



**ANALISIS KARAKTERISTIK ION INORGANIK DALAM EMISI PM<sub>2.5</sub> DAN REKOMENDASI PERLINDUNGAN LINGKUNGAN DARI EMISI PM<sub>2.5</sub> KEBAKARAN LAHAN GAMBUT SECARA PEMBARAAN (SMOULDERING)  
(STUDI KASUS: KABUPATEN SIAK DAN KABUPATEN KAMPAR, PROVINSI RIAU)**

**Bella Nasila <sup>\*</sup>, Haryono Setiyo Huboyo <sup>\*\*</sup>, Syafrudin <sup>\*\*</sup>)**  
**Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro**  
**JL. Prof. H. Sudarto, SH Tembalang, Semarang, Indonesia, 50275**  
**email: bellanasila@gmail.com**

**Abstrak**

Penelitian ini membahas tentang karakteristik ion inorganik dalam PM<sub>2.5</sub> yang diketahui sebagai salah satu polutan udara akibat kebakaran lahan gambut dan rekomendasi perlindungan lingkungan. Pelaksanaan sampling menggunakan alat yaitu VOC Denuder dan pompa (Leland Legacy). Metode yang digunakan untuk mengetahui konsentrasi PM<sub>2.5</sub> adalah gravimetri dengan bantuan alat Sartorius ME5-F dan metode analisa konsentrasi ion inorganik menggunakan metode pertukaran ion dengan bantuan alat yaitu dengan menggunakan alat Ion Chromatography Shimadzu. Konsentrasi rata-rata emisi PM<sub>2.5</sub> akibat kebakaran lahan gambut terutama pada fase pembaraan adalah  $996,71 \pm 531,01 \mu\text{g}/\text{m}^3$  dengan konsentrasi PM<sub>2.5</sub> tertinggi sebesar  $2163,49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Peningkatan konsentrasi PM<sub>2.5</sub> terjadi sebesar 40 kali dibandingkan pada saat tidak terjadi kebakaran (background). Konsentrasi rata-rata tertinggi ion inorganik pada Kabupaten Siak yaitu ion  $\text{SO}_4^{2-}$  sebesar  $5,31 \mu\text{g}/\text{m}^3$  dipengaruhi oleh penggunaan pupuk pestisida pada perkebunan kelapa sawit, sedangkan konsentrasi rata-rata tertinggi ion inorganik pada Kabupaten Kampar yaitu ion Cl sebesar  $14,06 \mu\text{g}/\text{m}^3$  yang dipengaruhi oleh aktifitas Teknologi Modifikasi Cuaca dengan metode penyemaian garam (NaCl). Lokasi penelitian Kabupaten Siak yang didominasi oleh vegetasi permukaan kelapa sawit mempengaruhi rasio  $\text{SO}_4^{2-}/\text{K}^+$  pada penelitian ini sebesar 13,73 %. Sedangkan pada lokasi penelitian Kabupaten Kampar yang didominasi oleh vegetasi permukaan rumput liar mempengaruhi rasio  $\text{SO}_4^{2-}/\text{K}^+$  pada penelitian ini sebesar 2,19 %. Perlindungan lingkungan dilakukan dengan 2 cara yaitu pencegahan penyebaran kebakaran dengan cara pembuatan parit di sekitar area gambut dengan pemberian sekat/tabat pada ujung saluran dan penurunan konsentrasi dengan cara pembuatan buffer zone menggunakan vegetasi khusus pada luas dan jarak tertentu.

**Kata Kunci :** Kebakaran lahan gambut, Smouldering, PM<sub>2.5</sub>, Ion inorganik, Sistem Pelindung Kebakaran Lahan, Zona penyangga

**Abstract**

**Characterization of Inorganic Ion of PM<sub>2.5</sub> emitted And Environmental Protection Recommendation of PM<sub>2.5</sub> emitted From Smouldering Peatland Fire (Case Study: Siak District and Kampar District Riau Province).** This research discusses the characteristics of inorganic ions in PM<sub>2.5</sub> is known as one of the air pollutants due to peat fires and environmental protection recommendations. Conduct sampling using that tool and pump Denuder VOC (Leland Legacy). The method used to determine the concentration of PM<sub>2.5</sub> is a gravimetric with the aid of Sartorius ME5-F and the methods of analysis of the concentration of inorganic ions using ion exchange method with the help of tools by using Ion Chromatography Shimadzu instruments. Average concentration of PM<sub>2.5</sub> emission due to peat fires, especially in the phase of pembaraan was  $996.71 \pm 531.01 \mu\text{g}/\text{m}^3$  with highest PM<sub>2.5</sub> concentrations at  $2163.49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Increasing concentrations of PM<sub>2.5</sub> occur by 40 times compared to when there is no fire (background). The highest average concentration of inorganic ions in Siak that ion  $\text{SO}_4^{2-}$  of  $5.31 \mu\text{g}/\text{m}^3$  is affected by the use of fertilizers pesticides in oil palm plantations, while the highest average concentration of inorganic ions in Kampar which ion Cl at  $14.06 \mu\text{g}/\text{m}^3$  were influenced by activity, Weather Modification Technology by seeding salt (NaCl). The research location Siak dominated by oil palm surface vegetation affect the ratio of  $\text{SO}_4^{2-}/\text{K}^+$  in this study amounted to 13.73%. While on location study Kampar district dominated by surface vegetation weeds affect the ratio of  $\text{SO}_4^{2-}/\text{K}^+$  in this study amounted to 2.19%. Environmental protection is done in 2 ways to prevent the spread of fire by making a trench around the peat area with the provision of the bulkhead / block at the end of the line and decrease the concentration by making a special buffer zone of vegetation in wide use and a certain distance.

**Keywords :** Peatland fire, Smouldering, PM<sub>2.5</sub>, OC, EC, Fire break system, Bufferzone

## PENDAHULUAN

Indonesia memiliki lahan gambut terluas di antara negara tropis, yaitu sekitar 21 juta Ha atau 10,8% dari luas daratan Indonesia. Lahan gambut sebagian besar terdapat di Pulau Sumatera sebesar 35% (Radjagukguk, 1992: 1995). Sulitnya mencari lahan untuk kegiatan pertanian menyebabkan beberapa komunitas beralih memanfaatkan lahan gambut untuk kegiatan pertanian. Kelapa sawit merupakan salah satu komoditi utama Provinsi Riau. Luasnya lahan gambut yang dialihkan menjadi perkebunan kelapa sawit mengalami peningkatan setiap tahunnya. Teknik pembakaran merupakan salah satu cara yang dipilih karna pihak yang berkepentingan ingin segera menyiapkan lahan dengan biaya serendah-rendahnya. Peralihan fungsi lahan ini menyebabkan kerusakan ekosistem dan kerugian di beberapa aspek. Tacconi (2003) menyebutkan salah satu masalah utama terkait dengan kebakaran lahan di Indonesia yaitu pencemaran kabut asap yang mengakibatkan menurunnya kualitas udara sehingga menimbulkan gangguan kesehatan terhadap manusia. Dampak kebakaran ini tidak hanya terasa di Indonesia tetapi juga mempengaruhi negara tetangga seperti Malaysia dan Singapore. (KLH dan UNDP, 1998)

Menurut Sumantri (2007) menyebutkan bahwa tahap *smouldering* merupakan tahap kebakaran yang sulit dikendalikan karena tidak menampilkan nyala api, asap tebal, sumber api sulit dideteksi dan penyebaran api menyerupai terowongan di bawah permukaan sehingga menyebar sampai ratusan meter dari sumber api. Temperatur pembakaran 750-850 K merupakan range temperatur pada tahap *smouldering*. Beberapa studi ditemukan bahwa pembentukan aerosol terjadi pada tahap *smouldering*, tetapi diketahui juga bahwa partikulat banyak terbentuk akibat kondensasi dari materi organik yang ter volatil pada berbagai partikel atau permukaan (Reid *et al.*, 2005)

Salah satu partikulat yang terbentuk dari emisi kebakaran lahan gambut adalah Particulate Matter ( $PM_{2.5}$ ). Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999 baku mutu udara ambien untuk  $PM_{2.5}$  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  $23.9 \pm 2.53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . (Fujii *et al.*, 2014).

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). 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.

Inorganik ion terdiri dari tiga komponen utama yaitu sulfat, nitrat, dan ammonium. Selain amonium, sulfat, dan nitrat, berbagai ion anorganik yang larut dalam air lainnya juga hadir dalam aerosol atmosfer. Mereka termasuk  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ , dan  $\text{Mg}^{2+}$ , dan pada tingkat lebih rendah  $\text{Br}^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ , dan fosfat. Meskipun ion ini terkadang hanya berkontribusi kecil terhadap massa polutan partikulat, akan tetapi inorganik ion ini penting untuk perhitungan massa aerosol dan sebagai pelacak untuk penentuan sumber pencemar. Aerosol di atmosfer yang berasal dari alam dan sumber antropogenik, secara signifikan mempengaruhi kualitas udara, visibilitas, atmosfer kimia dan besaran radiasi ke bumi. Inorganik ion berkontribusi terhadap konsentrasi  $PM_{2.5}$  di udara ambien, besarnya kontribusi inorganik ion di udara ambien dalam jurnal penelitian yaitu  $\pm 12\%$ .

Cara yang dapat dilakukan untuk pencegahan kebakaran lahan gambut yaitu dengan upaya penegakan hukum dan pembuatan parit atau kanal disekitar lahan dengan menggunakan sistem garpu. Sistem garpu adalah sistem tata air yang dirancang dengan saluran – saluran yang dibuat dari pinggir sungai masuk menjorok pedalaman berupa saluran navigasi dan saluran primer, kemudian disusul dengan saluran sekunder yang dapat terdiri atas dua saluran bercabang sehingga jaringan berbentuk menyerupai garpu. Kolam berfungsi untuk menampung sementara unsur dan senyawa beracun pada saat pasang, kemudian diharapkan keluar mengikuti surutnya air. Sistem garpu ini dikembangkan oleh tim proyek pembukaan persawahan pasang surut (P4S) yang dirancang oleh Prof. Ir. Soenaryo dari Universitas Gadjah Mada (1969-1982).

*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* yang memiliki kecepatan penyerapan (*deposition velocity*) sebesar 0.041 cm/s dengan kecepatan angin 3 m/s (Freer-Smith et al., 2004).

Tujuan dari Penelitian “Analisis karakteristik ion inorganik dalam emisi PM<sub>2.5</sub> kebakaran lahan gambut secara pembaraan (smouldering) (studi kasus: Kabupaten Siak dan Kabupaten Kampar, Provinsi Riau)” adalah :

1. Menganalisis konsentrasi PM<sub>2.5</sub> sebagai emisi dari kebakaran lahan gambut
2. Menganalisis komposisi ion inorganik dalam emisi PM<sub>2.5</sub> kebakaran lahan gambut
3. Menganalisis karakteristik ion inorganik dalam emisi PM<sub>2.5</sub> akibat kebakaran lahan gambut
4. Menyusun rancangan rekomendasi perlindungan lingkungan yang tepat akibat dari kebakaran lahan gambut.

#### METODOLOGI PENELITIAN

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<sub>2.5</sub> 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.

Untuk mendapatkan konsentrasi inorganik ion dalam PM<sub>2.5</sub> ambien seperti Na<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> dan Cl<sup>-</sup> yaitu dengan menggunakan alat *Ion Chromatography Shimadzu*. Seperempat dari Teflon (2.97 cm<sup>2</sup>) digunakan untuk analisis ion anorganik. Setiap filter diekstraksi dengan agitasi ultrasonic selama 20 menit dengan menggunakan 4 mL air deionisasi. Ekstrak disaring melalui *Teflon syringe filter* (ukuran pori 0,45 m) dan dianalisis dengan metode *ion exchange chromatography* (HIC-10 A, Shimadzu).

#### 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/m<sup>3</sup>)  
DW = Perubahan massa dari filter blanko awal dan berat bobot setelah pengumpulan.  
10<sup>6</sup> = Faktor konversi dari gram (g) ke mikrogram (μg)  
V = Volume udara yang melewati filter

Setelah pengukuran massa selesai, maka selanjutnya dilanjutkan dengan perhitungan ion inorganik menggunakan Ion Exchange Chromatograph untuk mengetahui konsentrasi dari ion inorganik yang terdapat dalam PM<sub>2.5</sub>

1. Kalibrasi ion-ion terlarut

$$\text{Ion conc. for calibration} = \frac{\text{ion Conc for original standard}}{\text{Dilution Ratio}} \dots \dots \dots (2)$$

2. Penentuan luas area yang terbaca dengan *Ion Chromatography* (IC)

$$\text{Area [-]} = \text{area filter sampel} - \text{area rata-rata blank filter} \dots \dots \dots (3)$$

3. Konsentrasi inorganik ion (mg/l) konsentrasi ion (mg/l) =

$$(\text{area[-]} \times \text{slope}) + \text{intercept} \dots \dots \dots (4)$$

4. Konsentrasi inorganik ion (μg/m<sup>3</sup>) Konsentrasi ion(μg/m<sup>3</sup>) =

$$\frac{\text{ion concentration (mg/l)} \times \text{solvent (ml)} \times \text{Deposition (cm2)}}{\text{punch (cm2)} \times \text{volume udara (m3)}} \dots \dots \dots (5)$$

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

$$E_i = P_i \times L \times A \dots \dots \dots (6)$$

Keterangan (USEPA, 1995) :

- E<sub>i</sub> = total emisi polutan (massa polutan)  
P<sub>i</sub> = Rasio emisi (massa polutan/bahan yang terbakar)  
L = Efisiensi pembakaran (massa bahan bakar yang terbakar/luas area terbakar)  
A = luas lahan terbakar

$$X = \frac{Q \times K}{\pi(\sigma_y \times \sigma_z \times U_z) \exp - \left(\frac{H}{2\sigma_z}\right)} \dots \dots \dots (7)$$

Keterangan :

- X = Konsentrasi polutan pada jarak tertentu sesuai dengan arah angin(μg/m<sup>3</sup>)  
K = 1 x 10<sup>6</sup> (koefisien skala untuk Q dalam g/s dan X dalam μg/m<sup>3</sup>)  
σ<sub>y</sub>, σ<sub>z</sub> = koefisien difusi (meter)  
u = Kecepatan angin (m/s)  
H = Ketinggian sumber (m)  
σ<sub>y</sub> = cx<sup>d</sup>  
σ<sub>z</sub> = ax<sup>b</sup>  
x = jarak sumber dengan reseptor (meter)



$U_z = U_0(Z/Z_0)^P$   
 $U_z$  = 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

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

$$C_t = \frac{V_d \times C \times \text{luas serapan}}{\text{Luas penanaman} \times \text{tinggi pohon}} \dots \dots \dots (8)$$

Keterangan (Nowark *et al.*, 1994; Fuller *et al.*, 2009) :

$C_t$  = Konsentrasi Akhir ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )  
 $V_d$  = *deposition velocity*, kecepatan penyerapan vegetasi (m/s)  
 $C$  = *concentration*, konsentrasi polutan ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )  
 Luas serapan per pohon = ( $\text{m}^2$ )  
 Luas penanaman = ( $\text{m}^2$ )  
 tinggi pohon = (m)

Jumlah pohon yang dibutuhkan pohon  

$$= \frac{\text{Konsentrasi Awal}}{\text{Konsentrasi Akhir } (C_t)} \dots \dots \dots (9)$$

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Analisa Hasil Konsentrasi PM<sub>2.5</sub>**

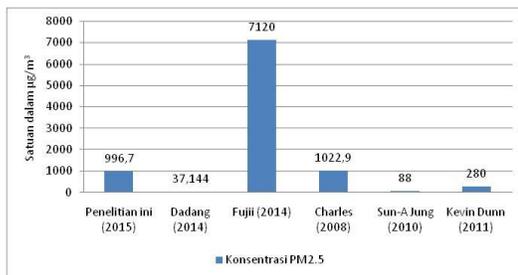
Pengambilan sampel PM<sub>2.5</sub> ini menggunakan alat *VOC denuders (ChemComb Thermo denuder model 3500, Thermo) with Pump (Leland Legacy)* dengan menggunakan Teflon filter. Teflon adalah nama dagang terdaftar dari bahan plastik yang sangat berguna yaitu *Poly Tetra Fluoro Ethylene (PTFE)*. Teflon filter digunakan untuk mengumpulkan sampel PM<sub>2.5</sub>. Teflon filter biasanya digunakan untuk penghitungan gravimetric karena ketidakepekaan yang tinggi terhadap kelembapan relatif selama prosedur pembobotan. (Brown *et.al.*, 2006 dalam Perrino Cinzia *et.al.*, 2013).

No	Nama Filter	Lokasi Sampling	Konsentrasi PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
8	Fire9	Kabupaten Kampar	1165,99
9	Fire10		695,98
10	Fire11		452,89
11	Fire12		947,9

Hasil pengukuran *sampling* di lapangan di dapatkan 13 *sample fire*, 2 *sample non-fire* dan 2 *sample fields blank*. *Sample fire* merupakan *sample* yang diukur di lokasi terjadinya kebakaran, sedangkan *sample non fire* merupakan *sample* yang diukur di lokasi yang berada jauh dari lokasi kebakaran. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kondisi udara sekitar pada saat tidak terjadi kebakaran. Berdasarkan tabel 4.3, beberapa *sample* diberikan tanda kuning yaitu pada *sample fire* 3; *fire* 4; *fire* 6 dan *fire* 13. Hal ini dikarenakan pada *sample* tersebut tidak memiliki berat awal, peristiwa ini terjadi akibat kesalahan dalam pencatatan data. Nilai Selisih didapatkan dari pengukuran berat akhir filter dengan berat awal filter. Selisih koreksi merupakan hasil selisih dikurangi *field blank*. *Field blank* yang dimaksud adalah *field blank* yang sesuai dengan kategori sampelnya. Untuk *sample fire*, pengurangan dilakukan terhadap *field blank 1* dan untuk *sample non fire*, pengurangan dilakukan terhadap *field blank 2*. Selisih koreksi memiliki tujuan untuk mengetahui kualitas sampel dan memastikan bahwa tidak ada kontaminasi dari zat lain. Dari hasil perhitungan dan dapat disimpulkan bahwa konsentrasi PM<sub>2.5</sub> tertinggi terjadi pada sampel *fire* 8 yang diukur di Desa Langkai, Kabupaten Siak yaitu sebesar 2163,49  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Konsentrasi PM<sub>2.5</sub> terendah terjadi pada sampel *fire* 11 yang diukur pada Desa Rimbo Panjang, Kabupaten Kampar yaitu sebesar 452,89  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Rata-rata konsentrasi PM<sub>2.5</sub> adalah 996,705  $\mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 531,006$ . *Sample* nomor 9 dan 10 merupakan *sample background* pada saat tidak terjadi kebakaran sehingga dapat diketahui bahwa terjadinya peningkatan konsentrasi PM<sub>2.5</sub> sebesar 40,05% dibandingkan pada saat tidak terjadi kebakaran. Peningkatan konsentrasi PM<sub>2.5</sub> pada saat kebakaran lahan menyebabkan terjadinya pencemaran udara yang mengakibatkan penurunan kualitas udara dan menimbulkan gangguan kesehatan pada makhluk hidup.

**Tabel 1 Konsentrasi PM<sub>2.5</sub>**

No	Nama Filter	Lokasi Sampling	Konsentrasi PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
1	Fire1	Kabupaten Siak	665,9
2	Fire2		519,48
3	Fire5		988,01
4	Fire7		1370,7
5	Fire8		2163,49
6	Non-Fire1		54,02
7	Non-Fire2		87,32



Gambar 1 Perbandingan Konsentrasi PM<sub>2.5</sub>

Pada grafik diatas terlihat perbedaan konsentrasi PM<sub>2.5</sub> yang signifikan antar penelitian. Penelitian yang dilakukan oleh Dadang dan Fujii memiliki lokasi penelitian yang sama dengan penelitian ini yaitu di Provinsi Riau dengan dominan bahan yang terbakar adalah lahan gambut. Perbedaannya dengan penelitian ini yaitu pada jarak sample terhadap sumber kebakaran. Besarnya konsentrasi dipengaruhi juga oleh jarak sampling terhadap titik api. (Fujii, 2014). Pada penelitian yang dilakukan oleh Fujii dekatnya jarak sample terhadap sumber kebakaran membuat konsentrasi PM<sub>2.5</sub> semakin tinggi, sebaliknya pada penelitian oleh Dadang jauhnya jarak sample terhadap sumber membuat konsentrasi PM<sub>2.5</sub> rendah. Selain itu, pada penelitian ini fase kebakaran yang terjadi selama sampling yaitu fase *smouldering*, sedangkan pada penelitian Dadang dan Fujii terdapat dua fase pembakaran yaitu fase *flaming* dan *smouldering*.

Penelitian yang dilakukan oleh Charles, Sun-A jung dan Kevin Dunn dilakukan ditempat yang berbeda-beda. Penelitian tersebut dilakukan di Kanada, Korea dan Amerika Serikat. Konsentrasi PM<sub>2.5</sub> yang berbeda dapat dipengaruhi oleh luas lahan, karakteristik kebakaran, serta meteorologi pada saat pelaksanaan sampling. Vegetasi yang ada dipermukaan juga mempengaruhi sebagai bahan yang dominan terbakar. Jarak pengambilan sample pada ketiga penelitian ini bervariasi dengan jarak 2-3 km dari sumber kebakaran.

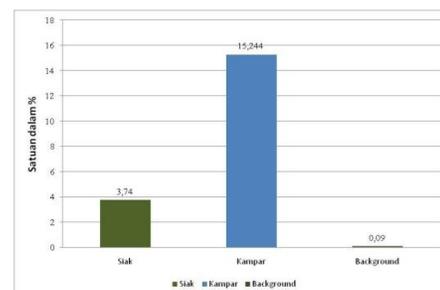
#### Analisa Komposisi Ion Inorganik

Inorganik ion berasal dari kata ion dan anorganik, dimana ion adalah atom atau sekumpulan atom yang bermuatan listrik dan anorganik adalah senyawa yang terdapat di alam yang biasanya sebagai penyusun material atau benda tak hidup. Inorganik ion terdiri dari tiga komponen utama yaitu sulfat, nitrat, dan ammonium. Selain amonium, sulfat, dan nitrat, berbagai ion anorganik yang larut dalam air lainnya juga hadir dalam aerosol atmosfer. Mereka termasuk Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Dan Mg<sup>2+</sup>, dan pada tingkat lebih rendah Br<sup>-</sup>, NO<sup>2-</sup>, Dan fosfat. Dari hasil analisa maka di dapatkan 9 sample fire dan 2 sample non-fire. Inorganik ion berkontribusi terhadap konsentrasi

PM<sub>2.5</sub> di udara ambien, besarnya kontribusi inorganik ion di udara ambien dalam jurnal penelitian yaitu ± 12%.

Konsentrasi rata-rata ion inorganik yaitu ion klorida 8,165 µg/m<sup>3</sup>; ion nitrat 0,748 µg/m<sup>3</sup>; ion sulfat 4,758 µg/m<sup>3</sup>; ion sodium 0,051 µg/m<sup>3</sup>; ion amonium 7,252 µg/m<sup>3</sup>; ion kalium 1,120 µg/m<sup>3</sup>; ion magnesium dan ion Kalsium bernilai below detection limit dan below detection limit. Berdasarkan komposisi ion yang mengindikasikan sumber pencemar dari kebakaran lahan gambut adalah ion Cl<sup>-</sup>, ion SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> dan ion K<sup>+</sup>. Selain itu, kehadiran ion Cl<sup>-</sup>, ion SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> dan ion K<sup>+</sup> juga merupakan indikator sumber pencemar kebakaran biomassa (Chow *et al.*, 2004).

Konsentrasi Ion terdapat beberapa ion yang bernilai BL. BL ini adalah below detection limit, hal ini dikarenakan tingginya nilai *detection limit* dari alat *ion exchange chromatograph*. Nilai *detection limit* ion sodium yaitu 0,02; ion pottasium sebesar 0,141; ion magnesium 0,202 dan nilai kalsium 0,422. Sehingga dalam perhitungan fraksi ion tersebut tidak dapat dihitung.

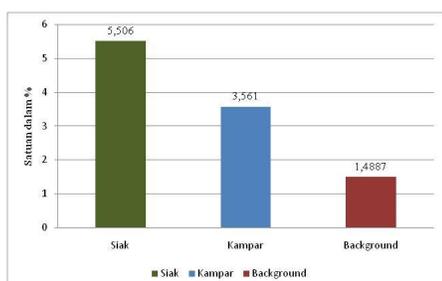


Gambar 2 Ion Klorida pada Kebakaran Lahan

Menurut Chow (2004) salah satu indikator kebakaran biomassa adalah munculnya ion Cl<sup>-</sup>. Berdasarkan hasil penelitian ini, konsentrasi rata-rata ion klorida pada lahan gambut di Kabupaten Kampar sebesar 15,244 µg/m<sup>3</sup> sedangkan konsentrasi rata-rata ion klorida pada lahan gambut di Kabupaten Siak sebesar 3,74 µg/m<sup>3</sup>. Jika dibandingkan dengan konsentrasi rata-rata background sample, terjadi peningkatan konsentrasi rata-rata sample sebesar 16837,7% pada lokasi penelitian Kampar dan 4055,5% pada lokasi penelitian Siak. Kehadiran ion Cl<sup>-</sup> menandakan bahwa dalam faktor pertama ini kemungkinan terdapat faktor campuran dari sumber pencemar, yaitu unsur kebakaran biomassa dan garam-garam laut (*sea salt*). Secara geografis, Provinsi Riau tidak berbatasan dengan laut. Meskipun demikian, tidak menutup kemungkinan kehadiran dari unsur penanda garam-garam laut, karena pada dasarnya partikel halus dapat terdistribusi hingga mencapai

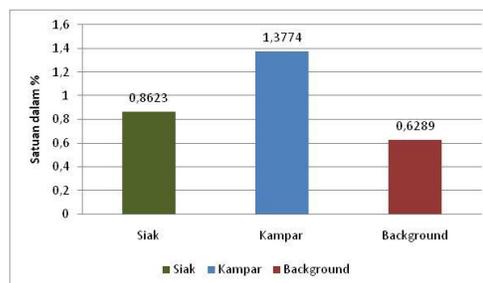
ratusan hingga ribuan kilometer, bahkan dapat melintasi batas negara (USEPA, 1999).

Selain itu tingginya konsentrasi Cl<sup>-</sup> dipengaruhi oleh aktivitas Teknologi Modifikasi Cuaca (TMC) atau hujan buatan untuk memadamkan api di Riau. Perlakuan yang diberikan pada awan hujan dengan cara memberikan bahan semai yang bersifat higroskopis seperti NaCl, CaCl<sub>2</sub> yang dapat membantu proses mempercepat turunnya hujan disatu lokasi. Tujuan menambah bahan semi ke dalam awan potensial adalah untuk memperluas bagian awan menjadi hujan, menambah durasi hujan sehingga makin panjang, meningkatkan efisiensi proses tumbukan dan penggabungan butir-butir air, menambah volume air di dalam awan melalui massa awan dan menambah frekuensi hujan semakin panjang. (Nasution, 2004)



Gambar 3 Ion Sulfat pada Kebakaran Lahan

Menurut Chow (2004) salah satu indikator kebakaran biomassa adalah munculnya ion SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. Berdasarkan hasil penelitian ini konsentrasi rata-rata ion sulfat pada lahan gambut di Kabupaten Kampar sebesar 3,561 µg/m<sup>3</sup>. Konsentrasi rata-rata ion sulfat pada lahan gambut di Kabupaten Siak sebesar 5,506 µg/m<sup>3</sup>. Jika dibandingkan dengan konsentrasi rata-rata background sample, terjadi peningkatan konsentrasi rata-rata sample sebesar 139,2 % pada lokasi penelitian Kampar dan 269,85 % pada lokasi penelitian Siak. Tingginya konsentrasi SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> di daerah sampling mungkin karena penggunaan pestisida, yang mengarah ke akumulasi lambat belerang di tanah gambut (2007) melaporkan bahwa selama pembakaran gambut, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ion yang paling berlimpah di tanah gambut. Gambut di Sumatera kaya akan belerang dan oleh karena pembakaran secara *smouldering* (suhu yang rendah) menghasilkan SO<sub>2</sub> dan gas amonia ke atmosfer (Gras *et. al.*, 1999).



Gambar 4 Konsentrasi Ion Kalium

### Gambar 4. 1 Konsentrasi Ion Kalium

Menurut Chow (2004) salah satu indikator kebakaran biomassa adalah munculnya ion K<sup>+</sup>. Konsentrasi rata-rata ion kalium pada lahan gambut di Kabupaten Kampar sebesar 1,3774 µg/m<sup>3</sup>. Konsentrasi rata-rata ion kalium pada lahan gambut di Kabupaten Siak sebesar 0,8623 µg/m<sup>3</sup>. Jika dibandingkan dengan konsentrasi rata-rata background sample, terjadi peningkatan konsentrasi rata-rata sample yaitu sebesar 119,02 % pada lokasi penelitian Kampar dan 37,11 % pada lokasi penelitian Siak. Munculnya ion potassium (K<sup>+</sup>) merupakan tanda bahwa sumber pencemar yang teridentifikasi adalah dari pembakaran biomassa. Besarnya rasio dari K<sup>+</sup> terhadap organik karbon berkisar antara 0.06-0.36 bila sampel memiliki rasio yang sama atau lebih tinggi dapat dikatakan sebagai savannah burning, tropical forest, burning of biofuel, charcoal and agricultural residue (Enchalar *et.al.*, 1995; Andreae and Merlet, 2001 dalam S.L Mkombe *et.al.*, 2013).

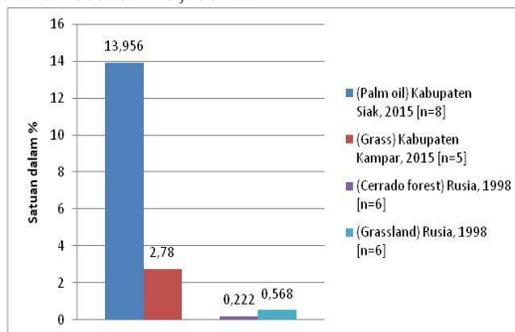
### Analisa Karakteristik Ion Inorganik

Vegetasi permukaan juga mempengaruhi konsentrasi dan komposisi ion potassium dan ion sulfat 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 ion dominan terhadap ion potassium sebagai penanda kebakaran biomass burning perlu dihitung.

Rasio SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/K<sup>+</sup> di Kabupaten Siak lebih tinggi daripada rasio SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/K<sup>+</sup> di Kabupaten Kampar. Kondisi tersebut disebabkan fraksi di SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> Kabupaten Siak lebih tinggi daripada fraksi SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> di Kabupaten Kampar.

Penelitian mengenai rasio SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/K<sup>+</sup> dari kebakaran kelapa sawit masih jarang dilakukan sehingga

penelitian yang dilakukan oleh Fereket *al.*, 1998 dengan objek hutan *cerrado* digunakan sebagai pembanding. Hutan *Cerrado* memiliki kondisi yang cukup mirip dengan perkebunan kelapa sawit sehingga diasumsikan dapat mewakili kebakaran kelapa sawit. Fase kebakaran pada penelitian Fereket *al.*, 1998 adalah fase pembaraan. Berdasarkan grafik di atas, rasio  $SO_4^{2-}/K^+$  pada penelitian ini lebih besar dibandingkan dengan rasio  $SO_4^{2-}/K^+$  pada penelitian Fereket *al.*, 1998. Perbedaan nilai rasio  $SO_4^{2-}/K^+$  sebesar 13,733 %. Oleh karena itu, vegetasi permukaan yaitu kelapa sawit mempengaruhi rasio  $SO_4^{2-}/K^+$  penelitian ini adalah sebesar 13,733 %.

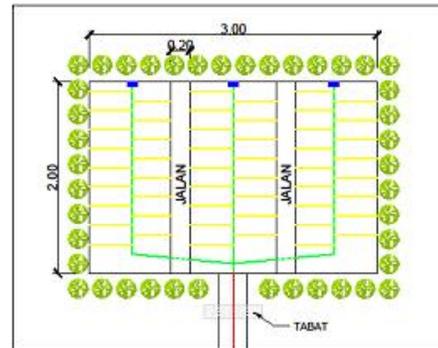


**Gambar 5 Rasio Ion sulfat terhadap Ion Kalium**

Penelitian yang dilakukan oleh Ferek *et al.*, 1998 terhadap kebakaran rumput liar (*grassland*) memiliki rasio  $SO_4^{2-}/K^+$  sebesar 0,586 %. Hutan rumput liar (*grassland*) merupakan hutan savanna yang didominasi oleh rumput liar dengan permukaan tanah bukan lahan gambut. Fase kebakaran pada penelitian Ferek *et al.*, 1998 adalah fase nyala api (*flaming*). Berdasarkan grafik di atas, rasio  $SO_4^{2-}/K^+$  pada penelitian ini lebih besar dibandingkan dengan rasio  $SO_4^{2-}/K^+$  pada penelitian Ferek *et al.*, 1998. Perbedaan nilai rasio  $SO_4^{2-}/K^+$  sebesar 2,194 %. Oleh karena itu, vegetasi permukaan yaitu rumput liar mempengaruhi rasio  $SO_4^{2-}/K^+$  penelitian ini adalah sebesar 2,194 %.

#### Rekomendasi Perlindungan Lingkungan

Sistem Garpu adalah sistem tata air yang dirancang dengan saluran-saluran yang dibuat dari pinggir sungai masuk menjorok ke pedalaman berupa saluran navigasi dan saluran primer, kemudian disusul dengan saluran sekunder yang dapat terdiri atas dua saluran bercabang sehingga jaringan berbentuk menyerupai garpu. Ukuran lebar saluran primer antara 10-20 m dan dalam batas di bawah batas pasang minimal. Ukuran lebar saluran sekunder antara 5-10 m (Notohadiprawiro, 1996 dalam Noor, 2001). Kolam berfungsi untuk menampung sementara air pada saat pasang, yang kemudian diharapkan akan keluar mengikuti surutnya air.



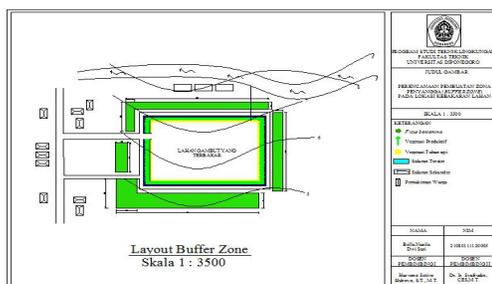
**Gambar 6 Ilustrasi Pengaturan Lahan Pencegahan Kebakaran**

Kebakaran lahan gambut menghasilkan sejumlah besar gas dan partikel yang dapat mengganggu kesehatan manusia.  $PM_{2.5}$  merupakan salah satu partikulat yang dihasilkan akibat kebakaran lahan. Meningkatnya konsentrasi  $PM_{2.5}$  dipengaruhi oleh faktor meteorologi seperti angin dan matahari sehingga menyebabkan penyebaran  $PM_{2.5}$  tersebar di beberapa jarak tertentu. Metode simulasi dispersi polutan merupakan salah satu cara untuk mengetahui persebaran konsentrasi  $PM_{2.5}$  pada jarak tertentu sehingga dapat diketahui batas area buffer zone yang dibutuhkan apabila terjadi kebakaran lahan gambut.

Konsentrasi  $PM_{2.5}$  dapat berkurang dengan cara alamiah, salah satu caranya yaitu penanaman vegetasi yang dapat menyerap konsentrasi  $PM_{2.5}$  yang tentunya dapat hidup di lahan gambut. Vegetasi tersebut ditanam di areal khusus yang dinamakan zona penyangga (*Buffer zone*). Vegetasi yang dapat tumbuh pada ekosistem lahan gambut salah satunya adalah *Ficus microcarpa* (beringin) (Giesen *et al.*, 2003). Vegetasi yang digunakan dalam *buffer zone* adalah *Ficus benjamina*. *Ficus benjamina* memiliki kekerabatan (genus) yang dekat dengan beringin sehingga vegetasi ini kemungkinan dapat tumbuh di ekosistem lahan gambut. *Ficus benjamina* juga memiliki kekerabatan yang dekat dengan *Ficus nitida*. Oleh karena itu, kecepatan penyerapan yang digunakan adalah kecepatan penyerapan *Ficus nitida* yaitu sebesar 0,041 cm/s dengan kecepatan angin 3 m/s (Freer-Smith *et al.*, 2004). Luas serapan ( $m^2$ ) per pohon adalah 12,05  $m^2$ . Luas penanaman pohon diasumsikan 1  $m^2$  karena mengikuti kaidah penanaman yang berbentuk persegi. Tinggi pohon tersebut adalah 13,716 meter (Gilman *et al.*, 1993).

Berdasarkan perhitungan diatas, lahan yang dibutuhkan untuk penanaman vegetasi di areal buffer zone yaitu 4,44 Ha. Buffer zone di rancang berbentuk persegi panjang dengan panjang 400 m dan lebar 300 m. Penanaman vegetasi direncanakan

mengelilingi areal kebakaran lahan gambut sehingga dapat mengantisipasi apabila terjadi perubahan arah angin dan serta didukung dengan topografi yang landai sehingga memudahkan dalam pengairan. Diharapkan dengan adanya zona penyangga (Buffer zone) diharapkan dapat mengurangi penyebaran konsentrasi  $PM_{2.5}$ .



Gambar 7 Layout Zona Penyangga (Buffer Zone) di Lokasi Kebakaran Lahan

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

1. Konsentrasi rata-rata  $PM_{2.5}$  adalah  $996,71 \pm 531,01 \mu\text{g}/\text{m}^3$  Konsentrasi  $PM_{2.5}$  pada *fire sample* mempunyai nilai yang tertinggi yaitu sebesar  $2163,49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Emisi kebakaran lahan gambut mengakibatkan peningkatan pada konsentrasi  $PM_{2.5}$  yaitu sebesar 40 kali dibandingkan pada saat tidak terjadi kebakaran (*background*).
2. Konsentrasi rata-rata tertinggi ion inorganik pada Kabupaten Siak yaitu ion  $\text{SO}_4^{2-}$   $5,31 \mu\text{g}/\text{m}^3$  dipengaruhi oleh penggunaan pupuk pestisida pada perkebunan kelapa sawit. Sedangkan konsentrasi rata-rata tertinggi ion inorganik pada Kabupaten Kampar yaitu ion  $\text{Cl}^-$   $14,06 \mu\text{g}/\text{m}^3$  yang dipengaruhi oleh aktifitas Teknologi Modifikasi Cuaca dengan metode penyemaian garam ( $\text{NaCl}$ ).
3. Lokasi penelitian Kabupaten Siak yang didominasi oleh vegetasi permukaan kelapa sawit mempengaruhi rasio  $\text{SO}_4^{2-}/\text{K}^+$  pada penelitian ini sebesar 13,73 %. Sedangkan pada lokasi penelitian Kabupaten Kampar yang didominasi oleh vegetasi permukaan rumput liar mempengaruhi rasio  $\text{SO}_4^{2-}/\text{K}^+$  pada penelitian ini sebesar 2,19 %.
4. Perlindungan lingkungan dilakukan dengan 2 cara yaitu pencegahan penyebaran kebakaran dengan cara pembuatan parit di sekitar area gambut dengan pemberian sekat/tabat pada ujung saluran dan penurunan konsentrasi

dengan cara pembuatan *buffer zone*. *Buffer zone* yang dibutuhkan seluas **4,44 ha** dengan vegetasi beringin / *Ficus benjamina* sebanyak **44.420 pohon** dengan jarak anatar vegetasi yaitu 1 meter.

### Saran

1. Meningkatkan ketelitian dan kecermatan pada saat pelaksanaan sampling agar menghindari terjadinya kesalahan-kesalahan dalam pelaksanaan sampling.
2. Peningkatan jumlah data dalam rangka arah penelitian yang lebih baik.
3. Penelitian mengenai penerapan rekomendasi lingkungan sebaiknya dilakukan lebih lanjut.

### DAFTAR PUSTAKA

Budyono, Afif. 2001. *Pencemaran Udara*, 1999. Peraturan Pemerintah RI No. 41 tahun 1999 tentang pengendalian pencemaran udara. Jakarta, 2014. *Siak dalam angka 2014*. Siak: BPS-Kabupaten Siak.

Alfiah, Taty. 2011. *MK Pencemaran Udara-Teknik Lingkungan-ITATS*. Surabaya : ITATS.

Andriess, J. P. 1988. *Nature and Management of Tropical Peat Soils*. Food and Agriculture Organization (FAO) of The United Nations. Rome.

Balasubramanian, R, W.B Qian, S. Decesari, M.C. Facchini, and S. Fuzzi. 2003. *Comprehensive characterization of  $PM_{2.5}$  aerosols in Singapore*. Singapore: Department of Chemical and Environmental Engineering National University of Singapore

C.A. Pio, M. Legrand , C.A. Alves , T. Oliveira , J. Afonso , A. Caseiro , H. Puxbaum, A. Sanchez-Ochoa, A. Gelencse' r. 2008. *Chemical composition of atmospheric aerosols during the 2003 summer intense forest fire period*. University of Pannonia, Hungary.

Chow Judith C, John G. Watson, Hampden Kuhns, Vicken Etyemezian, Douglas H. Lowenthal, Dale Crow, Steven D. Kohl, Johann P. Engelbrecht, and Mark C. Green. 2003. *Source profiles for industrial, mobile, and area sources in the Big Bend Regional Aerosol Visibility and Observational study*. USA: Division of Atmospheric Sciences, Desert Research Institute.

Clark III, A. 1979. *Suggested procedures for measuring tree biomass and reporting free prediction equations*. Proc. For. Inventory



Workshop, SAF-IUFRO. Ft. Collins, Colorado: 615-628

Cooper, C David, Alley, F. C. 1994. Air Pollution Control : A Design Approach Second Edition. United State : Waveland Press Inc.

Dhananjay K. Deshmukh, Manas K. Deb, Ying I. Tsai, Stelyus L. Mkoma. 2011. *Water Soluble Ions in PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>1</sub> Aerosols in Durg City, Chhattisgarh, India.*

EPA. 2014. *PM understand.* URL: [www.epa.gov/pmreport/pmunderstand\\_2405](http://www.epa.gov/pmreport/pmunderstand_2405).

EPA.2014. *Particulate matter.* URL: <http://www.epa.gov/airquality/particulatematter/>

EPA. 2014. *Basic Information of Particulate Matter.* URL: <http://www.epa.gov/airquality/particulatematter/basic.html>

Fujii, Y., Iriana, W., Oda, M., Puriwigati, A., Tohno, S., Lestari, P., Mizohata, A., Huboyo, H.S., Characteristics of carbonaceous aerosols emitted from peatland fire in Riau, Sumatra, Indonesia, Atmospheric Environment ,2014.

Jimoda, L..A. 2012. *Effects Of Particulate Matter On Human Health, The Ecosystem, Climate And Materials: A Review.* Nigeria: *Department of Chemical Engineering, Ladoke Akintola University of Technology.*

Kumar, Rakesh, Abba Elizabeth, and A.G Gawane. 2007. *Air Quality Profile of Inorganic Ionic*