

**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)**

Cendra Faris Mahdi^{*)}, Syafrudin^{)}, Haryono Setyo Huboyo^{**)}
Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. H. Sudarto, SH Tembalang, Semarang, Indonesia, 50275
email: fariscendra@gmail.com**

Abstrak

Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui karakteristik karbon organik (OC) dan karbon elemental (EC) dalam PM_{2,5} yang diketahui sebagai salah satu polutan udara akibat kebakaran lahan gambut dan rekomendasi perlindungan lingkungan. Metode yang digunakan untuk mengetahui konsentrasi PM_{2,5} adalah gravimetri dengan bantuan alat Sartorius ME5-F dan metode analisa konsentrasi karbon aerosol adalah metode pemantulan cahaya dan thermal (IMPROVE A) dengan bantuan alat Carbon Analyzer Model DRI 2001. Konsentrasi rata-rata dan tertinggi PM_{2,5} emisi kebakaran lahan gambut terutama pada fase pembaraan adalah $996,71 \pm 531,01 \mu\text{m/g}^3$ dan $2163,49 \mu\text{g/m}^3$. Nilai tersebut lebih tinggi dari konsentrasi PM_{2,5} ketika tidak terjadi kebakaran (background) sebesar 48 kali. Rata-rata komposisi OC (sebagai salah satu penyusun utama PM_{2,5}) dan EC dalam karbon total (TC) adalah $98,58 \pm 0,91\%$ dan $1,42 \pm 0,91\%$. Fraksi OC (Organic Carbon) yang dominan adalah OC1 dan OC2 dengan rata-rata komposisi dalam karbon total (TC) adalah $40,34 \pm 5,43\%$ dan $31,58 \pm 5,58\%$. Rasio OC/EC pada penelitian ini lebih besar dari rasio OC/EC pada kebakaran reruntuhan kayu dan kebakaran pohon pinus pada fase yang sama. Rasio OC/EC menunjukkan pengaruh emisi kebakaran lahan gambut terhadap emisi sumber kebakaran lain. Perlindungan lingkungan dari dampak yang ditimbulkan dari kebakaran lahan gambut dapat dilakukan dengan pencegahan penyebaran kebakaran dan penurunan konsentrasi PM_{2,5}. Pencegahan penyebaran kebakaran dilakukan dengan menciptakan sistem pelindung lahan terhadap kebakaran dengan bantuan parit buatan. Penurunan konsentrasi PM_{2,5} dilakukan dengan menyediakan zona penyangga/penyerapan (buffer zone) menggunakan vegetasi khusus pada luas dan jarak tertentu.

Kata Kunci :Kebakaran lahan gambut, Smouldering, PM_{2,5}, OC, EC, Sistem Pelindung Kebakaran Lahan, Zona penyangga

Abstract

[Characterization of Carbon Aerosol (OC and EC) of PM_{2,5} emitted And Environmental Protection Recommendation of PM_{2,5} emitted From Smouldering Peatland Fire (Case Study: Siak District and Kampar District Riau Province)]. This research has purpose to know characterization of organic carbon (OC) and elemental carbon (EC) in emitted PM_{2,5} that known as dangerous air pollutant of peatland fire. Method to measure PM_{2,5} concentration is gravimetric using Sartorius ME5-F and measurement method of carbon aerosol concentration is thermal optical method (IMPROVE A) that use Carbon Analyzer Model DRI 2001. Mean and the highest PM_{2,5} concentration of smouldering peatland fire are $996,71 \pm 531,01 \mu\text{m/g}^3$ and $2163,49 \mu\text{g/m}^3$. Those values are 48 degrees higher than PM_{2,5} concentration of non-fire (background). Mean OC (as a major component of PM_{2,5}) and EC composition in total carbon (TC) are $98,58 \pm 0,91\%$ and $1,42 \pm 0,91\%$. The dominant OC (Organic Carbon) fraction are OC1 and OC2 with mean percentages are $40,34 \pm 5,43\%$ and $31,58 \pm 5,58$. OC/EC ratio of this research is higher than OC/EC ratio of debris smouldering fire and pine smouldering fire. OC/EC ratio shows influence of peatland fire emission to another fire source emission. Environmental protection from effect of peatland fire can be done by preventing fire expansion and reducing PM_{2,5} concentration. Fire expansion prevention can be done by create land fire break system with ditches. PM_{2,5} concentration reduction can be done by create buffer zone that use special vegetation on certain area and distance.

Keywords :Peatland fire, Smouldering, PM_{2,5}, OC, EC, Fire break system, Buffer zone

PENDAHULUAN

Sumber kebakaran lahan gambut di Indonesia tersebar pada beberapa lokasi dominan, seperti Pulau Sumatra, Kalimantan dan Papua. Sumber kebakaran lahan gambut (titik api) tersebut tersebar pada beberapa kabupaten didalamnya. Luas lahan gambut di Pulau Sumatera pada tahun 2002 sekitar 7,2 juta hektar dengan 4.043.601 hektar pada Provinsi Riau (Wahyuntoet.al., 2003). Luas lahan gambut yang terbakar hingga tanggal 25 Agustus 2015 adalah 2083,5 Ha. (BPBD, 2015).

Pembaraan (*smouldering*) merupakan fase pembakaran yang berjalan lambat pada suhu yang rendah, memiliki sedikit nyala api dan didukung oleh panas yang keluar ketika oksigen bertemu dengan permukaan bahan bakar secara langsung (Ohlemiller, 1985). Fase pembaraan tersebut menghasilkan berbagai dampak untuk lingkungan, seperti penurunan daya pandang, gangguan pernapasan, kerusakan tanah dan dampak lainnya. Walaupun memiliki banyak dampak yang berbahaya, berbagai pihak terkait masih belum memprioritaskan penanganannya. Hal tersebut dikarenakan api tidak terlihat menyala ketika fase pembaraan ini terjadi.

Particulate Matter ($PM_{2.5}$) merupakan salah satu emisi dari kebakaran lahan gambut. Baku mutu udara ambien nasional untuk $PM_{2.5}$ berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999 adalah $65 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ untuk pengukuran selama 24 jam. Baku mutu udara ambien nasional untuk $PM_{2.5}$ berdasarkan USEPA pada tahun 2006 adalah $35 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ untuk pengukuran selama 24 jam. Konsentrasi *Particulate Matter* ($PM_{2.5}$) akibat kebakaran lahan gambut di Kabupaten Siak pada tahun 2012 adalah $7120 \pm 3620 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hasil pemantauan tersebut lebih besar 300 kali daripada konsentrasi saat tidak terjadi kebakaran lahan gambut, yaitu $23,9 \pm 2,53 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Kandungan karbon organik (OC) dari $PM_{2.5}$ tersebut adalah $7,0 \pm 5,11\%$ dan kandungan unsur karbonnya (EC) adalah $39,1 \pm 5,08\%$ (Fujii et. al., 2014).

Nilai-nilai khas dalam membara di sekitarkondisi sekitar $500-700^\circ\text{C}$ selama puncaksuhu dan $6-12 \text{ kJ/g}$ untuk panas rata-ratapembakaran; nilai-nilai khas selama *flaming* adalahsekitar $1500-1800^\circ\text{C}$ dan $16-30 \text{ kJ/g}$ masing-masing. Karena karakteristik ini,membara merambat pada kecepatan rendah, biasanya sekitar $10-30 \text{ mm/jam}$ (Ohlemiller, 2002), sekitar dualipat lebih rendah dari kecepatankhususpenyebaran api (Rein, 2009).

PM antara $0,1\mu\text{m}$ dan $1 \mu\text{m}$ dengan diameter dapat tetap berada di atmosfer selama berhari-hari atau berminggu-minggu dan dengan demikian bergantung pada jarak transportasi lintas batas di udara. PM merupakan campuran dengan

karakteristik fisik dan kimia yang berbeda-beda menurut lokasi. Kandungan kimia umum dari PM meliputi sulfat, nitrat, amonium, ion anorganik lainnya seperti sebagai ion natrium, kalium, kalsium, magnesium dan klorida, organik dan unsur karbon, bahan kerak, air partikel-terikat, logam (termasuk kadmium, tembaga, nikel, vanadium dan seng) dan *polycyclic aromatic hydrocarbons* (PAH). Selain itu, komponen biologi seperti alergen dan senyawa mikroba yang ditemukan di PM (WHO, 2013).

Fraksi karbon di udara ambien terdiri dari unsur karbon dan berbagai unsur organik (karbon organik). Elemental karbon (EC), juga disebut sebagai karbon hitam (black carbon) atau karbon *Graphitic*, memiliki struktur kimia yang mirip dengan grafit murni dan emisi dipancarkan langsung ke atmosfer terutama selama pembakaran. Karbon Organik (OC) diemisikan langsung dari sumber (OC primer). Kelimpahan dari delapan fraksi karbon dibedakan berdasarkan sumber karbon (Chow et.al., 2004).

Banyak cara yang dapat dilakukan untuk mencegah penyebaran kebakaran lahan gambut, salah satunya membuat kanal dan penampungan air di sekitar lahan dan sistem cincin api (Syaufina, 2003). Kolam “beje” merupakan kolam tradisional yang dibuat ketika musim kemarau oleh suku Dayak untuk menangkap ikan secara alami. Kanal (parit) dapat dibuat di sekitar lahan gambut yang akan digunakan dengan lebar 50 cm dan kedalaman 1 m (Syaufina, 2003). Penampungan air dapat dibuat setiap jarak 10 m dengan volume 1 m^3 dan kolam “beje” dapat dibuat di sekitar lahan dengan lebar $2-4 \text{ m}$, panjang $5 - 10 \text{ m}$ dan kedalaman $1-2 \text{ m}$ (Syaufina, 2003).

Ficus benjamina memiliki kekerabatan (genus) yang dekat dengan beringin sehingga vegetasi ini kemungkinan dapat tumbuh di ekosistem lahan gambut, yaitu *ficus microcarpa* (beringin) (Giesen et al., 2003). Selain itu, *Ficus benjamina* juga memiliki kekerabatan yang dekat dengan *Ficus nitida* yangmemiliki kecepatan penyerapan (*deposition velocity*) sebesar $0,041 \text{ cm/s}$ dengan kecepatan angin 3 m/s (Freer-Smith et al., 2004).

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis konsentrasi $PM_{2.5}$ sebagai emisi dari kebakaran lahan gambut.
2. Menganalisis fraksi karbon aerosol dominan akibat kebakaran lahan gambut.
3. Menganalisis karakteristik karbon aerosol (OC dan EC) dalam emisi $PM_{2.5}$ kebakaran lahan gambut.

4. Menyusun rancangan rekomendasi yang tepat untuk melakukan perlindungan lingkungan akibat kebakaran.

METODOLOGI PENELITIAN

Pengambilan Data

Lokasi pengambilan data (*sampling*) adalah Desa Langkai, Kabupaten Siak dan Desa Rimbo Panjang, Kabupaten Kampar. Pengambilan data di Kabupaten Siak dilakukan pada tanggal 2, 3, 4, 5, 11 dan 12 Juli 2015. Pengambilan data di Kabupaten Kampar dilakukan pada tanggal 7, 8, dan 9 Juli 2015. Durasi pengambilan data untuk *fire samples* adalah 3 jam dan untuk *background samples* adalah 12 jam.

Pengambilan data konsentrasi emisi PM_{2.5} akibat kebakaran lahan gambut dilakukan dengan menggunakan *Teflon Filter* dan alat pengukuran khusus yaitu *VOC denuders (ChemComb Thermo denuder model 3500, Thermo) with Pump (Leland Legacy)*. Pengaturan alat untuk pengukuran adalah laju alir dari pompa 10 L/menit, dan ketinggian ± 1,5m dari permukaan tanah.

Karbon aerosol yang terkumpul dalam filter serat kuarsa yang diukur menggunakan *DRI Model 2001OC/EC Carbon Analyzer*, menggunakan prinsip pemantulan optik panas dengan protokol *IMPROVE_A*. Pengukuran menggunakan alat tersebut dilakukan di Laboratorium *Kyoto University*. Langkah-langkah pengukuran dan semua hal mengenai *DRI Model 2001* secara rinci dapat dilihat pada Standar Operasi Prosedur *DRI* dalam *DRI Model 2001 Thermal/Optical Carbon Analysis (TOR/TOT) of Aerosol Filter Samples – Method IMPROVE_A* (2012).

Pengolahan dan Analisa Data

Tata cara analisis perhitungan konsentrasi massa rata – rata partikel selama periode pengambilan sampel menggunakan metode gravimetric dan rumus berdasarkan *Operating Manual ChemComb* tahun 2006 yaitu sebagai berikut:

$$MC = \frac{DW \times 10^6}{v} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

- MC = Konsentrasi Massa (μg/m³)
- DW = Perubahan massa dari filter blanko awal dan berat bobot setelah pengumpulan.
- 10⁶ = Faktor konversi dari gram (g) ke mikrogram (μg)
- V = Volume udara yang melewati filter

Setelah pengukuran selesai, maka dilanjutkan dengan perhitungan berdasarkan *SOP Model DRI* tahun 2005 dan *Yosuke Fujii* tahun 2015 untuk mendapatkan konsentrasi fraksi karbon yang diinginkan.

- a. Selisih filter kontrol (-QFF)
 (-QFF) = Konsentrasi awal filter utama – Konsentrasi awal filter utama kuarsa pendukung (QFFbp)(2)

- b. Selisih filter kuarsa pendukung (-QFFbp)
 (-QFFbp) = Konsentrasi awal filter utama kuarsa pendukung (QFFbp) – Konsentrasi awal filter kontrol kuarsa pendukung (QFFbp)(3)

- c. Konsentrasi akhir belum terkonversi (μg/cm²)
 (μg/cm²) = Selisih filter kontrol (-QFF) + Selisih filter kontrol kuarsa pendukung (-QFFbp)(4)

- d. Konsentrasi akhir (μg/m³)
 Konsentrasi akhir (μg/m³) = {Konsentrasi akhir belum terkonversi (μg/cm²) x deposition (cm²)} / Volume udara (m³)(5)

*deposition = (3.14 x 3.9²) : 4 dan volume = (waktu *sampling* x laju alir) / 1000

- e. Konsentrasi Konsentrasi total OC, total EC dan total karbon (TC) diketahui dari rumus

$$OC = OC_1 + OC_2 + OC_3 + OC_4 + OP \dots\dots\dots (6)$$

$$EC = EC_1 + EC_2 + EC_3 - OP \dots\dots\dots (7)$$

$$TC = OC + EC \dots\dots\dots (8)$$

Penentuan luas lahan yang dibutuhkan dilakukan menggunakan pendekatan rumus Gauss dan beberapa rumus, yaitu sebagai berikut :

$$E_i = P_i \times L \times A \dots\dots\dots (9)$$

Keterangan (USEPA, 1995) :

- E_i = total emisi polutan (massa polutan)
- P_i = Rasio emisi (massa polutan/bahan yang terbakar)
- L = Efisiensi pembakaran (massa bahan bakar yang terbakar/luas area terbakar)
- A = luas lahan terbakar

$$X = \frac{Q \cdot K}{\pi(\sigma_y \cdot \sigma_z \cdot U_z)} \exp(-1/2 (H/\sigma_z)^2) \dots\dots\dots (10)$$

Keterangan :

- X = Konsentrasi polutan pada jarak tertentu sesuai dengan arah angin (μg/m³)
- K = 1 x 10⁶ (koefisien skala untuk Q dalam g/s dan X dalam μg/m³)
- σ_y, σ_z = koefisien difusi (meter)
- u = Kecepatan angin (m/s)
- H = Ketinggian sumber (m)
- σ_y = cx^d
- σ_z = ax^b
- x = jarak sumber dengan reseptor (meter)
- U_z = U₀(Z/Z₀)^p

U_z = Kecepatan angin pada ketinggian z
 U_0 = kecepatan angin pada ketinggian anemometer
 Z = ketinggian yang diinginkan (meter)
 Z_0 = ketinggian anemometer (biasanya 10 meter)
 P = didefinisikan sebagai fungsi kelas stabilitas atmosfer

$$F = Vd \times C \dots\dots\dots(11)$$

Keterangan (Nowark *et al.*, 1994) :

F = *flux*, polutan tersisihkan per jam ($\mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
 Vd = *deposition velocity*, kecepatan penyerapan vegetasi (m/s)
 C = *concentration*, konsentrasi polutan ($\mu\text{g m}^{-3}$)

$$\text{Massa PM}_{2.5} \text{ tersisihkan} = F \times \text{Luas serapan per pohon} \dots\dots\dots(12)$$

Keterangan (Fuller *et al.*, 2009) :

Massa $\text{PM}_{2.5}$ tersisihkan = (μg)
 F = *flux*, polutan tersisihkan per jam ($\mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
 Luas serapan per pohon = (m^2)

Konsentrasi akhir ($\mu\text{g/m}^3$) (C_t)

$$C_t = \frac{\text{Massa PM}_{2.5} \text{ tersisihkan}}{\text{Volume penanaman}} \dots\dots\dots(13)$$

Keterangan (Fuller *et al.*, 2009) :

Massa $\text{PM}_{2.5}$ tersisihkan = (μg)
 Volume Penanaman = Luas penanaman (m^2) dikali tinggi pohon (m)

$$\text{Pohon} = \frac{\text{Jumlah pohon yang dibutuhkan}}{\text{Konsentrasi awal (C) / Konsentrasi akhir (C}_t\text{)}} \dots\dots\dots(14)$$

$$\text{Luas lahan yang dibutuhkan} = \text{Luas lahan (m}^2\text{)} = \text{Jumlah pohon} \times \text{Luas lahan penanaman} \times \text{arah mata angin} \dots\dots\dots(15)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Hasil Konsentrasi $\text{PM}_{2.5}$

Pengambilan sampel dan perhitungan konsentrasi $\text{PM}_{2.5}$ dilakukan sesuai dengan *Operating Manual ChemComb* tahun 2006. Tabel 1 menunjukkan hasil perhitungan konsentrasi $\text{PM}_{2.5}$ pada setiap lokasi pengambilan data.

Tabel 1 Konsentrasi $\text{PM}_{2.5}$

| No Sample | Keterangan | Lokasi | Konsentrasi |
|-----------|--------------|----------|--------------------------|
| | | | [$\mu\text{g m}^{-3}$] |
| 1 | Smouldering | Kab Siak | 665.90 |
| 2 | Smouldering | | 519.48 |
| 5 | Smouldering | | 988.01 |
| 7 | Smouldering | | 1370.70 |
| 8 | Smouldering | | 2163.49 |
| 9 | Background 1 | | 54.02 |
| 11 | Background 2 | | 87.32 |

| No Sample | Keterangan | Lokasi | Konsentrasi |
|-----------|-------------|-----------------|--------------------------|
| | | | [$\mu\text{g m}^{-3}$] |
| 12 | Smouldering | Kab. Kampar | 1165.99 |
| 13 | Smouldering | | 695.98 |
| 14 | Smouldering | | 452.89 |
| 16 | Smouldering | | 947.90 |
| | | Rata-rata | 996.71 |
| | | Min | 452.89 |
| | | Max | 2163.49 |
| | | Standar deviasi | 531.01 |

Konsentrasi $\text{PM}_{2.5}$ no sampel 3, 4, 6 dan 17 memiliki nilai 0 dikarenakan nilai berat awal tidak ada sehingga perhitungan konsentrasi tidak dapat dilakukan. Konsentrasi $\text{PM}_{2.5}$ no sampel 9 dan 11 merupakan konsentrasi $\text{PM}_{2.5}$ ketika tidak terjadi kebakaran lahan gambut (*background sample*). Konsentrasi *background samples* tidak dihitung untuk rata-rata, standar deviasi, nilai terendah dan nilai tertinggi. Konsentrasi $\text{PM}_{2.5}$ tertinggi adalah 2163,49 $\mu\text{g/m}^3$ yaitu pada sampel no 8. Konsentrasi $\text{PM}_{2.5}$ terendah adalah 452,89 $\mu\text{g/m}^3$ yaitu pada sampel no 14. Rata-rata konsentrasi $\text{PM}_{2.5}$ adalah 996,72 $\mu\text{g/m}^3$ dengan standar deviasi sebesar 531,01. Konsentrasi $\text{PM}_{2.5}$ mengalami peningkatan (terhadap *background samples*) yang sangat tinggi yaitu sebesar 4838%. Kondisi tersebut menyebabkan penurunan kualitas udara dan gangguan kesehatan yang serius. Konsentrasi $\text{PM}_{2.5}$ dari penelitian ini memiliki nilai yang cukup tinggi jika dibandingkan dengan penelitian-penelitian sebelumnya.

Analisa Komposisi Karbon Aerosol (OC dan EC)

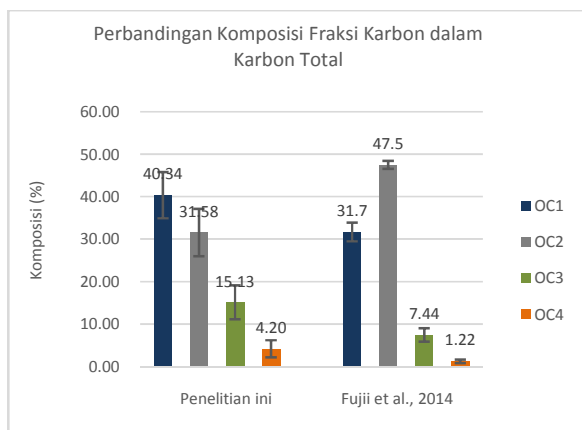
Komposisi karbon aerosol merupakan prosentase kehadiran karbon aerosol dalam kumpulan yang derajatnya lebih tinggi. Komposisi karbon aerosol dapat diketahui dengan membandingkan nilai konsentrasi karbon aerosol. Konsentrasi karbon aerosol dihitung menggunakan rumus berdasarkan *SOP Model DRI* tahun 2005 dan *Yosuke Fujii* tahun 2015. Perhitungan konsentrasi dilakukan pada 13 buah *fire samples*. Tabel 2 menunjukkan hasil perhitungan konsentrasi seluruh sampel tersebut.

Tabel 2 Konsentrasi Karbon Aerosol

| No Sample | Konsentrasi ($\mu\text{g/m}^3$) | | | |
|-----------|-----------------------------------|--------|------|--------|
| | OP | OC | EC | TC |
| 1 | 62.15 | 650.90 | 5.75 | 656.65 |
| 2 | 45.51 | 542.78 | 5.75 | 548.53 |

| No Sample | Konsentrasi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | | |
|-----------|--|---------|-------|---------|
| | OP | OC | EC | TC |
| 3 | 41.79 | 520.07 | 9.62 | 529.70 |
| 4 | 28.56 | 336.32 | 7.08 | 343.39 |
| 5 | 107.41 | 1604.87 | 8.40 | 1613.26 |
| 6 | 54.06 | 857.20 | 7.74 | 864.94 |
| 7 | 48.26 | 796.22 | 5.90 | 802.13 |
| 8 | 262.86 | 3283.37 | 9.57 | 3292.94 |
| 9 | 6.13 | 36.43 | 5.46 | 41.89 |
| 11 | 7.23 | 39.06 | 4.19 | 43.25 |
| 12 | 105.34 | 1137.71 | 39.70 | 1177.42 |
| 13 | 75.03 | 862.45 | 17.31 | 879.75 |
| 14 | 42.45 | 746.08 | 15.27 | 761.35 |
| 16 | 36.75 | 743.13 | 3.87 | 747.00 |
| 17 | 24.59 | 366.76 | 8.60 | 375.36 |

Komposisi karbon aerosol dalam $\text{PM}_{2.5}$ tidak dapat diketahui karena terdapat beberapa sample yang persentasenya melebihi 100 %. Fenomena tersebut muncul karena konsentrasi karbon total dan karbon organik lebih tinggi dari konsentrasi $\text{PM}_{2.5}$. Penyebab utama dalam perbedaan konsentrasi ini adalah persebaran partikulat pada filter yang tidak merata akibat peristiwa *back pressure*. Penyebab tambahan adalah penyebab yang berkontribusi kecil dalam terjadinya perbedaan konsentrasi. Penyebab tambahan itu adalah *negative artifact* pada Teflon Filter. Oleh karena itu, komposisi karbon aerosol yang digunakan adalah komposisi karbon aerosol dalam karbon total. Gambar 2 menunjukkan perbandingan komposisi karbon aerosol dalam karbon total dengan penelitian terkait.



Gambar 1. Grafik Perbandingan Komposisi Fraksi Karbon dalam Karbon Total

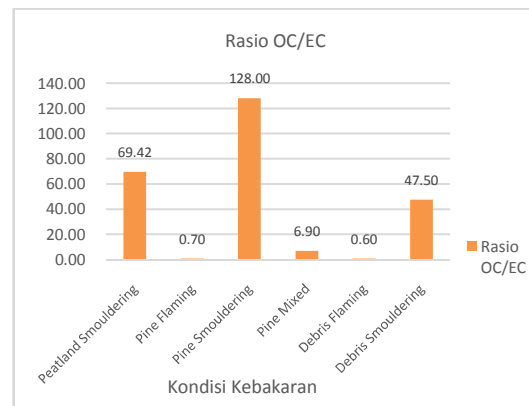
Berdasarkan grafik komposisi fraksi karbon di atas, OC1, OC2 dan EC1 memiliki nilai komposisi yang lebih tinggi dibanding yang lain. Kondisi tersebut

menunjukkan bahwa keberadaan ketiga fraksi tersebut dalam karbon total merupakan fraksi yang dominan sebagai hasil dari kebakaran lahan gambut. Hasil tersebut sesuai dengan hasil pada penelitian sebelumnya. Fraksi EC1 dalam penelitian ini mengalami kondisi yang berbeda dengan penelitian sebelumnya. Fraksi EC1 pada *background samples* memiliki nilai komposisi yang lebih tinggi dari fraksi EC1 pada sampel kebakaran. Kondisi tersebut disebabkan oleh polutan yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor pada jalan raya yang berdekatan dengan posisi alat. Pengaruh emisi kendaraan terhadap nilai fraksi EC1 diketahui menggunakan rumus ratio.

Analisa Karakteristik Karbon Aerosol (OC)

Fase kebakaran dan jenis vegetasi mempengaruhi karbon aerosol (OC dan EC) yang dihasilkan. Penelitian untuk kebakaran hutan dengan vegetasi lahan gambut dalam fase nyala api (*flaming*) masih jarang dilakukan. Penelitian yang dilakukan oleh Olga *et al.* di Siberian, Rusia menggunakan pohon pinus dan reruntuhan kayu sebagai bahan bakar dengan fase pembaraan dan fase nyala api

OC merupakan emisi dominan dari kebakaran lahan gambut sedangkan EC merupakan emisi sampingan dari kebakaran lahan gambut. Untuk mengetahui dan menggambarkan emisi kebakaran lahan gambut, rasio OC terhadap EC perlu dihitung. Perbandingan yang digunakan adalah kebakaran hutan pinus dan reruntuhan kayu karena kondisi kebakaran tersebut termasuk mirip. Rasio OC/EC kebakaran pohon pinus dan reruntuhan kayu pada fase pembaraan lebih besar dari keduanya pada fase nyala api dan campuran. Rasio OC/EC kebakaran lahan gambut pada fase pembaraan lebih besar dari kebakaran reruntuhan kayu dan lebih kecil dari kebakaran pohon pinus pada fase yang sama. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa keberadaan karbon aerosol pada fase pembaraan cukup tinggi.



Gambar 2. Grafik Perbandingan Rasio OC/EC

Vegetasi permukaan juga mempengaruhi konsentrasi dan komposisi OC dan EC yang berada di udara karena lahan gambut berada di bawah permukaan (di dalam tanah). Vegetasi permukaan yang diamati pada penelitian ini adalah kelapa sawit dan rumput liar. Kelapa sawit merupakan vegetasi dominan pada Desa Langkai Kabupaten Siak sedangkan rumput liar merupakan vegetasi dominan pada Desa Rimbo Panjang Kabupaten Kampar. Untuk mengetahui pengaruh vegetasi permukaan terhadap emisi yang dihasilkan, maka ratio EC terhadap OC perlu dihitung. EC sebagai unsur emisi minoritas (OC dominan) dari kebakaran lahan gambut digunakan sebagai nilai sumber yang lain.

Rasio EC/OC di Kabupaten Kampar lebih tinggi daripada rasio EC/OC di Kabupaten Siak. Kondisi tersebut disebabkan konsentrasi EC di Kabupaten Kampar lebih tinggi daripada konsentrasi EC di Kabupaten Siak. Konsentrasi EC di Kabupaten Kampar dipengaruhi oleh emisi kendaraan bermotor. Konsentrasi dan komposisi EC yang semakin tinggi menyebabkan rasio EC/OC semakin rendah. Berdasarkan standar deviasinya, rasio EC/OC Kabupaten Kampar dan Kabupaten Siak memiliki kemungkinan untuk mendapatkan nilai rasio EC/OC yang sama. Perbedaan nilai rasio EC/OC sebesar 5% di Kabupaten Siak. Oleh karena itu, vegetasi permukaan yaitu kelapa sawit mempengaruhi rasio EC/OC penelitian ini adalah sebesar 5%. Perbedaan nilai rasio EC/OC sebesar 8,9% di Kabupaten Kampar. Oleh karena itu, vegetasi permukaan yaitu rumput liar mempengaruhi rasio EC/OC penelitian ini adalah sebesar 8,9%.

Perbedaan ratio antara kedua penelitian tersebut terjadi karena metode pengukuran yang berbeda. Pengukuran pada penelitian yang dilakukan oleh Ferek *et al.*, 1998 menggunakan pengukuran pada pesawat terbang dengan ketinggian tertentu. Kondisi tersebut menyebabkan nilai EC yang tertangkap menjadi sangat tinggi akibat kontribusi dari berbagai sumber pencemar dan interaksi dengan berbagai unsur di udara. Semakin tinggi nilai EC, maka ratio EC/OC semakin rendah. Jumlah sampel yang diambil dalam penelitian yang dilakukan oleh Ferek adalah 6 buah untuk *Cerrado Forest* dan 6 buah untuk *grassland*.

Rekomendasi Perlindungan Lingkungan

Pencegahan penyebaran kebakaran dapat dilakukan dengan menggunakan sistem

perlindungan kebakaran lahan. Sistem yang dimaksudkan adalah membatasi penyebaran api menggunakan beberapa cara diantaranya adalah pembuatan kanal mengelilingi lahan dan vegetasi tahan api. Membuat perlindungan alamiah menggunakan vegetasi tahan api merupakan salah satu cara untuk mencegah penyebaran api. Vegetasi yang dapat digunakan adalah *diospyros virginiana*. Vegetasi tersebut dapat hidup di ekosistem gambut (Giesen *et al.*, 2003) dan memiliki nilai ketahanan api 4 dari 10 (Rosentreter *et al.*, 2015).

Konsentrasi $PM_{2.5}$ dapat memenuhi baku mutu pada radius yang lebih dekat apabila konsentrasi tersebut diserap oleh vegetasi dan terjadi hujan. Vegetasi yang dimaksud adalah vegetasi yang dapat hidup di ekosistem lahan gambut dan mampu menyerap konsentrasi $PM_{2.5}$. Vegetasi tersebut disusun pada lahan khusus yang disebut zona penyangga (*buffer zone*). *Buffer zone* merupakan pemanfaatan lahan gambut dengan vegetasi tertentu yang berfungsi untuk menyerap $PM_{2.5}$ akibat kebakaran. Luas lahan yang digunakan untuk *buffer zone* dipengaruhi oleh kemampuan vegetasi dalam menyerap dan konsentrasi $PM_{2.5}$. Sebagai langkah pencegahan dampak asap kebakaran, *buffer zone* harus dibuat dari luas lahan gambut yang akan dialihfungsikan kegunaannya.

Vegetasi yang digunakan adalah *Ficus benjamina*. Luas penanaman pohon diasumsikan 1 m² karena mengikuti kaidah penanaman yang berbentuk persegi. Tinggi pohon tersebut adalah 13,716 meter (Gilman *et al.*, 1993). Vegetasi diasumsikan dalam kondisi rindang dan telah tumbuh sempurna. Total lahan zona penyangga yang dibutuhkan diasumsikan bahwa lahan untuk menurunkan konsentrasi tersebar pada 16 arah mata angin. Permukiman terletak pada radius 100 m sehingga konsentrasi yang digunakan adalah konsentrasi pada radius 100 m.

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan menggunakan pendekatan dispersi polutan metode Gauss dan kapasitas pohon, lahan yang digunakan sebagai *buffer zone* adalah seluas 4,44 ha. Pohon yang digunakan adalah sebanyak 44.420 pohon. *Buffer zone* ini di desain berbentuk barisan yang mengelilingi (16 arah mata angin) lahan gambut yang dialihfungsikan dengan tujuan untuk mengantisipasi perubahan arah angin. Penempatan *buffer zone* (zona penyangga) digabungkan dengan penempatan system pencegahan penyebaran api. Berikut ini ilustrasi dari penempatan *buffer zone* tersebut.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Konsentrasi $PM_{2,5}$ rata-rata adalah $996,71 \pm 531,01 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Konsentrasi $PM_{2,5}$ tertinggi untuk *fire samples* adalah $2163,49 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Peningkatan konsentrasi $PM_{2,5}$ sebesar 4838% atau 48,38 kali merupakan akibat dari emisi kebakaran lahan gambut.
2. Komposisi fraksi karbon tertinggi adalah OC1 dan OC2. Komposisi OC1 dalam TC (Karbon Total) tertinggi adalah 44,19%. Komposisi OC2 dalam TC (Karbon Total) tertinggi adalah 39,81%. Oleh karena itu, fraksi karbon OC1 dan OC2 merupakan fraksi karbon yang dominan.
3. Rasio OC/EC kebakaran lahan gambut fase pembaraan lebih besar dari kebakaran reruntuhan kayu dan kebakaran pohon pinus pada fase yang sama. Vegetasi permukaan yaitu kelapa sawit mempengaruhi rasio EC/OC penelitian ini adalah sebesar 5%. Vegetasi permukaan yaitu rumput liar mempengaruhi rasio EC/OC penelitian ini adalah sebesar 8,9%.
4. Pencegahan penyebaran kebakaran dilakukan dengan membuat parit dan menanam tanaman tahan api sedangkan penurunan konsentrasi polutan dilakukan dengan membuat zona penyangga. Zona penyangga yang dibutuhkan paling sedikit seluas 4,44 ha dengan vegetasi *Ficus benjamina* sebanyak 44.420 pohon.

Saran

1. Ketelitian dan kecermatan pada saat pengambilan contoh uji lebih ditingkatkan.
2. Peningkatan jumlah data dalam rangka arah penelitian yang lebih spesifik.
3. Penerapan rekomendasi lingkungan perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk membuat simulasi (*prototype*) terlebih dahulu.

DAFTAR PUSTAKA

- Chow, J.C., Watson, J.G., Kuhns, H.D., Etyemezian, V., Lowenthal, D.H., Crow, D.J., Kohl, S.D., Engelbrecht, J.P., Green, M.C., 2004. *Source profiles for industrial, mobile, and area sources in Big Bend Regional Aerosol Visibility and Observational (BRAVO) study*. Chemosphere 54, 185e208
- Desert Research Institute Division of Atmospheric Sciences. 2005. *DRI Model 2001 Thermal/Optical ferek Carbon Analysis (TOR/TOT) of Aerosol Filter Samples – Method IMPROVE_A : DRI Standard Operating Procedures*. Amerika Serikat
- Freer-Smith, P.H., El-Khatib, A.A., Taylor, G., 2004. *Capture of particulate pollution by trees: a comparison of species typical of semi-arid areas (Ficus nitida and Eucalyptus globulus) with European and North American species*. Water, Air, and Soil Pollution 155, 173,187.
- Fujii, Y., Iriana, W., Oda, M., Puriwigati, A., Tohno, S., Lestari, P., Mizohata, A., Huboyo, H.S., 2014. *Characteristics of carbonaceous aerosols emitted from peatland fire in Riau, Sumatra, Indonesia*, Atmospheric Environment.
- Ferek Ronald J., Reid Jeffrey S., and Hobbs Peter V., Blake Donald R., Liousse Catherine. 1998. *Emission factors of hydrocarbons, halocarbons, trace gases and particles from biomass burning in Brazil*. JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 103, NO. D24, PAGES 32,107-32,118
- Fuller, Micah., Bai, Song., Eisinger, Douglas., Niemeier, Deb., 2009. *PRACTICAL MITIGATION MEASURES FOR DIESEL PARTICULATE MATTER: NEAR-ROAD VEGETATION BARRIERS*. Department of Civil & Environmental Engineering University of California. Amerika Serikat
- Rosentreter, Roger., Paeppeghem, Brett Van., DeBolt, Ann., 2015. *Fire Resistance of Plants Master Database & Placement of Species Within Firewise Landscape Zones For Southern Idaho*. Amerika Serikat
- G. Rein. Jan 2009. *Smouldering Combustion Phenomena in Science and Technology*, International Review of Chemical Engineering, Vol 1, pp 3-18.
- Giesen, W. 1991. *Berbak Wildlife Reserve*. Jambi. Reconnaissance Survey Report. PHPS/AWB Sumatera Wetland Project Report No 13. Asean Wetland Bureau-Indonesia. Bogor.
- Gilman, Edward F., Watson, Dennis G., 1993. *Ficus benjamina Weeping Fig*. Fact Sheet ST-251. Amerika Serikat
- Nowak, D.J. Air pollution removal by Chicago's urban forest. In *Chicago's Urban Forest Ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project*; McPherson, E.G., Nowak, D.J., Rowntree, R.A., Eds.; U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station: Radnor, PA, USA, 1994; pp. 63–82.



- Syaufina, L. 2003. *Guidelines for Implementation of Controlled Burning Practices*. Fakultas Kehutanan IPB. Bogor.
- T.J. Ohlemiller. 2002. *Smoldering Combustion*, (SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd ed., Massachusetts, pp. 2.200–2.210)
- Thermo Fisher Scientific. 2006. *Chemcomb Model 3500 Speciation Sampling Cartridge Operating Manual*. 27 Forge Parkway Franklin, MA. Amerika Serikat.
- Wahyunto, S. Ritung & H. Subagjo. 2003. *Peta luas sebaran lahan gambut dan kandungan karbon di Pulau Sumatera, 1990 – 2002*. Proyek Climate Change, Forests and Peatlands in Indonesia. Wetlands International – Indonesia Programme dan Wildlife Habitat Canada. Bogor. Indonesia.
- World Health Organization. 2013. *Health Effects of Particulate Matter*. Policy implications for countries in eastern Europe, Caucasus and central Asia. Denmark