



**ANALISIS KARAKTERISTIK VOCs (VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS) PADA  
ASAP KEBAKARAN LAHAN GAMBUT FASE PEMBARAAN (SMOULDERING)  
DAN REKOMENDASI PENCEGAHAN KEBAKARAN LAHAN GAMBUT (STUDI  
KASUS: KABUPATEN SIAK DAN KABUPATEN KAMPAR PROVINSI RIAU)**

Bintang Ekananda<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: [bintangekananda@gmail.com](mailto:bintangekananda@gmail.com)

**Abstrak**

Salah satu sumber pencemaran udara adalah pembakaran biomasa (biomass burning). Di Indonesia, sulitnya mencari lahan untuk kegiatan perladangan menyebabkan sebagian masyarakat mulai beralih memanfaatkan lahan gambut untuk areal pertanian. Sebagian masyarakat mengambil jalan praktis untuk membuka areal pertanian dengan membakar lahan gambut. Kebakaran lahan gambut khususnya fase smouldering menghasilkan lebih banyak gas berbahaya seperti volatile organic compounds (VOCs). Provinsi Riau di Indonesia merupakan salah satu provinsi yang sering mengalami kebakaran lahan gambut selama musim kemarau. Tujuan dari penelitian ini yaitu mengidentifikasi VOCs yang diemisikan dari kebakaran lahan gambut (smouldering fire) dengan cara sampling langsung di titik api (sumber emisi) di Provinsi Riau tepatnya di Desa Langkai Kabupaten Siak dan Desa Rimbo Panjang Kabupaten Kampar, Indonesia. Dari hasil identifikasi terdapat 15 VOCs yang belum pernah teridentifikasi sebelumnya yaitu Hydrazinebenzene, 1-Propanethiol, Cholestadiene, Cholesteryl Butyrate, Cholesteryl Benzoate, 2-Ethyl Nitrobenzene, 1,2,3-Benzotriazin-4(3H)-One, Nonadecane, 2-Ethylacridine, Cholesterol Acetate, Hexacosane, 2-Nitrobenzaldehyde, 2-Pyridinepropanoic Acid, 4-Nitrobenzohydrazide dan Cholesteryl Caprate. Kemudian diketahui terdapat peningkatan persentase VOCs di Desa Langkai Kabupaten Siak dan Desa Rimbo Panjang Kabupaten Kampar jika dibandingkan dengan VOCs pada background. Konsentrasi maksimum TVOCs di Kabupaten Siak sebesar  $391.880 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sedangkan di Kabupaten Kampar sebesar  $195.940 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Konsentrasi TVOCs di Kabupaten Siak 130,63 kali lebih besar dibanding baku mutu yang ada, sedangkan di Kabupaten Kampar 65,31 kalinya. 4. Rekomendasi yang diberikan untuk pencegahan kebakaran lahan gambut dimasa mendatang berupa manajemen hidrologi di lahan gambut dengan cara penyekatan parit-parit eksisting (canal blocking) untuk mengatur ketinggian muka air tanah dan penanaman vegetasi tahan api di sekeliling areal pertanian yang tetap menghasilkan nilai ekonomis seperti pisang, pinang dan pepaya sebagai sekat bakar buatan.

**Kata Kunci** : Pencemaran Udara, Kebakaran Lahan Gambut, VOCs, Kesehatan

**Abstract**

**[Characteristics Analysis of VOCs (Volatile Organic Compounds) on Smouldering Phase Peatland Fires Smoke and Recommendations for Preventing Peatland Fires (Case Study: Siak District District and Kampar District, Riau Province)]** One of air pollution sources is the burning of biomass. In Indonesia, the difficulty of finding land for cultivation activities cause some people started to switch utilizing peatland for agricultural areas. Some people are taking practical way to open agricultural areas by burning peat. Peat fires especially smouldering phase produce a lot of harmful gases such as volatile organic compounds (VOCs). Riau Province in Indonesia is one of the major hotspots for peat fires during the dry season. However, the data existing on VOCs of smoke from peat fires Indonesia is still limited. The purpose of this study is to identify VOCs emitted from Peatland fires (smouldering phase) by direct sampling at hotspots (emission sources) in Riau Province, especially in the Langkai Village Siak District and Rimbo Panjang Village Kampar District, Indonesia. There are some VOCs that have not been previously identified, namely Hydrazinebenzene, 1-Propanethiol, Cholestadiene, Cholesteryl Butyrate, Cholesteryl Benzoate, 2-Ethyl Nitrobenzene, 1,2,3-Benzotriazine-4 (3H)-One, Nonadecane, 2-Ethylacridine, Cholesterol Acetate, Hexacosane, 2-Nitrobenzaldehyde, 2-Pyridinepropanoic Acid, 4-Nitrobenzohydrazide and Cholesteryl caprate. Then known that there is an increased percentage of VOCs in the Langkai Village Siak District and Rimbo Panjang Village Kampar District when compared with VOCs in the background site. Maximum concentration of TVOCs in Siak District was  $391,880 \text{ g}/\text{m}^3$ , while in Kampar District of  $195,940 \text{ g}/\text{m}^3$ . TVOCs Concentration in Siak District 130.63 times greater than the quality standards while in Kampar District 65.31 times. Recommendations for the prevention of peat fires in the future are management of the hydrology of the peatlands by way of insulation trenches existing (canal blocking) to regulate the water level of soil and vegetation fireproof surrounding agricultural areas which still generates economic value such as bananas, nut and papaya as an artificial fire breaks.

**Keywords**: Air Pollution, Peatland Fires, VOCs, Health



## PENDAHULUAN

Salah satu sumber pencemaran udara adalah pembakaran biomassa (*biomass burning*), yaitu pembakaran tumbuhan mati atau hidup dalam rangka pembersihan lahan atau perubahan peruntukan lahan. Area yang sering mengalami pembakaran biomassa bervariasi diantaranya savana tropis, hutan tropis, hutan boreal, gambut dan sisa-sisa pertanian (Levine, 2000).

Gambut adalah tanah yang mengandung bahan organik lebih dari 30 %, sedangkan lahan gambut adalah lahan yang ketebalan gambutnya lebih dari 50 cm. Di Indonesia, sulitnya mencari lahan untuk kegiatan perladangan menyebabkan sebagian masyarakat mulai beralih memanfaatkan lahan gambut untuk areal pertanian. Sebagian masyarakat mengambil jalan praktis untuk membuka areal pertanian dengan membakar lahan gambut, padahal masyarakat tersebut tidak memahami sifat dan karakteristik lahan gambut yang akan dibuka untuk areal pertanian (Rahmayanti, 2007). Provinsi Riau di Indonesia merupakan salah satu provinsi yang sering mengalami kebakaran lahan gambut selama musim kemarau (Fujii *et al.*, 2014).

Kebakaran lahan gambut di Riau sebagian besar merupakan kebakaran permukaan (*surface fires*) dan kebakaran dalam (*smouldering fires*) (Albar, 2014). Reaksi pembakaran pada fase *smouldering* berlangsung tidak sempurna. Kebakaran dalam fase tersebut mengemisikan gas dalam jumlah yang lebih banyak dibandingkan dengan fase flaming, contohnya VOCs (*Volatile Organic Compounds*), CO dan PAH (*Polycyclic Aromatic Hydrocarbon*). Studi lapangan dari biomassa natural pada savana tropis oleh Bertschi *et al.* (2003) menunjukkan bahwa fase *smouldering* melepaskan rata-rata 130 % lebih banyak CO dan 670 % lebih banyak *hydrocarbon*, tapi 15 % lebih sedikit CO<sub>2</sub> dan tanpa NO<sub>x</sub> jika dibandingkan dengan fase *flaming* (Rein, 2009b).

*Volatile organic compounds* (VOCs) berarti setiap senyawa karbon, kecuali karbon monoksida, karbon dioksida, asam karbonik, karbid metalik atau karbonat dan karbonat amonium, yang berpartisipasi dalam reaksi fotokimia (USEPA, 2009). VOCs dapat berkombinasi dengan nitrogen oksida (NO) untuk mengubah sinar matahari dalam serangkaian reaksi kimia menjadi polutan sekunder yaitu Ozon (O<sub>3</sub>) yang terbentuk di permukaan tanah. Ozon, bahkan dalam jumlah kecil, dapat mengurangi atau bahkan menghentikan pertumbuhan tanaman dengan mengurangi fotosintesis. VOCs bersamaan dengan nitrogen oksida (NO) juga dapat membentuk kabut fotokimia jika bereaksi dengan sinar matahari. Kabut fotokimia memiliki efek terhadap lingkungan, kesehatan masyarakat dan bahkan pada berbagai material. Efek utama dari kabut fotokimia yang terlihat adalah kabut berwarna coklat yang dapat dilihat pada berbagai kota. Warna coklat tersebut disebabkan oleh partikel cair dan padat yang sangat kecil yang menghamburkan cahaya (USEPA, 2004).

Data eksisting mengenai VOCs dari asap kebakaran lahan gambut khususnya dalam fase *smouldering* di Indonesia masih terbatas. Maka, tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengidentifikasi VOCs yang terdapat pada asap kebakaran lahan gambut fase *smouldering* di Desa Langkai Kabupaten Siak dan Desa Rimbo Panjang Kabupaten Kampar Provinsi Riau;
2. Menganalisis karakteristik VOCs pada emisi kebakaran lahan gambut di Desa Langkai Kabupaten Siak dan Desa Rimbo Panjang Kabupaten Kampar Provinsi Riau pada saat terjadi kebakaran dan tidak terjadi kebakaran (fase *smouldering*);
3. Menganalisis karakteristik VOCs pada emisi kebakaran lahan gambut di Desa Langkai Kabupaten Siak dan Desa Rimbo Panjang Kabupaten Kampar Provinsi Riau jika dibandingkan dengan baku mutu dan perkiraan dampaknya terhadap kesehatan.
4. Memberikan rekomendasi pencegahan kebakaran lahan gambut di Desa Langkai Kabupaten Siak dan Desa Rimbo Panjang Kabupaten Kampar Provinsi Riau.

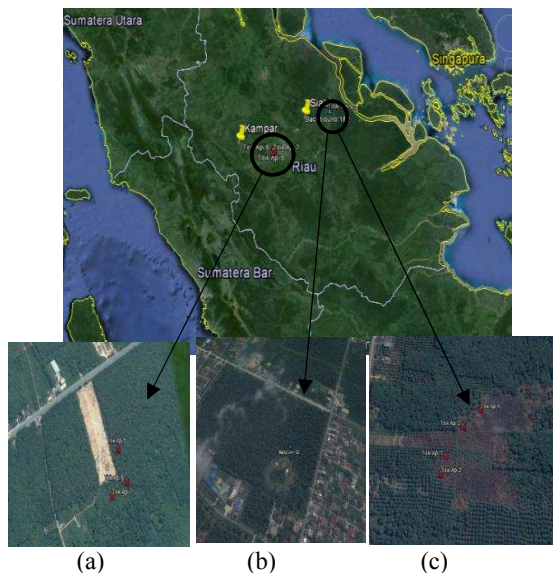
Hasil dari penelitian ini akan memberikan informasi yang berguna untuk mengevaluasi kontribusi emisi kebakaran lahan gambut di Provinsi Riau terhadap kualitas udara di Indonesia maupun Asia Tenggara dan dapat dijadikan acuan dalam pembuatan rekomendasi pencegahan kebakaran lahan gambut dimasa depan.

## METODOLOGI PENELITIAN

### Identifikasi Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi sampling asap kebakaran lahan gambut secara garis besar dibagi menjadi dua yaitu Kabupaten Siak dan Kabupaten Kampar, Provinsi Riau, dari kedua lokasi tersebut terdapat delapan titik sampling.

Lokasi sampling VOCs yang pertama terletak di Desa Langkai, Kabupaten Siak. Lokasi sampling berupa area perkebunan kelapa sawit di atas lahan gambut seluas 6 hektar yang terbakar. Titik sampling dilokasi ini dibagi menjadi 4 titik yaitu Titik Api 1 (0°53'31,31"U 102° 1'57,00"T); Titik Api 2 (0°53'30,00"U 102° 1'56,48"T); Titik Api 3 (0°53'33,75"U 102° 1'58,85"T); dan Titik Api 4 (0°53'35,23"U 102° 2'0,80"T).



Keterangan: a) Desa Rimbo Panjang, Kab. Kampar  
b) Desa Kampung Dalam, Kab. Siak  
c) Desa Langkai, Kab. Siak

**Gambar 1 Lokasi Penelitian**

Lokasi kedua berada di Desa Rimbo Panjang, Kabupaten Kampar. Lokasi ini berupa area lahan terbuka yang belum digunakan (semak belukar/*bush*), pohon tumbang, tanah gambut seluas ~3 hektar. Titik sampling di lokasi ini terbagi menjadi tiga yaitu Titik Api 5 ( $0^{\circ}25'31.87''U$   $101^{\circ}18'4.85''T$ ); Titik Api 6 ( $0^{\circ}25'28.26''U$   $101^{\circ}18'5.96''T$ ); dan Titik Api 7 ( $0^{\circ}25'26.77''U$   $101^{\circ}18'3.34''T$ ).

Lokasi sampling ketiga berada di Desa Kampung Dalam, Kabupaten Siak ( $0^{\circ}48'14.10''U$   $102^{\circ}3'12.24''T$ ). Lokasi ini diambil sebagai lokasi *background* dalam penelitian ini. Letaknya > 10 km dari sumber kebakaran lahan sehingga terbebas dari asap kebakaran.

Waktu penelitian secara umum berlangsung dari tanggal 2 Juli-12 Juli 2015. Pengambilan sampel titik api dilakukan sebanyak satu-dua kali sehari dan waktu mulai sampling bergantung pada waktu terjadinya kebakaran dan waktu tiba di lokasi kebakaran (secara umum terbagi menjadi tiga yaitu pukul 07:00-09:00 WIB; 12:00-15:00 WIB dan 16:00-19:00 WIB). Total sampel yang terkumpul adalah 12 buah terdiri dari 8 sampel titik api, 2 sampel *background* dan 2 sampel *field blank*.

### Metode Sampling

Sampling VOCs yang dilakukan pada penelitian ini merupakan sampling lapangan secara langsung di dekat (< 10 meter) sumber emisi kebakaran lahan gambut fase *smouldering*. Sampling VOCs pada asap kebakaran lahan gambut (*smouldering fire*) dilakukan dengan mengacu pada standar pengukuran VOCs dari NIOSH (NIOSH 1500) dan EPA TO-17 (Srivastava, 2011). Sampling dilakukan menggunakan alat pengukuran khusus yaitu berupa tabung charcoal

(adsorben) Anasorb® dari SKC Inc, USA dan *mini pump sampler* (SKC Inc, USA). *Flowrate* pompa diatur pada 40 ml/menit secara konstan, durasi sampling yaitu 180 menit untuk setiap sampel dan ketinggian alat  $\pm 1,5$  m dari permukaan tanah. Sampel yang telah terkumpul disimpan terlebih dahulu di dalam referigator dengan suhu  $\pm 0^{\circ}C$  sebelum dibawa ke laboratorium untuk dianalisis.

### Metode Analisis

Semua sampel *charcoal tubes* dan larutan standar harus dipanaskan terlebih dahulu pada suhu ruangan sebelum dilakukan ekstraksi dan analisis. Kedua bagian ujung tabung charcoal dipecahkan untuk diekstraksi. Ekstraksi dilakukan dengan cara mengeluarkan isi sorben yang berupa activated charcoal dan meletakkannya pada vial 5 ml kemudian ditambahkan 2 ml larutan karbon disulfida ( $CS_2$ ) pada setiap vial. Kemudian ditutup dengan menggunakan penutup khusus (Teflon®) dan dikocok selama 2 menit setelah itu dibiarkan selama 30 menit untuk proses agitasi. Sampel yang telah didesorb kemudian dianalisis menggunakan *GC-MS Agilent Technologies 6890 Gas Chromatograph with Auto Sampler and 5975N Mass Selective Detector* dan *Chemstation data system*. Sebelum digunakan, alat GC-MS dikondisikan terlebih dahulu seperti sebagai berikut : Mode ionisasi : *Electron impact*; *Electron energy* : 70 eV; Kolom GC : HP 5 MS kolom kapiler, panjang 30 meter, diameter 0,25 mm ketebalan 0,25  $\mu m$ ; Temperatur oven : 60-260  $^{\circ}C$ ; Temperatur port injeksi : 250 $^{\circ}C$ ; Temperatur sumber ion : 230 $^{\circ}C$ ; Temperatur interface : 280 $^{\circ}C$ ; Temperatur quadropole : 140 $^{\circ}C$ ; Gas pembawa : Helium; Volume injeksi : 1 $\mu L$ . Spektrum massa dan total kromatogram ion diperoleh dengan pemindaian otomatis range massa ( $m/z$ ) dari 45-400. Komponen organik diidentifikasi dengan membandingkan spektrum massa yang muncul dengan spektrum yang tersedia di database spektrum NIST (National Institute of Standards and Technology) *Mass Spectral Data Library*. Komposisi VOCs dalam sampel dilaporkan dalam bentuk sebagai persentase luas relatif (*peak area*).

### Teknik Analisis Data

#### Perhitungan Prediksi Konsentrasi

Perkiraan konsentrasi total VOCs didasarkan terhadap perbandingan luas lahan terbakar dalam penelitian ini dengan penelitian lain yang sejenis.

$$\frac{\text{Konsentrasi VOCs pada penelitian lain}}{\text{Luas Lahan terbakar pada penelitian lain}} = \frac{\text{Konsentrasi VOCs pada penelitian ini}}{\text{Luas Lahan terbakar pada penelitian ini}} \dots\dots\dots(1)$$

#### Perhitungan Dispersi Polutan

Dispersi konsentrasi polutan pada jarak tertentu searah dengan arah angin dihitung menggunakan Software SCREEN3 dengan prinsip perhitungan Persamaan Gauss sumber area (*area sources*) seperti di bawah :



$$C = \frac{Q_A K}{2\pi u} \int_x \frac{V}{\sigma_y \sigma_z} \left( \int_y \exp \left[ -0,5 \left( \frac{y}{\sigma_y} \right)^2 \right] dy \right) dx \dots \dots \dots (2)$$

dimana:

$Q_A$  = laju emisi pada sumber area (massa per satuan luas per satuan waktu)

$K$  = skala koefisien untuk mengonversi konsentrasi ke satuan yang diinginkan (nilai default:  $1 \times 10^6$  untuk  $Q_A$  dalam  $g.m^{-1}.s^{-2}$  dan konsentrasi dalam  $g.m^{-3}$ )

$V$  = jangka vertikal yang menyumbang distribusi vertikal dari *gaussian plume*, termasuk dampak dari sumber elevasi, ketinggian reseptor, dan batas pencampuran pada arah vertikal

$\sigma_y, \sigma_z$  = Standar deviasi distribusi konsentrasi ( $C$ ) pada arah  $x$  dan  $y$  (meter)

$x$  = jarak sumber dengan reseptor (meter)

$u$  = Kecepatan angin pada ketinggian yang diinginkan

$U_0$  = kecepatan angin pada ketinggian anemometer

### Perhitungan Emisi dari Lahan Terbakar

Emisi dari lahan terbakar dihitung berdasarkan persamaan yang ditetapkan oleh U.S. EPA (1995) :

$$E_i = P_i \times L \times A \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan :

$E_i$  = 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

### Analisis Paparan (*Exposure Assessment*)

Rumus perhitungan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$I_{nk} = \frac{C \times R \times t_E \times f_E \times D_t}{W_b \times t_{avg}} \dots \dots \dots (4)$$

### Karakterisasi Risiko (*Risk Characterization*)

Tingkat risiko untuk efek karsinogenik dinyatakan dalam notasi *Excess Cancer Risk* (ECR). Untuk melakukan karakterisasi risiko untuk efek karsinogenik dilakukan perhitungan dengan mengalikan intake dengan SF. Rumus untuk menentukan ECR adalah sebagai berikut :

$$ECR = I \times SF \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan :

$I$  = Intake efek karsinogenik (mg/kg.hari)

SF = Slope Factor; Nilai referensi agen risiko dengan efek karsinogenik

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Identifikasi VOCs

Persentase VOCs didapatkan berdasarkan kromatogram dari alat *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* yang digunakan untuk mengidentifikasi VOCs pada sampel tabung charcoal.

### Sampel Background

Sampling background dilakukan dua kali pada lokasi yang sama di Desa Kampung Dalam, Kecamatan Siak, Kabupaten Siak. Senyawa VOCs

Benzene dan Phenanthrene teridentifikasi dari total dua sampel yang terkumpul. Persentase senyawa Benzene dan Phenanthrene pada sampel background yang pertama sebesar 1,15 % dan yang kedua sebesar 0,38 %. Persentase senyawa Benzene pada sampel background kedua yaitu sebesar 1,05 %. Senyawa Phenanthrene tidak terdeteksi pada sampel background yang kedua.

Benzene merupakan senyawa *aromatic hydrocarbon* dan *Phenanthrene* merupakan senyawa PAH (*Polycyclic Aromatic Hydrocarbon*). Teridentifikasinya dua senyawa tersebut pada sampel background menunjukkan terdapat sumber emisi lain selain kebakaran lahan gambut. Menurut Kallenborn et al. (2011) kedua senyawa tersebut juga banyak bersumber dari emisi kendaraan. Hal tersebut dimungkinkan terjadi karena lokasi sampling background berada tidak jauh dari pemukiman (~1 km) yang banyak dilalui kendaraan bermotor.

### Sampel Field Blank

Sampel *field blank* diambil dengan cara memecahkan kedua ujung tabung charcoal di lokasi sampling namun segera ditutup kembali menggunakan penutup khusus tabung charcoal dari SKC Inc, USA. Kemudian selebihnya sampel *field blank* tersebut diperlakukan sama dengan sampel-sampel titik api dan *background* yaitu disimpan di dalam refrigerator bersuhu kurang lebih 0° C sebelum dikirim ke laboratorium untuk dianalisis. Jumlah sampel *field blank* pada penelitian ini adalah dua buah yang masing-masing diambil di titik sampling di Desa Langkai Kabupaten Siak dan Desa Rimbo Panjang Kabupaten Kampar. Pada kedua sampel *field blank* tersebut masing-masing terdeteksi senyawa Benzene dengan Persentase 0,67 % di Desa Langkai Kabupaten Siak dan 0,20 % di Desa Rimbo Panjang Kabupaten Kampar. Hal tersebut menunjukkan bahwa senyawa Benzene pada sampel tersebut merupakan kontaminan pada tabung charcoal. Namun Persentase Benzene pada sampel *field blank* tersebut masih di bawah Persentase Benzene dari sampel titik api maupun background sehingga tidak terjadi *underestimate* pada sampling titik api maupun *background*.

### Sampel Titik Api

22 VOCs berhasil diidentifikasi dari 4 sampel (sampel 1-4) titik api di Desa Langkai Kabupaten Siak dan 4 sampel (sampel 5-8) di Desa Rimbo Panjang Kabupaten Kampar. Dari hasil identifikasi tersebut terdapat beberapa VOCs yang belum pernah teridentifikasi sebelumnya pada penelitian terdahulu dari Christian et al., (2003), Inuma et al., (2007) dan Hatch et al., (2015) yaitu Hydrazine Benzene, 1-Propanethiol, Cholestadiene, Cholesteryl Butyrate, Cholesteryl Benzoate, 2-Ethyl Nitrobenzene, 1,2,3-Benzotriazin-4(3H)-One, Nonadecane, Hexacosane, 2-Ethylacridine, Cholesterol Acetate, 2-Nitrobenzaldehyde, 2-Pyridinepropanoic Acid, 4-Nitrobenzohydrazide dan Cholesteryl Caprate.



VOCs yang teridentifikasi dari 8 sampel titik api di Desa Langkai Kabupaten Siak dan desa Rimbo Panjang Kabupaten Kampar diklasifikasikan menjadi 4 grup VOCs berdasarkan kesamaan unsur penyusun senyawa tersebut untuk mempermudah dalam menganalisis karakteristiknya (Conley, 2004).

#### Analisis Karakteristik Sumber Grup VOCs

Rata-rata persentase setiap grup VOCs di Kabupaten Siak dan Kabupaten Kampar dihitung berdasarkan persentase VOCs pada setiap sampel dan hasilnya dapat dilihat pada tabel 1. Dari data rata-rata persentase tersebut kemudian dilakukan uji normalitas untuk mengetahui distribusi data dan jenis uji yang akan digunakan selanjutnya. Jika hasil uji normalitas menunjukkan bahwa data berdistribusi normal maka analisis data selanjutnya menggunakan statistik parametrik, namun jika data diketahui berdistribusi tidak normal maka analisis selanjutnya digunakan uji-uji untuk statistik non parametrik.

**Tabel 1**  
**Rata-Rata Persentase Grup VOCs di Kabupaten Siak dan Kampar**

Grup VOCs	Rata-rata Presentase (%)		
	Sampel 1-4 (Kab, Siak)	Sampel 5-8 (Kab, Kampar)	Background 1-2
Hydrocarbon	7,44	9,29	1,29
Nitrogen-containing	42,10	0,45	0,00
Oxygen-containing	3,93	11,45	0,00
Sulfur-containing	7,59	0,00	0,00

Hasil uji normalitas menunjukkan bahwa terdapat 3 grup VOCs yang distribusi data rata-rata persentasenya normal yaitu Grup VOCs Hidrokarbon dan VOCs mengandung Sulfur di Kabupaten Siak serta Grup VOCs mengandung Nitrogen di Kabupaten Kampar (Nilai *significant* < 0,05), sedangkan 4 grup VOCs lainnya berdistribusi tidak normal (Nilai *significant*  $\geq$  0,05). Oleh karena itu, dalam penelitian ini semua datanya diasumsikan berdistribusi tidak normal sehingga dalam analisis selanjutnya menggunakan statistik non-parametrik.

#### VOCs Hidrokarbon

Rata-rata Persentase VOCs Hidrokarbon dari 4 sampel di lokasi sampling Desa Langkai Kabupaten Siak (7,44 %) lebih rendah jika dibandingkan dengan rata-rata persentase VOCs Hidrokarbon dari 4 sampel di Desa Rimbo Panjang Kabupaten Kampar (9,29 %) namun perbedaan Persentase tersebut tidak terjadi secara signifikan berdasarkan hasil Uji Mann Whitney ( $p=0,386 > 0,05$ ). *Hydrocarbon* yang teridentifikasi terbagi menjadi tiga berdasarkan grup fungsionalnya yaitu senyawa-senyawa Alkanes, *Aromatic Hydrocarbon* dan Cholestane. Senyawa yang termasuk dalam golongan alkanes dalam penelitian ini yaitu Eicosane, Octadecane, Heptadecane,

Hexadecane, Nonadecane, Hexacosane dan Pentadecane.

Menurut Fujii *et al.* (2014) senyawa alkanes merupakan senyawa yang berasal dari sumber biogenik dan antropogenik. Sumber antropogenik senyawa alkanes yaitu pembakaran tidak sempurna bahan bakar minyak dan pembakaran biomassa. Sedangkan sumber alami utama senyawa alkanes yaitu suspensi serbuk sari, pelapukan tanaman dan degradasi mikroba. Dalam penelitian ini, senyawa alkanes hanya teridentifikasi pada sampel dari lokasi sampling di Kabupaten Siak. Senyawa alkanes yang teridentifikasi mempunyai range rantai karbon yang panjang ( $C_{15}-C_{28}$ ) dengan  $C_{15}$  (Pentadecane) sebagai senyawa yang paling dominan (0,58 %). Menurut hasil penelitian Abas *et al.* (2004) senyawa alkanes dengan range karbon panjang merupakan karakteristik dari sumber biogenik (*higher plant wax*). Ketidakhadiran senyawa alkanes dengan rantai karbon di bawah  $C_{15}$  bisa disebabkan oleh terjadinya penguapan terlebih dahulu sebelum dianalisis dikarenakan suhu pada zona tropis.

Senyawa Cholestadiene merupakan senyawa yang baru teridentifikasi dari kebakaran lahan gambut di Indonesia jika dibandingkan dengan penelitian dari Christian *et al.*, (2003), Inuma *et al.*, (2007) dan Hatch *et al.*, (2015). Cholestadiene teridentifikasi secara konsisten dalam sampel titik api Kabupaten Siak dan Kabupaten Kampar dengan rata-rata persentase sebesar 6,03 % dan 8,95 %. Temuan tersebut menambah data baru VOCs yang diemisikan kebakaran lahan gambut fase pembaraan (*smouldering fire*) di Indonesia khususnya di Riau, Sumatera.

Pada penelitian ini hanya teridentifikasi satu senyawa *aromatic hydrocarbon* dari semua sampel titik api yaitu senyawa Benzene. Persentase senyawa Benzene yang terdeteksi dari sampel titik api Desa Langkai Kabupaten Siak sebesar 0,54 %, dan di Desa Rimbo Panjang Kabupaten Kampar sebesar 0,34 %. Rendahnya senyawa *aromatic hydrocarbon* yang teridentifikasi dikarenakan kebakaran dalam fase pembaraan (*smouldering fire*). Sedangkan menurut Koppmann *et al.* (2005) senyawa *aromatic hydrocarbon* ( $<C_6$ ) banyak diemisikan ketika fase kebakaran menyala (*flaming*). Hal tersebut dikarenakan pada tahap *flaming* material organik yang terbakar masih dalam jumlah yang melimpah jika dibandingkan dengan fase *smouldering*. Material organik diketahui mengandung senyawa dengan tingkat volatilitas yang tinggi dalam jumlah besar.

#### VOCs mengandung Nitrogen

Rata-rata Persentase VOCs mengandung Nitrogen VOCs dari 4 sampel di lokasi sampling desa Langkai Kabupaten Siak (42,09 %) lebih tinggi secara signifikan berdasarkan hasil Uji Mann Whitney ( $p=0,007 < 0,05$ ) jika dibandingkan dengan rata-rata Persentase VOCs mengandung Nitrogen VOCs dari 4 sampel di Desa Rimbo Panjang Kabupaten Kampar yang hanya 0,45 %.

Senyawa VOCs mengandung Nitrogen konsisten teridentifikasi di kedua lokasi sampling yaitu Desa Langkai Kabupaten Siak dan Desa Rimbo Panjang Kabupaten Kampar. Namun, terdapat perbedaan persentase (%) yang jauh yaitu 42,10 % di Kabupaten Siak dan 0,45 % di Kabupaten Kampar. Senyawa Hydrazinebenzene dengan rata-rata Persentase 30,52 % dari sampel Kabupaten Siak menjadi senyawa VOCs mengandung Nitrogen yang paling dominan di Desa Langkai Kabupaten Siak, sedangkan senyawa 4-Nitrobenzohydrazide dengan rata-rata Persentase 0,45 % menjadi satu-satunya senyawa VOCs mengandung Nitrogen yang terdeteksi di Desa Rimbo Panjang Kabupaten Kampar.

Perbedaan besar rata-rata persentase senyawa Nitrogen-containing di Desa Langkai Kabupaten Kampar dan Desa Rimbo Panjang Kabupaten Kampar yang signifikan disebabkan oleh perbedaan kondisi lahan yang terbakar. Titik api di Desa Langkai merupakan lahan gambut seluas ~6 hektar yang sudah dijadikan perkebunan kelapa sawit. Sedangkan titik api di Desa Rimbo Panjang hanya seluas ~3 hektar dan masih berupa lahan gambut kosong yang dipenuhi pohon tumbang dan semak-semak (*bush*).

Perubahan peruntukan lahan tersebut diperkirakan membuat emisi senyawa VOCs mengandung Nitrogen di Desa Langkai Kabupaten Siak menjadi tinggi. Hal tersebut sejalan dengan informasi dari penanam kelapa sawit yang menyebutkan bahwa pupuk yang dipakai untuk kelapa sawit pada lahan terbakar tersebut adalah Pupuk Urea yang mempunyai kandungan unsur Nitrogen sebesar 42-46 % per kilogramnya. Lahan terbakar yang sudah ditanami kelapa sawit tersebut diperkirakan seluas 6 hektar dengan jumlah pohon sawit 140 pohon per hektarnya, dosis pemupukan pada kelapa sawit di lahan terbakar tersebut adalah 1 kg pupuk urea per pohon dengan intensitas pemupukan dua kali per tahun. Pemupukan dilakukan dengan cara disebar atau langsung ditabur di atas tanah dengan jarak 0,5 meter dari pohon secara melingkar dan dimasukkan dalam tanah dalam bentuk cairan. Jadi, diperkirakan pada lahan tersebut mengandung 1.680 kg pupuk urea setiap tahunnya. Menurut Hewitt *et al.* (2009) perubahan peruntukan lahan dari lahan gambut menjadi perkebunan kelapa sawit telah meningkatkan emisi nitrogen hingga 2,5 kali. Hal tersebut dikarenakan pada perkebunan kelapa sawit terdapat aktivitas agro-industri seperti pemberian pupuk (yang banyak mengandung nitrogen) pada tanah untuk meningkatkan kesuburan. Senyawa organik yang mengandung nitrogen diketahui mempunyai peran yang penting dalam pembentukan partikel baru (Stockwell *et al.*, 2015).

#### VOCs mengandung Oksigen

Rata-rata Persentase VOCs mengandung Oksigen dari 4 sampel di lokasi sampling desa Langkai Kabupaten Siak (3,93 %) lebih rendah namun tidak secara signifikan berdasarkan hasil Uji Mann Whitney ( $p = 0,248 > 0,05$ ) jika dibandingkan dengan rata-rata

Persentase VOCs mengandung Oksigen dari 4 sampel di Desa Rimbo Panjang Kabupaten Kampar (11,45 %). Senyawa VOCs mengandung Oksigen yang teridentifikasi pada penelitian ini terbagi menjadi dua secara garis besar yaitu Ethyl Acetate (*acetic acid*) dan senyawa turunan dari kolesterol. Senyawa turunan kolesterol yaitu Cholesteryl Butyrate teridentifikasi sebagai senyawa oxygenated paling dominan pada sampel titik api di Kabupaten Siak dan Kampar dengan rata-rata Persentase sebesar 2,06 % dan 7,74 %.

Teridentifikasinya senyawa Ethyl Acetate (*Acetic Acid*) dalam penelitian ini konsisten dengan beberapa penelitian sejenis sebelumnya dari Christian *et al.* (2003) dan Yokelson *et al.* (2003). Bahkan pada penelitian Yokelson *et al.* (2003) Acetic Acid menjadi senyawa yang paling melimpah yang diemisikan oleh pembakaran biomassa pada fase pembaraan (*smouldering fire*). Teridentifikasinya senyawa turunan kolesterol menunjukkan bahwa lahan yang terbakar lebih banyak mengandung organisme karena menurut Lee *et al.* (2005) kolesterol merupakan senyawa penanda dari tanah yang mengandung organisme.

#### VOCs mengandung Sulfur

Rata-rata persentase VOCs mengandung Sulfur VOCs yang teridentifikasi dari Kabupaten Siak dibandingkan dengan di Kabupaten Kampar menggunakan Uji Mann-Whitney untuk mengetahui apakah terjadi perbedaan yang signifikan antara kedua variabel independen tersebut. Hasil Uji Mann-Whitney antara persentase VOCs mengandung Sulfur di Kab. Siak dan Kampar adalah  $p = 0,317 > 0,05$  yang artinya tidak terdapat perbedaan yang signifikan.

Emisi sulfur penting untuk diketahui terkait dengan kontribusinya terhadap pembentukan aerosol. Pada penelitian ini, hanya teridentifikasi satu VOCs yang mengandung sulfur yaitu senyawa 1-Prophanethiol dari Kabupaten Siak dengan persentase sebesar 7,59 %. Hal tersebut menurut Allen dan Dennis (2000) dapat disebabkan oleh sebagian besar tumbuhan atau biomassa termasuk gambut hanya mengandung sedikit elemen sulfur, sehingga sulit untuk mengukur emisi sulfur dari pembakaran biomassa. Senyawa 1-Prophanethiol teridentifikasi pada sampel nomor 1 yang diambil di Kabupaten Siak, dimana pada saat pengambilan sampel tersebut kebakaran baru terjadi sehingga dimungkinkan masih ada senyawa mengandung sulfur yang tertangkap.

#### Prediksi Konsentrasi VOCs dan Dampak Kesehatan

Konsentrasi TVOCs dan VOCs diperoleh melalui pendekatan perbandingan luas lahan terbakar pada penelitian ini dengan penelitian lain yang sejenis. Hal tersebut dikarenakan keterbatasan perangkat analisis di laboratorium. Konsentrasi TVOCs dihitung menggunakan persamaan 1. Nilai variabel konsentrasi TVOCs dan luas lahan terbakar pada penelitian lain



dalam persamaan 1 diambil dari penelitian Romagnoli *et al.* (2014).

**Tabel 2**  
**Hasil Perhitungan Konsentrasi TVOCs**

Nomor Sampel	Luas Lahan Terbakar (hektar)	Total VOCs (mg/m <sup>3</sup> )	Dasar Perhitungan
Sampel 1	6,0	391,88	Dari luas lahan terbakar sebesar 4,46 hektar, konsentrasi TVOCs yang terukur 291,3 mg/m <sup>3</sup> (Romagnoli <i>et al.</i> , 2014)
Sampel 2	6,0	391,88	
Sampel 3	5,0	326,57	
Sampel 4	3,0	195,94	
Sampel 5	3,0	195,94	
Sampel 6	2,0	130,63	
Sampel 7	1,0	65,31	
Sampel 8	1,0	65,31	

Setelah konsentrasi TVOCs dari setiap sampel diketahui maka dapat dihitung juga konsentrasi VOCs pada setiap sampel berdasarkan data persentase kromatogram setiap VOCs yang diperoleh dari analisis di laboratorium. Persentase kromatogram setiap VOCs merepresentasikan bagian VOCs tersebut dari TVOCs. Oleh karena itu, untuk mengetahui konsentrasi setiap VOCs dapat dilakukan dengan cara mengalikan persentase kromatogram VOCs terhadap TVOCs pada sampel yang sama.

Hasilnya hanya terdapat 8 dari 22 VOCs yang baku mutunya telah ditetapkan oleh OSHA. 8 VOCs tersebut yaitu senyawa Hydrazinebenzene, Eicosane, Octadecane, Cholestadiene, Cholesterol Acetate, Ethyl Acetate, Benzene dan 2-Nitrobenzaldehyde. Terdapat 3 VOCs di Kabupaten Siak yang konsentrasinya melebihi baku mutu yaitu senyawa Benzene, Hydrazinebenzene dan Cholestadiene. Sedangkan di Kabupaten Kampar terdapat dua VOCs yang konsentrasinya melebihi baku mutu yaitu Benzene dan Cholestadiene.

Senyawa Benzene diketahui sebagai human carcinogen. Rata-rata konsentrasinya dalam penelitian ini sebesar 8,88 mg/m<sup>3</sup> di Kabupaten Siak dan 2,74 mg/m<sup>3</sup>. Konsentrasi tersebut telah melebihi PEL menurut OSHA yaitu sebesar 0,32 mg/m<sup>3</sup>. Pemaparan senyawa Benzene secara terus menerus dalam waktu lebih dari 8 jam dengan konsentrasi diatas baku mutu dapat menyebabkan gangguan syaraf, mual, pusing dan pingsan. Rata-rata konsentrasi senyawa Hydrazinebenzene dalam penelitian ini yaitu sebesar 119,6 mg/m<sup>3</sup> di Kabupaten Siak dengan PEL menurut OSHA sebesar 22,11 mg/m<sup>3</sup>.

Senyawa Hydrazinebenzene menjadi VOCs paling dominan dalam penelitian ini berdasarkan hasil perhitungan prediksi konsentrasi. Efek pemaparan dari senyawa Hydrazinebenzene selama lebih dari 8 jam dengan konsentrasi diatas baku mutu secara terus menerus dapat menyebabkan kerusakan sel darah merah pada manusia dan kematian pada binatang.

Sedangkan rata-rata konsentrasi senyawa Cholestadiene dalam penelitian ini yaitu sebesar 41,15 mg/m<sup>3</sup> di Kabupaten Siak dan 44,23 mg/m<sup>3</sup> di

Kabupaten Kampar dengan PEL menurut OSHA sebesar 15 mg/m<sup>3</sup>. Cholestadiene diketahui sebagai turunan dari senyawa Cholesterol yang merupakan lemak jahat bagi tubuh manusia. Pemaparan secara terus menerus dengan konsentrasi diatas baku mutu dalam durasi lebih dari 8 jam dapat memicu gangguan fungsi syaraf dan kenaikan tekanan darah pada manusia dan kematian pada binatang (WHO, 2000).

### Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan VOCs dalam Asap Kebakaran Lahan Gambut

Analisis risiko yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu ARKL diatas meja (*desktop*). ARKL diatas meja tidak menggunakan data lapangan tetapi menggunakan nilai-nilai default, rekomendasi dan/atau asumsi.

#### Perkiraan Dosis Intake

Contoh perhitungan untuk besarnya intake senyawa Benzene ke dalam tubuh manusia di Desa Langkai Kabupaten Siak adalah sebagai berikut:

- C : 8,88 mg/m<sup>3</sup>
- R : 0,8 m<sup>3</sup>/jam (laju inhalasi *default* menurut Kemenkes RI, 2005)
- t<sub>E</sub> : 8 jam/hari (waktu paparan *default* menurut Kemenkes RI, 2005)
- f<sub>E</sub> : 350 hari/tahun (waktu frekuensi *default* menurut Kemenkes RI, 2005)
- D<sub>t</sub> : 30 tahun (waktu durasi pemaparan *default* menurut Kemenkes RI, 2005)
- W<sub>b</sub> : 55 kg (berat badan dewasa *default* menurut Kemenkes RI, 2005)
- t<sub>avg</sub> : 70 tahun x 365 hari/tahun = 25.550 hari (efek karsinogenik; Kemenkes RI, 2005)

$$= \frac{8,88 \text{ mg/m}^3 \times 0,83 \text{ m}^3/\text{jam} \times 24 \text{ jam/hari} \times 350 \text{ hari/tahun} \times 30 \text{ tahun}}{55 \text{ kg} \times 25550 \text{ hari}}$$

$$I = 1,32 \text{ mg/kg.hari}$$

Hasil perhitungan intake secara lebih rinci dapat dilihat pada tabel 3.

**Tabel 3**  
**Nilai Intake**

Tempat	Senyawa	Nilai Intake (mg/kg.hari)
Desa Langkai	Benzene	1,32
Kabupaten Siak	Hydrazine Benzene	17,80
Desa Rimbo Panjang	Benzene	0,41
Kabupaten Kampar	Hydrazine Benzene	-

#### Penilaian Dosis Respon (*Toxicity Assessment*)

Nilai *cancer slope factor* untuk senyawa Benzene menurut OEHHA (2001a) adalah 0,1 mg/kg.hari dan senyawa Hydrazinebenzene menurut OEHHA (2001b) adalah 0,68 mg/kg.hari. *Cancer slope factor* tersebut yang akan digunakan untuk perhitungan perkiraan risiko di tahap karakteristik risiko.

#### Karakterisasi Risiko (*Risk Quotient*)

Menurut IARC (2015) Senyawa Benzene dan Hydrazinebenzene bersifat karsinogen. Jika seseorang terpapar dalam jangka waktu yang lama secara terus menerus dapat menyebabkan penyakit kanker. Berdasarkan sifat karsinogenik dapat dihitung besarnya risiko untuk pencemaran Benzene bagi responden terpapar dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{CSF Benzene} &= 0,1 \text{ mg/kg.hari} \\ \text{Intake Benzene di Kabupaten Siak} &= 1,32 \text{ mg/kg.hari} \\ \text{ECR} &= \text{CSF} \times \text{Intake} \\ &= 0,1 \text{ mg/kg.hari} \times 1,32 \text{ mg/kg.hari} \\ &= 0,132 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan karakterisasi risiko Benzene di Kabupaten Kampar dan Hydrazine Benzene di Kabupaten Siak dapat dilihat pada tabel 4 berikut.

**Tabel 4**  
**Nilai Karakterisasi Risiko**

Tempat	Senyawa	Nilai Karakterisasi Risiko	Tingkat Risiko
Desa Langkai Kabupaten Siak	Benzene	0,132	Tidak Aman
	Hydrazine Benzene	12,10	Tidak Aman
Desa Rimbo Panjang Kabupaten Kampar	Benzene	0,041	Tidak Aman
	Hydrazine Benzene	-	-

Tingkat risiko dinyatakan dalam bilangan eksponen tanpa satuan (contoh 0,132). Tingkat risiko dikatakan *acceptable* atau aman bilamana risiko  $\leq E-4$  ( $10^{-4}$ ) atau dinyatakan dengan risiko  $\leq 1/10.000$ . Tingkat risiko dikatakan *unacceptable* atau tidak aman bilamana risiko  $> E-4$  ( $10^{-4}$ ) atau dinyatakan dengan risiko  $> 1/10.000$ . Bila dilihat pada tabel 4.14 maka hasil tingkat risiko terlalu besar, hal tersebut dimungkinkan karena analisis risiko yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan data-data asumsi, sehingga kemungkinan hasilnya mengalami *overestimate*.

#### Prediksi Dampak *Smouldering Fire* terhadap Kerusakan Lingkungan

Pada penelitian ini juga dilakukan simulasi penyebaran asap kebakaran lahan gambut fase *smouldering* untuk mengetahui prediksi luas area yang terkena dampak asap kebakaran.

Beberapa asumsi digunakan dalam simulasi ini, yaitu :

1. Perkebunan kelapa sawit pada lahan gambut seluas 6 hektar ( $300 \times 200 \text{ m}^2$ ) yang terletak pada  $0^{\circ}53'31,31''\text{U}-102^{\circ}1'57,00''\text{T}$  (Desa Langkai, Kabupaten Siak) terbakar pada tanggal 2 Juli 2015 dan mengemisikan TVOCs;
2. Kebakaran yang terjadi diasumsikan dalam fase *smouldering*;
3. Medan sumber emisi hingga reseptor diasumsikan datar dan sederhana;
4. Dispersi dan konsentrasi TVOCs dari sumber emisi berupa area persegi panjang (perkebunan kelapa sawit) akan disimulasikan untuk periode rata-rata 1 jam menggunakan perangkat lunak SCREEN3, kemudian dikonversi menjadi rata-rata 24 jam menggunakan faktor perkalian dari

*Colorado Department of Public Health and Environment*;

5. Faktor meteorologi ditentukan berdasarkan opsi "*Full Meteorology*" pada perangkat lunak SCREEN3, artinya SCREEN3 akan meneliti berbagai kombinasi kelas stabilitas dan kecepatan angin untuk mengidentifikasi "kasus terburuk" dari kondisi meteorologi, yaitu kombinasi kecepatan angin dan stabilitas yang menghasilkan konsentrasi *ground-level* maksimum.

Parameter yang pertama dihitung sebagai data untuk diinput pada program SCREEN3 adalah emisi dari lahan yang terbakar dengan menggunakan persamaan 3. Rasio emisi untuk TVOCs pada kebakaran lahan tidak terkontrol menurut USEPA (1995a) adalah sebesar  $10,60 \text{ g/kg}$ . Sedangkan efisiensi pembakaran gambut pada fase *smouldering* menurut Rein (2013) adalah sebesar  $75 \text{ kg/m}^2$ .

Berdasarkan data tersebut dan persamaan 3, emisi TVOCs selama satu jam yang terhitung yaitu sebesar:

$$\begin{aligned} E_i &= 10,60 \text{ g/kg} \times 75 \text{ kg/m}^2 \times 60.000 \text{ m}^2 \\ E_i &= 47.700.000 \text{ g} = 0,2209 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \end{aligned}$$

Kemudian parameter lain yang harus ditentukan untuk memenuhi parameter yang dibutuhkan oleh perangkat lunak SCREEN3 yaitu ketinggian asap/emisi. Ketinggian asap ditentukan dengan menggunakan diagram korelasi antara suhu pembakaran dengan ketinggian yang dibuat oleh Mc Caffrey (1995).

Suhu pembakaran lahan gambut pada fase *smouldering* menurut Usup *et al.* (2014) adalah sebesar  $276,85 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , dengan demikian dapat diketahui ketinggian asap pada fase pembakaran *smouldering* dengan cara memplot data suhu pada diagram Mc Caffrey yaitu  $\pm 2,7$  meter. Dengan demikian, semua parameter yang diperlukan sebagai input pada perangkat lunak SCREEN3 untuk menyimulasikan dispersi dan konsentrasi TVOCs dari sumber area selama 1 jam terpenuhi. Hasil simulasi dispersi polutan dengan menggunakan perangkat lunak SCREEN3 dapat dilihat pada tabel 5.

**Tabel 5**  
**Hasil Simulasi Dispersi dan Konsentrasi TVOCs menggunakan Perangkat Lunak SCREEN3**

Jarak (m)	Rata-rata Konsentrasi 1 jam ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Rata-rata Konsentrasi 24 jam ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Kelas Stabilitas	Kecepatan Angin (m/s)	Mixing Height (m)	Ketinggian Asap (m)	Arah Angin (derajat)
5000	782000	117300	6	1	10000	2.7	0
10000	327500	49125	6	1	10000	2.7	0
15000	195300	29295	6	1	10000	2.7	0
20000	138700	20805	6	1	10000	2.7	0
50000	47540	7131	6	1	10000	2.7	0
100000	11140	1671	6	1	10000	2.7	0



Baku mutu untuk TVOCs berdasarkan AERIAS (2007) adalah sebesar  $3.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Pada tabel 4.15 dapat dilihat bahwa pada rata-rata konsentrasi 24 jam konsentrasi TVOCs memenuhi baku mutu pada jarak 15.000 m (15 km) dari sumber emisi. Sehingga dapat dikatakan bahwa daerah pada radius  $< 15$  km dari sumber kebakaran merupakan daerah yang mengalami kerusakan lingkungan berupa penurunan kualitas udara karena dampak dari emisi TVOCs yang tidak memenuhi baku mutu dari lahan kelapa sawit terbakar.

### Rekomendasi Pencegahan Kebakaran Lahan Gambut

Menurut Slamet (2008) aspek utama yang menyebabkan kebakaran lahan gambut adalah keluarnya air dari suatu sistem gambut, kemudian terjadi pengeringan dan penurunan kadar air yang pada akhirnya akan memudahkan gambut untuk terbakar. Selain itu kanal-kanal yang digali memberikan akses terhadap kawasan-kawasan gambut yang dulu tidak tersentuh. Meningkatnya akses manusia memungkinkan terjadinya kebakaran dan kegiatan pembalakan, yang akan mengganggu keseimbangan alami dari ekosistem rawa gambut.

### Strategi Pencegahan Kebakaran Lahan Gambut

Cara terbaik untuk mencegah kebakaran di lahan-lahan gambut adalah dengan cara mengkonservasi mereka dalam keadaan alaminya dan memberikan perhatian khusus terhadap aspek-aspek pengelolaan air yang baik, pemanfaatan lahan yang sesuai, dan pengelolaan hutan yang lestari. Artinya, drainase/pengeringan dan konversi kawasan rawa-gambut harus dicegah. Apabila gambut menjadi kering secara berlebihan, mereka akan kehilangan secara permanen sifat-sifat alaminya yang menyerupai spon dan tidak dapat direhabilitasi kembali. Dari aspek hidrologi hal ini bisa dilakukan dengan manajemen hidrologi yang baik.

### Manajemen Hidrologi Lahan Gambut dengan Cara Penyekatan Parit di Lahan Gambut (*Canal Blocking*)

Kerusakan tata air di lahan gambut sering kali ditimbulkan oleh adanya kegiatan-kegiatan manusia yang tidak terkendali dengan baik, seperti membangun parit dan saluran, menebang hutan, membakar ladang dan sebagainya. Dari berbagai jenis kegiatan ini, pembangunan parit dan saluran terbuka di lahan gambut (tanpa mempertahankan batas tertentu ketinggian air di dalam parit), apakah itu untuk mengangkut kayu (legal atau ilegal) hasil tebangan di dalam hutan ataupun untuk mengairi lahan-lahan pertanian dan perkebunan, diduga telah menyebabkan terkurasnya kandungan air di lahan gambut sehingga lahan menjadi kering dan mudah terbakar di musim kemarau. Kondisi demikian telah terbukti di berbagai lokasi lahan gambut Kalimantan Tengah dan Sumatera yang terbakar pada lokasi-lokasi yang ada parit dan salurannya.

Keberadaan parit dan saluran ini menyebabkan timbulnya drainase buatan yang tidak terkendali, sehingga air tanah yang ada pada lahan gambut secara cepat mengalir keluar, daya tampung air tanahnya menjadi kecil dan terjadi penurunan drastis terhadap tinggi muka air tanah. Kejadian ini kemudian akan diikuti oleh oksidasi gambut dan penyusutan/ambelasnya (*subsidence*) gambut. Keseluruhan kondisi ini pada akhirnya menyebabkan timbulnya perubahan terhadap tata air/hidrologi di lahan gambut.

Salah satu upaya untuk mengatasi hal tersebut adalah mengembalikan kondisi hidrologi ekosistem kawasan hutan dan lahan gambut melalui kegiatan penyekatan saluran (*canal blocking*). Dengan menyekat kembali saluran/parit yang ada dengan sistem blok/dam, maka diharapkan tinggi muka air dan retensi air di dalam parit dan di sekitar hutan dan lahan gambut dapat ditingkatkan sehingga dapat meminimalisasi terjadinya bahaya kebakaran dimusim kemarau dan memudahkan upaya rehabilitasi kawasan yang terdegradasi di sekitarnya.

Menurut Suryadiputra *et al.* (2005) prinsip pengaturan tinggi muka air tanah di lahan gambut adalah berdasarkan siklus hidrologi. Pada siklus hidrologi dikenal persamaan kesetimbangan air (*water balance*) yang dapat dituliskan sebagai berikut:

$$P = ET + RO + I \pm \Delta S$$

Dimana:

P = Curah hujan (mm/hari)

ET = Evapotranspirasi (mm/hari)

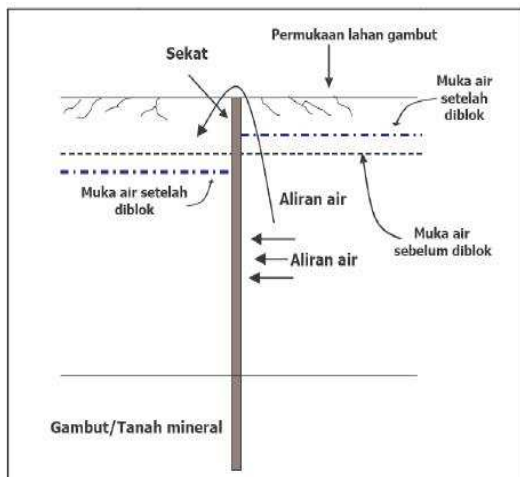
RO = Limpasan permukaan (mm/hari)

I = Infiltrasi (mm/hari)

$\Delta S$  = Perubahan daya tampung air tanah (mm/hari)

Dari persamaan di atas terlihat bahwa untuk mencegah penurunan muka air tanah (yang berarti mengecilnya nilai  $\Delta S$ ) sebagai akibat adanya perambahan hutan (membesarnya nilai ET) dan adanya parit dan saluran terbuka (membesarnya nilai RO), maka perlu dilakukan pengendalian terhadap nilai RO yang besar [catatan: asumsi nilai curah hujan (P) dan infiltrasinya (I)] konstan.

Prinsip dalam penyekatan parit dan saluran pada lahan gambut dapat dilihat pada Gambar 2. Dengan penyekatan ini diharapkan muka air tanah gambut akan meningkat dan memperbaiki fungsi hidrologi di gambut tersebut.



**Gambar 2 Prinsip Penyekatan Parit/Kanal di Lahan Gambut**

Sumber: Suryadiputra *et al.* (2005)

Menurut Syaufina (2003) penyekatan kanal/parit bertujuan untuk menjaga pasokan air di dalam tanah dan mencegah penyebaran api. Penyekatan parit dimaksudkan sebagai pintu air sehingga keberadaan dan tinggi muka air pada petakan/lahan dapat dipertahankan serta diatur baik pada saat musim penghujan maupun musim kemarau. Untuk mencegah agar parit tidak tersumbat oleh endapan lumpur, maka perlu dilakukan pengangkatan/pembuangan lumpur secara rutin setiap satu bulan sekali. Setelah parit disekat, untuk meningkatkan mutu air di dalam parit dapat dilakukan dengan menanam tumbuhan air yang terbenam di dalamnya. Jika mutu air membaik, maka dapat ditebarkan ikan.

Menurut Peraturan Menteri Pertanian Nomor 14 (2009) kanal/parit sekunder dapat dibuat di sekitar lahan yang akan dialihfungsikan dengan lebar 250 cm dan kedalaman 125 cm. Sedangkan saluran tersier dibuat untuk mengalirkan air dari areal tanaman ke saluran sekunder dengan ukuran lebar 1,0-1,2 meter dan kedalaman 0,9-1,0 meter. Selain pembuatan sekat pada parit untuk memperbaiki hidrologi pada lahan gambut, upaya rehabilitasi dengan melakukan penanaman disepanjang saluran parit dengan menggunakan tanaman asli setempat juga perlu segera dilakukan dimana penanaman ini dimaksudkan untuk mempercepat suksesi alami disepanjang saluran dan untuk meningkatkan kualitas air.

#### Penanaman Vegetasi Tahan Api

Menurut Adinugroho *et al.* (2005) pada pertanian di lahan gambut, pembuatan sekat bakar dapat dilakukan dengan menanam berbagai jenis vegetasi tahan api, misalnya Pisang, Pinang, Pepaya dan sebagainya. Selain berfungsi sebagai sekat bakar, maka pohon Pisang, Pinang atau Pepaya itu sendiri dapat memberi tambahan nilai ekonomis bagi petaninya. Tapi perlu diingat bahwa daun-daun kering yang rontok dari tanaman-tanaman ini dapat berpotensi pula untuk menyebarkan api ke tempat lain

jika diterbangkan angin. Untuk mengatasinya maka daun-daun kering dari tanaman ini harus dihilangkan/dibersihkan dengan cara mengubur di dalam tanah atau dijadikan kompos. Menurut Syaufina (2003) vegetasi tahan api ditanam dengan lebar 1-4 meter di sekeliling lahan.

#### Pengujian Hipotesis

Pengujian hipotesis dalam penelitian ini dilakukan menggunakan Uji Wilcoxon dengan Software IBM Statistics SPSS 20. Uji Wilcoxon merupakan jenis uji untuk statistik non-parametrik yang dipilih karena distribusi data/sampel pada penelitian berdasarkan hasil uji normalitas tidak normal. Uji Wilcoxon digunakan untuk mengetahui perbedaan antara dua variabel yang saling berkaitan.

Dasar pengambilan keputusan pada pengujian hipotesis ini adalah  $H_0$  ditolak jika nilai *asympt. sig.*  $<$  nilai  $\alpha$ , dengan nilai  $\alpha$  sebesar 0,05. Berdasarkan hasil Uji Wilcoxon nilai *Asymp. Sig. (2-tailed)* adalah sebesar 0,018 yang artinya lebih kecil dari nilai  $\alpha$  (0,05), maka kesimpulannya  $H_0$  ditolak yang artinya terdapat peningkatan kelimpahan Grup VOCs di Kabupaten Siak dan Kabupaten Kampar akibat adanya kebakaran lahan gambut fase *smouldering* jika dibandingkan dengan Grup VOCs di lokasi background (pada saat tidak adanya kebakaran lahan gambut fase *smouldering*) atau dengan kata lain kebakaran lahan gambut fase *smouldering* telah berkontribusi secara signifikan dalam peningkatan kelimpahan VOCs di Kabupaten Siak dan Kabupaten Kampar.

#### PENUTUP

##### Kesimpulan

##### Kesimpulan

Kesimpulan penelitian ini adalah :

1. *Volatile Organic Compounds* (VOCs) berarti setiap senyawa karbon, kecuali karbon monoksida, karbon dioksida, asam karbonik, karbid metalik atau karbonat dan karbonat amonium, yang berpartisipasi dalam reaksi fotokimia. Dari hasil identifikasi tersebut terdapat 15 VOCs yang belum pernah teridentifikasi sebelumnya yaitu Hydrazinebenzene, 1-Propanethiol, Cholestadiene, Cholesteryl Butyrate, Cholesteryl Benzoate, 2-Ethyl Nitrobenzene, 1,2,3-Benzotriazin-4(3H)-One, Nonadecane, 2-Ethylacridine, Cholesterol Acetate, Hexacosane, 2-Nitrobenzaldehyde, 2-Pyridinepropanoic Acid, 4-Nitrobenzohydrazide dan Cholesteryl Caprate. Temuan tersebut menambah inventaris data emisi VOCs dari kebakaran lahan gambut di Indonesia khususnya Provinsi Riau.
2. Berdasarkan hasil Uji Wilcoxon terdapat peningkatan kelimpahan Grup VOCs secara signifikan (*Asymp. Sig. (2-tailed)* 0,018  $<$  0,05) di Kabupaten Siak dan Kabupaten Kampar akibat adanya kebakaran lahan gambut fase *smouldering* jika dibandingkan dengan Grup VOCs di lokasi



background (pada saat tidak adanya kebakaran lahan gambut fase *smouldering*).

3. Berdasarkan hasil analisis risiko kesehatan lingkungan terdapat 2 VOCs (Benzene dan Hydrazinebenzene) yang tingkat risiko untuk efek karsinogeniknya tidak aman ( $ECR > 10^{-4}$ ). Nilai ECR senyawa Benzene di Kabupaten Siak sebesar 0,132 dan 0,041 di Kabupaten Kampar. Sedangkan nilai ECR senyawa Hydrazinebenzene sebesar 12,10 di Kabupaten Kampar.
4. Rekomendasi yang diberikan untuk pencegahan kebakaran lahan gambut dimasa mendatang berupa manajemen hidrologi di lahan gambut dengan cara penyekatan parit-parit eksisting (*canal blocking*) untuk mengatur ketinggian muka air tanah dan penanaman vegetasi tahan api di sekeliling areal pertanian yang tetap menghasilkan nilai ekonomis seperti pisang, pinang dan pepaya sebagai sekat bakar buatan.

#### Saran

Saran yang dapat diberikan penulis adalah :

1. Perlunya dilakukan pemantauan dan pengendalian kualitas udara di lokasi kebakaran, untuk mengurangi dampak cemaran udara yang diterima masyarakat dan lingkungan.
2. Perlu dilakukan usaha penanggulangan kebakaran lahan seperti pembuatan dan penyekatan parit serta pembuatan zona penyangga pada lahan gambut baik yang sudah beralih fungsi menjadi area perkebunan maupun yang belum.
3. Penelitian sejenis dimasa yang akan datang hendaknya dilakukan pada waktu yang lebih tepat (musim kemarau) agar VOCs yang terukur lebih maksimal, hal ini dikarenakan pada saat penelitian ini dilaksanakan masih terjadi hujan ringan sehingga mengganggu kegiatan sampling.
4. Penelitian sejenis dimasa yang akan datang sebaiknya melakukan perhitungan konsentrasi menggunakan analisis kuantitatif di laboratorium. Jika harus menggunakan pendekatan perhitungan konsentrasi dengan membandingkan penelitian lain, maka sebaiknya dicari penelitian sejenis yang mengukur konsentrasi VOCs dari kebakaran lahan gambut juga.
5. Dalam perhitungan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan untuk penelitian sejenis dimasa mendatang sebaiknya menggunakan data-data responden primer.
6. Analisis validasi dan sensitivitas diperlukan dalam permodelan dispersi polutan untuk penelitian sejenis dimasa mendatang.

#### DAFTAR PUSTAKA

Abas, M. R. B, Oros, D.R, Simoneit, B. R. T. 2004. *Biomass burning as the main source of organic aerosol particulate matter in Malaysia during haze episodes*. *Chemosphere* 2004; 55(8): 1089-95.

Adinugroho, W. C., I N.N. Suryadiputra, Bambang Hero Saharjo dan Labueni Siboro. 2005. *Panduan Pengendalian Kebakaran Hutan dan Lahan Gambut. Proyek Climate Change, Forests and Peatlands in Indonesia*. Wetlands International – Indonesia Programme dan Wildlife Habitat Canada. Bogor. Indonesia.

AERIAS. 2007. *Air quality Sciences IAQ Resource Center*. Available from <http://www.aerias.org/DesktopDefault.aspx?tabindex=0&tabid=89>.

Albar, Israr. 2014. *Biomass Burning from Peatland Fire in Riau Province*. Indonesia International Workshop in Air Quality in Asia Hanoi, 24-26 June.

Allen, D. and Dennis, A. *Inventory of air pollutant emissions associated with forest, grassland, and agricultural burning in Texas*. University of Texas, Austin, TX. 2000.

Brattoli, Magda, Gianluigi De Gennaro, Giorgio Assennato, Massimo Blonda, Roberto Giua. 2013. *A Novel Approach For Odour Regulation Based On "Buffer Zone" Criterion*. Vol.12, No. S11, Supplement, 181-184. [Http://Omicron.Ch.Tuiasi.Ro/Eemj/](http://Omicron.Ch.Tuiasi.Ro/Eemj/)

Bertschi, I., R. J. Yokelson, D. E. Ward, R. E. Babbitt, R. A. Susott, J. G. Goode, and W. M. Hao. 2003. *Trace gas and particle emissions from fires in large diameter and belowground biomass fuels*, *J. Geophys. Res.*, 108(D13), 8472, doi:10.1029/2002JD002100, 2003.

Camirand, Roland. 2002. *Guidelines For Forest Plantation Establishment and Management In Jamaica*. Canada: Tecult International

Christian, T. J., B. Kleiss, R. J. Yokelson, R. Holzinger, P. J. Crutzen, W. M. Hao, B. H. Saharjo, And D. E. Ward. 2003. *Comprehensive laboratory measurements of biomass-burning emissions: Emissions from Indonesian, African, and other fuels*. *Journal Of Geophysical Research*, Vol. 108, No. D23, 4719, doi:10.1029/2003JD003704

Conley, Felicia L. 2004. *Identification And Quantification Of Volatile Organic Compounds In The Urban Atmosphere Of Houston Texas*. Presented In Partial Fulfillment Of The Requirements For The Degree Of Doctor Of Philosophy In The Graduate School Of Texas Southern University Texas Southern University.

Fujii, Y., Iriana, W., Oda, M., Puriwigati, A., Tohno, S., Lestari, P., Mizohata, A., and Huboyo, H. S. 2014. *Characteristics of carbonaceous aerosols emitted from peatland fire in Riau, Sumatra, Indonesia*. *Atmos. Environ.*, 87, 164–169, 2014.

Hatch, L. E., Luo, W., Pankow, J. F., Yokelson, R. J., Stockwell, C. E., and Barsanti, K. C. 2015. *Identification and quantification of gaseous organic compounds emitted from biomass burning using two-dimensional gas chromatography–time-of-flight mass spectrometry*. *Atmos. Chem. Phys.*, 15, 1865–1899, doi:10.5194/acp-15-1865-2015, 2015.



- Hewitt, C. N., A. R. MacKenzie, P. Di Carlo. 2009. *Nitrogen management is essential to prevent tropical oil palm plantations from causing ground-level ozone pollution*. [www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.09075411106](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.09075411106) 44 \_ 18447–18451.
- Iinuma, Y., Brüggemann, E., Gnauk, T., Mueller, K., Andreae, M. O., Helas, G., Parmar, R., and Herrmann, H. 2007. *Source characterization of biomass burning particles: The combustion of selected European conifers, African hardwood, savanna grass, and German and Indonesian peat*. *J. Geophys. Res.*, 112, D08209, doi:10.1029/2006JD007120.
- Lee, S. Karstenbaumann, Schauer, James. 2005. *Gaseous and Particulate Emissions from Prescribed Burning in Georgia*. *environ. sci. technol.* 2005, 39, 9049-9056.
- McCaffrey B. 1995. *Flame Height*. The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2nd Ed., National Fire Protection Association, Quincy MA., USA, pp. 2-1 to 2-8.
- Rahmayanti, Maya. 2007. *Kontribusi Kebakaran Lahan Gambut Terhadap Pemanasan Global*. *Kaunia Jurnal Sains Dan Teknologi*. Vol.iii, No. 2, Oktober 2007.
- Rein, G., Cohen, S., Simeoni, A. 2009b. *Carbon Emissions from Smouldering Peat in Shallow and Strong Fronts*. *Proceedings of the Combustion Institute* 32, pp. 2489-2496, Free access version at <http://www.era.lib.ed.ac.uk/handle/1842/1152>
- Republik Indonesia. 2009. *Peraturan Menteri Pertanian Nomor: 14/Permentan/PL.110/2/2009 tentang Pedoman Pemanfaatan Lahan Gambut Untuk Budidaya Kelapa Sawit*. Pemerintah Republik Indonesia.
- Romagnoli, E., T. Barboni, P. A. Santoni and N. Chiaramonti. 2014. *Quantification of volatile organic compounds in smoke from prescribed burning and comparison with occupational exposure limits*. SPE UMR 6134 CNRS, University of Corsica, Campus Grimaldi, BP 52, 20250 Corte, France. Published in *Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss.*
- Srivastava, Anjali and Dipanjali Mazumdar. 2011. *Monitoring and Reporting VOCs in Ambient Air*. Air Quality Monitoring, Assessment and Management, Dr. Nicolas Mazzeo (Ed.), ISBN: 978-953-307-317-0, InTech.
- Stockwell, C. E., Veres, P. R., Williams, J., and Yokelson, R. J. 2015. *Characterization of biomass burning emissions from cooking fires, peat, crop residue, and other fuels with high-resolution proton-transfer-reaction time-of-flight mass spectrometry*. *Atmos. Chem. Phys.*, 15, 845–865, doi:10.5194/acp-15-845-2015, 2015.
- Suryadiputra, I N.N., Alue Dohong, Roh, S.B. Wasposito, Lili Muslihat, Irwansyah R. Lubis, Ferry Hasudungan, dan Iwan T.C. Wibisono. 2005. *Panduan Penyekatan Parit dan Saluran di Lahan Gambut Bersama Masyarakat*. Proyek Climate Change, Forests and Peatlands in Indonesia. Wetlands International – Indonesia Programme dan Wildlife Habitat Canada. Bogor.
- Syaufina, L. 2003. *Guidelines for Implementation of Controlled Burning Practices*. Fakultas Kehutanan IPB. Bogor.
- USEPA. 1995. *Compilation of air pollutant emission factors, stationary point and area sources*. AP-42, vol. 1, 5<sup>th</sup> ed. North Carolina, USA: USEPA, Research Triangle Park. Available at: [www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13](http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13).
- USEPA. 2004. *Photochemical smog: what it means for us*. USA: USEPA
- USEPA. 2009. *Definitions of VOC and ROG*. USA: USEPA, Research Triangle Park.
- Usup A, Hashimoto Y, Takahashi Hand Hayasaki H. 2004. *Combustion and thermal characteristics of peatfires in tropical peatland in Central Kalimantan*. *Indonesia Tropics* 14 1–19.
- WHO. 2000. *Concise International Chemical Assessment Document 19*.
- Yang DS, Pennisi SV, Son KC, Kays SJ. 2009. *Screening indoor plants for volatile organic pollutant removal efficiency*. *Hortscience* 44: 1377–1381
- Yokelson, R. J., T. J. Christian, I. T. Bertschi and W. M. Hao. 2003. *Evaluation of adsorption effects on measurements of ammonia, acetic acid, and methanol*. *Journal Of Geophysical Research*, Vol. 108, No. D20, 4649, doi:10.1029/2003jd003549
- <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/> (diakses tanggal 1 September 2015)
- [www.accuweather.com](http://www.accuweather.com) (diakses tanggal 2 Juli 2015)