

Identifikasi Senyawa Benzena Pada Kabin Mobil Penumpang

Muhammad Pasha Ariobimo¹, Adyati Pradini Yudison^{2*}, dan Moh. Irsyad²

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

²Pengelolaan Udara dan Limbah, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

* corresponding author: adyati@itb.ac.id

ABSTRAK

Interior mobil yang pada umumnya terbuat dari bahan-bahan sintetis yang dapat mengemisikan Volatile Organic Compound (VOC) apabila berada pada suhu yang tinggi, salah satunya adalah senyawa benzena. Selain berasal dari emisi bahan-bahan yang digunakan pada interior mobil, konsentrasi senyawa benzena dapat pula dipengaruhi oleh hal lain, diantaranya: kondisi udara ambien, kebocoran gas dari tangki bahan bakar dan tabung penghantar bahan bakar, infiltrasi emisi kendaraan lain di tempat parkir, dan lain sebagainya. Pada penelitian ini akan dibandingkan konsentrasi benzena di dalam kabin mobil pada 3 kondisi berbeda, yaitu berdasarkan durasi penjemuran mobil 2 jam, 4 jam, dan 6 jam secara active sampling dan dianalisis menggunakan Gas Chromatography - Mass Spectrometer (GC-MS). Sebagai pembanding, akan diukur pula konsentrasi benzena pada mobil yang ditempatkan di dalam garasi tanpa terpapar sinar matahari secara langsung. Hasil penelitian terukur keberadaan benzena di dalam kabin mobil pada kondisi tanpa ventilasi dan pendingin dengan konsentrasi antara 0,77 - 1,36 mg/m³. Konsentrasi tersebut berkorelasi signifikan secara statistik dengan temperatur dalam kabin sehingga semakin tinggi temperatur akan semakin tinggi pula konsentrasi benzena di dalam kabin mobil. Terdapat pula kemungkinan infiltrasi benzena dari lingkungan luar mobil. Hasil penelitian ini meningkatkan kesadaran pengguna mobil mengenai adanya pencemar udara berbahaya pada kabin mobil saat sedang tidak dipergunakan terutama apabila berada pada tempat dengan temperatur tinggi dan terdapat sumber pencemar benzena.

Kata kunci: kabin mobil, benzena, GC-MS, VOC

ABSTRACT

Car interiors are generally made of synthetic materials that can emit Volatile Organic Compounds (VOC) at high temperatures, one of which is benzene. Apart from emissions from materials used in car interiors, the concentration of benzene compounds can also be influenced by other things, including ambient air conditions, gas leaks from fuel tanks and fuel delivery tubes, infiltration of emissions from other vehicles in parking lots, and so on. In this study, the concentration of benzene in the car cabin will be compared under 3 different conditions, namely based on the duration of drying the car for 2 hours, 4 hours, and 6 hours by active sampling and analyzed using a gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). As a comparison, the concentration of benzene will also be measured in cars that are placed in a garage without being exposed to direct sunlight. The results of the study measured the presence of benzene in the car cabin under conditions without ventilation and cooling with concentrations between 0.77 - 1.36 mg/m³. This concentration is correlated statistically significant with the temperature in the cabin so that the higher the temperature, the higher the concentration of benzene in the car cabin. There is also the possibility of benzene infiltration from the outside environment of the car. The results of this study can be used to increase awareness of car users regarding the presence of harmful air pollutants in the car cabin when not in use, especially if they are in a place with high temperatures and there is a source of benzene pollutant.

Keywords: Car cabin, BTEX, GC-MS, VOC

Citation: Ariobimo, M. P. , Yudison, A. P., Irsyad, M. (Tahun). Identifikasi Senyawa Benzena Pada Kabin Mobil. Jurnal Ilmu Lingkungan, 21(1), 15-21, doi:10.14710/jil.21.1.15-21

1. Latar Belakang

Penggunaan mobil pribadi menjadi hal yang umum terjadi di Indonesia, terutama di wilayah perkotaan. BPS (2020) mencatat sebanyak 3.365.467 mobil penumpang dimiliki oleh masyarakat di DKI Jakarta. Dalam penggunaannya sehari-hari, sering kali mobil yang ditempatkan dibawah terik matahari saat sedang tidak digunakan. Hal tersebut dapat meningkatkan temperatur dalam mobil sehingga

mobil menjadi panas. Pada saat mobil terkena sinar matahari, maka gelombang pendek dari sinar matahari akan masuk kedalam mobil dan terserap oleh interior mobil seperti dashboard, seat, steer, dan sebagainya. Interior mobil tersebut kemudian akan memancarkan kembali energi panas yang tertahan di dalam mobil sehingga temperaturnya akan semakin panas (Horak dkk, 2016). Pada kondisi tersebut temperatur di dalam mobil dapat menjadi lebih tinggi

daripada temperatur lingkungan luar. Menurut Ahmad dan Turi (2018) temperatur di dalam kabin mobil dapat mencapai 15-20 °C lebih tinggi jika dibandingkan dengan temperatur di luar kabin mobil.

Interior mobil umumnya terbuat dari bahan-bahan sintesis yang dapat mengemisikan Volatile Organic Compound (VOC) apabila berada pada suhu yang tinggi (Schupp dkk, 2005). Salah satu jenis VOC yang dapat diemisikan tersebut adalah benzena, salah satu dari kelompok hidrokarbon aromatik yang dikategorikan sebagai senyawa berbahaya.

Senyawa benzena dikategorikan sebagai salah satu pencemar udara berbahaya (Hazardous Air Pollutants – HAPs) yang dapat masuk kedalam tubuh terutama dalam bentuk uap melalui inhalasi. Benzena dapat menyebabkan kerusakan sumsum tulang belakang yang menyebabkan anemia selain itu benzena juga dapat merusak sistem kekebalan tubuh dengan mengubah kadar antibodi dalam darah dan menyebabkan hilangnya sel darah putih (CDC, 2018). Senyawa benzena juga dikenal sebagai senyawa karsinogenik dan terbukti menyebabkan perubahan kromosom dalam sel sumsum tulang belakang, paparan yang tinggi terhadap benzena akan menyebabkan gangguan kesehatan jangka pendek maupun panjang seperti iritasi kulit, mata, dan tenggorokan, sedangkan apabila menghirup konsentrasi benzena yang sangat tinggi dapat menyebabkan kematian (Omar K, 2011).

Geiss, dkk (2009) dalam penelitiannya menemukan bahwa dari 23 sampel mobil pribadi yang diteliti, memiliki konsentrasi senyawa organik di dalam kabin yang 40% lebih tinggi pada musim panas dibandingkan konsentrasinya pada musim dingin. Pada musim panas tersebut temperatur di dalam kabin mobil dapat mencapai 70 °C. Pada penelitian yang lain, Xiong dkk (2015) menemukan bahwa konsentrasi benzena didalam kabin mobil semakin meningkat seiring dengan naiknya temperatur kabin.

Selain berasal dari emisi bahan-bahan yang digunakan pada interior mobil, konsentrasi senyawa benzena dapat pula dipengaruhi oleh hal lain, diantaranya: kondisi udara ambien, kebocoran gas dari tangki bahan bakar dan tabung penghantar bahan bakar, infiltrasi emisi kendaraan lain di tempat parkir, dan lain sebagainya (Xu dkk, 2016). Selain itu konsentrasi benzena di dalam kabin mobil dapat mencapai angka yang sangat tinggi hingga 550 µg/m³ yang diduga diakibatkan kebocoran tangki bahan bakar dan tabung penghantar bahan bakar berdasarkan Ilgen, dkk (2001).

Dengan adanya potensi emisi benzena dan risikonya terhadap kesehatan, identifikasi senyawa benzena dalam kabin mobil menjadi penting untuk diketahui. Oleh karena itu, penelitian bertujuan untuk mengukur senyawa benzena yang terdapat di

kabin mobil, serta identifikasi faktor-faktor yang mempengaruhinya.

2. Metodologi

2.1. Target Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan identifikasi senyawa benzena pada tiga sampel mobil penumpang yang berbeda dengan spesifikasi seperti pada Tabel 1, selain itu ketiga mobil memiliki kegelapan kaca mobil yang sama yaitu 60% untuk kaca samping dan 20% untuk kaca depan dan belakang. Pada penelitian akan dibandingkan konsentrasi benzena pada 3 kondisi berbeda, yaitu berdasarkan durasi penjemuran mobil 2 jam, 4 jam, dan 6 jam. Penelitian dilakukan di wilayah Jakarta, Indonesia yang memiliki temperatur rerata tahunan 28.8 °C (BPS, 2020). Sebagai pembanding, akan diukur pula konsentrasi benzena pada mobil yang ditempatkan di dalam garasi tanpa terpapar sinar matahari secara langsung, garasi yang digunakan sebagai tempat penelitian merupakan garasi pribadi, dan bersifat terbuka namun berada di bawah atap sehingga tidak terkena sinar matahari. Pengukuran yang dilakukan di dalam garasi akan diwakilkan dengan penjemuran selama 0 jam.

Tabel 1. Spesifikasi sampel mobil penumpang yang digunakan pada penelitian ini

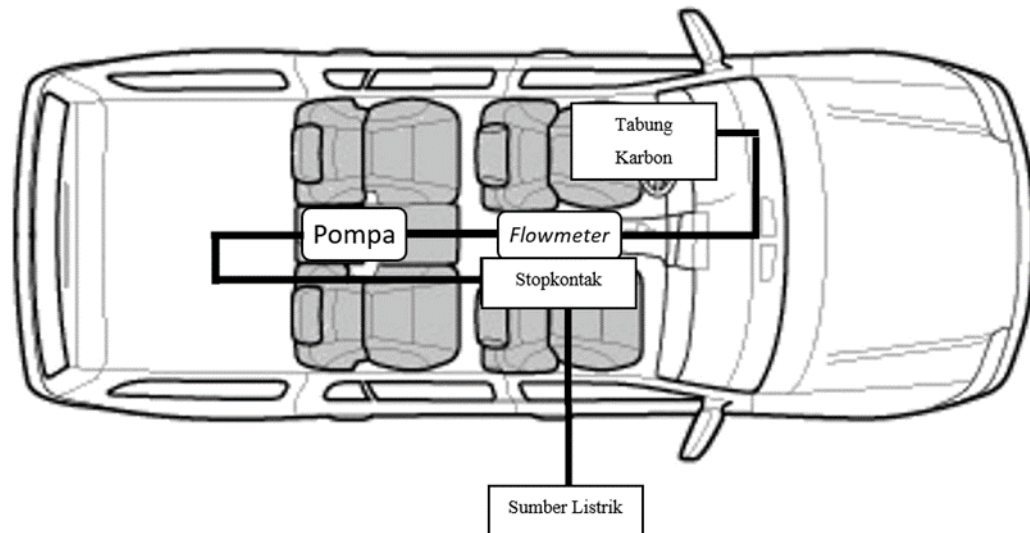
	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
<i>Jenis Mobil</i>	Pribadi	Pribadi	Pribadi
<i>Tahun Produksi</i>	2015	2018	2016
<i>Jumlah Tempat duduk</i>	5	7	5
<i>Tipe transmisi</i>	Automatic	Automatic	Automatic
<i>Bahan bakar</i>	BBM RON 90	BBM RON 90	BBM RON 90
<i>Mesin</i>	1373 cc	1499 cc	1497 cc

2.2. Metode Penelitian

Metode sampling yang digunakan mengacu pada NIOSH 1501 dengan metode aktif menggunakan karbon aktif SKC 226-01 dengan *flowrate* sebesar 160 mL/menit. Dengan skema penyusunan alat sampling seperti pada Gambar 1.

Sampling pada setiap sampel dilakukan pada hari yang berbeda. Sebelum dilakukan pengukuran senyawa benzena, sampel mobil ditempatkan terlebih dahulu pada tempat yang terkena sinar matahari langsung. Untuk mendapatkan data pendukung perhitungan, dilakukan pengukuran temperatur kering, temperatur basah, dan tekanan di dalam dan luar kabin setiap jam selama sampling berlangsung. Sebelum dilakukan sampling, mobil penumpang dijemur pada 3 kondisi yang berbeda yaitu dengan kondisi lama penjemuran 1 jam, 3 jam, dan 5 jam. Setelah itu dilakukan sampling selama 50 menit di dalam kabin mobil

Setelah sampling dilakukan, Tabung karbon aktif disimpan dalam suhu 4°C untuk kemudian dilakukan ekstraksi menggunakan larutan diklorometana (CH₂Cl₂) dan analisa *Gas Chromatography*.



Gambar 1 Skema sampling mobil

Analisis dilakukan menggunakan Gas Chromatography - Mass Spectrometer (GC-MS) (Agilent GC 7890A-MS 5975C) menggunakan kolom DB-5ms 5% Phenyl Methyl Silox 30 m x 250 μm x 0.25 μm (J & W 122-5532). Program suhu oven diatur 40°C selama 2 menit kemudian dinaikan 5 °C/menit sampai dengan 70 °C selama 0 menit, kemudian dinaikan 20 °C/menit sampai dengan 280 °C selama 0 menit, dan dinaikan kembali 30 °C/menit sampai dengan 299 °C selama 3 menit.

Kurva kalibrasi untuk senyawa benzena didapatkan dengan menginjeksikan larutan standar benzene kedalam Gas Chromatography dan dilakukan validasi metode seperti linearitas, limit deteksi, dan limit kuantifikasi. Hasil kromatogram terdapat puncak pada waktu retensi 2,865-2,892 menit yang diperkirakan merupakan senyawa benzena, karena selisih yang kurang dari 5% dengan waktu retensi larutan standar yaitu 2,842 menit. Selain itu terdapat beberapa puncak lainnya namun tidak dapat diprediksi karena bukan merupakan termasuk senyawa BTEX. Pada waktu retensi dari referensi standar BTEX, terdapat puncak yang tidak dapat diukur dikarenakan banyaknya *noise* sehingga membuat puncak pada waktu retensi toluena, xilena, dan etilbenzena tidak dapat diidentifikasi sebagai puncak.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Pengukuran Benzena

Pada penelitian ini terukur keberadaan benzena di dalam kabin mobil penumpang pada kondisi tanpa ventilasi dan pendingin dengan konsentrasi antara 0,77 - 1,36 mg/m^3 , seperti yang terlihat pada Tabel 2.

Konsentrasi yang didapatkan jauh lebih tinggi jika dibandingkan dengan hasil pengukuran pada penelitian terdahulu. Ilgen, dkk (2001) dalam studinya mengukur konsentrasi benzena di dalam

kabin mobil secara *passive sampling* selama 14 hari dengan keadaan mobil pada saat *driving* dan *parking*. Hasil pengukuran menunjukkan adanya konsentrasi benzena dengan nilai rerata sebesar 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dengan konsentrasi benzena maksimum sebesar 550 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Zhang GS (2008) melakukan pengukuran pada kabin mobil di *basement* dengan kondisi ventilasi terbuka, didapatkan konsentrasi benzena sebesar 270 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Sedangkan Noordin (2018) mendapatkan hasil pengukuran konsentrasi benzene sebesar 543 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pada kondisi AC dan RC mati dan menggunakan *Tedlar Bag*. Geiss, dkk (2009) didapatkan rata-rata konsentrasi benzena sebesar 23.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pada kondisi mobil digunakan normal sehari-hari (terdapat variasi mobil diparkirkan di garasi/ *outdoor*, pengendara merokok/ tidak merokok, jendela terbuka/ tertutup saat digunakan) dan digunakan metode *passive sampling* selama 7 hari. Variasi terhadap konsentrasi benzena di dalam kabin mobil dapat disebabkan oleh berbagai faktor seperti kondisi sampling, jenis mobil, kondisi iklim dan juga metode sampling yang dilakukan.

3.2. Korelasi Dengan Durasi Penjemuran Mobil Penumpang dan Temperatur

Hasil uji korelasi antara konsentrasi benzena dan durasi penjemuran mobil dapat dilihat pada table 2, bahwa tidak menunjukkan korelasi yang konsisten (Gambar 2), sampel 1 dan sampel 2 menunjukkan korelasi yang negatif yaitu dengan koefisien korelasi -0,400 ($p\text{-value} = 0,600$) untuk kedua sampel tersebut. Untuk sampel 3 terdapat korelasi positif dengan koefisien korelasi 1,000 ($p\text{-value} = 0,01$). Uji korelasi pada keseluruhan data menunjukkan hubungan negatif dengan koefisien korelasi -0,109 namun tidak signifikan secara statistik dengan $p\text{-value} = 0,737$, korelasi tersebut kemungkinan dikarenakan jumlah sampel yang kurang atau adanya

faktor lain yang lebih kuat mempengaruhi konsentrasi benzena dalam kabin mobil.

3.3 Hubungan antara Konsentrasi BTEX dengan Temperatur Kabin Mobil Penumpang

Terdapat korelasi positif yang signifikan secara statistik antara konsentrasi benzena dan temperatur kabin mobil (Gambar 3) yaitu dengan koefisien korelasi 1,000 ($p\text{-value} = 0,01$) pada ketiga sampel yang diuji. Namun belum didapat korelasi yang signifikan secara statistik antara konsentrasi dan temperatur pada pengujian keseluruhan sampel yaitu dengan koefisien korelasi 0,596, $p\text{-value} = 0,09$. Hal tersebut kemungkinan dikarenakan adanya variasi jenis material pada kabin mobil yang menjadi sampel, sehingga perlu dilakukan penambahan sampel dan analisis lebih lanjut mengenai hubungan antara material kabin dan hubungannya dengan emisi benzena.

Dari hasil uji korelasi tersebut, benzena pada kabin mobil memiliki hubungan yang lebih erat dengan temperatur kabin mobil dibandingkan hubungannya dengan durasi penjemuran mobil. Pada sampel 3 terjadi korelasi yang positif antara durasi penjemuran mobil dengan konsentrasi benzena disebabkan temperatur yang terus meningkat dari durasi penjemuran pada sampel 3, sedangkan pada sampel 1 dan 2 perubahan suhu tidak konsisten naik sehingga tidak menunjukkan adanya korelasi dengan durasi penjemuran mobil (Gambar 2).

Menurut You dkk (2007) ditemukan bahwa temperatur akan mempengaruhi konsentrasi VOC yang ditemukan didalam kabin mobil. Temperatur yang tinggi akan membantu mengevaporasi VOC di dalam kabin mobil. Selain itu material mobil juga akan melepaskan senyawa-senyawa VOC ketika kabin mobil berada pada suhu yang tinggi.

3.4 Pengaruh faktor lingkungan terhadap konsentrasi dalam kabin

Hasil pengukuran menunjukkan konsentrasi benzena yang cukup tinggi ketika berada pada garasi atau pada pengukuran 0 jam (Tabel 2). Sampel mobil tersebut ditempatkan pada tempat parkir pada malam sebelumnya dimaksudkan untuk menghindari paparan matahari secara langsung. Namun pada tempat parkir tersebut terdapat 10 mobil yang diparkirkan bersebelahan dan terdapat aktivitas masuk dan keluarnya mobil sehingga memungkinkan adanya emisi dari penguapan tangki bensin serta emisi saat *idle* dan *cold start* yang menyebabkan tingginya konsentrasi hidrokarbon.

Hal ini sesuai dengan hasil studi yang dilakukan Cao (2007), dimana didapatkan pada menit pertama mesin dinyalakan secara *cold start*, akan terjadi pembakaran yang tidak sempurna dan menghasilkan emisi yang lebih banyak dibandingkan dengan operasi pada suhu biasa. Sedangkan tingginya konsentrasi hidrokarbon pada kondisi *Idling*,

terutama apabila dilakukan lebih dari 10 detik, disebabkan menggunakan bahan bakar yang lebih banyak dibandingkan ketika mobil dimatikan dan dinyalakan kembali (US. Department of Energy, 2015).

Tingginya konsentrasi benzena pada kondisi tanpa penjemuran kemungkinan disebabkan adanya infiltrasi dari polutan pada tempat parkir tersebut. Xu dkk. (2016) dalam studinya menyebutkan bahwa VOC di udara dapat masuk kedalam kabin mobil melalui *body frame* mobil. Hal ini sejalan pula dengan hasil penelitian Ilgen, dkk (2001), yang menyatakan bahwa belum ditemukan secara jelas penyebab tingginya konsentrasi benzena di dalam kabin mobil, namun kebocoran atau difusi BTEX dari tangki bensin serta tabung penghantar bahan bakar dapat menjadi salah satu penyebab adanya benzena di dalam kabin.

Dengan adanya kemungkinan infiltrasi tersebut, maka terdapat potensi keberadaan benzena dalam kabin mobil saat berada di wilayah Kota Jakarta. Hal ini disebabkan tingginya jumlah kendaraan bermotor di Provinsi DKI Jakarta, yaitu mencapai 20 juta unit pada tahun 2020 (BPS Jakarta, 2020). Selain itu Yudison dan Driejana (2020) dalam studinya yang melakukan pengukuran BTEX menunjukkan adanya kandungan benzena di udara sebesar $21,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

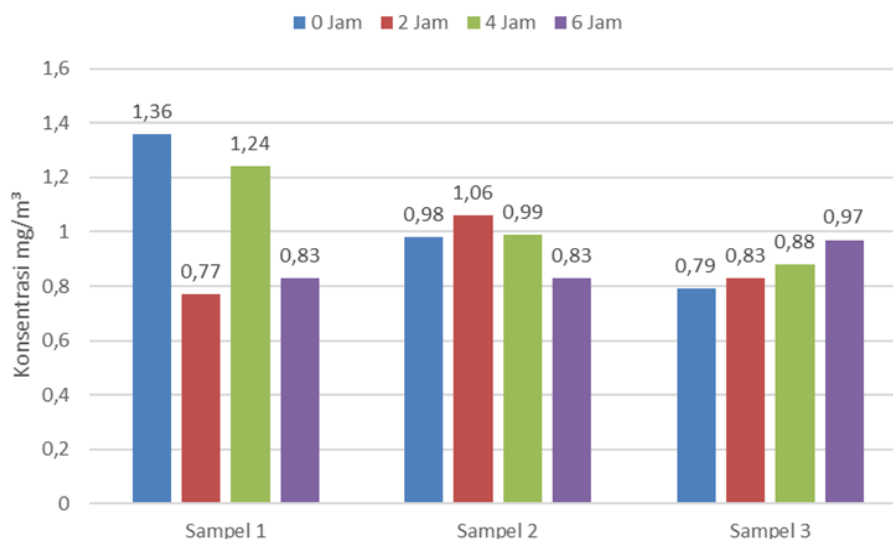
3.5 Resiko Kesehatan Terhadap Pengguna Mobil

Pada penelitian ini, konsentrasi benzena pada kabin mobil yang didapatkan adalah sebesar $0,77 - 1,36 \text{ mg}/\text{m}^3$, konsentrasi tersebut jauh lebih tinggi jika dibandingkan dengan batas aman paparan benzena di udara *indoor* atau lingkungan kerja, yaitu sebesar 1 ppm atau $3,195 \text{ mg}/\text{m}^3$ berdasarkan *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA). Hasil pengukuran konsentrasi benzena pada penelitian ini juga telah melewati nilai konsentrasi referensi melalui pajanan inhalasi (*reference concentration - RFC*) berdasarkan US EPA yaitu sebesar $0,03 \text{ mg}/\text{m}^3$. Dengan adanya fakta tersebut tentunya akan terdapat resiko kesehatan akibat paparan benzena di dalam kabin mobil. Namun penelitian ini masih terbatas pada sampel mobil yang sedang tidak dipergunakan, sehingga belum dapat diketahui berapa konsentrasi benzena pada saat mobil digunakan dan bagaimana paparan pada pengguna mobil tersebut.

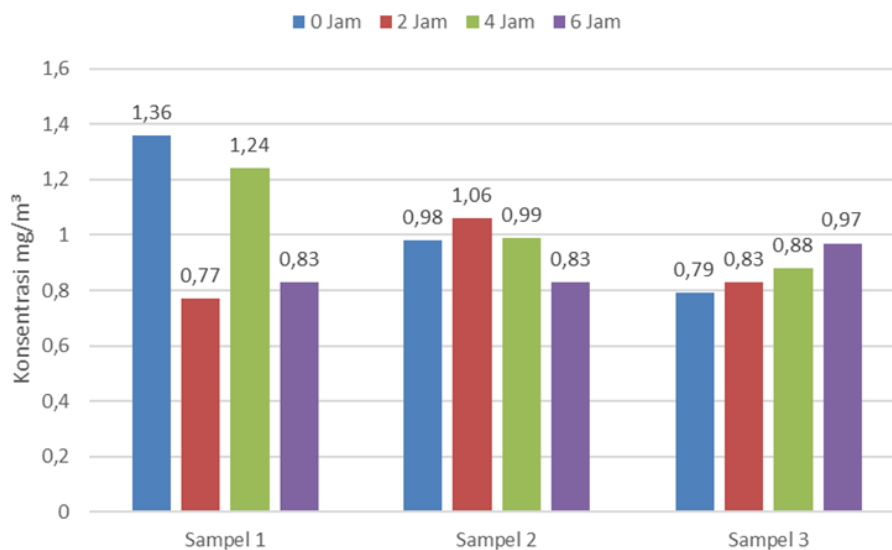
Penelitian lebih lanjut mengenai paparan benzena terhadap pengguna mobil perlu dilakukan, karena kemungkinan terdapat perbedaan antara konsentrasi benzena pada saat mobil tidak digunakan dengan kondisi saat digunakan. Hal ini akan sejalan dengan hasil penelitian Fedoruk dan Kerger (2003) yang menemukan bahwa dengan menyalakan AC mobil dan membuka jendela, dapat efektif untuk mengurangi kadar VOC sangat cepat. Selain itu Konsentrasi VOC di dalam kabin mobil juga dapat berkurang hingga 10 - 20 kali lebih kecil jika A/C dinyalakan (Fedoruk dan Kerger, 2003).

Tabel 2. Konsentrasi Benzena Pada Sampel

No	Sampel	Durasi Sampling (Jam)	Volume Sampling (L)	Temperatur rata-rata kabin mobil (°C)	Konsentrasi (mg/m ³)	Konsentrasi (ppm)
1	Sampel 1	0	8,27	28	1,36	0,43
2	Sampel 1	2	8,49	36	0,77	0,24
3	Sampel 1	4	8,67	42,5	1,24	0,39
4	Sampel 1	6	8,63	41	0,83	0,26
5	Sampel 2	0	8,27	30	0,98	0,31
6	Sampel 2	2	8,41	38	1,06	0,33
7	Sampel 2	4	8,60	37	0,99	0,31
8	Sampel 2	6	8,55	36	0,83	0,26
9	Sampel 3	0	8,29	28,5	0,79	0,25
10	Sampel 3	2	8,36	31	0,83	0,26
11	Sampel 3	4	8,45	34,5	0,88	0,28
12	Sampel 3	6	8,51	36,5	0,97	0,3



Gambar 2 Konsentrasi benzena pada variasi durasi penjemuran



Gambar 3 Konsentrasi benzena dengan suhu kabin mobil

4. Kesimpulan dan saran

Pada penelitian ini didapat konsentrasi benzena yang diukur dari ketiga mobil pada saat dijemu dan diparkirkan adalah sebesar 0.77 - 1.36 mg/m³. Konsentrasi tersebut berkorelasi signifikan secara statistik dengan temperatur dalam kabin sehingga semakin tinggi temperatur akan semakin tinggi pula konsentrasi benzena di dalam kabin mobil. Terdapat pula kemungkinan infiltrasi benzena dari lingkungan luar mobil. Untuk melakukan investigasi lebih lanjut mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi konsentrasi benzena di dalam kabin, maka diperlukan tambahan penggunaan environmental chamber dalam penelitian agar faktor lingkungan dapat terkontrol.

Hasil penelitian ini dapat digunakan untuk meningkatkan kesadaran pengguna mobil, mengenai adanya pencemar udara berbahaya pada kabin mobil saat sedang tidak dipergunakan terutama apabila berada pada tempat dengan temperatur tinggi dan terdapat sumber pencemar benzena. Oleh karena itu, sebelum menggunakan mobil, dianjurkan untuk membuka ventilasi mobil terlebih dahulu, serta menyalakan pendingin agar dapat mengurangi konsentrasi benzena dan pencemar sejenis (VOC) secara cepat.

Penelitian ini masih terbatas pada sampel mobil yang sedang tidak dipergunakan, sehingga belum dapat diketahui berapa konsentrasi benzena pada saat mobil digunakan dan bagaimana paparan pada pengguna mobil tersebut. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui tingkat paparan benzena atau VOC lain pada pengguna mobil.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, M., & Turi, J. A. (2018). Study of air temperature propagation of parked car. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 9(3), 1503-1513.
- ATSDR. (2005). *Public Health Assessment Guidance Manual*. U.S. Department of Health and Human Services Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry Atlanta, Georgia.
- BPS. (2020). *Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis (Unit), 2018-2020*. Badan Pusat Statistik. Jakarta
- Cao, Y. (2007). Operation and Cold Start Mechanisms of Internal Combustion Engines with Alternative Fuels. *SAE Technical Paper* 2007-01-3609, doi:10.4271/2007-01-3609
- Centers for Disease Control and Prevention. *Facts about Benzene*.
- Centers for Disease Control and Prevention. (2018): *Facts about Benzene*.
- Chen, X., Feng, L., Luo, H., Cheng, H. (2016). Health risk equations and risk assessment of airborne benzene homologues exposure to drivers and passengers in taxi cabins. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2016 Mar;23(5):4797-811.
- Fedoruk M. J., Kerger, B. (2003): Measurement of volatile organic compounds inside automobiles†. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 13, 31-41.
- Faber, J., Brodzik, K., Gołda-Kopek, A., Łomankiewicz, D., (2013). Benzene, toluene and xylenes levels in new and used vehicles of the same model, *Journal of Environmental Sciences*, Volume 25, Issue 11, 2013, Pages 2324-2330, ISSN 1001-0742,
- GB/T 27630-2011: Guideline for air quality assessment of passenger cars. Ministry of Environmental Protection, China
- Guillemot, M., Oury, B., Melin, S. (2017). Identifying thermal breakdown products of thermoplastics. *J. Occup. Environ. Hyg.* 2017,14, 551-561.
- Horak, J., Schmerold, I., Wimmer, K., Schaubberger, G. (2016). Cabin air temperature of parked vehicles in summer conditions: life-threatening environment for children and pets calculated by a dynamic model. *Theoret Appl Climatol* 130(1-2):107-118.
- HJ/T 400-2007 : Determination of Volatile Organic Compound and Carbonyl Compounds in Cabin of vehicles. Ministry of Environmental Protection, China
- Ilggen, E., Levsen, K., Angerer, J., et al. (2001). Aromatic Hydrocarbon in the atmospheric environment. Part III: personal monitoring. *Atmos Environ* 35:1265-1279
- Lawson, L. (1996). Evaluation of Calibration Curve Linearity. *Guidance Memo*. No. 96-007. Hal. 1-9.
- Lelieveld, J, dkk. (2008). Atmospheric oxidation capacity sustained by a tropical forest. *Nature*. 2008 Apr 10;452(7188):737-40.
- NIOSH. (2003). *Manual of Analytical Methods*, NIOSH method 1501, The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH. NIOSH Manual of Analytical Methods.
- Noordin, N. H., dkk. (2018). Preliminary analysis of benzene, toluene, ethylbenzene, o-xylene (BTEX) and formaldehyde inside vehicle cabin. *Journal of Mechanical Engineering*, 5, 80-99.
- Official Journal of the European Communities. (2002): COMMISSION DECISION 2002/657/EC of 12 August 2002 Implementing Council Directive 96/23/EC Concerning the Performance of Analytical Methods and the Interpretation of Results, pp. L221/8-L221/36
- Phoslab. (2016): BTEX: Risks and control measures.
- Pope AM, Rall DP. (1995): *Environmental Medicine: Integrating a Missing Element into Medical Education*. Washington (DC): National Academies Press (US).
- Geiss O., dkk. (2009): Investigation of volatile organic compounds and phthalates present in the cabin air of used private cars, *Environment International*, Volume 35, Issue 8, 2009
- Omar, K. (2011): Detection of the vapor benzene composition formed inside the car cabin, *Chem. Phys.* 36 3501-3503, 2011.
- Rismanchian, M., dkk. (2013): Effects of vehicle ventilation system, fuel type, and in-cabin smoking on the concentration of toluene and ethylbenzene in Pride cars. *Int J Env Health Eng* 2013;2:43.
- Riyanto. (2014): *Validasi dan Verifikasi Metode Uji*. Deepublish, Yogyakarta.
- Sindelarova, K., dkk. (2014): Global data set of biogenic VOC emissions calculated by the MEGAN model over the last 30 years. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14, 9317-9341. doi:10.5194/acp-14-9317-2014
- Schupp, T., Bolt, H. M., Jaekch, R., Hengstler, J. G. (2006). Benzene and its methyl-derivatives: Derivation of

Ariobimo, M. P., Yudison, A. P., Irsyad, M. (2023). Identifikasi Senyawa Benzena Pada Kabin Mobil. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21(1), 15-21, doi:10.14710/jil.21.1.15-21

- maximum exposure levels in automobiles. *Toxicology Letters*, 160, 93-104. <http://dx.doi.org/10.1016/j.toxlet.2005.06.012>
- Schupp, T., Bolt, H. M., Jaeckh, R., Hengstler, J. G. (2006). Benzene and its methyl-derivatives: Derivation of maximum exposure levels in automobiles. *Toxicology Letters*, 160, 93-104.
- U.S. Department of Energy (2015): Idling Reduction for Personal Vehicles. By Argonne National Laboratory a U.S. Department of Energy laboratory managed by UChicago Argonne, LLC.
- US Dept of Labor, Occupational Safety and Health Administration (1978): Occupational exposure to benzene: Permanent standard. *Federal Register* 43:591-5970.
- USEPA. (2000): Benchmark Dose Technical Guidance Document [external review draft]. EPA/630/R-00/001.
- USEPA. (2009): Risk assessment guidance for superfund volume I: Human health evaluation manual (part F, supplemental guidance for inhalation risk assessment); Office of Superfund Remediation and Technology Innovation Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA.
- Wardhana, W. (1999): *Dampak Lingkungan Hidup*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Wark & warner. (1998): *Air Pollution, Its Origin and Control*, 3rd Edition. USA: Purdue University.
- Xiong, J., dkk. (2015): Characterization of VOC Emission from Materials in Vehicular Environment at Varied Temperatures: Correlation Development and Validation. *PLOS ONE* 10(10): e0140081.
- Xu, B., Chen, X., Xiong, J. (2018): Air quality inside motor vehicles' cabins: A review. *Indoor and Built Environment*. 2018;27(4):452-465.
- You K, dkk. (2007): Measurement of in-vehicle volatile organic compounds under static conditions. *Journal of Environmental Sciences*, 19(10), 1208-1213.
- Yudison, A. P., Driejana. (2020): Determination of BTEX Concentration using Passive Samplers in a Heavy Traffic Area of Jakarta, Indonesia, *International Journal of GEOMATE*, 19, 76.
- Zhang, G. S., Li, T. T., Luo, M, Lin, J. F., et al. (2008): Air pollution in the microenvironment of parked new cars. *Build Environ* 43: 315-319