

Analisis Persebaran Polutan Karbon Monoksida dan Partikulat dari Kebakaran Hutan di Sumatera Selatan

Aron Pangihutan Christian Tampubolon dan Rachmat Boedisantoso

Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

email: boedisantoso@enviro.its.ac.id

Abstrak—Kebakaran hutan merupakan masalah serius yang dihadapi pada permasalahan pencemaran udara masa kini karena berperan sebagai sumber terbesar emisi karbon monoksida (CO). Wujud polutan dari kebakaran hutan pada umumnya dalam bentuk asap yang mengandung banyak partikulat. Sumatera Selatan memiliki kawasan hutan sebesar 4.222.484,9 hektar. Jumlah titik api di Sumatera Selatan mengalami peningkatan sebesar 12% pada periode 2014-2015. Intensitas kebakaran hutan di Sumatera Selatan yang cukup tinggi memberikan perkiraan bahwa banyak dampak besar yang akan ditimbulkan dengan jangkauan dampak dari kebakaran hutan belum dapat diperkirakan. Suatu analisis persebaran polutan sangat diperlukan sebagai penyedia informasi prediksi dari besaran dampak yang ditimbulkan dari suatu area kebakaran hutan. Dua variabel penelitian yang dipakai adalah kecepatan angin dan jenis hutan. Data kecepatan angin yang digunakan adalah nilai rata-rata, maksimum, minimum dan modus dari data kecepatan angin periode 21 Juli 2015 – 12 November 2015. Periode ini adalah periode penurunan kualitas udara Kota Palembang akibat peristiwa kebakaran hutan sampai memasuki musim hujan. Jenis hutan yang dipakai sebagai variasi skenario, yaitu hutan alam primer dataran tinggi, hutan alam sekunder dataran rendah, hutan rakyat bambang lanang, hutan alam gambut sekunder. Pembagian jenis hutan ini berdasarkan data biomassa yang telah dihimpun sebelumnya pada tahun 2014. Jumlah skenario yang disusun sebanyak 40 sesuai variabel yang ditentukan. Analisis persebaran dan nilai konsentrasi dari CO dan partikulat berdasarkan skenario yang disusun dengan menggunakan persamaan Gauss. Validasi data menunjukkan bahwa hasil pemodelan dengan skenario kecepatan angin rata-rata yang paling mendekati nilai ISPU. Konsentrasi polutan yang sampai ke Palembang dari sejumlah titik api kebakaran hutan adalah $2322,21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ CO dan $245,62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM₁₀ dengan jarak terjauh persebaran emisi CO dan PM₁₀ sampai nilai ambang batas ($10000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$) telah terlewati adalah 120 km untuk emisi CO dan 200 km untuk emisi PM₁₀.

Kata Kunci—CO, kebakaran hutan, partikulat, Sumatera Selatan

I. PENDAHULUAN

KEBAKARAN hutan merupakan masalah serius yang dihadapi pada permasalahan pencemaran udara masa kini dengan CO (karbon monoksida) sebagai polutan yang dominan [1]. Intensitas kebakaran hutan di Indonesia semakin meningkat akibat kebijakan pemerintah yang dari sejak tahun 1980 membuka konsesi hutan, mengubah hutan alam menjadi perkebunan transmigrasi, pengembangan irigasi, dan perluasan pertanian [2]. Sektor kehutanan dan

lahan gambut menyumbang total 85 % emisi gas rumah kaca di Indonesia [3]. Kualitas udara ambien dapat berubah secara signifikan akibat kebakaran hutan dikarenakan banyaknya polutan yang dihasilkan. Kebakaran hutan menghasilkan emisi CO₂, CO, partikulat, dan hidrokarbon [1]. Emisi polutan ke udara dari sisa pembakaran hutan dengan kadar konsentrasi tinggi dapat menyebabkan proses sebaran udara tidak bisa tercampur dengan baik sehingga tidak dapat mengangkut bahan pencemar secara efektif [4]. Wujud polutan dari kebakaran hutan ini dalam bentuk asap yang mengandung banyak partikulat.

Sumatera Selatan merupakan wilayah Indonesia yang masih banyak memiliki kawasan hutan. Sebanyak 4.222.484,9 ha wilayah Sumatera Selatan adalah kawasan hutan [5]. Besarnya luasan kawasan hutan di Sumatera Selatan berbading lurus dengan besarnya potensi kebakaran hutan yang dapat terjadi. Sumatera Selatan termasuk 10 besar provinsi yang memiliki hotspot terbanyak di Indonesia dengan 367 titik api pada periode Januari-Juni 2013 [6]. Empat kabupaten di Sumatera Selatan, yaitu Ogan Komering Ilir, Musi Banyuasin, Musi Rawas, dan Muara Enim adalah 4 besar wilayah yang memiliki titik api terbanyak di Sumatera pada tahun 2012 [6].

Besarnya potensi kebakaran hutan di Sumatera Selatan memberikan perkiraan bahwa banyak dampak besar yang akan ditimbulkan seperti gangguan kesetimbangan ekosistem, permasalahan kesehatan, lumpuhnya aktivitas masyarakat, dan gangguan terhadap wilayah lain yang jauh jaraknya dari area terbakar. Besarnya jangkauan dampak dari kebakaran hutan sering tidak dapat diperkirakan karena terbatasnya informasi prediksi persebaran polutan dari kebakaran hutan. Suatu analisis persebaran polutan sangat diperlukan sebagai penyedia informasi prediksi dari besaran dampak yang ditimbulkan dari suatu area kebakaran hutan. Analisis persebaran ini dapat dijadikan sebagai acuan peringatan dini bagi daerah sekitar yang akan terkena dampak kebakaran hutan.

Pemodelan dispersi pencemaran udara dari kebakaran hutan telah banyak dilakukan dengan menggunakan citra satelit. Hal ini dilakukan karena keterbatasan informasi dari persebaran polutan menyebabkan lambatnya sistem tanggap darurat untuk wilayah yang terkena dampak. Model persebaran asap dari kebakaran hutan menggunakan *Global Forecast System (GFS)* dan *Weather Research and Forecasting with Chemistry (WRF-Chem)*. WRF-Chem adalah model prediksi cuaca dengan konten kimia yang dapat digunakan untuk memberikan simulasi persebaran polutan

dari kebakaran hutan. Model ini mensimulasikan emisi, transportasi emisi, pencampuran, reaksi kimia dari gas dan aerosol bersamaan dengan data-data meteorologi. [7]. Aplikasi WRF-Chem telah digunakan Nuryanto pada tahun 2015 untuk studi kasus kebakaran hutan di Sumatera pada tanggal 6 Maret 2014 sampai 9 Maret 2014. Penggunaan model WRF-Chem pada penelitian tersebut dibantu *Fire Emission Dataset* untuk inventarisasi titik api. Hasil dari model ini adalah persebaran polutan CO sampai menutupi Pulau Sumatera sampai Provinsi Riau bahkan Malaysia. Kelemahan dari penelitian ini adalah besaran polutan CO pada *plume* terlalu rendah atau bisa diabaikan. Saran yang diberikan pada penelitian ini adalah rasio CO pada sumber emisi kebakaran hutan harus ditaksir ulang.

II. METODE PENELITIAN

A. Perhitungan Beban Emisi

Data *hotspot monitoring* diperlukan untuk mendapatkan laju kebakaran hutan dalam satuan hektar/hari dan *hotspot*/hari. Setelah mengetahui data hutan yang terbakar dalam hektar/hari dan *hotspot*/hari, maka dapat diketahui luas pada setiap plot hutan. Data luas setiap *hotspot* digunakan untuk data luas area terbakar. Satu titik api diasumsikan langsung habis terbakar dalam satu hari. Asumsi ini digunakan karena tidak dapat diketahui secara pasti bahwa *hotspot* yang terpantau setiap hari selalu berbeda-beda.

Beban emisi dipengaruhi oleh luas area, massa bahan bakar, *combustion factor*, dan faktor emisi setiap jenis polutan [8]. Massa bahan bakar didapat dari data stok karbon (biomassa) pada setiap jenis hutan di tahap pengumpulan data [9]. Jenis hutan yang dipakai sebagai variasi data penelitian adalah hutan alam primer dataran tinggi (PUP I), hutan alam sekunder dataran rendah (PUP II), hutan rakyat (PUP III), hutan alam gambut sekunder (PUP IV). Beban emisi dari kebakaran hutan didapat dari perhitungan:

$$L_{\text{Fire}} = A \times MB \times C_f \times G_{\text{ef}} \times 10^{-3} \quad (1)$$

dimana:

- L_{Fire} = Jumlah Emisi (ton)
- A = Luas Area Terbakar (ha)
- MB = Massa Bahan Bakar (ton/ha)
- C_f = *Combustion Factor*
- G_{ef} = Faktor Emisi

B. Perhitungan Persamaan Gauss

Jarak x pada persamaan Gauss merupakan jarak yang ditempuh polutan sesuai dengan arah angin. Pencampuran pada jarak x diasumsikan sebagai hasil dari proses *non-random* (laju angin) [10]. Catatan yang harus diperhatikan pada persamaan Gauss ini adalah arah angin dan laju angin adalah konstan dalam ruang dan waktu. Hal ini dikarenakan kelas stabilitas atmosfer oleh Pasquill-Gifford dan persamaan Briggs yang dipakai dalam perhitungan Gauss hanya berlaku dalam jangkauan 10 km [10]. Jarak antara sumber emisi dan reseptor yang melebihi 10 km menyebabkan perlunya modifikasi dari data kecepatan angin yang ada. Modifikasi yang dimaksud adalah untuk mengetahui kecepatan angin di wilayah lain yang tidak

diketahui datanya dengan berdasarkan perbedaan elevasi sesuai dengan persamaan:

$$U_x = U_0 \times (Z/Z_0)^p \quad (2)$$

dimana:

- U_x = kecepatan angin pada ketinggian x (m/dtk)
- U₀ = kecepatan angin pada ketinggian anemometer, (m/dtk)
- Z = ketinggian yang diinginkan (m)
- Z₀ = ketinggian anemometer (m)
- p = fungsi kelas stabilitas atmosfer.

Kecepatan angin yang dipakai sebagai variasi penelitian adalah nilai kecepatan angin rata-rata, maksimum, modus, dan minimum. Persamaan Gauss yang akan dipakai dalam perhitungan konsentrasi polutan adalah:

$$C = \frac{Q}{2 \times \pi \times u \times \sigma_z \times \sigma_y} \times \exp\left(-\frac{y^2}{2 \times \sigma_y^2}\right) \times \left\{ \exp\left[-\frac{(z-h)^2}{2 \times \sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+h)^2}{2 \times \sigma_z^2}\right] \right\} \quad (3)$$

dimana:

- C = konsentrasi polutan (g/m³)
- Q = laju emisi polutan (g/dtk)
- u = kecepatan angin rata-rata (m/dtk)
- σ = standar deviasi konsentrasi *plume* arah horizontal (m)
- σ_y = standar deviasi konsentrasi *plume* arah vertikal (m)
- h = tinggi efektif sumber (m)
- x = jarak *downwind* sepanjang centerline *plume* dari titik sumber (m)
- y = jarak *crosswind* dari centerline *plume* (m)
- z = tinggi di atas permukaan (m).

Tinggi efektif sumber merupakan nilai total dari tinggi sumber dan tinggi *plume*. Tinggi sumber dalam hal ini adalah tinggi pohon bisa didapatkan data volume pohon/biomassa. sesuai dengan *ground based forest carbon accounting* [11]. Setelah mengetahui tinggi sumber, maka dapat dilakukan perhitungan tinggi *plume*, yaitu:

$$\Delta h = \frac{1,6 \times F_b^{1/3} \times X^{2/3}}{u} \quad (4)$$

dimana:

- F_b = *buoyancy flux* (m⁴s⁻³)
- X = jarak *centerline* (m)
- u = kecepatan angin (m/dtk).

Perhitungan F_b yaitu:

$$F_b = \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho}\right) \times g \times r_s^2 \times w_s \quad (5)$$

dimana:

- ρ_s = densitas gas sumber emisi (g/m³)
- ρ = densitas udara (g/m³)
- g = nilai gravitasi (9,8 m s⁻²)
- r_s = radius sumber (m)
- w_s = kecepatan gas pada jarak vertikal (m).

Plume tidak naik secara tanpa batas tetapi akan menjadi stabil pada ketinggian tertentu, disebut tinggi *plume* akhir. Ketinggian akhir yang dicapai pada jarak X_f (m) dari sumber adalah:

$$X_f = 49 F_b^{5/8} \quad \text{untuk } F_b < 55 \text{ m}^4 \text{ s}^{-1} \quad (6)$$

$$X_f = 119 F_b^{2/5} \quad \text{untuk } F_b > 55 \text{ m}^4 \text{ s}^{-1} \quad (7)$$

Jika X lebih besar dari X_f, maka *plume rise* diasumsikan konstan dengan perhitungan:

$$\Delta h = \frac{1,6 \times Fb^{1/3} \times X_f^{2/3}}{u} \quad (8)$$

Setelah mendapat data meteorologi berupa kecepatan angin, beban emisi, dan tinggi efektif, maka perhitungan dengan persamaan Gauss dapat dilakukan. Sebelum itu perhitungan σ_z dan σ_y harus dilakukan. Perhitungan σ_z dan σ_y , yaitu:

$$\sigma_y = \frac{ax}{(1+bx)^c} \quad (9)$$

$$\sigma_z = \frac{dx}{(1+ex)^f} \quad (10)$$

yang mana nilai a, b, c, d, e, f adalah nilai koefisien dari persamaan Briggs sesuai dengan stabilitas atmosfer.

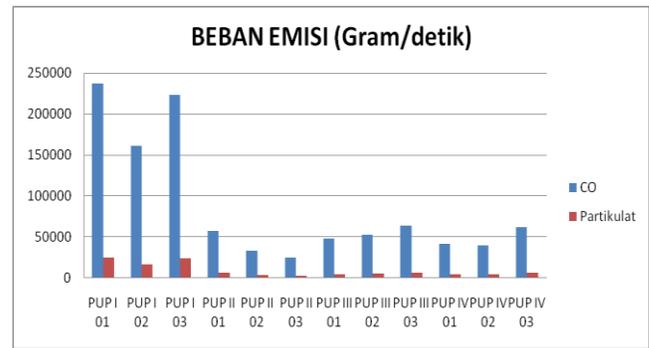
C. Validasi Data

Validasi data dilakukan untuk mengetahui hasil perhitungan yang paling mendekati nilai aktual. Validasi data dilakukan dengan membandingkan nilai rata-rata konsentrasi polutan hasil perhitungan dan kualitas udara ibu kota provinsi. Data primer secara *real time* tidak memungkinkan untuk diambil pada penelitian ini karena periode kebakaran hutan yang sudah lewat. Data sekunder yang diambil untuk validasi data adalah data kualitas udara ibukota provinsi pada periode Juli 2015 – November 2015 [12].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Beban Emisi

Luas total kebakaran hutan di provinsi Sumatera Selatan sebesar 736.539 ha. Setelah itu data jumlah hari kejadian dan titik api diperlukan untuk mengetahui laju kebakaran hutan. Berdasarkan data *hotspot monitoring*, kebakaran hutan di Sumatera Selatan pada tahun 2015 terjadi selama 226 hari dengan 28.231 titik api yang tercatat [13]. Data-data tersebut digunakan untuk mengetahui rata-rata luas kebakaran hutan (ha/hari), jumlah titik api (*hotspot*/hari), dan luas setiap titik api (ha/*hotspot*). Rata-rata luas kebakaran hutan yang didapat adalah 3.259,022 ha/hari. Luas pada setiap plot (12 plot) adalah 272 ha/hari dari data rata-rata luas kebakaran hutan setiap hari. Data luas setiap *hotspot* digunakan untuk data luas area terbakar pada perhitungan beban emisi. Metode perhitungan beban emisi didapat dari panduan Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) tahun 2006. Panduan tersebut hanya mencantumkan faktor emisi CO sedangkan faktor emisi PM₁₀ didapat dari panduan United States Environmental Protection Agency (USEPA) tahun 1988. Perhitungan IPCC tersebut dapat dipakai untuk PM₁₀ karena perbandingan satuan pada faktor emisi yang sama, yaitu 1:1000 (g/kg untuk CO dan kg/Mg untuk PM₁₀). Faktor emisi untuk karbon monoksida adalah 104 [8] dan partikulat sebesar 11 [14]. *Combustion factor* yang dipakai adalah 119,6 untuk hutan alam primer dataran tinggi; 42,2 untuk hutan alam sekunder dataran rendah; 54,1 untuk hutan rakyat; dan 42,2 untuk hutan alam gambut sekunder [4]. Gambar 1 menunjukkan beban emisi pada masing-masing plot.



Gambar 1. Diagram Beban Emisi Kebakaran setiap Plot Hutan

Gambar 1 memperlihatkan bahwa beban emisi paling besar ada pada jenis hutan alam primer dataran tinggi (PUP I). Hal ini tentunya akan berpengaruh pada konsentrasi polutan yang sama di Palembang, walaupun masih ada faktor meteorologi serta letak hutan yang perlu diperhatikan. Jarak antara plot dengan Kota Palembang adalah 213 km dari PUP I; 37,2 km untuk PUP II 01; 180 km untuk PUP II 02-03; 194 km untuk PUP III; dan 50 km untuk PUP IV. Faktor kecepatan angin sangat menentukan konsentrasi polutan yang sampai ke kota Palembang karena pengaruh persebaran dan pencampuran (*dilution*). Kecepatan angin setiap wilayah kabupaten/kota di Sumatera Selatan hasil modifikasi data kecepatan angin, yaitu:

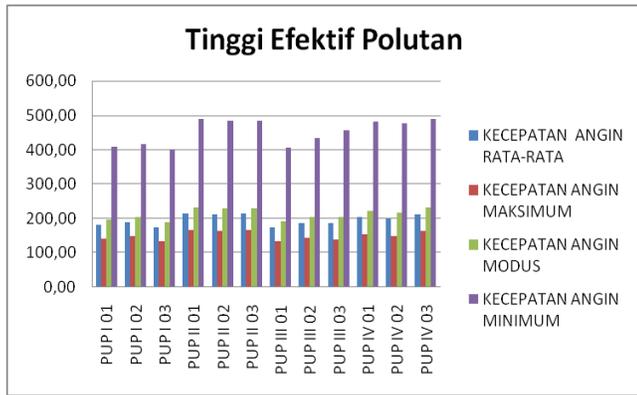
Tabel 1
Nilai Kecepatan Angin (m/dtk) Hasil Modifikasi Data Kabupaten/Kota Sumatera Selatan

Kota/Kabupaten	Mean	Maximum	Modus	Minimum
Palembang	2,14	4,25	1,74	0,27
Banyuasin	2,11	4,18	1,72	0,27
OKI	2,16	4,29	1,75	0,28
Ogan Ilir	2,14	4,30	1,74	0,27
OKU Timur	2,34	4,76	1,90	0,30
Muara Enim	2,61	5,23	2,10	0,33
OKU	2,59	5,31	2,11	0,33
OKU Selatan	2,95	6,30	2,47	0,39
Prabumulih	2,40	4,82	1,95	0,31
Lahat	2,82	5,67	2,27	0,36
Empat Lawang	3,42	6,88	2,72	0,43
Muba	2,26	4,51	1,84	0,29
Mura	2,80	5,59	2,25	0,35
Average				
BMKG	2,19	4,35	1,78	0,28
Google Earth	2,32	4,64	1,88	0,30

B. Konsentrasi Polutan

Tinggi efektif sumber merupakan salah faktor yang mempengaruhi perhitungan konsentrasi polutan. Tinggi efektif sumber merupakan nilai total dari tinggi sumber dan tinggi *plume*. Tinggi sumber didapatkan berdasarkan perhitungan dengan acuan data volume pohon/biomassa sesuai *ground based forest carbon accounting* [11].

Perhitungan tinggi *plume* dapat dilakukan setelah mengetahui tinggi sumber. Total nilai tinggi *plume* dan tinggi sumber akan menjadi nilai tinggi efektif.



Gambar 2. Diagram Tinggi Efektif Polutan pada setiap Plot Hutan dan Variasi Kecepatan Angin

Berdasarkan variasi hasil perhitungan dapat disimpulkan bahwa semakin rendah kecepatan angin, maka semakin besar ketinggian *plume*. Nilai ketinggian *plume* yang besar ini tentunya akan semakin meningkatkan tinggi efektif polutan. Hal ini bisa dilihat pada Gambar 2 yang mana tinggi efektif polutan yang paling besar ada pada variabel kecepatan angin minimum. Peningkatan nilai kecepatan angin akan semakin mengarah pada kondisi atmosfer yang netral [10].

Setelah itu perhitungan dengan persamaan Gauss dapat dilakukan. Persamaan Gauss yang dipakai adalah ketika nilai y dan z adalah 0. Hal ini dikarenakan pada penelitian ini hanya untuk mengetahui kondisi maksimum konsentrasi polutan saat kebakaran hutan. Jika hasil yang diinginkan adalah konsentrasi maksimum maka x menjadi variabel terikat [10]. Perbedaan elevasi (z) antara sumber dan reseptor akan dimasukkan dalam perhitungan. Hal ini diperlukan karena perbedaan elevasi antara reseptor dan sumber yang cukup besar (terutama untuk PUP I) sehingga diperlukan acuan elevasi yang sama. Arah angin tidak diperhatikan dalam perhitungan model ini. Arah angin akan diperhatikan hanya pada kondisi sesaat, sedangkan pada penelitian menggunakan kondisi keseluruhan. Titik akhir yang direncanakan pada perhitungan ini adalah di bundaran air mancur Masjid Agung yang menjadi km 0 Kota Palembang. Perhitungan dengan persamaan Gauss ini bersifat *multi point source*, yang beberapa sumber atau plot yang berada pada lokasi yang sama akan dihitung sebagai satu sumber emisi. PUP I, PUP II 02-03, PUP III, PUP IV adalah empat *multi point source*. PUP II 01 tidak digabung dengan PUP II 02-03 karena berbeda lokasi.

Perhitungan dengan persamaan Gauss dilakukan dengan interval jarak 10 km sampai ke Kota Palembang dengan variasi plot dan kecepatan angin. Nilai kecepatan angin akan menyesuaikan kabupaten/kota yang dilewati seperti pada Tabel 1. Nilai σ_y dan σ_z menyesuaikan data kecepatan angin sebagai pengaruh stabilitas atmosfer. Jumlah skenario yang terbentuk adalah 40. Berikut ini adalah rangkuman hasil perhitungan dengan persamaan Gauss untuk prediksi konsentrasi polutan sampai ke Kota Palembang:

Tabel 2

Hasil Perhitungan Konsentrasi Polutan dengan Persamaan Gauss pada Luas Plot 272 Ha

Kode Plot	Variabel Kecepatan Angin	Konsentrasi ($\frac{\mu g}{m^3}$)		Jarak Memenuhi Baku Mutu (km)	
		CO	PM ₁₀	CO	PM ₁₀
PUP I	<i>mean</i>	267,53	28,30	120	200
	maksimum	134,61	14,24	180	200
	modus	329,40	34,84	80	200
	minimum	2094,02	221,48	200	-
PUP II 01	<i>mean</i>	812,61	85,95	20	30
	maksimum	408,88	43,25	20	30
	modus	1000,50	105,82	30	40
	minimum	6358,76	672,56	30	-
PUP II 02-03	<i>mean</i>	34,99	3,70	20	60
	maksimum	17,61	1,86	20	60
	modus	43,08	4,56	20	70
	minimum	273,88	28,97	70	170
PUP III	<i>mean</i>	85,52	9,05	50	170
	maksimum	43,03	4,55	170	170
	modus	105,29	11,14	40	130
	minimum	669,37	70,80	120	190
PUP IV	<i>mean</i>	1121,56	118,63	40	50
	maksimum	564,33	59,69	40	50
	modus	1380,90	146,06	40	50
	minimum	8777,61	928,40	40	-
Total	<i>mean</i>	2322,21	245,62		
	maksimum	1168,46	123,59		
	modus	2859,17	302,41		
	minimum	18173,64	1922,21		

Tanda (-) pada Tabel 2 menandakan bahwa polutan masih belum memenuhi baku mutu ambien ketika sampai di Kota Palembang. Berdasarkan Tabel 2 dapat disimpulkan bahwa semakin kecil kecepatan angin maka semakin besar konsentrasi polutan. Kecepatan angin dan konsentrasi polutan berbanding. Konsentrasi polutan mencapai nilai maksimum ketika kondisi kecepatan angin minimum di berbagai variasi luas plot. Hal ini perlu dicermati kembali karena menurut De Visscher (2014), model *plume* menjadi tidak akurat ketika kecepatan angin di bawah 1 m/dtk. Model *puff* lebih tepat untuk dipakai ketika kondisi kecepatan angin tersebut. Validasi data diperlukan untuk mengetahui selisih antara hasil perhitungan dan data aktual pada masing-masing variasi kecepatan angin.

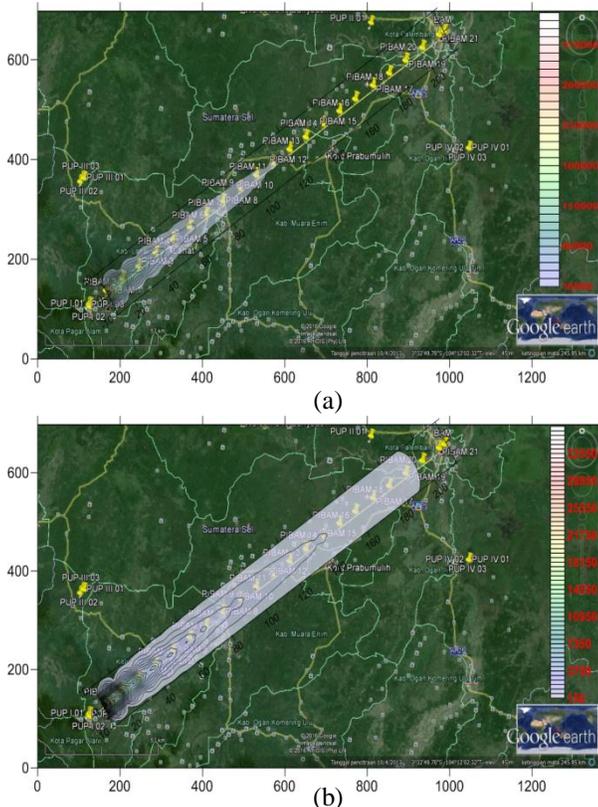
C. Validasi Data

Validasi data analisis ini memerlukan data konsentrasi pada saat terjadi kebakaran hutan di provinsi Sumatera Selatan. Data konsentrasi yang dipakai adalah data konsentrasi rata-rata PM₁₀ dari Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) Kota Palembang periode 21 Juli – 12 November. Data CO tidak dihimpun oleh Badan Lingkungan Hidup (BLH) Kota Palembang karena data yang didapat terlalu kecil bila dibandingkan dengan baku mutu Provinsi Sumatera Selatan ($10000 \mu g/m^3$) sehingga data

yang diperhatikan untuk mewakili ISPU Palembang adalah PM_{10} . Berdasarkan data tersebut didapat data konsentrasi rata-rata sebesar $183,97 \mu g/m^3$. Kemudian dilakukan perhitungan validasi data model, yaitu dengan cara:

$$\text{nilai validasi} = |1 - (\text{data ISPU} : \text{data konsentrasi})|$$

Data konsentrasi dikatakan mendekati data aktual (ISPU) ketika hasil perhitungan diatas mendekati nilai 0. Data konsentrasi yang dilakukan validasi adalah data konsentrasi pada luas plot 272 ha. Berdasarkan perhitungan nilai validasi pada masing-masing data konsentrasi, didapatkan variabel kecepatan angin rata-rata yang paling mendekati nilai aktual dengan nilai validasi 0,25.

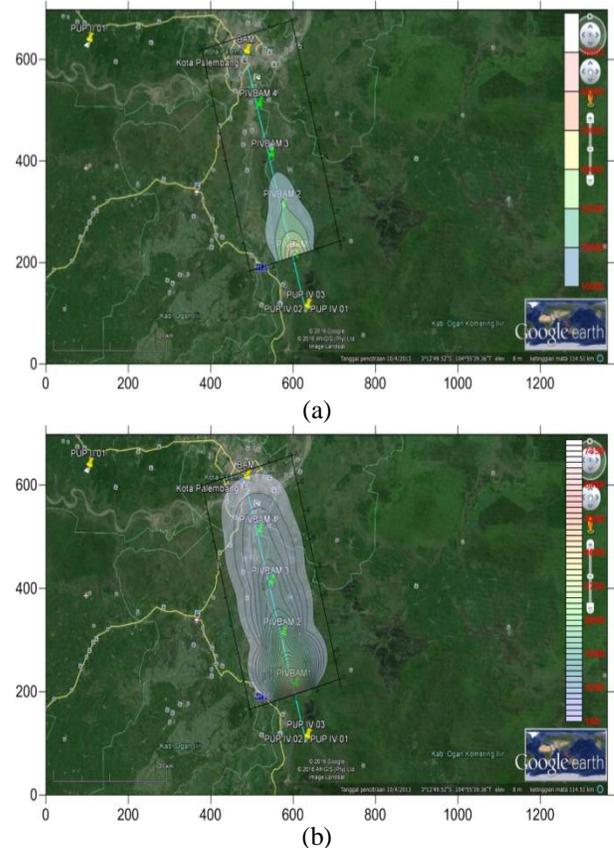


Gambar 3. Dispersi CO (a) PM_{10} (b) dari Kebakaran Hutan pada PUP I Menuju Palembang

Berdasarkan nilai validasi yang ada maka persamaan Gauss ini dapat dipakai untuk analisis dispersi polutan dari kebakaran hutan karena konsentrasi rata-rata yang diprediksi mendekati nilai konsentrasi rata-rata aktual dalam waktu yang lama. Kesimpulan pada penelitian ini akan diambil berdasarkan variasi kecepatan angin rata-rata. Konsentrasi polutan yang sampai ke Kota Palembang adalah $2322,21 \mu g/m^3$ CO dan $245,62 \mu g/m^3$ PM_{10} . Hasil perhitungan dari persamaan Gauss melebihi dari nilai aktual. Hal ini menunjukkan bahwa nilai aktual sudah termasuk proses deposisi dan penyerapan polutan oleh tumbuhan selama proses dispersi ke Palembang, sedangkan persamaan Gauss tidak memperhitungkan hal ini.

Jarak terjauh persebaran polutan sampai memenuhi baku mutu udara ambien berasal dari jenis hutan alam primer dataran tinggi (PUP I), yaitu 120 km untuk CO dan 200 km untuk PM_{10} . Simulasi persebaran polutan dari PUP I dapat dilihat pada Gambar 3. Polutan CO dari skenario PUP I dapat menjangkau Kabupaten Muara Enim dengan konsentrasi

melebihi baku mutu ($10000 \mu g/m^3$). Polutan PM_{10} dari skenario PUP I dapat menjangkau Kabupaten Ogan Ilir dengan konsentrasi yang melebihi baku mutu ($150 \mu g/m^3$).



Gambar 4. Dispersi CO (a) PM_{10} (b) dari Kebakaran Hutan pada PUP IV Menuju Palembang

Jarak terjauh persebaran emisi CO sampai nilai ambang batas ($10000 \mu g/m^3$) telah terlewati pada plot lain adalah 20 km untuk PUP II, 50 km untuk PUP III, dan 40 km untuk PUP IV. Jarak terjauh persebaran emisi PM_{10} sampai nilai ambang batas ($150 \mu g/m^3$) telah terlewati pada plot lain adalah 60 km untuk PUP II, 170 km untuk PUP III, dan 50 km untuk PUP IV. Jarak persebaran yang lebih pendek dapat menyebabkan nilai konsentrasi polutan yang sampai di Kota Palembang lebih besar. PUP IV memiliki konsentrasi paling besar dibandingkan plot yang lain. Hal ini bisa dilihat pada Gambar 4. Konsentrasi PM_{10} memenuhi baku mutu sesaat setelah memasuki Kota Palembang.

Berdasarkan konsentrasi polutan dari semua plot pada Tabel 2, hanya konsentrasi CO yang memenuhi baku mutu ($10000 \mu g/m^3$) sedangkan PM_{10} belum memenuhi baku mutu udara ambien ($150 \mu g/m^3$) yang ditetapkan Peraturan Gubernur Sumatera Selatan No. 17 Tahun 2005. Berdasarkan analisis persebaran masing-masing plot, daerah yang perlu mendapat perhatian ketika kebakaran hutan serupa terjadi adalah Kabupaten Lahat, Muara Enim, Ogan Ilir, Banyuasin, Musi Banyuasin, dan Musi Rawas. Keenam kabupaten ini menjadi daerah rawan yang terkena dampak kebakaran hutan karena apabila salah satu plot hutan terbakar dengan luas yang sama maka kualitas udara ambien di daerah tersebut tidak memenuhi baku mutu.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Konsentrasi polutan yang sampai ke Kota Palembang dari sejumlah titik api kebakaran hutan adalah $2322,21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk CO dan $245,62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk PM_{10} . Jarak terjaruh persebaran emisi CO sampai nilai ambang batas ($10000 \mu\text{g}/\text{m}^3$) telah terlewati adalah 120 km untuk hutan alam primer dataran tinggi, 20 km untuk hutan alam sekunder dataran rendah, 50 km untuk hutan rakyat, dan 40 km untuk hutan alam gambut sekunder. Jarak terjaruh persebaran emisi PM_{10} sampai nilai ambang batas ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$) telah terlewati adalah 200 km untuk hutan alam primer dataran tinggi, 60 km untuk hutan alam sekunder dataran rendah, 170 km untuk hutan rakyat, dan 50 km untuk hutan alam gambut sekunder.

Saran untuk penyempurnaan analisis dispersi polutan dari kebakaran hutan adalah reaksi kimia yang terjadi pada polutan di atmosfer perlu dipertimbangkan, penelitian selanjutnya dapat menggunakan persamaan Gauss puff atau perangkat lunak seperti *Community Multi-Scale Air Quality (CMAQ)* dan *Sparse Matrix Operator Kernell Emissions (SMOKE)* sebagai pembanding penelitian ini, sehingga hasil akhir yang didapat berupa model kebakaran hutan Sumatera Selatan, perhitungan jumlah emisi masing-masing polutan dapat dilakukan dengan mendapatkan hasil *proximate analysis* residu hutan di Sumatera Selatan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing dan dosen penguji Tugas Akhir atas saran dan masukan terhadap penulisan jurnal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Heriyanto, E., Syaufina, L., Sobri, M., 2015. "Forecasting Simulation of Smoke Dispersion from Forest and Land Fires in Indonesia. *Procedia Environmental Sciences* 24 (2015) 111-119.
- [2] Cahyono, Andy S., Warsito, S P., Andayani, W., Darwanto, D H. 2015. "Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kebakaran Hutan di Indonesia dan Implikasi Kebijakannya." *Jurnal Sylva Lestari* Vol. 3 No. 1 (2015) 103-112
- [3] Kementerian Lingkungan Hidup. 2011. Pengkajian Baku Mutu Kualitas Udara Ambien Lampiran PP No. 41 Tahun 1999. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup.
- [4] Sofiati, Iis. 2010. "Penyebaran Polutan dari Kebakaran Hutan dan Isu Pencemaran Udara di Malaysia." *Berita Dirgantara* Vol 11 No 2 (2010) 42-46.
- [5] Kementerian Kehutanan. 2014. Statistik Kementerian Kehutanan 2013. Jakarta: Kementerian Kehutanan
- [6] Badan Nasional Penanggulangan Bencana. 2013. Rencana Kontinjensi Nasional Menghadapi Ancaman Bencana Asap Akibat Kebakaran Hutan dan Lahan. Jakarta: Badan Nasional Penanggulangan Bencana.
- [7] Nuryanto, Danang Eko. 2015. "Simulation of Forest Fires Smoke Using WRF-Chem Model with FINN Fire Emissions in Sumatera." *Procedia Environmental Sciences* 24 (2015) 65-69.
- [8] Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. In Eggleston HS, Buendia L, Miwa K, Ngara T and Tanabe K, eds. Hayama: Institute for Global Environmental Strategies (IGES).
- [9] Prakosa, Dody. 2014. "Pengalaman Pembangunan PSP dan Rencana Pengelolaannya Pasca 2014 di Provinsi Sumatera Selatan." *Prosiding Workshop Monitoring Permanent Sample Plot di Sumatera Selatan*. Kementerian Kehutanan Republik Indonesia.
- [10] De Visscher, Alex. 2014. *Air Dispersion Modeling*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- [11] Badan Standardisasi Nasional. 2011. Pengukuran dan Perhitungan Cadangan Karbon – Pengukuran Lapangan untuk Penaksiran Cadangan Karbon Hutan. Jakarta: BSN
- [12] Perhitungan ISPU Bulan Juli-November 2015, BLH Kota Palembang, 2015.
- [13] UPTD Pengendalian Kebakaran Hutan dan Lahan Dinas Kehutanan Sumatera Selatan., 2016. **Luas Kebakaran Hutan dan Lahan Tahun 2015**. <<http://www.dishutsumsel.go.id/2016/02/22/luas-kebakaran-hutan-dan-lahan-tahun-2015/>>
- [14] United States Environmental Protection Agency. 1988. Gap Filling PM_{10} Emission Factors for Selected Open Area Dust Sources. Kansas City: Midwest Research Institute.