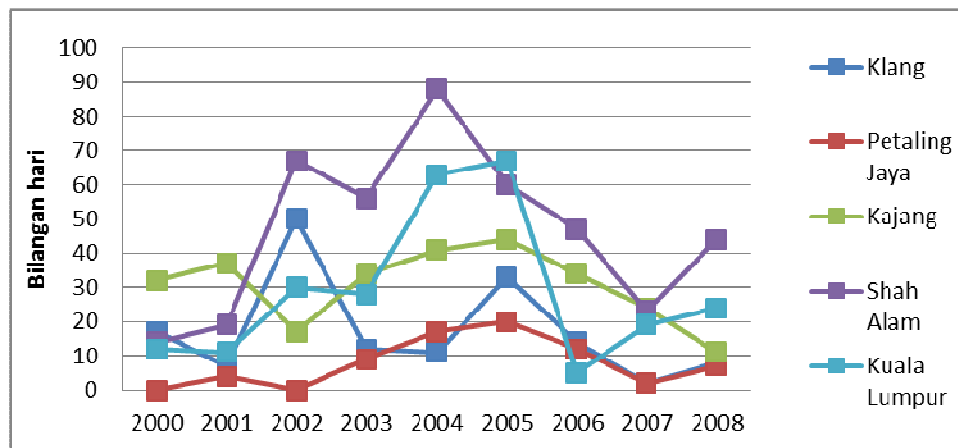
Dari sudut pandang yang lain, kebergantungan manusia terhadap pengangkutan yang tinggi boleh mendatangkan impak negatif kepada persekitaran bandar, iaitu apabila berlakunya masalah pencemaran udara bandar. Pencemaran udara bandar berlaku akibat daripada pembebasan bahan pencemar dalam kepekatan yang tinggi melalui aktiviti pengangkutan. Antara bahan pencemar yang terhasil daripada aktiviti pengangkutan adalah karbon dioksida (CO₂), nitrogen dioksida (NO₂), sulfur dioksida (SO₂), hidrokarbon (HC), zarah terampai berdiameter kurang daripada 10 mikron (PM₁₀) serta ozon (O₃). Telah diketahui umum bahawa O₃ merupakan bahan pencemar yang paling utama dalam mencemarkan udara bandar serta menyebabkan kemerosotan kualiti udara setempat (Gorham et al. 2002). Dalam troposfera, ozon terbentuk dengan pemisahan molekul oleh cahaya matahari. Nitrogen dioksida (NO₂) membekalkan oksigen molekul yang diperlukan untuk pembentukan ozon. Terdapat beberapa jenis bahan pencemar yang dikategorikan sebagai gas rumah hijau, iaitu CO₂ dan NO_x yang sememangnya dibebaskan daripada aktiviti pengangkutan SO_x dan PM (Gorham et al., 2002). Impak daripada pembebasan gas rumah hijau tersebut seterusnya mengakibatkan berlakunya pemanasan global jika dilihat dalam ruang lingkup yang lebih luas. Malah, pembebasan bahan pencemar yang merupakan gas rumah hijau turut merosakkan tanam-tanaman, ekosistem biologi yang sensitif khususnya kesihatan manusia (IGES, 2007). Keadaan ini kebanyakannya berlaku di negara sedang membangun yang sedang mengalami proses pembandaran yang pesat darjah seperti Jakarta, Indonesia; Mumbai di India; Bangkok di Thailand; Shanghai dan Beijing di China; selain Kuala Lumpur di Malaysia (IGES, 2007).

Kemerosotan kualiti udara di Lembah Klang

Lembah Klang merupakan bandar raya yang sangat terkesan dan berisiko tinggi mengalami masalah kemerosotan kualiti udara di Malaysia. Ini terbukti apabila terdapatnya beberapa episod penurunan kualiti udara dan fenomena jerebu yang serius di kawasan ini pada beberapa tahun kebelakangan ini. Keadaan ini dapat dikesan melalui indeks IPU yang telah direkodkan oleh JAS di beberapa kawasan bandar utama Lembah Klang, iaitu Shah Alam, Petaling Jaya, Gombak, Kajang, Klang dan Wilayah Persekutuan Kuala Lumpur.

Menurut Laporan Kualiti Alam Sekitar yang dikeluarkan oleh Jabatan Alam Sekitar pada tahun 2011 bahawa status kualiti udara di Malaysia terutama di beberapa bandar utama di Lembah Klang, iaitu Wilayah Persekutuan Kuala Lumpur, Shah Alam dan Kajang berada pada tahap tidak sihat secara keseluruhannya bagi tahun tersebut (EQR, 2012). Malah, status kualiti udara yang berada pada tahap tidak sihat ini juga telah melanda Lembah Klang. Kemerosotan kualiti udara ini berlaku diakibatkan oleh peningkatan tahap kepekatan bahan pencemar PM₁₀ dan O₃ yang lebih tinggi berbanding bahan pencemar yang lain (Jabatan Alam Sekitar, 2010).

Lembah Klang merekodkan kualiti udara yang tidak sihat pada tahun 2004 di mana Shah Alam merupakan salah satu bandar yang paling tinggi mencatatkan status kualiti udara yang tidak sihat, iaitu sebanyak 88 hari dalam tempoh setahun berbanding Wilayah Persekutuan Kuala Lumpur yang hanya mencatatkan status kualiti udara yang tidak sihat selama 63 hari sahaja dalam tempoh yang sama (Jabatan Alam Sekitar, 2010).



Sumber: Jabatan Alam Sekitar, 2010

Rajah 1. Status kualiti udara di Lembah Klang mengikut bilangan hari pada tahun 2000 hingga 2008

Kualiti udara di Lembah Klang dipengaruhi oleh beberapa faktor penyebab antaranya kenderaan bermotor, pembakaran terbuka, perindustrian dan pencemaran merentasi sempadan (Jabatan Alam Sekitar, 2011). Secara keseluruhannya, kenderaan bermotor merupakan komponen utama dan aktif dalam mencemarkan udara serta menurunkan kualiti udara bandar. Masalah kualiti udara yang merosot dialami oleh kawasan Lembah Klang tidak terkecuali daripada faktor penyebab utama tersebut. Hampir kesemua bahan pencemar iaitu CO, NO₂, SO₂, HC dan O₃ merupakan bahan pencemar yang terhasil daripada kenderaan bermotor. Justeru, dapat dipastikan bahawa kenderaan bermotor adalah penyumbang utama kepada berlakunya kemerosotan kualiti udara di kawasan kajian melalui peningkatan indeks IPU yang telah direkodkan.

Pencemaran udara bandar yang melanda beberapa bandar utama di Lembah Klang sehingga mengakibatkan kualiti udara menurun adalah disebabkan oleh kepesatan dan keaktifan aktiviti pengangkutan di kawasan tersebut. Bilangan kenderaan yang telah didaftarkan di Wilayah Persekutuan Kuala Lumpur dan sebahagian Selangor dari tahun 2000 hingga 2009 telah meningkat setiap tahun dan menyumbang kepada kemerosotan kualiti udara serta berlakunya masalah kesesakan trafik hampir di semua jalan dan lebuh raya di kawasan tersebut. Malah, masalah kesesakan trafik bukan sahaja boleh mengakibatkan kemalangan berlaku bahkan dapat meningkatkan pencemaran udara dan seterusnya menurunkan kualiti udara bandar berkenaan.

Bilangan kenderaan bermotor merupakan sebab utama berlakunya penurunan kualiti udara bandar. Tambahan pula, faktor kepesatan proses perbandaran turut menyumbang kepada peningkatan bilangan kenderaan yang berdaftar. Pusat bandar raya metropolitan merupakan kawasan yang pesat membangun selari dengan pertumbuhan penduduk padat dan secara langsung meningkatkan pemilikan kenderaan yang berdaftar di kawasan tersebut. Ketiga-tiga faktor ini saling bergantung dan mempengaruhi antara satu sama lain. Keadaan ini berlaku di kawasan Lembah Klang yang merupakan kawasan yang pesat membangun di Malaysia di mana bilangan kenderaan bermotor yang didaftarkan oleh Jabatan Pengangkutan Jalan (JPJ) meningkat setiap tahun.

Pada tahun 2003, jumlah keseluruhan pemilikan kenderaan yang didaftarkan di Malaysia adalah sebanyak 12,819,248 unit, iaitu pertambahan sebanyak 797,309 unit atau 6.22 peratus berbanding tahun

2002. Daripada jumlah keseluruhan tersebut didapati bahawa Wilayah Persekutuan Kuala Lumpur mencatatkan bilangan kenderaan yang paling tinggi berbanding negeri lain, iaitu sebanyak 2.7 juta unit atau 21.28 peratus. Bagi tahun 2009 pula bilangan kenderaan bermotor yang berdaftar secara keseluruhan sebanyak 19,016,782 unit berlaku pertambahan sebanyak 1,044,881 unit berbanding tahun sebelumnya. Daripada keseluruhan jumlah tersebut, Wilayah Persekutuan Kuala Lumpur terus mencatatkan bilangan kenderaan yang berdaftar tertinggi berbanding negeri lain sebanyak 4.32 juta atau 22.73 peratus dan diikuti oleh negeri Selangor, Pulau Pinang dan Perak. Malah, daripada sejumlah 1,044,881 kenderaan bermotor baru yang didaftarkan, motokar merupakan kenderaan yang mencatatkan bilangan kenderaan berdaftar yang paling tinggi iaitu sebanyak 513,956 unit atau 50.52 peratus dan diikuti oleh motosikal sebanyak 441,545 unit atau 43.4 peratus serta sejumlah 61,862 unit adalah merupakan kenderaan lain yang melibatkan bas, lori, teksi dan lain-lain kenderaan (JPJ, 2009).

Penambahan bilangan kenderaan yang telah direkodkan oleh JPJ menggambarkan bahawa kawasan bandar terutamanya Wilayah Persekutuan Kuala Lumpur dan bandar besar di Lembah Klang yang lain berhadapan dengan masalah kesesakan trafik yang berdampak langsung ke atas kualiti udaranya. Keadaan ini berlaku kerana bilangan kenderaan yang berdaftar bertambah setiap tahun memberi impak yang negatif terhadap pembebasan bahan pencemar udara yang dibebaskan dalam kepekatan yang tinggi. Oleh kerana kenderaan bermotor melepaskan bahan pencemar dan menyumbang kepada pencemaran udara di bandar besar dan kajian telah menunjukkan bahawa 53,000 kematian awal berlaku setiap tahun di Amerika Syarikat sahaja kerana pelepasan kenderaan. Maka kajian ini dilakukan untuk mengetahui taburan spatial pencemaran udara tahunan di Lembah Klang yang terdapat jumlah kenderaan yang tinggi. Tidak dinafikan juga terdapat sumber lain seperti industri juga menyumbang kepada pencemaran udara bandar, tetapi secara amnya sumbangan daripada kenderaan bermotor melebihi 81 peratus daripada pencemaran udara di Malaysia (JAS, 2011).

Objektif kajian

Kajian ini memfokuskan kepada analisis taburan ruwang bahan pencemar PM_{10} dan O_3 dengan mengaplikasi teknik interpolasi *Inverse Distance Weighted* (IDW) yang terdapat dalam Sistem Maklumat Geografi (GIS) di lima stesen kajian yang terletak di bandar utama Lembah Klang, iaitu Klang, Petaling Jaya, Kajang, Shah Alam dan Cheras selama 10 tahun bermula tahun 2000 hingga 2009. Hanya dua bahan pencemar berupa zarah terampai halus yang dipilih untuk kajian ini, iaitu zarah terampai kurang 10 mikron (PM_{10}) dan ozon (O_3). Kedua-duanya adalah bahan pencemar udara yang meluas, yang terdiri daripada campuran zarah pepejal dan cecair dan adalah campuran ciri-ciri fizikal dan kimia yang berbeza-beza mengikut lokasi. Kabut bandar, yang dikenali sebagai pencemaran ozon yang sumbernya adalah daripada kenderaan bermotor dan industri dihasilkan oleh beberapa siri reaksi kimia yang kompleks melibatkan tindakan pelbagai sebatian organik meruap oksida nitrogen (NO_x) dengan cahaya matahari. Kehadiran bahan pencemar udara lain, terutama zarah terampai, boleh meningkatkan dan mempengaruhi kesan ozon terutama terhadap kesihatan penduduk bandar yang terdedah kepada ozon.

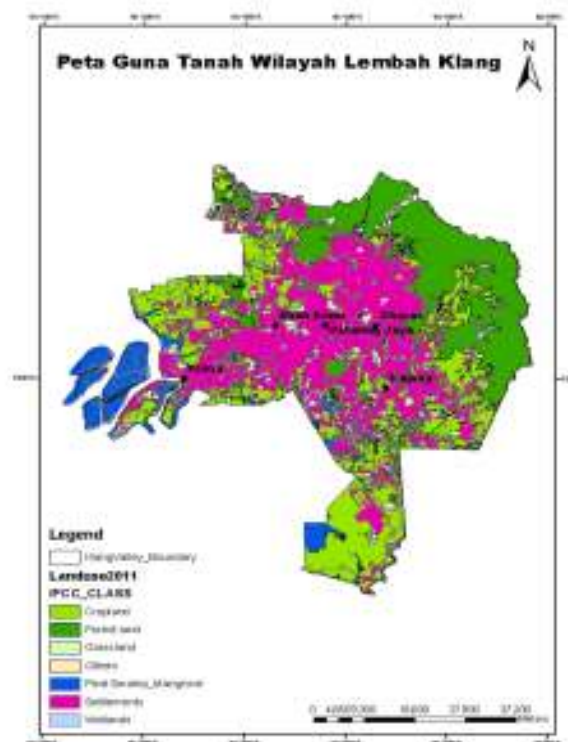
Kawasan kajian

Daripada keseluruhan stesen pemantauan kualiti udara di seluruh Malaysia yang disediakan oleh Jabatan Alam Sekitar (JAS), Lembah Klang menempatkan enam stesen pemantauan kualiti udara, iaitu yang terletak di Gombak, Klang, Kuala Lumpur, Petaling Jaya, Shah Alam dan Kajang. Namun, dalam kajian ini hanya lima stesen pemantauan kualiti udara JAS yang diambil kira, iaitu di Klang, Petaling Jaya, Kajang, Shah Alam dan Cheras yang mewakili kawasan Kuala Lumpur. Jadual 1 menunjukkan beberapa ciri letakan kelima-lima stesen pemantauan Kualiti udara di Wilayah Lembah Klang yang diberi tumpuan dalam kajian ini. Sementara Rajah 2 pula menunjukkan corak guna tanah kawasan berkenaan.

Jadual 1. Stesen pemantauan kualiti udara JAS di Wilayah Lembah Klang

ID Kawasan	Stesen kualiti udara JAS	Longitud	Latitud
CAC 011	SM (P) Raja Zarina, Klang	101° 24.484'T	3 °0.620'U
CAC 016	SK Sri Petaling, Petaling Jaya	101° 42.274'T	3 °6.612'U
CAC 023	Country Heights, Kajang	101° 44.417'T	2 °59.645'U
CAC 025	Sekolah TTDI Jaya, Shah Alam	101° 33.368'T	3 °6.278'U
CAC 054	SMK Seri Permaisuri, Cheras	101° 43.072'T	3 °6.376'U

Sumber: Jabatan Alam Sekitar (2010)



Sumber: Laporan Tahunan Pertanian (Jabatan Pertanian Selangor, 2011)

Rajah 2. Peta guna tanah Lembah Klang

Metod dan data

Analisis taburan keruangan bahan pencemar udara ini mengaplikasikan teknik interpolasi *Inverse Distance Weighted* (IDW) yang terdapat dalam Sistem Maklumat Geografi (GIS). Perisian *ArcMap 10* dalam Sistem Maklumat Geografi menjadi pilihan terbaik dan sesuai bagi tujuan analisis yang telah ditetapkan.

Sistem Maklumat Geografi (GIS)

Sistem Maklumat Geografi ini dikatakan sebagai sejenis sistem maklumat yang boleh diaplikasikan melalui data geografi atau ruangan. Berbanding sistem maklumat yang lain, ia mengandungi satu gabungan operasi yang berkeupayaan untuk mengumpul, memperolehi, menyimpan, mengurus, serta menganalisis data bagi menghasilkan maklumat semasa mempamerkan data ruangan tersebut (Mohd Faris

& Ruslan Rainis, 2003). GIS boleh didefinisikan sebagai satu sistem maklumat yang berkeupayaan untuk menyimpan, mendapatkan semula, mengurus, mengolah, menganalisis dan memaparkan semula data buca ruangan (*non-spatial*) serta data ruangan /geografi bagi tujuan penyelesaian serta pembuatan keputusan. *Teknik Interpolasi Inverse Distance Weighted (IDW)* dalam Sistem Maklumat Geografi (*GIS*)

Teknik interpolasi keruangan pula adalah satu proses penganggaran atribut dengan menggunakan perwakilan berbentuk titik yang mempunyai nilai data yang telah dicerap dan direkodkan dengan mewujudkan nilai anggaran data yang baharu dan pada titik yang baharu. Aplikasi teknik ini dapat memudahkan serta membolehkan pengukuran sesuatu fenomena dengan mengambil kira nilai titik persampelan yang telah dicerap di sesuatu kawasan dan seterusnya dapat meramalkan nilai baharu atau titik baru bagi keseluruhan kawasan tersebut (*ArcMap* versi 9.3 GIS, 2012).

Asas utama teknik interpolasi *IDW* ini adalah andaian bahawa pemboleh ubah yang dipetakan dalam sesuatu kawasan dipengaruhi oleh faktor jarak daripada lokasi persampelan. Titik persampelan yang terletak jauh dari lokasi persampelan mempunyai pemberat yang lemah dan berkurangan. Malah, keadaan ini juga menunjukkan bahawa kedudukan titik persampelan yang berada dalam jarak yang dekat dan berhampiran antara satu sama lain dalam sesuatu kawasan secara langsung mempunyai ciri dan sifat yang sama (*ArcMap* versi 9.3 GIS, 2012).

Hasil analisis dan perbincangan

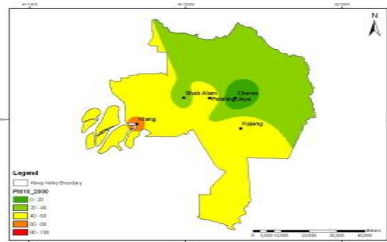
Penganalisan pola ruwang bahan pencemar PM_{10} dan O_3 dengan mengaplikasikan teknik interpolasi *IDW* yang terdapat dalam Sistem Maklumat Geografi (*GIS*) ini melibatkan lima stesen kajian, iaitu Klang, Petaling Jaya, Kajang, Shah Alam dan Cheras bermula dari tahun 2000 hingga 2009.

Pola taburan ruwang PM_{10} di Lembah Klang

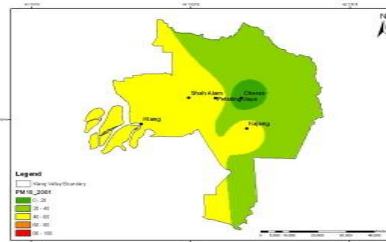
Kepekatan PM_{10} yang dicatatkan di setiap stesen Lembah Klang iaitu Klang, Petaling Jaya, Kajang, Shah Alam dan Cheras menunjukkan pola yang tidak statik dan berubah-ubah mengikut masa dan tempat di sepanjang tahun 2000 hingga 2009. Taburan ruwang PM_{10} pada tahun 2000 memaparkan julat kepekatan tahunan antara 0 hingga $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ terutama di stesen Klang berbanding stesen yang lain. Stesen Klang telah mencatatkan PM_{10} yang berkepekatan antara 60 hingga $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sepanjang tahun 2000 berbanding stesen lain (Rajah 3a). Stesen seperti Shah Alam, Petaling Jaya, Cheras dan Kajang pula hanya mencatatkan kepekatan PM_{10} dalam kadar yang kecil dalam lingkungan 0 hingga $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pada tahun tersebut (Rajah 3a).

Malah, keadaan yang sama turut berlaku pada tahun 2001 di mana hanya kepekatan PM_{10} adalah dalam lingkungan kepekatan antara 0 hingga $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di setiap stesen kajian termasuk Klang (Rajah 3b). Keadaan ini membuktikan bahawa Klang mencatatkan penurunan kepekatan PM_{10} kepada tahap kepekatan antara 40 hingga $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ berbanding 60 hingga $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pada tahun 2000. Namun, keadaan berbeza berlaku dalam tempoh dua tahun seterusnya (2002 dan 2003) di mana kepekatan PM_{10} mencecah tahap kepekatan yang tertinggi, iaitu antara 80 hingga $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Rajah 3c-d) berbanding stesen yang lain di sepanjang tahun 2002. Malah, stesen Shah Alam turut menunjukkan peningkatan kepekatan PM_{10} antara 60 hingga $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pada tahun 2002 (Rajah 3c). Tetapi, taburan ruwang PM_{10} di stesen lain iaitu Kajang, Cheras dan Petaling Jaya masih kekal mencatatkan tahap kepekatan yang sama antara 0 hingga $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pada tahun 2002 (Rajah 3c). Keadaan berbeza pada tahun 2003 kerana pada tahun tersebut kepekatan PM_{10} di Petaling Jaya telah meningkat antara 60 hingga $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ berbanding tempoh tiga tahun sebelumnya (Rajah 3d). Namun begitu, stesen Shah Alam dan Klang pula telah mencatatkan penurunan dalam taburan ruwang PM_{10} , iaitu berkepekatan antara 60 hingga $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ berbanding tahun sebelumnya. Malah, pada tahun 2003 juga tahap kepekatan PM_{10} di kedua-dua stesen Petaling Jaya dan Klang adalah sama (Rajah 3d).

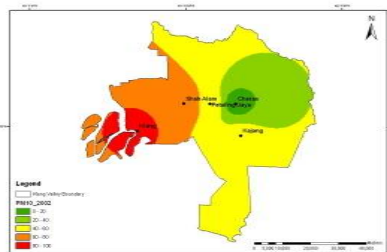
(a) 2000



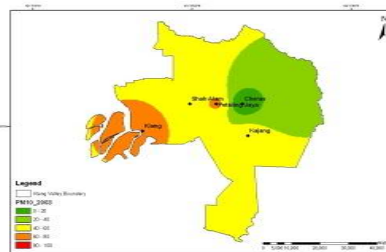
(b) 2001



(c) 2002



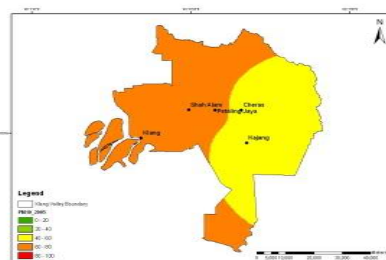
(d) 2003



(e) 2004



(f) 2005



(g) 2006



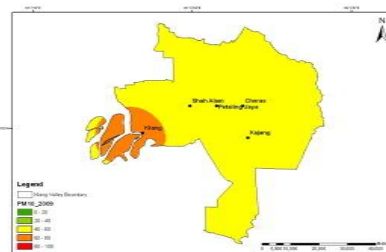
(h) 2007



(i) 2008



(j) 2009



Petunjuk	Tahap Kepekatan PM10
1	0 – 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
2	20 – 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
3	40 – 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
4	60 – 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
5	80 – 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Rajah 3. Pola taburan reruang PM_{10} di Lembah Klang dari tahun 2000 hingga 2009

Bahan pencemar PM_{10} yang dicatatkan pada tempoh enam tahun seterusnya menunjukkan bahawa peningkatan telah berlaku di setiap stesen antara 40 hingga 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Keadaan ini dibuktikan dengan kepekatan PM_{10} di stesen Kajang, Klang, Shah Alam, Petaling Jaya dan Cheras dalam lingkungan tahap kepekatan antara 40 hingga 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sepanjang tahun 2004 hingga 2009 (Rajah 3e-j). Tetapi, keadaan berbeza direkodkan pada tahun 2005 di mana stesen Cheras mencatatkan kepekatan PM_{10} , menurun antara 40 hingga 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ berbanding tahun 2004 (Rajah 3f). Penurunan di stesen Cheras ini adalah sama dengan yang berlaku di stesen Klang antara tahun 2004 dan 2009.

Di samping itu, penurunan kepekatan PM_{10} di Shah Alam dan Petaling Jaya terutamanya bermula pada tahun 2006 hingga 2009 dengan tahap kepekatan PM_{10} antara 40 hingga 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sahaja berbanding tempoh dua tahun sebelumnya (Rajah 3g-j). Namun, kepekatan PM_{10} di Klang pada tahun 2006 masih mencatatkan tahap kepekatan yang sama, iaitu antara 60 hingga 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ seperti tempoh tiga tahun sebelumnya. Tetapi, keadaan yang berbeza direkodkan pada tahun 2007 di mana berlaku penurunan PM_{10} di stesen Klang kepada tahap kepekatan antara 40 hingga 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ berbanding tahun sebelumnya (Rajah 3h). Keadaan ini terus ditunjukkan pada tempoh dua tahun terakhir, iaitu tahun 2008 dan 2009 di setiap stesen kajian kecuali Klang yang mencatatkan kepekatan PM_{10} yang meningkat ke tahap kepekatan antara 60 hingga 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ berbanding tahun 2007 (Rajah 3i-j). Stesen lain, iaitu Shah Alam, Petaling Jaya, Kajang dan Cheras masih kekal mencatatkan taburan reruang PM_{10} pada tahap kepekatan antara 40 hingga 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sepanjang tahun 2008 hingga 2009 (Rajah 3i-j).

Secara kesimpulannya, taburan reruang PM_{10} yang meliputi Klang, Petaling Jaya, Kajang, Shah Alam dan Cheras menunjukkan pola taburan yang hampir sekata sepanjang tahun antara 2000 dan 2009. Tempoh awal kajian ini, iaitu dari tahun 2000 hingga 2003 menunjukkan taburan reruang PM_{10} pada tahap kepekatan dan kelas yang minimum di sekitar 0 - 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Rajah 3a-d). Keadaan ini berbeza dengan yang berlaku di stesen Klang di mana telah mencatatkan taburan reruang PM_{10} dalam jumlah kepekatan yang maksimum, iaitu di sekitar 80 - 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ berbanding stesen lain terutamanya pada tahun 2002 (Rajah 3c). Pola taburan reruang PM_{10} terus menunjukkan peningkatan sepanjang tempoh enam tahun terakhir kajian, iaitu tahun 2004 hingga 2009 dengan kepekatan antara 40 hingga 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ terutamanya di Klang bagi setiap tahun (Rajah 3e-j).

Pola taburan reruang O_3 di Lembah Klang

Analisis reruang O_3 menunjukkan corak taburan yang juga tidak sekata dan berubah-ubah mengikut tahun di kesemua stesen di Klang, Petaling Jaya, Kajang, Shah Alam dan Cheras sepanjang tahun dari 2000 hingga 2009 (Rajah 4). Tahun 2001 telah mencatatkan pola taburan reruang O_3 yang agak tinggi sehingga 0.02 ppm. Stesen lain, iaitu Shah Alam dan Kajang mencatatkan kepekatan O_3 yang agak tinggi, iaitu antara 0.015 ppm hingga 0.02 ppm daripada keseluruhan tahap kepekatan O_3 yang telah ditetapkan berbanding stesen yang lain (Rajah 4b).

Selain itu, Klang turut mencatatkan tahap kepekatan O_3 yang agak tinggi sehingga mencapai tahap kepekatan antara 0.01 ppm hingga 0.015 ppm sepanjang tahun 2000 (Rajah 4a). Namun begitu, stesen lain iaitu Petaling Jaya, Kajang dan Cheras pula hanya mencatatkan taburan reruang O_3 yang minimum iaitu antara 0 hingga 0.01 ppm pada tahun 2000 (Rajah 4a). Malah, pola taburan reruang O_3 pada tahun 2001 juga mencatatkan corak taburan yang sama dengan tahun sebelumnya bagi semua stesen kajian

kecuali stesen Klang (Rajah 4b). Klang pula mencatatkan peningkatan di sekitar 0.005 hingga 0.02 ppm berbanding tahun sebelumnya dan berbanding stesen lain yang dikaji.

Keadaan yang sama turut berlaku pada tahun 2002 di mana Klang, Kajang, Petaling Jaya dan Cheras mencatatkan taburan ruwang O₃ pada tahap kepekatan yang sama seperti tempoh dua tahun sebelumnya (Rajah 4c). Tetapi, berbeza dengan stesen Shah Alam yang mencatatkan kepekatan O₃ yang maksimum antara 0.02 hingga 0.025 ppm berbanding stesen yang lain. Keadaan yang sama turut berlaku pada tahun 2003 di mana stesen Shah Alam, Kajang, Petaling Jaya dan Cheras mencatatkan kepekatan O₃ yang sama seperti pada tempoh tiga tahun sebelumnya (Rajah 4d). Namun, taburan ruwang O₃ di stesen Klang telah menunjukkan perubahan serta penurunan sehingga mencapai tahap kepekatan antara 0.01 hingga 0.015 ppm sahaja pada tahun 2003 (Rajah 4d). Walau bagaimanapun, peningkatan kepekatan O₃ antara 0.01 hingga 0.025 ppm dicatatkan berlaku pada tempoh enam tahun seterusnya yang melibatkan semua stesen di Lembah Klang. Pada tahun 2004 dan 2005 taburan ruwang bahan pencemar O₃ yang paling maksimum antara 0.02 hingga 0.025 ppm direkodkan di stesen Shah Alam, Cheras dan Kajang (Rajah 4e-f).

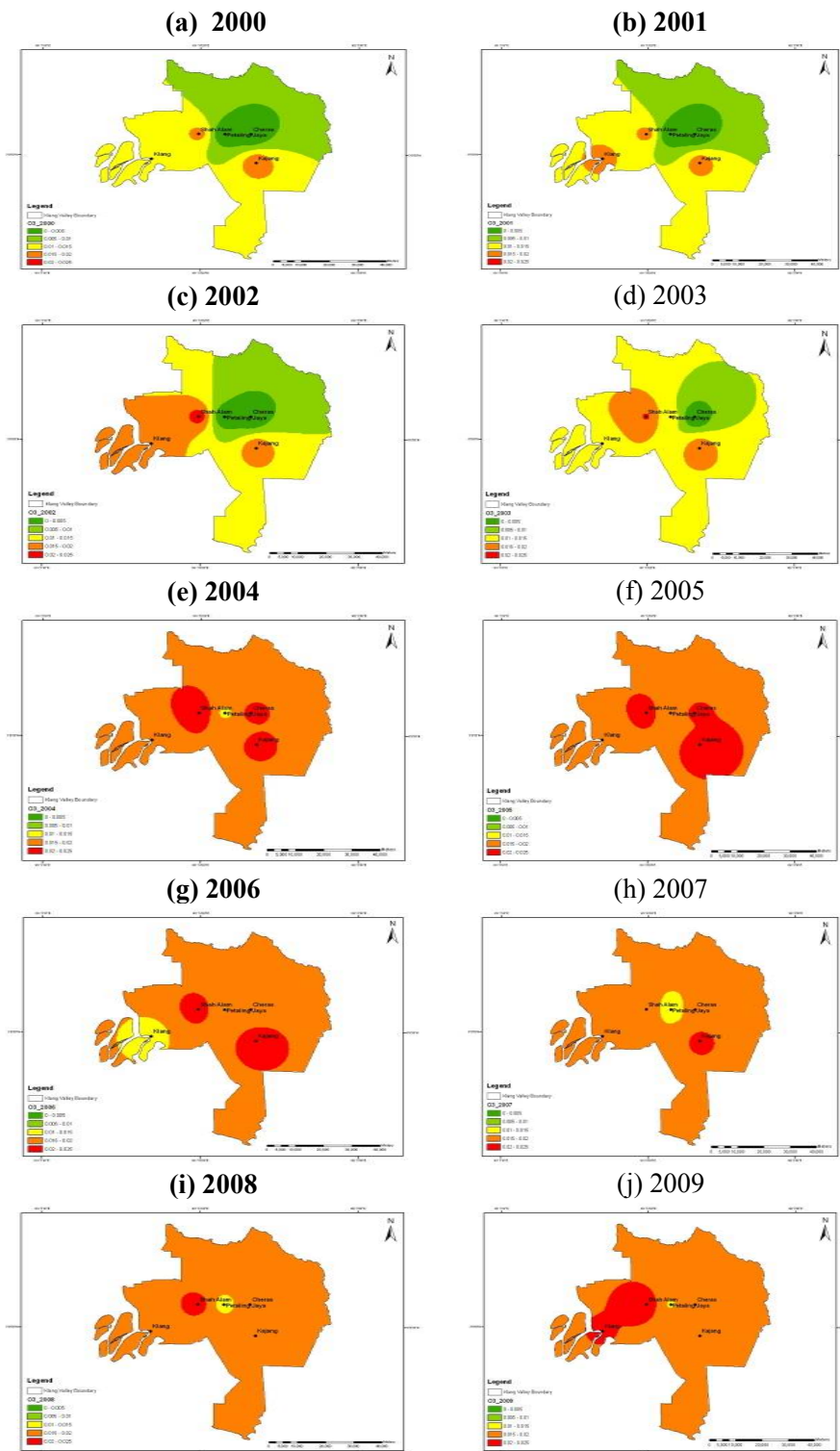
Di sepanjang tempoh 2004-2005 stesen Klang dan Petaling Jaya juga turut mencatatkan kepekatan O₃ yang agak tinggi, iaitu antara 0.015 hingga 0.02 ppm (Rajah 4e-f). Namun, keadaan berbeza berlaku pada tahun 2004 yang menunjukkan stesen Petaling Jaya telah mencatatkan kepekatan O₃ antara 0.01 hingga 0.015 ppm (Rajah 4e). Keadaan ini menunjukkan bahawa taburan ruwang yang dicatatkan di stesen ini telah mengalami penurunan pada tahun 2004 berbanding stesen yang lain.

Selain itu, kepekatan O₃ di Shah Alam dan Klang telah meningkat iaitu pada tahap kepekatan antara lingkungan 0.02 hingga 0.025 ppm pada tahun 2006 sama seperti tempoh dua tahun sebelumnya (Rajah 4g). Tetapi, keadaan berbeza berlaku di Cheras di mana penurunan dalam kepekatan O₃ pada tahun 2006 hanya dalam tahap kepekatan antara 0.015 hingga 0.02 ppm berbanding tahun sebelumnya (Rajah 4g). Selain itu, stesen Klang pula menurun pada tahun 2006, iaitu berada pada tahap kepekatan antara 0.01 hingga 0.015 ppm (Rajah 4g).

Malah, taburan ruwang O₃ pada tahun 2007 juga turut menunjukkan corak taburan yang sama seperti tahun sebelumnya terutamanya di Kajang dan Cheras dengan darjah kepekatan antara 0.015 hingga 0.025 ppm (Rajah 4h). Tetapi, kepekatan O₃ di Klang, Shah Alam dan Petaling Jaya telah meningkat kepada tahap kepekatan antara 0.015 hingga 0.02 ppm berbanding tahun 2006 (Rajah 4h). Selain itu, pada 2007 stesen Shah Alam juga turut mencatatkan penurunan kepekatan berbanding tahun 2006 (Rajah 4h). Tetapi, bacaan kepekatan O₃ di stesen Petaling Jaya pada 2007 menurun sehingga antara 0.01 hingga 0.105 ppm. Bacaan kepekatan O₃ di Petaling Jaya ini tidak berubah seperti tahun sebelumnya, iaitu antara 0.01 hingga 0.015 ppm sepanjang tempoh 2008-2009 (Rajah 4i-j). Namun, kepekatan O₃ yang dicatatkan di Klang dan Shah Alam meningkat pada tahap kepekatan antara 0.02 hingga 0.025 ppm pada tahun 2009 berbanding tempoh dua tahun sebelumnya (Rajah 4j).

Justeru, pola taburan ruwang bahan pencemar O₃ di Lembah Klang telah mengalami perubahan di sepanjang tempoh 2000-2009. Tahun 2000 dan 2001 merupakan tempoh masa yang mencatatkan darjah kepekatan yang agak rendah, iaitu di sekitar 0 hingga 0.02 ppm sahaja (Rajah 4a-b). Namun, keadaan berbeza berlaku pada tahun 2002 dan 2003 di mana bacaan darjah kepekatan O₃ yang dicatatkan mencapai tahap kepekatan tinggi antara 0.02 hingga 0.025 ppm terutamanya di Shah Alam (Rajah 4c-d). Malah, darjah kepekatan O₃ terus mencatatkan peningkatan mengikut stesen dan masa dengan bacaan antara 0.01 hingga 0.025 ppm di sepanjang tempoh 2004-2009 (Rajah 4e-j).

Secara keseluruhannya PM₁₀ merupakan bahan pencemar yang dikenal pasti berkonsentrasi tinggi dalam taburan ruangnya dari tahun 2004 hingga 2009. Peningkatan taburan ruwang kedua-dua bahan pencemar ini dicatatkan mengikut tahap kepekatan yang berbeza, iaitu masing-masing sebanyak 40 hingga 100 µg/m³ yang melebihi nilai kesetaraan *Recommended Malaysian Air Quality Guidelines* (RMAQG) iaitu sebanyak 86.5 µg/m³ dalam tempoh setahun bagi tahun 2004 hingga 2009. Hal yang sama direkodkan bagi bahan pencemar O₃ di mana berlaku peningkatan dalam taburan ruangnya tetapi pada tahap kepekatan yang berbeza antara satu stesen dengan satu stesen lainnya. Peningkatan taburan ruwang maksimum bahan pencemar PM₁₀ berklau di kelima-lima stesen kajian mengikut tahun.



Petunjuk	Tahap Kepekatan O ₃
1	0 – 0.005 ppm
2	0.005 – 0.01 ppm
3	0.01 – 0.015 ppm
4	0.015 – 0.02 ppm
5	0.02 – 0.025 ppm

Rajah 4. Pola taburan reruang O₃ di Lembah Klang dari tahun 2000 hingga 2009

Hasil analisis mendapati bahawa masalah kemerosotan kualiti udara bandar di Lembah Klang dipengaruhi oleh dia faktor iaitu kenderaan bermotor dan kejadian episod jerebu yang teruk. Bilangan keseluruhan kenderaan di negeri Selangor dan WP Kuala Lumpur, mencatatkan perbezaan yang agak ketara masing-masing mencatatkan sebanyak 2,301,024 unit dan 906,432 unit dalam tempoh kajian. Daripada bilangan keseluruhan kenderaan tersebut mendapati bahawa WP Kuala Lumpur mencatatkan kenderaan motokar yang paling maksimum selain motosikal iaitu masing-masing sebanyak 1,619,716 unit (70 peratus) dan 582,091 unit (25 peratus) daripada jumlah keseluruhan kenderaan di kedua-dua kawasan tersebut.

Kenderaan barang turut mencatatkan bilangan keseluruhan yang agak tinggi di kedua-dua kawasan iaitu masing-masing sebanyak 68,803 unit (3 peratus) mewakili WP Kuala Lumpur dan 69,374 unit (8 peratus) bagi negeri Selangor. Ini menunjukkan bahawa kenderaan barang khususnya trak yang menggunakan bahan api diesel merupakan kenderaan berat yang banyak membebaskan bahan pencemar PM₁₀ dan NO₂ yang menyumbang kepada pembentukan O₃ melalui proses potokimia dalam atmosfera.

Selain itu, faktor kejadian beberapa episod jerebu yang serius berlaku di Lembah Klang kesan daripada aktiviti pembakaran biojisim di Indonesia turut dikenal pasti sebagai penyumbang kepada peningkatan kepekatan PM₁₀ dan O₃. Laporan *Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC) Fourth Assessment Report Climate Change 2007* (IPCC, 2007) merumuskan bahawa terdapat hubungan langsung dan signifikan antara perubahan iklim yang berpunca daripada pembebasan yang bersifat antropogenik, iaitu pembakaran biojisim. Pembebasan gas dan aerosol yang terhasil daripada aktiviti pembakaran tersebut bukan sahaja memberi kesan negatif terhadap ciri-ciri kimia troposfera bahkan turut mempengaruhi faktor radiasi dan proses pembentukan awan dan seterusnya memberi kesan kepada pembebasan gas rumah hijau (Palacios-Oreta et al., 2005).

Pembebasan aerosol yang terhasil daripada aktiviti pembakaran *biomass* mempunyai pengaruh yang besar terhadap kandungan atmosfera terutamanya di rantau Asia Tenggara. Malaysia dan Indonesia merupakan negara yang terletak dalam kawasan khatulistiwa yang kelajuan tiupan anginnya agak rendah serta tenang dan seterusnya menyebabkan proses penyebaran bahan pencemar udara menjadi lemah. Aktiviti pembakaran *biomass* yang serius direkodkan berlaku pada Ogos 2005 dengan mencatatkan jumlah kekerapan keseluruhan aktiviti pembakaran aktif sebanyak 10173 kali, 747 kali pada Jun, 269 kali pada bulan Julai, 5287 kali pada bulan September dan 5974 kali bagi bulan Oktober di Borneo (Mahmud, 2013). Malah, aktiviti pembakaran aktif ini kebanyakannya berlaku di Kalimantan Barat di sepanjang tempoh tiga minggu pertama bulan Ogos manakala minggu terakhir Ogos pula dicatatkan berlaku di Kalimantan Tengah, iaitu di bahagian barat dan barat daya Borneo (Mahmud, 2013).

Menurut Abdul Rahman (2002), aktiviti antropogenik seperti aktiviti pengangkutan menggunakan kenderaan bermotor, perindustrian, kebakaran hutan, pembakaran terbuka dan aktiviti pembersihan kawasan pertanian dikenal pasti sebagai faktor dan punca utama kepada kemerosotan kualiti udara dan penurunan tahap penglihatan. PM₁₀ yang terkandung dalam asap yang terhasil daripada aktiviti pembakaran hutan didapati sangat berbahaya berbanding PM₁₀ yang terhasil daripada aktiviti bukan pembakaran hutan. Keadaan ini seterusnya berkemungkinan akan menghasilkan partikel terampai yang bersifat lebih toksik serta beracun. Bagi kawasan bandar, partikel terampai yang wujud semasa kejadian jerebu kebiasaannya terhasil daripada sumber antropogenik seperti pembakaran *biomass*, kenderaan

bermotor dan industri yang seterusnya boleh mengakibatkan kesan negatif kepada kesihatan manusia (Norela et al., 2009).

Taburan keruangan indeks pencemar udara bagi seluruh kawasan di Semenanjung Malaysia menunjukkan bahawa negeri Selangor sangat terjejas dengan nilai IPU yang tinggi, iaitu melebihi 500 pada 11 Ogos 2005. Kepekatan PM_{10} secara keseluruhannya di Lembah Klang dicatatkan antara $35.90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ hingga $104.46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sementara indeks IPU pula antara 23.39 hingga 69.94. Malah, kepekatan PM_{10} yang dicatatkan di Lembah Klang mengalami peningkatan yang mendadak pada Ogos 2005. Keadaan ini menunjukkan bahawa kepekatan PM_{10} yang dicatatkan adalah melebihi had piawai yang dibenarkan oleh Pindaan Akta Udara Bersih 1978 (Akta Kualiti Alam Sekeliling, 1974), iaitu sebanyak $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dalam tempoh sebulan. Di samping itu, Norela et al., (2013) telah berjaya membuktikan melalui analisis regrasi tentang kaitan antara pemboleh ubah kepekatan PM_{10} dengan pemboleh ubah kelajuan angin di Lembah Klang. Mereka mendapati bahawa bulan Julai hingga September 2005 merupakan tempoh yang mencatatkan kepekatan PM_{10} yang tinggi di kawasan tersebut. Keadaan ini dipengaruhi oleh keadaan musim monsun barat daya yang tiupan anginnya membawa serta memindahkan bahan pencemar dari Sumatera ke Semenanjung Malaysia. Kejadian jerebu yang berlaku antara Februari hingga Mac dan Ogos hingga Oktober juga dikaitkan dengan musim kering di negara ini (Mahmud, 2013). Walaupun ada pengaruh tiupan angin yang membawa bahan pencemar merentasi sempadan sehingga mempengaruhi darjah kepekatan PM_{10} dan O_3 , namun secara keseluruhannya peningkatan aktiviti pengangkutan dan pembakaran terbuka di Lembah Klang masih memberi kesan yang lebih ketara.

Kesimpulan

Secara kesimpulannya, peningkatan kepekatan PM_{10} dan O_3 yang dicatatkan tinggi di Lembah Klang dipengaruhi oleh aktiviti pengangkutan dan kenderaan bermotor. Hal ini dibuktikan melalui analisis taburan ruwang PM_{10} dengan mengaplikasikan teknik interpolasi *Inverse Distance Weighted* (IDW) mencapai tahap maksimum di semua stesen kajian, dengan kepekatan antara 40 hingga $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dari tahun 2004 hingga 2009. Malah, keadaan yang sama turut dicatatkan bagi O_3 dengan tahap kepekatan yang tinggi antara 0.01 hingga 0.025 ppm dalam tempoh masa yang sama. Oleh hal yang demikian, masalah kemerosotan kualiti udara bandar yang serius berlaku di Lembah Klang perlu diberi perhatian serta kajian lebih terperinci dijalankan oleh pihak yang berkepentingan dengan memperkenalkan teknologi hijau selain strategi pengawalan serta langkah mitigasi yang proaktif bagi mengurangkan tahap kepekatan dan pengeluaran bahan pencemar.

Rujukan

- Gorham R (2002) Air pollution from ground transportation: An assessment of causes, strategies and tactics and proposed actions for the international community. Division for Sustainable Development, Department of Economic and Social Affairs.
- Abdul Rahman K (2002) Observation of PM_{10} readings in relation to forest fire events from ASMA's continuous air quality monitoring stations. *World Conference on Land and Forest Fire Hazards*, pp. 155-170. Kuala Lumpur.
- IGES (Institute for Global Environmental Strategies) (2007) Air Pollution Control in the Transportation Sector: Third Phase Research Report of the Urban Environmental Management Project, Jepun.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2007) Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, The Physical Science Basis.
- Jabatan Alam Sekitar (2011) *Laporan Tahunan 2011*.
- Jabatan Alam Sekitar (2010) *Laporan Tahunan 2010*.

- Jabatan Pengangkutan Jalan (2009) *Statistik Kenderaan Bermotor Mengikut Jenis dan Negeri di Malaysia*.
- Mahmud M (2013) Assessment of atmospheric impacts of biomass open burning in Kalimantan, Borneo during 2004. *Atmospheric Environment* **78**, 242-249.
- Mohd Faris Dziauddin, Ruslan Rainis (2003) *Pengenalan kepada kartografi*. Pearson Malaysia Sdn. Bhd., Kuala Lumpur.
- Norela S, Nurfatimah MZ, Maimon A, Ismail BS (2009) Wet deposition in the residential area of the Nilai Industrial Park in Negeri Sembilan, Malaysia. *World Applied Science Journal* **7**, 170-179.
- Palacios-Orueta A, Parra A, Chuvieco E, Carmona-Moreno C (2005) Biomass burning emissions: A review of models using remote sensing data. *Environmental Monitoring and Assessment* **104**, 189-209.
- Norela S, Saidah MS, Mahmud M (2013) Chemical composition of the haze in Malaysia 2005. *Atmospheric Environment* **77**, 1005-1010.