

Karakterisasi Karbon Organik (KO-EK) $PM_{2,5}$ dari Kebakaran Lahan Gambut di Desa Arang-arang, Jambi

Febri Juita Anggraini¹, Hari Saputra², Zuli Rodhiyah³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi, Indonesia

Email: febri_juita@unja.ac.id, saputrahari99@gmail.com, zuli.rodhiyah@unja.ac.id

Info Artikel

Diterima: 3 Januari 2022

Disetujui: 29 Januari 2022

Dipublikasikan: 31 Januari 2022

Alamat Korespondensi:

febri_juita@unja.ac.id

Copyright © 2020 Jurnal Engineering

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

Abstrak

Kegiatan pemanfaatan lahan gambut dengan cara membakar dan membuat kanal tanpa penerapan sekat kanal menyebabkan muncul banyaknya titik kebakaran, khususnya ketika musim kemarau tiba. Hal ini dapat menyebabkan turunnya kualitas udara ambien yang disebabkan oleh partikulat pencemar udara salah satunya adalah $PM_{2,5}$, yang dapat berdampak pada kesehatan dan pemanasan global yang disebabkan oleh Karbon Organik (KO) dan Elemen Karbon (EK) yang terdapat di dalam $PM_{2,5}$. Penelitian dilakukan untuk mengetahui konsentrasi $PM_{2,5}$ serta karakteristik Karbon Organik (KO) dan Elemen Karbon (EK) di kawasan kebakaran lahan gambut yang sedang terjadi. Pengukuran $PM_{2,5}$ menggunakan metode Gravimetri dan Karbon Organik (KO) serta Elemen Karbon (EK) dianalisis menggunakan alat *DRI Model 2015 Multiwavelength Thermal/ Optical Carbon Analyzer* Protokol *IMPROVE_A*. Konsentrasi $PM_{2,5}$ yang diukur dengan 2 alat *nano sampler* sekaligus selama 5 jam dari pukul 12.39 – 17.39 WIB yaitu *Nano Filter 1* sebesar $146,75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan *Nano Filter 2* $583,33 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Konsentrasi Karbon Organik (KO) dan Elemen Karbon (EK) di dalam $PM_{2,5}$ dengan karakteristik KO1, KO2, KO3, KO4, Pirol K, EK1, EK2, EK3 pada *Nano Filter 1* secara berturut-turut yaitu 0,31; 19,48; 11,79; 3,30; 4,24; 2,95; 0,99; dan $0,33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sedangkan pada *Nano Filter 2* secara berturut-turut yaitu 1,00; 52,72; 29,4; 8,89; 8,38; 5,61; 2,02; dan $0,74 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Kata kunci: Karbon Organik (KO); Elemen Karbon (EK); Kebakaran Gambut; *Nano Filter*

1. Pendahuluan

Kegiatan pemanfaatan lahan gambut untuk berbagai kepentingan bila dilakukan dengan tidak memperhatikan lingkungan akan memberikan dampak negatif bagi lingkungan terutama lahan gambut itu sendiri. Kegiatan pembukaan lahan gambut dengan cara membakar berpotensi menyebabkan

timbulnya titik-titik kebakaran. Kegiatan masyarakat yang membuat kanal pada lahan gambut untuk di fungsikan sebagai pengairan lahan ataupun sumber cadangan air pertanian membuat lahan gambut mudah sekali kering, dikarenakan kadar air yang ada pada gambut akan berpindah ke satu titik (kanal) sehingga lahan gambut yang semestinya merupakan lahan basah menjadi kering dan akan mudah sekali terbakar, khususnya ketika musim kemarau tiba. Menurut Almunanda (2018), pada jumat 27 Juli 2018, sebanyak 109 titik panas terpantau di setiap wilayah Provinsi Jambi. Salah satunya di Kecamatan Sadu, Kabupaten Tanjung Jabung Timur yang mengalami kebakaran lahan gambut dengan luas mencapai 10 ha. Dampaknya menyebabkan buruknya kualitas udara ambien akibat pencemar-pencemar udara yang dilepaskan khususnya golongan partikulat (*particulate matter*) yang sifatnya bukan hanya lokal dan regional, bahkan skala internasional.

Particulate Matter 2,5 ($PM_{2,5}$) merupakan partikulat yang memiliki diameter kecil dari 2,5 μm . *Particulate Matter 2,5* berasal dari aerosol sekunder, hasil pembakaran, rekondensasi material organik, dan uap logam (Kurnia dan Keman, 2014). Partikulat memiliki unsur karbon yang terdiri dari tiga komponen utama yaitu karbon organik (KO), elemen karbon (EK) dan karbon anorganik (KA). Karbon organik (KO) adalah partikulat yang mengandung karbon dan hidrogen, yang karakterisasinya dapat dilakukan dengan cara perlakuan pemanasan sampel filter dalam temperatur 140, 280, 480, 580°C. Elemen karbon (EK) adalah partikulat yang hanya mengandung unsur karbon dan karakterisasinya dapat dilakukan dengan cara perlakuan pemanasan sampel filter dalam temperatur 580, 740, 840°C (Rahman dkk, 2014).

Karbon organik (KO) dan elemen karbon (EK) merupakan komponen yang berpartisipasi dalam perubahan iklim. Karbon organik (KO) memiliki sifat menghamburkan cahaya, sedangkan elemen karbon (EK) merupakan komponen utama penyerapan cahaya dalam partikulat (Watson, 2002). Sumber utama karbon organik (KO) berasal dari pembakaran emisi biogenik serta memiliki berat molekul yang lebih rendah dibandingkan elemen karbon (EK) (Kanakidou, dkk., 2005). Elemen karbon (EK) merupakan emisi utama langsung yang berada di atmosfer hampir sepenuhnya berasal dari pirolisis selama pembakaran tidak sempurna, terutama dari pembakaran biomassa dan bahan bakar fosil.

2. Metode Penelitian

a) Tempat dan Waktu Penelitian

Lokasi pengambilan sampel dilakukan di Muaro Jambi dengan titik sampling yang dipilih yaitu Desa Arang-arang, Kecamatan Kumpeh Ulu sebagaimana tersaji pada gambar 1. Tempat penelitian yang dipilih merupakan kebakaran hutan dan lahan gambut milik warga sekitar dan perusahaan sekitar Desa Arang-arang dengan titik koordinat 1°35'43" S 103°49'46" E. Pengambilan sampling dilakukan pada bulan Agustus 2019 selama satu hari dengan menggunakan 2 alat sekaligus dengan waktu 5 jam, yaitu dari pukul 12.39 – 17.39 WIB.



Gambar 1. Koordinat Lokasi Pengambilan Sampel

Tempat pengambilan sampel cukup jauh dari jalan raya utama, untuk mencapai tempat penelitian yang dipilih harus melewati jalan tanah yang hanya muat untuk 1 mobil dan juga harus melewati sungai kecil. Selain itu, tempat peletakkan alat berdekatan dengan jalan kecil untuk keluar masuk mobil pemadam kebakaran dan disekeliling lokasi tidak ada pohon ataupun semak karena telah habis terbakar.

b) Teknik Pengambilan Sampel

Pada penelitian ini dilakukan pengambilan sampel udara dan pengukuran meteorologi dari kebakaran lahan gambut yang terjadi di di Desa Arang-arang, Kecamatan kumpeh Ulu, Provinsi Jambi dengan meletakkan alat di sekitar Kawasan yang sedang terbakar. Alat pengambilan sampel udara berupa HVAS (*High Volume Air Sampler*) yang menggunakan *nano sampler* dan untuk pengukuran meteorologi menggunakan *anemometer* dan *humidity meter*. Sampel yang didapatkan ditimbang dengan timbangan analitik dan diolah menggunakan rumus yang sesuai untuk mendapatkan konsentrasi PM_{2,5}, sedangkan untuk analisis konsentrasi dan karakteristik karbon organik (KO) beserta elemen karbon (EK) akan di analisis di laboratorium Universitas Kanazawa, Jepang menggunakan alat *Desert Research Institute Model 2015 Multiwavelength Thermal / Optical Carbon Analyzer* Protokol *IMPROVE_A*.

Protokol *IMPROVE_A* merupakan perlakuan terhadap *sample* dengan perbedaan suhu dengan menggunakan 100% gas Helium (He) untuk analisis karbon organik (KO) dan menggunakan 98% Helium (He) dan 2% Oksigen untuk analisis elemen karbon (EK). Pada KO (Karbon Organik) terdapat 4 perlakuan diantaranya KO1 (Karbon Organik 1) dengan perlakuan pada suhu 25 – 140°C, KO2 (Karbon Organik 2) dengan perlakuan pada suhu 140 – 280°C, KO3 (Karbon Organik 3) dengan perlakuan pada suhu 280 – 480°C, KO4 (Karbon Organik 4) dengan perlakuan pada suhu 480 – 580°C. Pada EK (Elemen Karbon) terdapat 3 perlakuan diantaranya EK1 (Elemen Karbon 1) dengan perlakuan suhu 580°C, EK2 (Elemen Karbon 2) dengan perlakuan suhu 580 – 740°C, EK3 (Elemen Karbon 3) dengan perlakuan suhu 740 – 840°C.

c) Teknik Analisis Data

1. Konsentrasi PM_{2,5}

Pada konsentrasi PM_{2,5} dimulai dengan pengukuran konsentrasi PM_{2,5} dan dilanjutkan perhitungan konsentrasi berdasarkan data berat partikulat dari sampel yang di dapat. Berikut persamaan konsentrasi PM_{2,5} yang dipergunakan

$$K. PM_{2,5} = K. PM_{<0,1} + K. PM_{0,1-0,5} + K. PM_{0,5-1,0} + K. PM_{1,0-2,5} \dots\dots\dots(Persamaan 1)$$

2. Konsentrasi Komponen Karbon

a) Karbon Organik

$$KO_n = \frac{(KO_n C \times Total Area)}{(V_{tot} \times Measuring Spot)} \dots\dots\dots(Persamaan 2)$$

b) Pirolisis Karbon

$$Pirol K = \frac{(Pyrol C \times Total Area)}{(Total Volume \times Measuring Spot)} \dots\dots\dots(Persamaan 3)$$

c) Elemen Karbon

$$EK_n = \frac{(EC_n C \times Total Area)}{(V_{tot} \times Measuring Spot)} \dots\dots\dots(Persamaan 4)$$

3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

a) Pemantauan Meteorologi Priode Sampling

Pemantauan meteorologi dilakukan pada awal pengambilan sampel PM_{2,5} pada pukul 12.39 WIB dan pada akhir pengambilan sampel PM_{2,5} pada pukul 17.39 WIB yang dilakukan di kawasan kebakaran

lahan gambut di desa Arang-arang menggunakan *Anemometer* untuk pengukuran kecepatan angin dan *Humidity Meter* untuk pengukuran suhu, tekanan dan kelembapan udara.

1. Suhu Udara

Suhu udara rata-rata di Indonesia setiap tahunnya adalah 27°C, suhu udara daratan rata-rata 28°C, setiap kenaikan 100 meter pada suhu normal akan mengalami penurunan sebesar 0,60°C dan untuk udara kering suhu udara turun 1°C (Purwantara, 2015). Kondisi suhu udara di kawasan kebakaran lahan gambut di Desa Arang-arang pada awal pengambilan sampel adalah 40°C dan pada akhir pengambilan sampel adalah 34,3°C.

2. Arah dan Kecepatan Angin

Arah angin yang didapatkan di kawasan kebakaran lahan gambut di desa Arang-arang pada awal pengambilan sampel berhembus ke arah barat laut dengan kecepatan angin 1,5 m/s, sedangkan arah angin yang didapatkan pada akhir pengambilan sampel berhembus ke arah barat dengan kecepatan angin 1,7 m/s. Hasil Pemantauan arah angin dan kecepatan angin dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Pemantauan Arah Angin dan Kecepatan Angin Saat Sampling

	Arah Angin	Kecepatan Angin (m/s)
Awal Sampling	Tenggara → Barat Laut	1,5
Akhir Sampling	Timur → Barat	1,7

3. Kelembapan Udara

Kelembapan udara di kawasan kebakaran lahan gambut di desa Arang-arang pada awal pengambilan sampel sebesar 34%, sedangkan kelembapan udara pada akhir pengambilan sampel sebesar 39%. Kelembapan udara yang terjadi di lokasi kebakaran lahan gambut yang terjadi di Desa Arang-arang, Kec. Kumpeh ulu terbilang rendah diakibatkan faktor iklim pada saat melakukan penelitian berada pada musim kemarau ditambah dengan keadaan kebakaran lahan gambut yang terjadi sehingga meningkatnya suhu udara sekitar dan akan terjadi pengembunan molekul air yang terdapat pada udara sehingga kandungan air di udara menurun. Menurut Nasrullah, dkk (2015), kelembapan udara rata-rata yang terjadi di Indonesia sebesar 50 – 80 %.

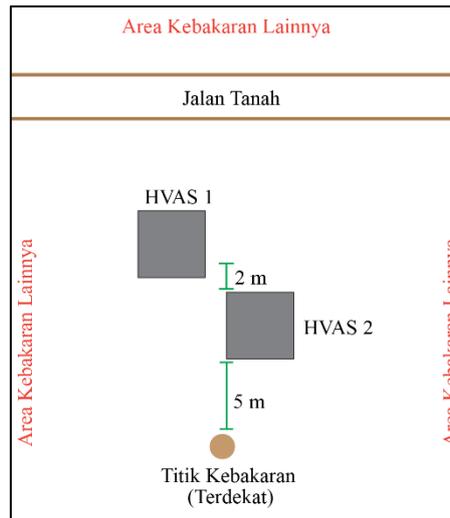
4. Tekanan Udara

Tekanan udara di kawasan kebakaran lahan gambut di desa Arang-arang pada awal pengambilan sampel sebesar 1009,4 hPa, sedangkan tekanan udara pada akhir pengambilan sampel sebesar 1013,5 hPa.

b) Konsentrasi PM_{2,5}

Konsentrasi PM_{2,5} pada *Nano Filter* 1 didapatkan sebesar 246,75 µg/m³ dan konsentrasi PM_{2,5} pada *Nano Filter* 2 didapatkan sebesar 583,33 µg/m³. Perbedaan konsentrasi yang cukup signifikan terjadi karena beberapa faktor, diantaranya adalah meteorologi saat pengambilan sampel dan penempatan alat.

Penempatan alat pada saat pengambilan sampel partikulat dengan menggunakan alat HVAS (*High Volume Air Sampler*) yang terdapat *Nano Sampler* 2 (NS2) di dalamnya lebih dekat dengan sumber kebakaran yang terjadi yang hanya berjarak kurang lebih 5 meter, sedangkan untuk HVAS (*High Volume Air Sampler*) yang terdapat *Nano Sampler* 1 (NS1) di dalamnya lebih jauh 7 meter dari titik sumber kebakaran terdekat hal ini dikarenakan lokasi yang kurang sesuai untuk peletakkan alat jika diletakkan secara berdampingan. Sketsa peletakan alat HVAS selama pengambilan sampel tersaji pada gambar 2 berikut.

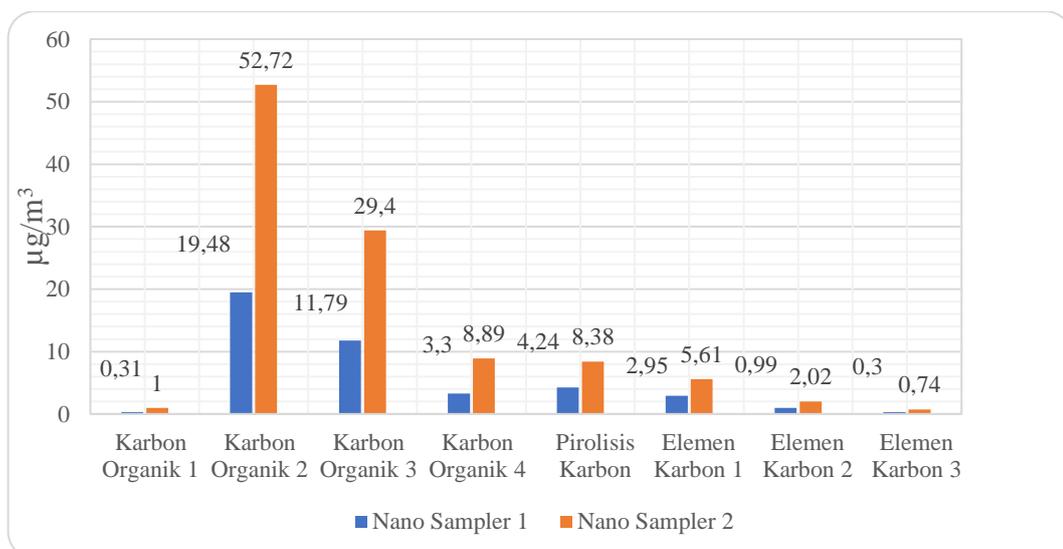


Gambar 2. Jarak Alat Pengambilan Sampel dari Titik Kebakaran Terdekat

Tingginya nilai konsentrasi $PM_{2,5}$ yang terjadi pada saat terjadinya kebakaran gambut dipengaruhi oleh kondisi atmosfer yang kering, kecepatan angin yang terjadi dan pengaruh partikel debu dan tanah yang tersuspensi (Kusmartini, 2019). Selain itu, kondisi lingkungan sekitar tempat pengambilan sampel tidak ada pohon atau tumbuhan yang menghalangi sehingga partikulat yang ada dapat langsung mengarah ke alat.

c) Konsentrasi dan Karakteristik Karbon Organik (KO) serta Elemen Karbon (EK) dalam $PM_{2,5}$

Dari hasil analisa laboratorium dan perhitungan terhadap konsentrasi dan karakteristik Karbon Organik (KO) serta Elemen Karbon (EK) dalam filter sampel $PM_{2,5}$, didapatkan nilai konsentrasi untuk masing masing fraksi karbon Organik 1 (KO1), fraksi karbon Organik 2 (KO2), fraksi karbon Organik 3 (KO3), fraksi karbon Organik 4 (KO4), Pirolisis karbon, fraksi Elemen Karbon 1 (EK1), fraksi Elemen Karbon 2 (EK2), dan fraksi Elemen Karbon 3 (EK3). Nilai masing masing fraksi tersebut dalam $\mu g/cm^3$ pada NS1 secara berturut turut adalah 0,311; 19,475; 11,785; 3,926; 4,242; 2,947; 0,992; 0,302, dan NS2 secara berturut turut adalah 1,00; 52,72; 29,4; 8,89; 8,38; 5,61; 2,02; 0,74. Nilai Karbon Organik (KO) dan Elemen Karbon (EK) dalam Sampel $PM_{2,5}$ tersaji pada gambar 3 berikut.



Gambar 3. Nilai Karbon Organik (KO) dan Elemen Karbon (EK) dalam Sampel $PM_{2,5}$

Gambar 3 menyajikan hasil pengukuran untuk nilai konsentrasi karbon organik dan elemen karbon dari masing masing sampel NS, dari hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai konsentrasi karbon organik lebih besar dari pada nilai konsentrasi elemen karbon. Dari gambar 3 tersebut dapat dilihat bahwa nilai KO1 merupakan nilai KO yang terendah dengan nilai $0,311 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ untuk NS1 dan $1,00 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ untuk NS2, sedangkan nilai KO yang tertinggi terdapat pada KO2 dengan nilai $19,48 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ untuk NS1 dan $52,72 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ untuk NS2. Untuk nilai EK terendah terdapat pada nilai EK3 dengan nilai $0,302 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ untuk NS1 dan $0,74 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ untuk NS2, sedangkan nilai EK yang tertinggi terdapat pada EK1 dengan nilai $2,947 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ untuk NS1 dan $5,61 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ untuk NS2. Menurut Mahdi,dkk (2016), jika konsentrasi fraksi karbon organik lebih tinggi dibandingkan fraksi elemen karbon maka menunjukkan fraksi tersebut merupakan fraksi dominan hasil dari kebakaran lahan gambut, sedangkan jika fraksi elemen karbon yang lebih tinggi dibandingkan fraksi karbon organik maka fraksi dominan berasal dari kendaraan bermotor dan lainnya.

Menurut Agus, dkk (2011), penyimpanan karbon organik pada kedalaman tanah gambut tertentu jauh lebih besar daripada tanah-tanah mineral, bahkan jumlahnya bisa hingga sepuluh kali lipat lebih besar sehingga ketika terjadi kebakaran di dalam tanah akan menghasilkan pencemar karbon organik yang tinggi ke udara. Besarnya nilai KO dibandingkan dengan nilai EK yang didapat, ini dikarenakan sangat sedikitnya sumber pencemar selain pembakaran biomassa (kebakaran gambut) yang didapatkan, sehingga elemen karbon yang didapatkan sangat sedikit. Menurut Rahman, dkk (2014), hasil elemen karbon akan menjadi sangat kecil dan karbon organik menjadi sangat tinggi ketika sumber pencemaran yang didapatkan dominan dari pembakaran biomassa (kebakaran gambut) daripada sumber pembakaran lainnya (pembakaran bahan bakar, kegiatan rumah tangga dan pembakaran batu bara).

Dari gambar 3 terlihat bahwa nilai konsentrasi KO dan EK yang tertinggi adalah pada filter sampel NS2, selain karena peletakan alat sampling yang lebih dekat ke sumber kebakaran dan pengaruh faktor meteorologi saat pengukuran berlangsung juga dipengaruhi oleh faktor lainnya yakni fase kebakaran yang terjadi ketika pengambilan sampel. Fase kebakaran yang terjadi ketika pengambilan sampel adalah fase pembaraan (*smouldering*) atau kebakaran yang terjadi di dalam tanah sehingga menghasilkan konsentrasi karbon yang cukup tinggi. Menurut Mahdi, dkk. (2016), bahwa terdapat penelitian dari kebakaran hutan pinus dan reruntuhan kayu yang memiliki kondisi kebakaran yang mirip dengan kebakaran lahan gambut dengan dua fase yaitu fase nyala api (*flaming*) dan fase pembaraan (*smouldering*) didapatkan pada fase pembaraan konsentrasi yang didapatkan lebih besar dibandingkan pada fase nyala api. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa keberadaan karbon organik (KO) dan elemen karbon (EK) pada fase pembaraan cukup tinggi.

Kesimpulan

Konsentrasi $\text{PM}_{2,5}$ dari kebakaran lahan gambut di Desa Arang-arang, Kecamatan Kumpeh Ulu, Provinsi Jambi selama 5 jam dari pukul 12.39 – 17.39 WIB dengan menggunakan 2 alat sekaligus yaitu $246,75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan $583,33 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Konsentrasi $\text{PM}_{2,5}$ tertinggi terdapat pada *Nano Sampler* ke-2 (NS2) yaitu $583,33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan terendah terdapat pada *Nano Sampler* ke-1 (NS1) yaitu $246,75 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Konsentrasi dan karakteristik karbon organik dan elemen karbon dalam $\text{PM}_{2,5}$ dari kebakaran lahan gambut di Desa Arang-arang, Kecamatan Kumpeh Ulu, Provinsi Jambi yang dianalisis menggunakan *Desert Research Institute (DRI) Model 2015 Multiwavelength Thermal / Optical Carbon Analyzer* tertinggi pada *Nano Sampler* 1 (NS 1) yaitu karbon organik 2 (KO2) sebesar $19,48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan elemen karbon 1 (EK1) sebesar $2,95 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sedangkan pada *Nano Sampler* 2 (NS 2) yaitu karbon organik 2 (KO2) sebesar $52,72 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan elemen karbon 1 (EK1) sebesar $5,61 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Konsentrasi dan karakteristik karbon organik dan elemen karbon dalam $\text{PM}_{2,5}$ terendah pada *Nano Sampler* 1 (NS 1) yaitu karbon organik 1 (KO1) sebesar $0,31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan elemen karbon 3 (EK3) sebesar $0,30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sedangkan Konsentrasi dan karakteristik karbon organik dan elemen karbon dalam $\text{PM}_{2,5}$ terendah pada *Nano Sampler* 2 (NS 2) yaitu karbon organik 1 (KO1) sebesar $1,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan elemen karbon 3 (EK3) sebesar $0,74 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Daftar Pustaka

- [1] Adinugroho, W. C., Suryadiputra INN. (2020). *Strategi Pencegahan Kebakaran Hutan dan Lahan Gambut*. Seri Pengelolaan Hutan dan Lahan Gambut.
- [2] Almunanda, Ferdi. (2018). *Kebakaran Lahan Gambut di Jambi Meluas, Tim Gabungan Dikerahkan*. Diakses tanggal 12 Maret 2019 dari <https://news.detik.com/berita/d-4135759/kebakaran-lahan-gambut-di-jambi-meluas-tim-gabungan-dikerahkan>.
- [3] Agus, F., Kurniatun H., dan Anny M. (2011). *Pengukuran Cadangan Karbon Tanah Gambut*. Malang: World Agroforestry Centre dan Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian.
- [4] Environmental Protection Agency. (2014). *Air Quality Index: A Guide to Air Quality and Your Health*. New York: U.S. Environmental Protection Agency.
- [5] Fujii, Y., Iriana, W., Oda, M., Puriwigati, A., Huboyo, H.S. (2016). *A Key Indicator of Transboundary Particulate Matter Pollution Derived from Indonesian Peatland Fires in Malaysia*. Japan: Kyoto University.
- [6] Rahman, I. A., Haryono S. H., Mochtar H. (2014). *Karakteristik Karbon Organik dan Elemen Karbon (OC dan EC) dalam PM 2,5 Ambien di Sekitar Lahan Gambut (Studi Kasus: Kabupaten Siak Provinsi Riau)*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- [7] Kelvin, P. E. Y., Sri R. (2015). *Pemetaan Lokasi Kebakaran Berdasarkan Prinsip Segitiga Api pada Industri Textile*. Surabaya: Sekolah Tinggi Teknik Surabaya.
- [8] Kusmartini, I., Natalia A., Dyah K. S., Syukria K., Diah D. L., Muhayatun S.. (2019). *Karakterisasi Unsur PM 2,5 pada Periode Kebakaran Hutan di Pekanbaru dengan Teknik Analisis Aktivasi Neutron*. Bandung: Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan, Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN).
- [9] Mahdi, C. F., Haryono S. H., dan Syafrudin. (2016). *Analisa Karakteristik Karbon Aerosol (OC dan EC) dari Emisi PM_{2,5} dan Rekomendasi Perlindungan Lingkungan dari Emisi PM_{2,5} Kebakaran Lahan Gambut Secara Pembaraan (Smouldering) (Studi Kasus: Kabupaten Siak dan Kabupaten Kampar Provinsi Riau)*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- [10] Muchtar, H. K., Hasbi I., dan Siti R. (2016). *Analisis Efisiensi dan Efektivitas Penerapan Fire Safety Management dalam Upaya Pencegahan Kebakaran di PT. Consolidated Electric Power Asia (CEPA) Kabupaten Wajo*. Higiene: Volume 2, No. 2, Mei - Agustus 2016.
- [11] Nasrullah, Ramli R., Baharudin, Rosady M., Nurul J., Asniawaty K. (2015). *Temperatur dan Kelembaban Relatif Udara Outdoor*. Makasar: Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.
- [12] Nugraha, Indra. (2019). *Kebakaran Hutan dan Lahan sampai September 2019 Hampir 900 Ribu Hektar*. Diakses tanggal 06 September 2020 dari <https://www.mongabay.co.id/2019/10/22/kebakaran-hutan-dan-lahan-sampai-september-2019-hampir-900-ribu-hektar>.
- [13] Nurida, Neneng L. dan Jubaedah. Tanpa Tahun. *Teknologi Peningkatan Cadangan Karbon Lahan Kering dan Potensinya pada Skala Nasional*. Peneliti Balitbangtan di Balai Penelitian Tanah.
- [14] Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara.
- [15] Suyanto, Unna C., dan Prianto W. (2003). *Kebakaran di Lahan Rawa / Gambut di Sumatera: Masalah dan Solusi*. Palembang: Center for International Forestry Research.
- [16] Wicaksono, R. R. dan Meirina E. (2013). *Evaluasi Sarana Evakuasi Kebakaran di Industri Karung Sidoarjo*. Ponorogo: Universitas Darrussalam Gontor.
- [17] Wyaharnal, Elmeindriani. (2017). *Analisis Konsentrasi Particulate Matter 10 (PM₁₀) di Dalam Rumah Tinggal (Indoor Air Pollution) dan Analisis Risiko Kesehatan Masyarakat di Perumahan UNAND Ulu Gadut Akibat Pabrik PT Semen Padang*. Padang: Universitas Andalas.