

Rekod Jangka Panjang Kepekatan Metana di Malaysia (Long Term Record of Methane in Malaysia)

MOHD RASHDAN TOPA^{1,2}, MOHD TALIB LATIF^{1,*}, MURNIRA OTHMAN³, MAGGIE OOI CHEL GEE⁴, NORFAZRIN MOHD HANIF¹, MOHD SHAHRUL MOHD NADZIR¹, HARIS HAFIZAL ABD HAMID¹, ANIS ASMA AHMAD MOHTAR^{1,5}
& LIEW JUNENG¹

¹Jabatan Sains Bumi dan Alam Sekitar, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan, Malaysia

²Jabatan Alam Sekitar Malaysia, Kementerian Alam Sekitar dan Air, 62574 Putrajaya, Wilayah Persekutuan, Malaysia

³Institut Alam Sekitar dan Pembangunan (LESTARI), Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan, Malaysia

⁴Pusat Sistem Perubahan Iklim Tropika (IKLIM), Institut Perubahan Iklim, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan, Malaysia

⁵Jabatan Meteorologi Malaysia, Kementerian Sumber Asli, Alam Sekitar dan Perubahan Iklim, Jalan Sultan, 46667 Petaling Jaya, Selangor Darul Ehsan, Malaysia

Diserahkan: 17 Disember 2022/Diterima: 17 April 2023

ABSTRAK

Gas metana (CH₄) adalah gas rumah hijau yang menyebabkan perubahan iklim dan pemanasan dunia. Kajian CH₄ dijalankan untuk melihat tren pelepasan CH₄ di Malaysia dalam satu jangka masa yang panjang (10 tahun) dari tahun 2000 hingga 2009 dan menilai hubungan CH₄ dengan ozon permukaan (O₃). Data CH₄ daripada 19 stesen pemantauan kualiti udara automatik berterusan Jabatan Alam Sekitar (JAS) di Malaysia telah dianalisis menggunakan analisis statistik dan korelasi Pearson. Hasil kajian mendapati nilai bacaan kepekatan purata bulanan CH₄ tertinggi dicatatkan di stesen Larkin, Johor Bahru iaitu 2.61±0.54 ppm. Nilai purata kepekatan CH₄ berdasarkan data yang direkodkan di semua stesen di Malaysia adalah 2.00 ppm. Taburan kepekatan CH₄ yang lebih tinggi didapati tertumpu di kawasan bandar dan kawasan perindustrian di Selangor, Melaka dan Johor. Analisis korelasi bagi menentukan hubungan CH₄ dengan bahan pencemar O₃ mendapati 15 stesen menunjukkan korelasi positif yang sangat kecil dan lemah ($r < 0.20$ dan $0.20 < r < 0.40$) manakala empat stesen lagi menunjukkan korelasi negatif. Hubungan antara CH₄ dengan bahan pencemar O₃ bagi kesemua stesen adalah tidak signifikan ($r < 0.5$, $p > 0.05$). Stesen Shah Alam didapati menunjukkan korelasi CH₄ paling tinggi dengan O₃ berbanding stesen lain. Pengetahuan asas berkenaan CH₄ dalam udara ambien Malaysia yang ditunjukkan dalam kajian ini boleh digunakan untuk menilai potensi impak CH₄ terhadap alam sekitar, perubahan iklim dan kesihatan manusia.

Kata kunci: Gas rumah hijau; iklim tropika; metana; ozon permukaan

ABSTRACT

Methane (CH₄) is a greenhouse gas (GHG) that causes climate change and global warming. This study was conducted to look at the tren of CH₄ emission in Malaysia over a long period of time (10 years) from 2000 to 2009 and evaluate the relationship of CH₄ with surface ozone (O₃). CH₄ data from 19 continuous automatic air quality monitoring stations from the Department of Environment (DOE) in Malaysia were analyzed using statistical analysis and Pearson correlation. The results of the study found that the highest average monthly CH₄ concentration reading was recorded at Larkin station, Johor Bahru which is 2.61 ± 0.54 ppm. The average concentration of CH₄ based on the data recorded at all stations in Malaysia is 2.00 ppm. The distribution of CH₄ concentrations was found to be concentrated in urban

and industrial areas in Selangor, Melaka and Johor. Correlation analysis to determine the relationship of CH₄ with O₃ pollutants found that 15 stations showed very small and weak positive correlations ($r < 0.20$ and $0.20 < r < 0.40$) while another four stations showed negative correlations. The relationship between CH₄ and O₃ pollutants for all stations was not significant ($r < 0.5$, $p > 0.05$). Shah Alam station was found to show the highest correlation of CH₄ with O₃ compared to other stations. The fundamental knowledge of CH₄ in Malaysian ambient air provided by this study can be utilised to assess its possible effects on the environment, climate change and human health.

Keywords: Greenhouse gases; methane; surface ozone; tropical climate

PENGENALAN

Tren peningkatan suhu bumi yang disebabkan oleh pemanasan global kini merupakan satu ancaman dunia. Pemanasan global berlaku akibat pelepasan gas rumah hijau (GHG) ke atmosfera dan ia mempunyai kesan yang besar terhadap iklim dunia (Boakye-Agyei 2011; Halady et al. 2010). Metana (CH₄) adalah GHG dengan jangka hayat singkat (Adetona & Layzell 2023). Pelepasan dan pengurangan CH₄ telah menjadi sebahagian strategi dalam menangani isu pemanasan global seperti termaktub di dalam ikrar metana daripada Persidangan Perubahan Iklim Pertubuhan Bangsa-Bangsa Bersatu 2021 atau *Conference of Parties* (COP26). Ikrar Metana Global COP26 telah mensasarkan pengurangan pelepasan metana sebanyak 30% menjelang 2030 (Shivanna 2022). Pengurangan kepada pelepasan CH₄ akan menyebabkan pengurangan daya tekanan radiasi dan berupaya membantu mengurangkan kesan pemanasan global. Tambahan pula, CH₄ mempunyai potensi pemanasan global (GWP) yang lebih besar daripada karbon dioksida (CO₂) (GWP 28 dalam tempoh 100 tahun). Bagi pelepasan jisim CH₄ dan CO₂ yang sama, CH₄ menyumbang lebih banyak kepada daya tekanan radiasi berbanding CO₂ (Myhre et al. 2013; Saunio et al. 2016). CH₄ juga berpotensi untuk bertindak balas dengan radikal hidroksil dan mengurangkan kapisiti pengoksidaan atmosfera dengan membentuk ozon permukaan (O₃) di troposfera (Lelieveld, Crutzen & Brühl 1993).

Sumber utama pelepasan CH₄ dapat dibahagikan kepada sumber semula jadi (tanah basah, rembesan geologi, rayap, hidrat CH₄ dan lautan) dan sumber antropogenik (arang batu, eksploitasi minyak dan gas, penanaman padi, haiwan ruminan domestik dan sisa buangan) (Kirschke et al. 2013). Sejak pertengahan 1990-an hingga pertengahan 2000-an, kadar pertambahan CH₄ di atmosfera telah menghampiri sifar disebabkan keseimbangan pelepasan sumber dan penyerapan CH₄. Walau bagaimanapun, sejak tahun 2006, kadar pertambahan CH₄ telah menjadi positif semula (Cheng &

Redfern 2022; Dlugokencky et al. 2011). Punca kepada peningkatan ini masih belum difahami sepenuhnya tetapi ia mungkin disebabkan oleh gabungan peningkatan pelepasan antropogenik serta peningkatan pelepasan daripada tanah lembap tropika dan sub-tropika yang didorong oleh kepelbagaian iklim (Kirschke et al. 2013). Pelepasan antropogenik yang lebih tinggi adalah disebabkan oleh peningkatan eksploitasi minyak, gas dan arang batu yang telah dipacu oleh pertumbuhan ekonomi di Asia Timur terutamanya China dengan pengeluaran arang batu sahaja meningkat pada kadar 10% setahun antara tahun 2000 dan 2009 (Cheng et al. 2022).

Di Malaysia, kajian mengenai pelepasan CH₄ lebih tertumpu kepada CH₄ sebagai sumber tenaga boleh diperbaharui daripada sisa minyak sawit (Amin et al. 2022; Chin et al. 2013; Lam & Lee 2011; Sumathi, Chai & Mohamed 2008; Wu et al. 2010). Pelepasan CH₄ daripada gambut tropika juga telah dikaji oleh penyelidik seperti Busman et al. (2023) dan Chaddy et al. (2021). Bagi sumber antropogenik, pelepasan daripada industri minyak dan gas merupakan sumber utama CH₄ di Malaysia. Pelepasan tertinggi adalah daripada pelepasan industri minyak dan gas yang menyumbang 25,308 Gg CO₂-eq (44%) daripada pelepasan CH₄, diikuti oleh pelepasan daripada rawatan dan pelepasan air sisa industri berjumlah 13,928 Gg CO₂-eq (24%) (KASA 2020). Kajian terbaharu oleh Rangga et al. (2023) menunjukkan bahawa purata pelepasan CH₄ secara terus melalui sisa buangan adalah 109 ribu tan setahun, bersamaan dengan 2.74 juta tan CO₂ setahun.

Kajian ini dijalankan bagi menentukan tren kepekatan CH₄ dalam udara ambien di Malaysia berdasarkan data yang direkodkan oleh Jabatan Alam Sekitar Malaysia dari tahun 2000 sehingga tahun 2009. Bagi mendapatkan gambaran keseluruhan tahap kepekatan CH₄ serta taburannya di Malaysia, analisis deskriptif telah digunakan untuk mengenal pasti status pencemaran dan tahap ambien gas CH₄ di Malaysia.

Kajian ini juga bertujuan menentukan hubungan antara CH_4 dan O_3 . Penentuan CH_4 di udara persekitaran di Malaysia adalah penting bagi tujuan peramalan dan kesan gas rumah hijau terhadap perubahan iklim di Malaysia pada masa hadapan.

KAEDAH KAJIAN

Data kepekatan CH_4 telah diperoleh daripada 19 stesen pemantauan kualiti udara berterusan secara automatik (CAQM) di seluruh Malaysia (Lampiran 1). Stesen ini merekodkan kepekatan CH_4 dari tahun 2000 hingga 2009. Jabatan Alam Sekitar Malaysia (JAS) telah menamatkan pemantauan CH_4 selepas tahun 2009. Stesen pemantauan kualiti udara ini dikawal selia dan diuruskan oleh syarikat Alam Sekitar Malaysia Sdn. Bhd. (ASMA) yang dilantik oleh JAS untuk melaksanakan kerja-kerja pengawasan kualiti udara secara berterusan dan membekalkan data kualiti udara termasuk CH_4 kepada JAS.

Penentuan metana telah ditentukan dengan menggunakan peralatan Teledyne API M4020 (Teledyne Technologies Inc., USA) dengan pengesan nyalaan ion, *Flame Ionization Detector* (FID) dengan kejituan pengesanan 1%, manakala penentuan O_3 telah ditentukan menggunakan kaedah fotometri dengan peralatan pengesan ozon (Teledyne, TAPI M400/A/E, USA). Penentuan CH_4 dan O_3 direkodkan dalam selang masa setiap jam. Proses kalibrasi berkala dilakukan melibatkan pengukuran CH_4 dan O_3 bagi tentukan bacaan oleh setiap instrumen.

ANALISIS DATA

Data kualiti udara yang diperoleh daripada Jabatan Alam Sekitar telah ditukarkan format iaitu daripada bentuk *American Standard Code for Information Interchange* (ASCII), Microsoft Excel kepada bentuk perdua (*Binary*) iaitu format NetCDF (*Network Common Data Form*). Proses penukaran format adalah dengan menggunakan perisian *Matrix Laboratory* (MATLAB) yang dihasilkan oleh syarikat Mathworks. Kemudian, data telah dianalisis menggunakan perisian *Climate Data Operator* (CDO) yang ditubuhkan oleh *Max Planck Institute for Meteorology*. Perisian CDO yang digunakan adalah bagi memudahkan proses analisis data jangka masa panjang dan membuat terjemahan data bagi parameter yang dikaji iaitu CH_4 dan O_3 .

ANALISIS DESKRIPTIF

Analisis statistik data deskriptif yang dilakukan dalam kajian ini adalah bagi mengetahui nilai minimum, nilai maksimum, purata, purata dan sisihan piawai bagi parameter CH_4 . Data CH_4 yang direkodkan setiap jam di stesen pemantauan berterusan kualiti udara telah diproses kepada pelbagai skala masa. Untuk melihat kepekatan CH_4 keseluruhan secara purata selama 10 tahun, data ini telah diterjemahkan ke dalam bentuk interpolasi dalam jadual dan peta haba. Rajah peta haba yang terhasil adalah menggunakan kaedah interpolasi *Inverse Distance Weighting* (IDW). Peta haba yang dihasilkan adalah menggunakan perisian *Quantum Geographic Information System* (QGIS).

ANALISIS TREN CH_4

Data setiap jam CH_4 telah diproses menjadi purata bulanan bagi zon berbeza di Malaysia. Data tersebut telah diplot untuk melihat tren kepekatan CH_4 selama 10 tahun dari tahun 2000 hingga 2009. Plot tersebut telah dihasilkan menggunakan perisian R dan Rstudio versi 4.0.5 dengan menggunakan pakej *openair* yang merupakan alatan sumber terbuka untuk analisis data kualiti udara. Plot tren terhasil yang menggunakan fungsi *smoothTren* ini akan menghitung purata bulanan kepekatan CH_4 untuk menghasilkan tren licin. Garis licin yang terdapat di plot pada asasnya ditentukan menggunakan Pemodelan Tambahan Am menggunakan pakej *mgcv* dan data tersebut telah dinyah musim menggunakan fungsi *stl*.

KORELASI PEARSON

Analisis Korelasi Pearson digunakan dalam kajian ini bertujuan untuk melihat perkaitan linear di antara pemboleh ubah tidak bersandar dengan pemboleh ubah bersandar untuk menunjukkan signifikan dan arah korelasi (positif atau negatif) antara CH_4 dengan bahan pencemar O_3 . Suatu pemboleh ubah yang mempunyai nilai korelasi yang signifikan harus memenuhi syarat $0.5 \geq r \geq 1$ dan $p \leq 0.05$. Nilai r merujuk kepada nilai korelasi. Nilai korelasi adalah positif apabila nilai r berada dalam nilai positif. Nilai korelasi yang positif bermaksud apabila nilai suatu pemboleh ubah meningkat, pemboleh ubah yang lain akan turut meningkat. Nilai korelasi negatif pula adalah apabila nilai r berada dalam nilai negatif. Nilai korelasi yang negatif bermaksud apabila suatu pemboleh ubah meningkat, pemboleh ubah yang lain akan menurun dan begitu juga sebaliknya.

HASIL DAN PERBINCANGAN

ANALISIS STATISTIK DESKRIPTIF PENCEMARAN CH₄

Analisis deskriptif kepekatan CH₄ sepanjang tempoh kajian dari tahun 2000 hingga 2009 dalam Jadual 1 menunjukkan kepekatan minimum, maksimum, purata dan sisihan piawai kepekatan CH₄ mengikut stesen. Bagi memudahkan analisis, setiap stesen telah dikelaskan mengikut zon lokasi stesen iaitu zon utara, tengah, selatan, timur dan Sarawak. Bagi kawasan zon utara, nilai purata CH₄ tertinggi direkodkan di stesen Tasek, Ipoh dengan nilai bacaan 2.12±0.17 ppm. Manakala nilai kepekatan purata CH₄ terendah ditunjukkan oleh stesen USM (1.64±0.16 ppm). Bagi kawasan zon tengah, nilai

CH₄ maksimum direkodkan di stesen Klang dengan nilai bacaan 2.19±0.12 ppm manakala nilai purata kepekatan terendah ditunjukkan oleh stesen Gombak (1.85±0.12 ppm). Bagi kawasan zon selatan, nilai kepekatan purata CH₄ tertinggi adalah di stesen Larkin, Johor Bahru dengan nilai bacaan 2.61±0.54 ppm. Manakala nilai kepekatan purata terendah ditunjukkan oleh stesen Bukit Rambai, Melaka (1.85±0.14 ppm). Bagi kawasan zon timur, nilai purata CH₄ tertinggi adalah dari stesen Kota Bharu dengan nilai bacaan 1.93±0.10 ppm manakala nilai kepekatan purata terendah ditunjukkan oleh stesen Jerantut (1.76±0.09 ppm). Bagi zon Sarawak, stesen Kuching mencatatkan bacaan kepekatan purata CH₄ bersamaan 2.04±0.21 ppm.

JADUAL 1. Rekod kepekatan CH₄ mengikut stesen dari Januari 2000 hingga Disember 2009

| Zon | Stesen | Kod | Statistik deskriptif | | | |
|-----------|----------------|--------|----------------------|----------------|--------------|----------------|
| | | | Minimum (ppm) | Maksimum (ppm) | Purata (ppm) | Sisihan piawai |
| Utara | Sg. Petani | N1 | 1.68 | 2.82 | 1.97 | 0.22 |
| | Cenderawasih | N2 | 1.68 | 2.57 | 1.93 | 0.15 |
| | USM | N4 | 1.64 | 2.39 | 1.85 | 0.16 |
| | Taiping | N5 | 1.71 | 2.08 | 1.87 | 0.07 |
| | Pegoh | N6 | 1.71 | 2.12 | 1.86 | 0.10 |
| | Tasek | N7 | 1.76 | 2.62 | 2.12 | 0.17 |
| | Tengah | Gombak | C1 | 1.59 | 2.24 | 1.85 |
| Klang | | C2 | 1.97 | 2.54 | 2.19 | 0.12 |
| Kajang | | C3 | 1.71 | 2.46 | 1.96 | 0.14 |
| Shah Alam | | C4 | 1.79 | 2.58 | 2.14 | 0.20 |
| Nilai | | C5 | 1.66 | 2.64 | 2.12 | 0.22 |
| Selatan | Melaka | S1 | 1.53 | 2.50 | 1.85 | 0.14 |
| | Larkin | S2 | 1.78 | 4.31 | 2.61 | 0.54 |
| | Pasir Gudang | S3 | 1.78 | 2.88 | 2.14 | 0.21 |
| Timur | Kota Bharu | E1 | 1.73 | 2.26 | 1.93 | 0.10 |
| | Kemaman | E2 | 1.60 | 2.10 | 1.81 | 0.10 |
| | Indera Mahkota | E3 | 1.69 | 2.09 | 1.84 | 0.07 |
| | Jerantut | E4 | 1.61 | 2.06 | 1.76 | 0.09 |
| Sarawak | Kuching | Q1 | 1.69 | 2.97 | 2.04 | 0.21 |

Nilai kepekatan ambien CH_4 yang tinggi di stesen Tasek (zon utara), Klang (zon tengah), Larkin (zon selatan) dan Kota Bharu (zon timur) serta stesen Kuching adalah kerana kedudukan lokasi stesen di kawasan bandar yang berhampiran dengan sumber pelepasan utama CH_4 seperti tapak pelupusan sampah, loji kumbahan serta pelepasan CH_4 dari aktiviti industri berbanding stesen lain di zon yang sama. Nilai kepekatan paras ambien CH_4 yang rendah di stesen USM (zon utara), Gombak (zon tengah), Bukit Rambai (zon selatan) dan Jerantut (zon timur) berbanding stesen lain di zon yang sama adalah kerana kedudukan lokasi stesen yang agak jauh daripada sumber pelepasan CH_4 .

Secara umumnya, berdasarkan ringkasan analisis statistik deskriptif dalam Jadual 1, nilai bacaan purata kepekatan tertinggi CH_4 adalah dicatatkan di stesen Larkin, Johor Bahru iaitu 2.61 ± 0.54 ppm. Nilai bacaan purata kedua tertinggi dan purata ketiga tertinggi pula direkodkan oleh stesen Klang dan Pasir Gudang dengan bacaan kepekatan masing-masing adalah 2.19 ± 0.12 ppm dan 2.14 ± 0.21 ppm. Kepekatan CH_4 yang ketara tinggi di stesen Larkin, Johor Bahru berbanding stesen lain di Malaysia adalah kerana lokasi kedudukan stesen tersebut dan sumber pelepasan gas CH_4 yang terdapat di sekitar kawasan tersebut. Berdasarkan maklumat yang diperolehi daripada portal *Geographical Information System* (GIS) Jabatan Alam Sekitar, di sekitar stesen Larkin terdapat lebih kurang 954 punca tetap dan 32 jenis industri yang berpotensi membebaskan gas CH_4 .

CORAK TABURAN KEPEKATAN CH_4

Rajah 1 menunjukkan peta haba corak taburan kepekatan CH_4 dengan nilai purata bulanan kepekatan CH_4 bagi tempoh 10 tahun (2000-2009) untuk setiap stesen diplotkan pada peta Malaysia. Berdasarkan peta haba pada Rajah 1, corak taburan kepekatan CH_4 yang lebih tinggi tertumpu di kawasan bandar iaitu di kawasan Johor Bahru, Pasir Gudang, Klang dan Shah Alam manakala kawasan luar bandar seperti Jerantut menunjukkan kepekatan CH_4 yang rendah. Hasil keputusan kajian yang lebih kurang sama telah diperolehi oleh Razali dan Yeow (2014) yang membuat pemetaan kepekatan CH_4 di Semenanjung Malaysia berdasarkan data bagi tahun 2009. Kajian tersebut mendapati kepekatan CH_4 lebih tertumpu di lokasi kawasan industri di negeri Selangor dan Johor manakala kawasan yang berdekatan dengan lokasi tersebut juga dipengaruhi dan mencatatkan kepekatan CH_4 yang sederhana.

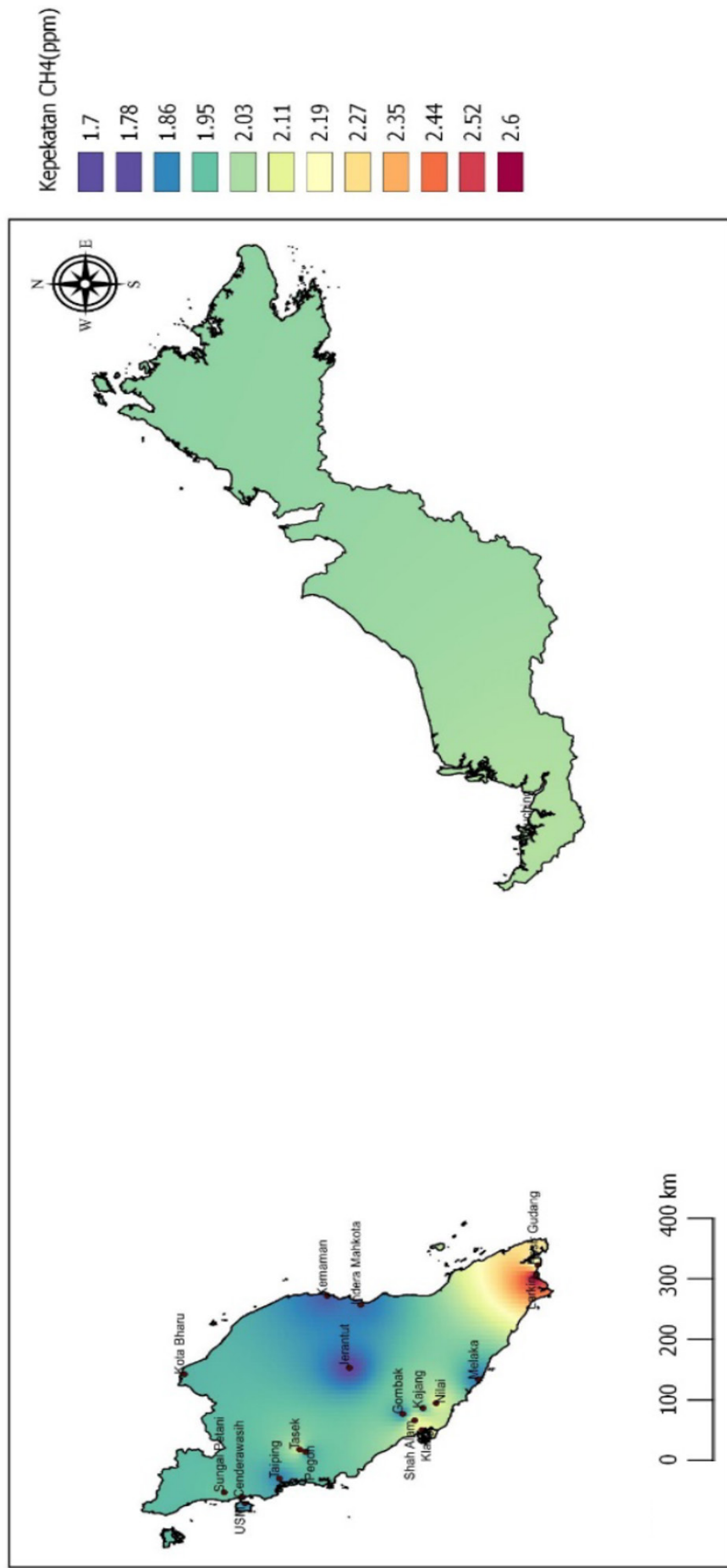
Dalam kajian ini, kepekatan CH_4 yang lebih tinggi di kawasan bandar telah dijangka kerana wilayah

bandar dianggap sebagai sumber utama CH_4 (Hopkins et al. 2016). Pelepasan CH_4 daripada kawasan bandar ini berpunca daripada pembakaran bahan bakar fosil, sisa perbandaran dan pengurusan kumbahan, saluran air dan kolam yang tersekat, pelepasan sisa air daripada kediaman, sisa makanan, pasar dan lain-lain sumber yang menyumbang kepada pengeluaran CH_4 (Saunio et al. 2016). Pelepasan bahan buangan ke dalam sistem aliran air sungai di kawasan bandar adalah salah satu punca pembebasan metana yang tinggi di kawasan bandar (Tang et al. 2021).

PERBANDINGAN KEPEKATAN CH_4 DUNIA

Data kepekatan CH_4 dunia yang terkini (2022) daripada *National Oceanic & Atmospheric Administration* (NOAA Research) adalah 1.91 ppm. Bagi tahun 2016 dan 2017, kepekatan CH_4 global masing-masing adalah 1.86 ppm dan 1.85 ppm (Lan, Thoning & Dlugokencky 2022). Bahagian Pemantauan Global Makmal Penyelidikan Sistem Bumi NOAA telah mengukur CH_4 sejak 1983 di rangkaian stesen pemantauan udara di dunia secara global (Dlugokencky et al. 2011). Data purata global CH_4 dibentuk dengan memperhalusi (*smoothing*) data di setiap stesen pemantauan sebagai fungsi masa dan kemudian nilai-nilai tersebut diplot sebagai fungsi garis lintang untuk 48 langkah waktu yang sama setiap tahun. Purata global CH_4 dihitungkan daripada plot latitud pada setiap langkah masa (Masarie & Tans 1995).

Berdasarkan analisis yang telah dijalankan, kepekatan purata bulanan CH_4 Malaysia yang terkini (tahun 2009) adalah 2.00 ppm. Nilai ini adalah lebih tinggi sedikit dari kepekatan CH_4 dunia yang terkini iaitu 1.91 ppm. Nilai kepekatan CH_4 yang lebih tinggi daripada kepekatan global kemungkinan berpunca daripada keadaan iklim di Malaysia yang lembab dan panas sepanjang tahun. Faktor persekitaran permukaan bumi yang lembab dan berair, keluasan tanah bench yang tinggi dan faktor degredasi yang cepat menyebabkan pelepasan CH_4 yang tinggi. Peningkatan kolam rawatan terbuka daripada loji kumbahan dan kilang daripada pelbagai industri pertanian dan ternakan termasuk kelapa sawit serta tapak pelupusan sampah berpotensi menghasilkan gas CH_4 . Nilai kepekatan metana yang tinggi ini juga dicatatkan di negara rantau Asia seperti India dan China serta negara-negara Asia Tenggara seperti Thailand dan Indonesia berdasarkan pemerhatian melalui satelit seperti yang ditunjukkan oleh kajian Li et al. (2022) dan Rendana, Idris dan Rahim (2021) yang menunjukkan kepekatan metana yang menghampiri kepekatan 2.00 ppm.



RAJAH 1. Peta haba kepekatan purata bulanan CH₄ mengikut stesen (2000-2009)

TREN KEPEKATAN CH₄

Bagi menunjukkan tren kepekatan CH₄ selama 10 tahun, data purata bulanan bagi setiap stesen untuk zon utara, tengah, selatan, timur dan Sarawak telah diplotkan (Rajah 2). Hasil kajian mendapati bahawa dalam tempoh 10 tahun (2000 hingga 2009) cerapan data ambien CH₄, terdapat kepelbagaian tren kepekatan CH₄ diperhatikan di seluruh Malaysia.

Rajah 2(a) menunjukkan tren kepekatan CH₄ bagi enam stesen di zon utara. Corak tren kepekatan CH₄ untuk stesen Cenderawasih, USM dan Pegoh mencapai tahap tinggi yang sama pada lingkungan antara tahun 2005 hingga 2006. Terdapat beberapa stesen yang merekodkan kenaikan kepekatan CH₄ daripada tahun 2007 dan ke atas seperti stesen USM (2009), Tasek (2008), Pegoh (2007) dan Taiping (2007), Zon tengah (Rajah 2(b)) pula menunjukkan tren menurun untuk beberapa tahun terakhir pemantauan bagi kesemua stesen kecuali stesen Kajang. Rajah 2(c) pula menunjukkan kepekatan CH₄ bagi zon selatan dengan kesemua stesen menunjukkan tren yang menurun sejak tahun 2000. Bagi zon timur (Rajah 2(d)) pula, variasi kepekatan CH₄ adalah berbeza untuk stesen Kemaman, Kota Bharu, Jerantut dan Indera Mahkota dengan hanya stesen Jerantut sahaja menunjukkan tren yang menaik. Rajah 2(e) pula menunjukkan tren di zon Sarawak dengan stesen Kuching merekodkan kepekatan CH₄ yang turun naik dan penurunan paling ketara adalah dari tahun 2001.

Tren kepekatan CH₄ yang menurun terutamanya di stesen Larkin, Pasir Gudang dan Melaka di zon selatan serta stesen Cenderawasih dan USM di zon utara dijangka disebabkan oleh penambahbaikan kepada sistem pelupusan sampah, pengolahan kumbahan dan efluen yang lebih cekap iaitu daripada sistem terbuka kepada sistem tertutup. Penambahbaikan ini mengakibatkan kurangnya pelepasan gas CH₄ susulan kesedaran oleh pihak industri dan penguatkuasaan yang dijalankan. Tren kepekatan CH₄ yang menaik di stesen Tasek, Pegoh dan Jerantut pula disebabkan perkembangan perindustrian dan perbandaran yang semakin pesat di sekeliling stesen-stesen seperti Tasek dan Pegoh serta terdapatnya punca-punca baharu yang membebaskan gas CH₄ dengan pertambahan kawasan perbandaran dan perumahan seperti yang berlaku di Jerantut. Menurut Olivier, Schure dan Peters (2017), pelepasan CH₄ daripada sisa air buangan industri adalah salah satu daripada kategori yang paling cepat berkembang, iaitu 3% daripada pengeluaran

CH₄. Pertambahan kawasan penempatan yang tinggi juga menyebabkan penghasilan sisa domestik yang menyebabkan penghasilan CH₄.

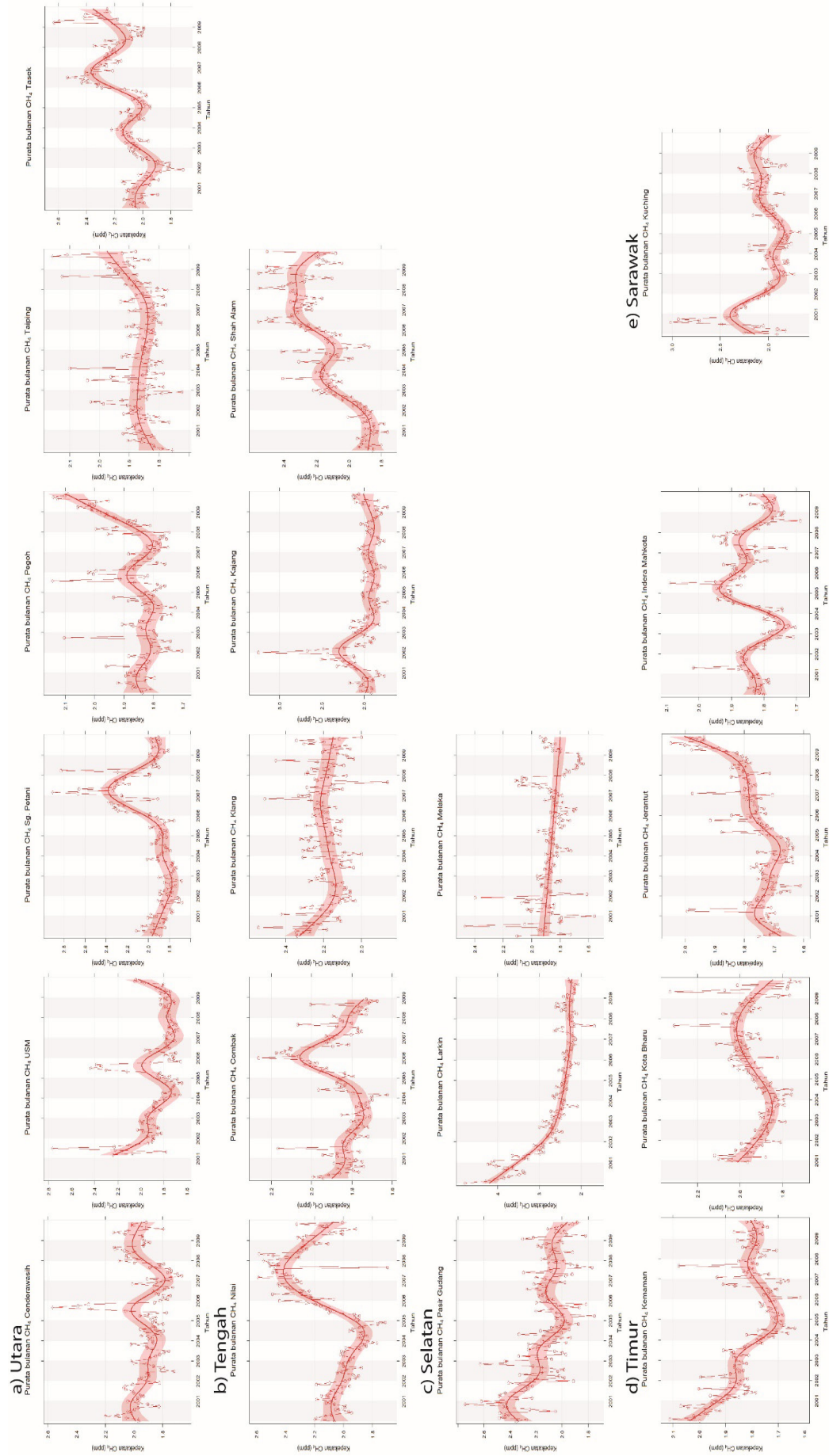
HUBUNGAN ANTARA CH₄ DENGAN O₃

Analisis korelasi Pearson telah digunakan bagi menentukan hubungan antara CH₄ dengan bahan pencemar O₃. Nilai purata bulanan CH₄ dan nilai purata maksimum harian O₃ digunakan dalam analisis ini. Jadual 2 menunjukkan nilai korelasi Pearson, r yang dibandingkan dengan purata bulanan CH₄ bagi setiap stesen pemantauan CH₄ dan O₃ dari tahun 2000 hingga 2009.

Analisis korelasi bagi menentukan hubungan CH₄ dengan bahan pencemar O₃ mendapati bahawa 15 stesen menunjukkan korelasi positif yang sangat kecil dan lemah ($r < 0.20$ dan $0.20 < r < 0.40$) manakala empat stesen lagi menunjukkan korelasi negatif. Korelasi positif bermaksud apabila kepekatan CH₄ meningkat, kepekatan O₃ juga meningkat. Bagi korelasi negatif, ia bermaksud apabila kepekatan CH₄ meningkat, kepekatan O₃ menurun. Walau bagaimanapun, hubungan antara CH₄ dan bahan pencemar O₃ bagi kesemua stesen adalah tidak signifikan ($p > 0.05$) berdasarkan nilai r yang diperoleh iaitu $r < 0.5$.

Stesen Shah Alam menunjukkan nilai korelasi positif paling tinggi ($r = 0.280$) berbanding stesen lain di Malaysia. Ini bermakna CH₄ bagi stesen Shah Alam paling banyak mempengaruhi pembentukan O₃ berbanding stesen lain. Analisis juga membuktikan bahawa kepekatan CH₄ yang tinggi di sesuatu kawasan tidak mempengaruhi pembentukan bahan pencemar O₃. Ini ditunjukkan oleh stesen Larkin (2.609 ppm, $r = 0.007$) dan Klang (2.188 ppm, $r = 0.132$), walaupun kepekatan CH₄ direkodkan paling tinggi di Malaysia, namun, nilai korelasi dengan O₃ adalah rendah.

Hubungan antara CH₄ dan bahan pencemar O₃ bagi kesemua stesen adalah tidak signifikan kerana pembentukan O₃ bukan hanya bergantung kepada kehadiran CH₄ semata-mata. Pengeluaran fotokimia O₃ di troposfera berlaku melalui pengoksidaan radikal hidroksil (OH), CO dan CH₄ dengan kehadiran NO_x (Latif et al. 2014). Variasi tahunan dalam kepekatan O₃ pada mana-mana skala ruang bergantung kepada beberapa faktor, seperti jarak dekat dengan sumber utama pencetus O₃, lokasi geografi dan faktor meteorologi (Banan et al. 2013).



RAJAH 2. Tren kepekatan CH_4 mengikut lima zon (a) Utara, (b) Sentral, (c) Selatan, (d) Timur dan (e) Sarawak

JADUAL 2. Nilai korelasi r antara CH_4 dan bahan pencemar O_3

| Zon | Stesen | Kod | Purata bulanan CH_4 | Korelasi Pearson (r) |
|---------|----------------|-----|------------------------------|--------------------------|
| Utara | Sungai Petani | N1 | 1.967 | 0.032 |
| | Cenderawasih | N2 | 1.929 | -0.138 |
| | USM | N3 | 1.853 | 0.053 |
| | Taiping | N4 | 1.869 | -0.004 |
| | Pegoh | N5 | 1.860 | 0.195 |
| | Tasek | N6 | 2.118 | 0.024 |
| Tengah | Gombak | C1 | 1.850 | 0.138 |
| | Klang | C2 | 2.188 | 0.132 |
| | Kajang | C3 | 1.959 | -0.039 |
| | Shah Alam | C4 | 2.138 | 0.280 |
| | Nilai | C5 | 2.120 | -0.116 |
| Selatan | Melaka | S1 | 1.854 | 0.013 |
| | Larkin | S2 | 2.609 | 0.007 |
| | Pasir Gudang | S3 | 2.142 | 0.137 |
| Timur | Kota Bharu | E1 | 1.932 | 0.029 |
| | Kemaman | E2 | 1.808 | 0.061 |
| | Indera Mahkota | E3 | 1.836 | 0.021 |
| | Jerantut | E4 | 1.764 | 0.034 |
| Sarawak | Kuching | Q1 | 2.043 | 0.166 |

KESIMPULAN

Gas CH_4 adalah GHG yang menyebabkan perubahan iklim dan pemanasan dunia. Berdasarkan ringkasan analisis statistik deskriptif, nilai bacaan kepekatan purata tertinggi CH_4 adalah dicatatkan di stesen Larkin, Johor Bahru iaitu 2.61 ± 0.54 ppm. Nilai bacaan purata kedua tertinggi dan purata ketiga tertinggi pula direkodkan oleh stesen Klang dan Pasir Gudang masing-masing dengan bacaan kepekatan 2.19 ± 0.12 ppm dan 2.14 ± 0.21 ppm. Kepekatan CH_4 yang ketara tinggi di stesen Larkin, Johor Bahru berbanding stesen lain di Malaysia adalah dijangka disebabkan oleh lokasi kedudukan stesen tersebut dan sumber pelepasan gas CH_4 iaitu punca tetap industri yang banyak terdapat di sekitar kawasan tersebut.

Bagi perbandingan dengan kepekatan CH_4 dunia, nilai kepekatan purata bulanan CH_4 Malaysia yang terkini (tahun 2009) adalah 2.00 ppm. Nilai ini adalah lebih tinggi berbanding kepekatan CH_4 dunia yang terkini iaitu 1.86 ppm. Nilai kepekatan CH_4 yang lebih tinggi daripada kepekatan global mungkin berpunca daripada faktor iklim serta aktiviti perindustrian dan perbandaran di Malaysia yang terletak di kawasan tropika dengan jumlah hujan yang tinggi dan panas sepanjang tahun.

Corak taburan CH_4 yang lebih tinggi didapati tertumpu di kawasan bandar iaitu di kawasan Johor Bahru, Pasir Gudang, Klang, Shah Alam dan Kuching manakala kawasan sub-bandar terutamanya Jerantut menunjukkan kepekatan yang lebih rendah. Kepekatan

CH₄ yang lebih tinggi di kawasan bandar telah dijangka kerana wilayah bandar dianggap sebagai sumber utama pelepasan CH₄ melalui aktiviti pembakaran bahan bakar fosil, sisa perbandaran dan pengurusan kumbahan, saluran air dan kolam yang tersekat, pelepasan sisa air dari kediaman, sisa makanan, pasar dan lain-lain menyumbang kepada pengeluaran CH₄ yang banyak berlaku di kawasan bandar.

Analisis korelasi Pearson telah dijalankan untuk menentukan hubungan antara CH₄ dengan bahan pencemar O₃ dan dalam analisis ini nilai purata bulanan CH₄ dan nilai purata maksimum harian O₃ telah digunakan. Analisis korelasi Pearson bagi menentukan hubungan CH₄ dengan bahan pencemar O₃ mendapati bahawa 15 stesen menunjukkan korelasi positif yang sangat kecil dan lemah ($r < 0.20$ dan $0.20 < r < 0.40$). Manakala empat stesen lagi menunjukkan korelasi negatif dan hubungan antara CH₄ dan bahan pencemar O₃ bagi kesemua stesen adalah tidak signifikan ($p > 0.05$) berdasarkan nilai r yang diperoleh iaitu $r < 0.5$. Stesen Shah Alam menunjukkan nilai korelasi positif paling tinggi ($r = 0.280$) berbanding stesen lain di Malaysia yang bermakna CH₄ bagi stesen Shah Alam paling banyak mempengaruhi pembentukan O₃ berbanding stesen lain. Hubungan antara CH₄ dan bahan pencemar O₃ bagi kesemua stesen adalah tidak signifikan kerana pembentukan O₃ bukan hanya bergantung kepada kehadiran CH₄ semata-mata.

Kajian ini mencadangkan pemantauan CH₄ berterusan dijalankan di Malaysia bagi memastikan impak metana kepada kenaikan suhu dan perubahan iklim serta kesan CH₄ kepada kesihatan manusia dapat ditentukan dengan lebih terperinci. Pemantauan CH₄ juga boleh ditentukan menggunakan teknologi satelit melalui kalibrasi yang baik dengan pemantauan permukaan bumi. Data CH₄ yang berterusan dapat digunakan bagi tujuan pemodelan dan peramalan CH₄ di Malaysia pada masa hadapan. Langkah berterusan bagi pengurangan metana seterusnya dapat dijalankan dengan lebih berkesan.

PENGHARGAAN

Setinggi-tinggi terima kasih diucapkan kepada Jabatan Alam Sekitar Malaysia atas perkongsian data kualiti udara, metana dan ozon permukaan yang direkodkan di kesemua stesen terpilih.

RUJUKAN

- Adetona, A.B. & Layzell, D.B. 2023. Diverting residual biomass to energy use: Quantifying the global warming potential of biogenic CO₂ (GW_{Pb}CO₂). *GCB Bioenergy* 15(5): 697-709. <https://doi.org/10.1111/gcbb.13048>
- Amin, M.A., Shukor, H., Yin, L.S., Kasim, F.H., Shoparwe, N.F., Makhtar, M.M.Z. & Yaser, A.Z. 2022. Methane biogas production in Malaysia: Challenge and future plan. *International Journal of Chemical Engineering* 2022: Article ID. 2278211.
- Banan, N., Latif, M.T., Juneng, L. & Ahamad, F. 2013. Characteristics of surface ozone concentrations at stations with different backgrounds in the Malaysian Peninsula. *Aerosol and Air Quality Research* 13(3): 1090-1106.
- Boakye-Agyei, K. 2011. Approaching climate adjusted environmental due diligence for multilateral financial institutions. *International Journal of Climate Change Strategies and Management* 3(3): 264-274.
- Busman, N.A., Melling, L., Goh, K.J., Imran, Y., Sangok, F.E. & Watanabe, A. 2023. Soil CO₂ and CH₄ fluxes from different forest types in tropical peat swamp forest. *Science of The Total Environment* 858: 159973.
- Chaddy, A., Melling, L., Ishikura, K., Goh, K.J., Toma, Y. & Hatano, R. 2021. Effects of long-term nitrogen fertilization and ground water level changes on soil CO₂ fluxes from oil palm plantation on tropical peatland. *Atmosphere* 12(10): 1340.
- Cheng, C.H. & Redfern, S.A.T. 2022. Impact of interannual and multidecadal trends on methane-climate feedbacks and sensitivity. *Nature Communications* 13(1): 3592.
- Chin, M.J., Poh, P.E., Tey, B.T., Chan, E.S. & Chin, K.L. 2013. Biogas from palm oil mill effluent (POME): Opportunities and challenges from Malaysia's perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 26: 717-726.
- Dlugokencky, E.J., Nisbet, E.G., Fisher, R. & Lowry, D.J. 2011. Global atmospheric methane: Budget, changes and dangers. *Philosophical Transactions of the Royal Society A Mathematical Physical and Engineering Sciences* 369(1943): 2058-2072.
- Halady, I.R. & Rao, P.H. 2010. Does awareness to climate change lead to behavioral change? *International Journal of Climate Change Strategies and Management* 2(1): 6-22.
- Hopkins, F.M., Ehleringer, J.R., Bush, S.E., Duren, R.M., Miller, C.E., Lai, C.T., Hsu, Y.K., Carranza, V. & Randerson, J.T. 2016. Mitigation of methane emissions in cities: How new measurements and partnerships can contribute to emissions reduction strategies. *Earth's Future* 4(9): 408-425.
- KASA 2020. *Malaysia Third Biennial Update Report to the UNFCCC*. Putrajaya: Ministry of Environment and Water Malaysia.
- Kirschke, S., Bousquet, P., Ciais, P., Saunio, M., Canadell, J.G., Dlugokencky, E.J., Bergamaschi, P., Bergmann, D., Blake, D.R., Bruhwiler, L., Cameron-Smith, P., Castaldi, S., Chevallier, F., Feng, L., Fraser, A., Heimann, M., Hodson, E.L., Houweling, S., Josse, B., Fraser, P.J., Krummel, P.B., Lamarque, J-F., Langenfelds, R.L., Le Quéré, C., Naik, V., O'Doherty, S., Palmer, P.I., Pison, I., Plummer, D., Poulter, B., Prinn, R.G., Rigby, M., Ringeval, B., Santini, M., Schmidt, M., Shindell, D.T., Simpson, I.J., Spahni, R., Steele, L.P., Strode, S.A., Sudo, K., Szopa, S., van der Werf, G.R., Voulgarakis, A., van Weele, M., Weiss, R.F., Williams, J.E. & Zeng, G. 2013. Three decades of global methane sources and sinks. *Nature Geoscience* 6(10): 813-823.

- Lam, M.K. & Lee, K.T. 2011. Renewable and sustainable bioenergies production from palm oil mill effluent (POME): Win-win strategies toward better environmental protection. *Biotechnology Advances* 29(1): 124-141.
- Lan, X., Thoning, K.W. & Dlugokencky, E.J. 2022. *Trens in Globally-Averaged CH₄, N₂O, and SF₆ Determined from NOAA Global Monitoring Laboratory Measurements*. Version 2022-12. <https://doi.org/10.15138/P8XG-AA10>
- Latif, M.T., Dominick, D., Ahamad, F., Khan, M.F., Juneng, L., Hamzah, F.M. & Nadzir, M.S.M. 2014. Long term assessment of air quality from a background station on the Malaysian Peninsula. *Science of The Total Environment* 482-483(1): 336-348.
- Lelieveld, J., Crutzen, P.J. & Brühl, C. 1993. Climate effects of atmospheric methane. *Chemosphere* 26(1-4): 739-768.
- Li, L., Lei, L., Song, H., Zeng, Z. & He, Z. 2022. Spatiotemporal geostatistical analysis and global mapping of CH₄ columns from GOSAT observations. *Remote Sensing* 14(3): 654.
- Masarie, K.A. & Tans, P.P. 1995. Extension and integration of atmospheric carbon dioxide data into a globally consistent measurement record. *Journal of Geophysical Research: Atmosphere* 100(D6): 11593-11610.
- Myhre, G., Shindell, D., Bréon, F.-M., Collins, W., Fuglestedt, J., Huang, J., Koch, D., Lamarque, J.-F., Lee, D., Mendoza, B., Nakajima, T., Robock, A., Stephens, G., Takemura, T. & Zhang, H. 2013. Anthropogenic and natural radiative forcing. In *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Doschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. & Midgley, P.M. Cambridge University Press. pp. 659-740. doi: 10.1017/CBO9781107415324.018
- Olivier, J., Schure, K. & Peters, J.J. 2017. *Trens in Global CO₂ and Total Greenhouse Gas Emissions: Summary of the 2017 Report*. The Hague: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency
- Rangga, J.U., Ismail, S.N.S., Rasdi, I. & Karuppiyah, K. 2023. Contribution of waste segregation to ghg emissions, land usage, and health risk of NMVOC exposure: A study in Malaysia. *Journal of Material Cycles and Waste Management* 25: 181-197.
- Razali, A.M. & Yeow, P.M. 2014. Pemetaan kepekatan metana di Semenanjung Malaysia. *Journal of Quality Measurement and Analysis* 10(2): 99-110.
- Rendana, M., Idris, W.M.R. & Rahim, S.A. 2021. Atmospheric Methane condition over the south Sumatera peatland during the COVID-19 pandemic. *Aerosol and Air Quality Research* 21: 210072.
- Saunois, M., Bousquet, P., Poulter, B., Peregon, A., Ciais, P., Canadell, J.G., Dlugokencky, E.J., Etiope, G., Bastviken, D., Houweling, S., Janssens-Maenhout, G., Tubiello, F.N., Castaldi, S., Jackson, R.B., Alexe, M., Arora, V.K., Beerling, D.J., Bergamaschi, P., Blake, D.R., Brailsford, G., Brovkin, V., Bruhwiler, L., Crevoisier, C., Crill, P., Covey, K., Curry, C., Frankenberg, C., Gedney, N., Höglund-Isaksson, L., Ishizawa, M., Ito, A., Joos, F., Kim, H.S., Kleinen, T., Krummel, P., Lamarque, J.F., Langenfelds, R., Locatelli, R., Machida, T., Maksyutov, S., Mcdonald, K.C., Marshall, J., Melton, J.R., Morino, I., Naik, V., O'doherty, S., Parmentier, F.J.W., Patra, P.K., Peng, C., Peng, S., Peters, G.P., Pison, I., Prigent, C., Prinn, R., Ramonet, M., Riley, W.J., Saito, M., Santini, M., Schroeder, R., Simpson, I.J., Spahni, R., Steele, P., Takizawa, A., Thornton, B.F., Tian, H., Tohjima, Y., Viovy, N., Voulgarakis, A., Van Weele, M., Van Der Werf, G.R., Weiss, R., Wiedinmyer, C., Wilton, D.J., Wiltshire, A., Worthy, D., Wunch, D., Xu, X., Yoshida, Y., Zhang, B., Zhang, Z. & Zhu, Q. 2016. The global methane budget 2000-2012. *Earth Syst. Sci. Data* 8(2): 697-751.
- Shivanna, K.R. 2022. Climate change and its impact on biodiversity and human welfare. *Proceedings of the Indian National Science Academy* 88(2): 160-171.
- Sumathi, S., Chai, S.P. & Mohamed, A.R. 2008. Utilization of oil palm as a source of renewable energy in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12(9): 2404-2421.
- Tang, W., Xu, Y.J., Ma, Y., Maher, D.T. & Li, S. 2021. Hot spot of CH₄ production and diffusive flux in rivers with high urbanization. *Water Research* 204(1): 117624.
- Wu, T.Y., Mohammad, A.W., Jahim, J.M. & Anuar, N. 2010. Pollution control technologies for the treatment of palm oil mill effluent (POME) through end-of-pipe processes. *Journal of Environmental Management* 91(7): 1467-1490.

*Pengarang untuk surat-menyurat; email: talib@ukm.edu.my

LAMPIRAN 1. Lokasi stesen yang menentukan kepekatan CH₄ di Malasia (2000-2029)

| Stesen | Lokasi | Negeri | Pengelasan | Latitud | Longitud |
|--------|--|-------------|------------|--------------------------|---------------------------|
| CA001 | SM Pasir Gudang 2, Pasir Gudang | Johor | Industri | N 01 ^o 28.225 | E 103 ^o 53.637 |
| CA002 | SK. Bkt Kuang, Kemaman | Terengganu | Industri | N 04 ^o 15.949 | E 103 ^o 25.936 |
| CA003 | SK Cenderawasih | P. Pinang | Industri | N 05 ^o 22.265 | E 100 ^o 23.344 |
| CA004 | Depot Ubat, Kuching | Sarawak | Industri | N 01 ^o 33.736 | E 110 ^o 23.331 |
| CA005 | Jabatan Bekalan Air Daerah Gombak | Selangor | Perumahan | N 03 ^o 15.714 | E 101 ^o 39.112 |
| CA006 | SMK Bukit Rambai, Melaka | Melaka | Industri | N 02 ^o 15.515 | E 102 ^o 10.360 |
| CA007 | MMS, Batu Embun, Jerantut | Pahang | Rujukan | N 03 ^o 58.238 | E 102 ^o 20.863 |
| CA008 | SM Jalan Tasik, Ipoh | Perak | Industri | N 04 ^o 37.764 | E 101 ^o 6.995 |
| CA010 | Taman Semarak (Phase 2), Nilai | N. Sembilan | Industri | N 02 ^o 49.301 | E 101 ^o 48.689 |
| CA011 | SM Perempuan Raja Zarina, Klang | Selangor | Urban | N 03 ^o 0.599 | E 101 ^o 24.502 |
| CA014 | SK. Indera Mahkota, Kuantan | Pahang | Sub-Urban | N 03 ^o 49.159 | E 103 ^o 17.791 |
| CA017 | SK Bakar Arang, Sg. Petani | Kedah | Sub-Urban | N 05 ^o 37.888 | E 100 ^o 28.182 |
| CA019 | Inst. Perguruan Temenggong Ibrahim, Larkin | Johor | Industri | N 01 ^o 29.842 | E 103 ^o 43.606 |
| CA020 | SK Kampung Air Puteh, Taiping | Perak | Industri | N 04 ^o 53.929 | E 100 ^o 40.748 |
| CA022 | SM Tanjung Chat, Kota Bahru | Kelantan | Perumahan | N 06 ^o 8.799 | E 102 ^o 14.952 |
| CA023 | Country Heights, Kajang | Selangor | Perumahan | N 02 ^o 59.629 | E 101 ^o 44.496 |
| CA025 | SK TTDI Jaya | Selangor | Sub-Urban | N 03 ^o 6.283 | E 101 ^o 33.371 |
| CA038 | Universiti Sains Malaysia | P. Pinang | Sub-Urban | N 05 ^o 21.372 | E 100 ^o 18.476 |
| CA046 | SM Pegoh 4, Ipoh | Perak | Urban | N 04 ^o 33.198 | E 101 ^o 4.810 |