

# Identifikasi Emisi VOC Biogenik dalam Bentuk Isoprena dan Monoterpena di Wilayah DKI Jakarta

ARISTIAN NURFAUZI<sup>1</sup>, DIDIN AGUSTIAN PERMADI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Lingkungan  
Institut Teknologi Nasional, Bandung, Indonesia  
Email: aristian.nurfauzi@gmail.com

## ABSTRAK

*Pencemaran udara di DKI Jakarta dapat disebabkan oleh emisi kendaraan bermotor, industri, dan vegetasi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis emisi Biogenic Volatile Organic Compounds (BVOCs), khususnya isoprena dan monoterpena, dari vegetasi di Jakarta dan sekitarnya, serta membandingkannya dengan emisi VOC antropogenik. Pemodelan atmosfer menggunakan model WRF (Weather Research and Forecasting) menghasilkan data variabel seperti fraksi vegetasi (VEGFRA), radiasi matahari (SWDOWN), dan suhu permukaan (T2) untuk perhitungan emisi. Hasil perhitungan menunjukkan emisi isoprena dan monoterpena masing-masing sebesar 48.275,83 ton/tahun dan 1.991,22 ton/tahun, yang lebih rendah dibandingkan dengan emisi VOC antropogenik yang mencapai 89,7% dari total emisi VOC. Meskipun emisi BVOCs berkontribusi pada pembentukan ozon troposfer, emisi antropogenik tetap dominan. Penelitian ini memberikan pemahaman tentang kontribusi jenis sumber emisi terhadap kualitas udara di Jakarta.*

**Kata kunci:** Pencemaran udara, DKI Jakarta, Biogenic VOC, Emisi antropogenik, Model WRF.

## 1. PENDAHULUAN

Pencemaran udara di DKI Jakarta menjadi salah satu masalah lingkungan yang mendalam dan kompleks, dengan kontribusi utama berasal dari aktivitas antropogenik, seperti transportasi dan industri. Kendaraan bermotor yang mengeluarkan asap knalpot mengandung polutan seperti NMVOC, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, HC, CO, dan Pb, yang berperan besar dalam penurunan kualitas udara di ibu kota Indonesia ini. Selain itu, sektor industri yang juga mengandalkan bahan bakar fosil turut menambah beban pencemaran udara, dengan lebih dari 1.300 perusahaan besar dan sedang di DKI Jakarta tercatat sebagai kontributor polusi udara terbesar kedua setelah sektor transportasi (DLH DKI Jakarta, 2018).

Namun, tidak hanya aktivitas manusia yang menyebabkan pencemaran udara, tetapi juga emisi yang dihasilkan oleh vegetasi. Tanaman menyumbang polusi udara melalui senyawa *Biogenic Volatile Organic Compounds* (BVOCs) atau VOC Biogenik, yang dilepaskan dalam bentuk isoprena dan monoterpena. Senyawa-senyawa ini dapat berreaksi dengan nitrogen oksida di atmosfer, berkontribusi pada pembentukan ozon troposfer dan kabut asap fotokimia yang semakin memperburuk kualitas udara, khususnya di kawasan perkotaan seperti Jakarta (Fitzky dkk., 2019). Oleh karena itu, penting untuk memahami kontribusi emisi biogenik ini dalam konstelasi pencemaran udara secara keseluruhan.

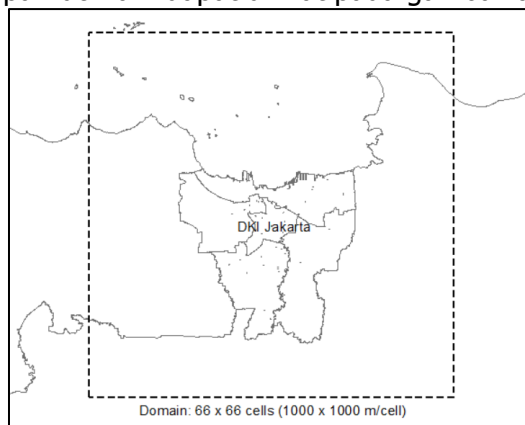
Seiring dengan berkembangnya model pemodelan atmosfer dan penggunaan data meteorologi yang lebih canggih, seperti model WRF (*Weather Research and Forecasting*), peneliti kini dapat

lebih mudah memetakan emisi BVOCs dan dampaknya terhadap kualitas udara. Di sisi lain, data emisi antropogenik yang berasal dari sektor transportasi dan industri juga penting untuk perbandingan dan pemahaman lebih mendalam mengenai kontribusi relatif masing-masing sumber pencemar. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung dan menganalisis emisi VOC biogenik dari vegetasi di wilayah DKI Jakarta dan sekitarnya, serta membandingkannya dengan emisi VOC antropogenik, guna memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas udara di daerah ini.

## 2. METODOLOGI

### 2.1 Wilayah Studi

DKI Jakarta terletak di dataran rendah dengan koordinat sekitar  $6,21^{\circ}$  Lintang Selatan dan  $106,81^{\circ}$  Bujur Timur. Pada artikel ini, wilayah studi mencakup daerah DKI Jakarta dan sekitarnya sesuai dengan wilayah domain data model WRF. Domain WRF yang digunakan memiliki resolusi grid  $1 \times 1$  km. Wilayah cakupan domain dapat dilihat pada gambar berikut.



**Gambar 1. Domain Model WRF (Sumber: Hasil Pemodelan, 2025)**

### 2.2 Pengumpulan Data

Data yang diperlukan diperoleh dari hasil model WRF dengan periode simulasi pada episode ozon 29-30 Oktober 2023, berdasarkan penelitian Ramadhan dan Permadi (2024). Hasil model WRF yang digunakan terdiri dari beberapa variabel, yaitu VEGFRA, SWDOWN, dan T2. Variabel VEGFRA merupakan fraksi vegetasi dalam setiap grid dalam satuan persen yang digunakan untuk menghitung kerapatan dedaunan. Variabel SWDOWN menggambarkan jumlah radiasi matahari (*Shortwave Downward*) yang mencapai permukaan Bumi, yang digunakan untuk perhitungan fluks radiasi aktif fotosintesis (PSAR). Sedangkan variabel T2 merupakan suhu permukaan yang mewakili suhu daun dan digunakan untuk perhitungan faktor koreksi variasi emisi isoprena dan monoterpena akibat suhu. Selain itu, digunakan data inventarisasi emisi dari penelitian Permadi dkk. (2021), yang digunakan untuk membandingkan jumlah emisi VOC antropogenik dan biogenik yang dihasilkan di wilayah DKI Jakarta.

### 2.3 Perhitungan Emisi VOC Biogenik

Identifikasi emisi VOC Biogenik dilakukan dengan berdasarkan perhitungan dan faktor emisi yang ditetapkan oleh Guenther dkk. (1995), Guenther (1999) yang memperhitungkan emisi isoprena dan monoterpena yang diemisikan oleh vegetasi. Terdapat beberapa faktor emisi VOC Biogenik untuk berbagai jenis ekosistem vegetasi, dalam penelitian ini jenis ekosistem diasumsikan hanya satu jenis yaitu *farm/city-warm*, karena wilayah DKI Jakarta dan sekitarnya memiliki karakteristik iklim dan suhu yang lebih cenderung hangat. Adapun faktor emisi ( $\epsilon$ ) isoprena dan monoterpena untuk ekosistem *farm/city-warm* masing masing adalah 5 dan  $0.2 \mu\text{g C g}^{-1}\text{h}^{-1}$ .

Perhitungan laju emisi VOC biogenik dilakukan berdasarkan rumus flux BVOC yang dikembangkan oleh Guenther dkk. (1995). Laju emisi VOC dihitung dengan persamaan berikut:

$$F = D\epsilon\gamma \quad (1)$$

dimana  $F$  adalah laju emisi VOC biogenik ( $\mu\text{g C m}^{-2} \text{ jam}^{-1}$ ),  $D$  adalah kerapatan daun ( $\text{kg bahan kering m}^{-2}$ ),  $\epsilon$  adalah faktor emisi yang bergantung pada ekosistem ( $\mu\text{g C g}^{-1} \text{ jam}^{-1}$ ) pada fluks radiasi aktif fotosintesis (PAR) sebesar  $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  dan suhu daun  $303^\circ\text{K}$ , serta  $\gamma$  adalah faktor penyesuaian aktivitas yang memperhitungkan pengaruh PAR dan suhu daun.

Langkah pertama dalam perhitungan adalah menghitung kerapatan daun ( $D$ ) berdasarkan klasifikasi tataguna lahan yang digunakan. Kerapatan daun puncak dihitung sebagai kerapatan daun rata-rata bulanan maksimum yang terjadi sepanjang tahun. Nilai  $D$  diperoleh melalui persamaan berikut:

$$D = D_r NPP \quad (2)$$

dimana  $D_r$  adalah koefisien empiris yang bergantung pada ekosistem, dan  $NPP$  adalah produksi primer bersih tahunan rata-rata ( $\text{g bahan kering m}^{-2}$ ). Pada studi ini, karena wilayah yang dianalisis diasumsikan memiliki ekosistem *farm/city-warm*, nilai  $NPP$  yang digunakan adalah  $1260 \text{ g m}^{-2}$  yang disesuaikan dengan nilai VEGFRA dalam setiap gridnya. Selanjutnya, faktor penyesuaian aktivitas ( $\gamma$ ) dihitung untuk masing-masing emisi isoprena dan monoterpena. Untuk isoprena, faktor penyesuaian dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\gamma_i = C_L \times C_T \quad (3)$$

dimana  $C_L$  adalah faktor koreksi variasi isoprena akibat cahaya, dan  $C_T$  adalah faktor koreksi variasi isoprena akibat suhu. Faktor koreksi cahaya ( $C_L$ ) dihitung dengan persamaan:

$$C_L = \frac{aC_{Li}L}{\sqrt{1+a^2L^2}} \quad (4)$$

dimana  $L$  adalah fluks radiasi aktif fotosintesis (PSAR) yang diperoleh dari model WRF dalam variabel SWDOWN. Faktor koreksi suhu ( $C_T$ ) dihitung menggunakan persamaan:

$$C_T = \frac{\exp\left(\frac{C_{T1}(T-T_s)}{RT_sT}\right)}{C_{T2} + \exp\left(\frac{C_{T3}(T-T_M)}{RT_sT}\right)} \quad (5)$$

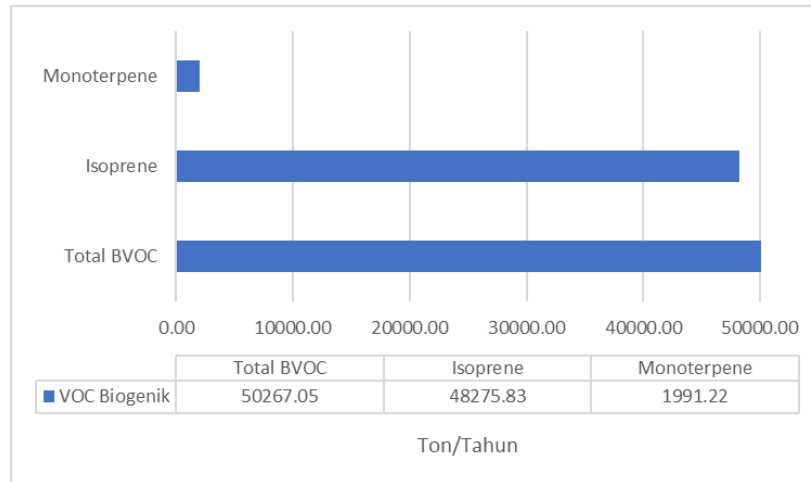
dimana  $T$  adalah suhu daun yang diperoleh dari hasil model WRF dalam variabel T2. Untuk monoterpena, faktor penyesuaian aktivitas dihitung dengan persamaan yang lebih sederhana:

$$\gamma_m = \exp[\beta(T - T_s)] \quad (6)$$

dengan  $\beta$  adalah koefisien empiris yang digunakan untuk mengkoreksi suhu terhadap emisi monoterpena. Setelah perhitungan kerapatan daun ( $D$ ) dan faktor penyesuaian aktivitas untuk isoprena ( $\gamma_i$ ) serta monoterpena ( $\gamma_m$ ) selesai, laju emisi VOC biogenik dapat dihitung menggunakan persamaan flux BVOC yang telah disebutkan sebelumnya. Hasil perhitungan akan memberikan laju emisi isoprena dan monoterpena dalam satuan gram per jam.

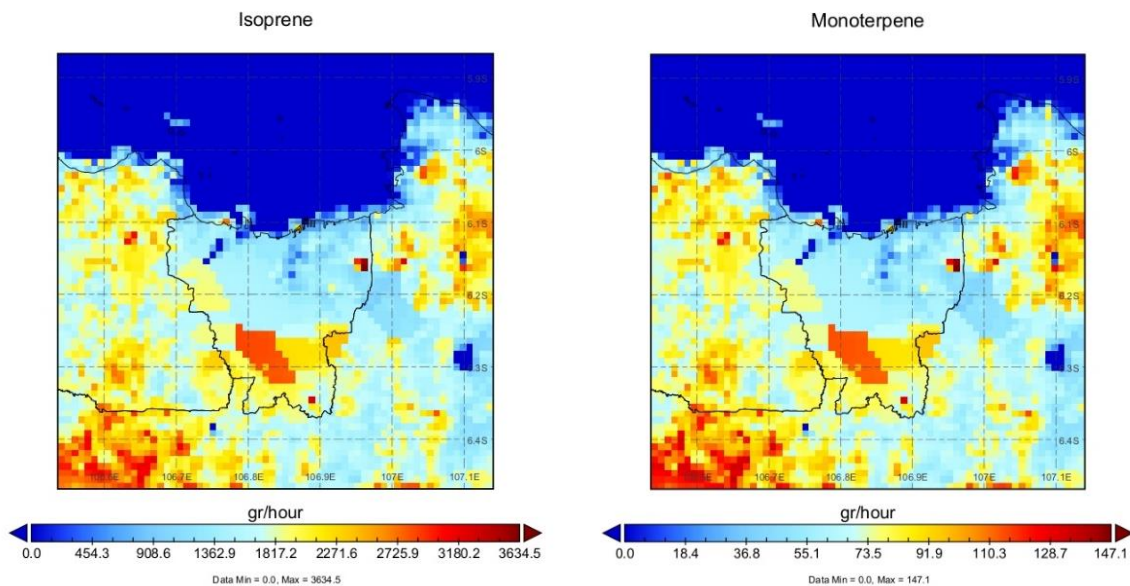
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan emisi VOC Biogenik dalam isoprena dan monoterpena, dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



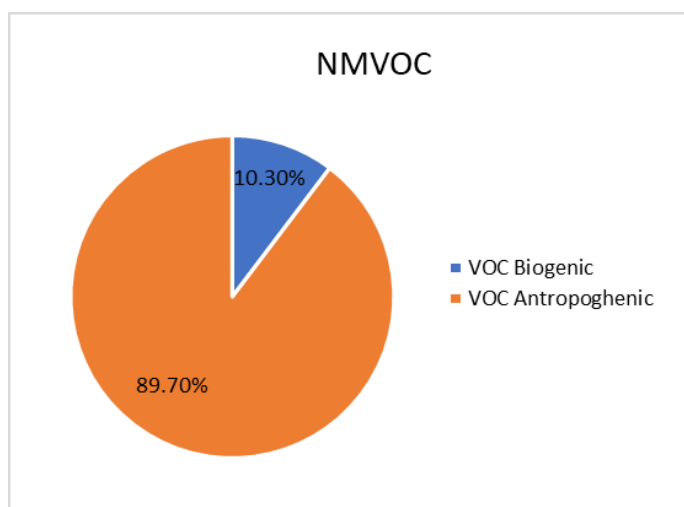
**Gambar 2. Hasil Perhitungan Emisi VOC Biogenik (Sumber: Hasil Analisis, 2025)**

Berdasarkan hasil perhitungan yang ditampilkan pada Gambar 2, emisi isoprena dan monoterpena yang terbentuk di domain pemodelan DKI Jakarta dan sekitarnya masing masing adalah sebesar 48275,83 ton/tahun dan 1991,22 ton/tahun. Dapat dilihat emisi isoprena lebih besar dari pada monoterpena, hal ini sesuai dengan penelitian Guenther dkk. (1999), yang menyebutkan bahwa fluks isoprena tahunan global memiliki besaran yang setara dengan metana, tetapi isoprena lebih dari empat kali lebih reaktif. Kedua senyawa ini secara bersama-sama menyumbang lebih dari setengah total fluks VOC global. Sementara itu, monoterpena hadir dalam konsentrasi yang lebih rendah di sebagian besar lanskap daratan, namun merupakan VOC reaktif dominan di beberapa wilayah. Selain penting dalam kimia oksidan, beberapa monoterpena menarik untuk dibahas karena menghasilkan partikel yang tinggi setelah oksidasi di atmosfer. Sebaran emisi biogenik isoprena dan monoterpena dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini.



**Gambar 3. Sebaran Emisi VOC Biogenik (Sumber: Hasil Analisis, 2025)**

Berdasarkan Gambar 3 sebaran VOC biogenik cenderung lebih banyak di luar wilayah DKI Jakarta, sementara di dalam DKI Jakarta emisi biogenik cenderung lebih sedikit. Emisi BVOC yang lebih rendah di wilayah DKI Jakarta disebabkan oleh tingginya kepadatan bangunan, yang mengakibatkan lebih sedikitnya vegetasi dibandingkan dengan di luar wilayah DKI Jakarta, di mana masih banyak terdapat vegetasi berupa pertanian. Profil emisi BVOC bervariasi antar spesies pohon, bahkan antar genotip dalam spesies yang sama. Isoprena, sebagai BVOC utama yang dipancarkan oleh pohon secara global, memiliki potensi tertinggi dalam pembentukan ozon troposfer. Pohon seperti *Populus nigra*, *P. tremula*, *Quercus robur*, dan *Q. pubescens* adalah penghasil isoprena tinggi. Monoterpena, yang dipancarkan oleh konifer dan beberapa pohon berdaun lebar seperti *F. sylvatica*, berperan penting dalam pembentukan partikel dan ozon, terutama di zona transisi pedesaan-pinggiran kota (Fitzky dkk., 2019). Perbandingan hasil perhitungan emisi biogenik yang terbentuk dengan emisi antropogenik dalam data inventarisasi emisi DKI Jakarta terdapat dalam Gambar 4 berikut.



**Gambar 4. Perbandingan Emisi VOC Biogenik dan VOC Antropogenik (Sumber: Hasil Analisis, 2025)**

Berdasarkan Gambar 4 emisi VOC biogenik lebih rendah dibandingkan dengan emisi VOC antropogenik dengan persentase masing-masing sebesar 10,3% dan 89,7%. Perbandingan antara emisi biogenik dan antropogenik dapat bervariasi tergantung pada wilayahnya. Di DKI Jakarta karena umumnya merupakan daerah perkotaan, emisi antropogenik lebih dominan karena tata guna lahan yang didominasi oleh bangunan, sedangkan vegetasi tumbuhan lebih sedikit. Oleh karena itu, emisi biogenik yang terbentuk di wilayah ini cenderung rendah.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan identifikasi emisi VOC biogenik di wilayah DKI Jakarta, diketahui bahwa emisi isoprena dan monoterpena masing-masing sebesar 48.275,83 ton/tahun dan 1.991,22 ton/tahun. Meskipun emisi BVOC ini berkontribusi pada pencemaran udara, nilai emisi ini jauh lebih rendah dibandingkan dengan emisi VOC antropogenik yang mencapai 89,7% dari total emisi VOC di wilayah Jakarta. Hal ini menunjukkan bahwa, meskipun emisi biogenik memiliki dampak tertentu terhadap kualitas udara, dominasi emisi antropogenik lebih signifikan di kawasan perkotaan seperti Jakarta, yang memiliki kepadatan bangunan dan lebih sedikit vegetasi.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Komputer Teknik Lingkungan ITENAS yang telah memberikan dukungan dan fasilitas yang sangat berarti dalam kelancaran pemodelan WRF pada penelitian ini. Bantuan yang diberikan oleh Laboratorium Komputer sangat menunjang kelancaran simulasi model yang digunakan, sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan baik.

## DAFTAR RUJUKAN

- Dinas LH Provinsi DKI Jakarta. (2018). *Dokumen Informasi Kinerja Lingkungan Hidup Daerah Provinsi DKI Jakarta Tahun 2018*.
- Fitzky, A. C., Sanden, H., Karl, T., Fares, S., Calfapietra, C., Grote, R., Saunier, A., & Rewald, B. (2019). The interplay between ozone and urban vegetation—BVOC emissions, ozone deposition, and tree ecophysiology. *Frontiers in Forests and Global Change*, 2, 50. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2019.00050>
- Guenther, A. (1999). Modeling biogenic volatile organic compound emissions to the atmosphere. *In Reactive hydrocarbons in the atmosphere* (pp. 97–118). <https://doi.org/10.1016/b978-012346240-4/50004-7>
- Guenther, A., Hewitt, C. N., Erickson, D., Fall, R., Geron, C., Graedel, T., ... Zimmerman, P. (1995). A global model of natural volatile organic compound emissions. *Journal of Geophysical Research*, 100(D5), 8873. <https://doi.org/10.1029/94jd02950>
- Permadi, D. A., dkk. (2021). Atmospheric pollutants emission inventory for greater Jakarta Metropolitan Area. *Final report submitted to Center for Research on Energy and Clean Air (CREA), Finland*. LP2M ITENAS.
- Ramadhan, T. R., & Permadi, D. A. (2024). The relationship of surface ozone pollution with meteorological conditions in determining episode periods. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 21(2), 469-479.