



ESTIMASI BEBAN EMISI DI KAWASAN TIMUR INDONESIA DARI SUMBER NON MIGAS (STUDI KASUS SULAWESI DAN PAPUA)

Estimation of Air Pollutant Emissions in Eastern Indonesia from Non-Oil and Gas Sources (Case Study in Sulawesi and Papua)

Dessy Gusnita* dan Dita Fatria

Peneliti Lingkungan Atmosfer, LAPAN
Jl. Dr. Djundjuna No. 133 Bandung, Jawa Barat 40173, Indonesia

*Keperluan Korespondensi, e-mail: nitagusnita@gmail.com

Received: October 25, 2018

Accepted: December 06, 2018

Online Published: December 31, 2018

DOI : 10.20961/jkpk.v3i3.24754

ABSTRAK

Telah dilakukan estimasi emisi polutan udara dari sumber non migas di kawasan Timur Indonesia yaitu propinsi Sulawesi dan Papua selama periode tahun 2014 - 2016. Makalah ini bermaksud melakukan estimasi emisi tiga polutan pencemar udara yaitu NO_x, SO₂ dan CO₂. Tujuannya agar diketahui jumlah beban emisi polutan dan gas rumah kaca (GRK) di wilayah Sulawesi dan Papua. Metode yang digunakan adalah metode estimasi emisi berbasis data statistik Pendapatan Domestik Regional Bruto (PDRB) di wilayah Papua dan Sulawesi. Hasil estimasi emisi polutan tersebut selanjutnya dilakukan pemetaan emisi polutan. Hasil menunjukkan emisi polutan udara di wilayah Sulawesi lebih tinggi daripada di Papua. Pemetaan emisi di wilayah Sulawesi meliputi 4 wilayah yaitu: Sulawesi Utara, Sulawesi Tengah, Sulawesi Selatan dan Sulawesi Tenggara. Wilayah Papua terdiri dari Papua dan Papua Barat. Analisis emisi polutan CO₂ di Sulawesi menunjukkan emisi tertinggi di wilayah Sulawesi selatan yaitu sebesar 84,4; 94,3; dan 103,7 ton berturut-turut dari tahun 2014-2016. Terjadi kenaikan emisi CO₂ di Sulawesi Selatan sebesar 23%. Emisi NO_x sebesar 0,53; 0,58; dan 0,64 ton, terjadi kenaikan emisi NO_x sebesar 21%. Emisi SO₂ sebesar 0,42; 0,47 dan 0,51 ton, terjadi kenaikan emisi SO₂ sebesar 21% selama tahun 2014 - 2016. Untuk wilayah Papua estimasi emisi tertinggi terjadi di wilayah Papua dibanding wilayah Papua Barat. Emisi CO₂ selama tahun 2014 hingga tahun 2016 berturut turut adalah sebesar 112; 124,8 dan 144,99 ton, kenaikan emisi CO₂ sebesar 29%. Emisi NO_x selama tahun 2014-2016 berturut-turut adalah: 0,70; 0,77 dan 0,89 ton, sehingga terjadi kenaikan sebesar 27%. Dan emisi SO₂ berturut-turut selama tahun 2014-2016 adalah 0,56; 0,61 dan 0,71 ton, terjadi kenaikan emisi SO₂ sebesar 26%.

Kata Kunci: estimasi emisi, Papua, Sulawesi, polutan udara, Indonesia Timur

ABSTRACT

Estimation of air pollutant emissions from non-oil and gas sources in eastern Indonesia, namely Sulawesi and Papua provinces during the period 2014 – 2016 was conducted. This paper intended to estimate the emission of three air pollutants namely NO_x, SO₂ and CO₂. The aim was to find out the amount of pollutant and greenhouse gas (GHG) emissions in the Sulawesi and Papua regions. The method used was the emission estimation method based on statistical data of Gross Regional Domestic Income (GRDP) in the Papua and Sulawesi regions. The results from estimation of pollutant emissions was then carried out for pollutant emissions mapping. The pollutant emission estimation showed the emission of air pollutants in Sulawesi region was higher than Papua. The mapping of emissions in Sulawesi were consisted of four provinces, namely north, central, south and southeast Sulawesi. The Papua region were consisted of Papua and west Papua provinces.

The highest emission in Sulawesi region was south Sulawesi. The CO₂ emission in Sulawesi was increase about 23% with the detail value; 84.4 tons in 2014; 94.3 tons in 2015; and 103.7 tons in 2016. The emission of NO_x during 2014 until 2016 are 0.53, 0.58 and 0.64 tons, there was an increasing in the emission of NO_x around 21%. In addition, SO₂ emission of south Sulawesi are 0.42 tons in 2014, 0.47 tons in 2015 and 0.51 tons in 2016, increased about 21 % during the year 2014 - 2016. In the Papua region, the emission in Papua was higher than Papua Barat province. CO₂ emissions in Papua during 2014 -2016 were 112, 124.8 and 144.99 tons, it means the CO₂ was increased 29%. The emission of NO_x during 2014-2016 were 0.70, 0.77 and 0.89 tons, increased around 27%. In addition, SO₂ emission was increase 26% with the detail value; 0.56 tons in 2014; 0.61 tons in 2015 and 0.71 tons in 2016.

Keywords: *emission estimation, Papua, Sulawesi, pollutant, East Indonesia*

PENDAHULUAN

Jumlah kendaraan dan kegiatan industri yang semakin meningkat sebagai akibat pertumbuhan penduduk dan ekonomi di perkotaan berdampak terhadap semakin meningkatnya gas-gas pencemar udara seperti CO (karbon monoksida), Sulfur Dioksida dan Nitrous Oksida. Menurut Mayer udara perkotaan terdiri atas berbagai polutan dengan konsentrasi tinggi, sehingga berbahaya bagi kesehatan [1]. Penelitian Kumar nilai ambang batas tertinggi atau terendah dari kandungan zat-zat pencemar dapat mempengaruhi mutu lingkungan [2].

Kawasan Timur Indonesia (KTI) memiliki wilayah yang cukup luas dan memiliki SDA potensial, konsekuensinya tentu akan berhadapan dengan berbagai kendala yang diakibatkan oleh proses industrialisasi, transportasi maupun perdagangan. Pertumbuhan ekonomi di Sulawesi telah mencapai 8 persen lebih. Sulawesi Tengah mampu mencapai 15 persen. Sulawesi Selatan dan Sulawesi Barat masing-masing tumbuh 7,15 persen dan 7,37 persen. Sementara itu, Sulawesi Tengah dan Sulawesi Tenggara mencapai pertumbuhan 15,1 persen dan 6,88 persen. Sedangkan

Gorontalo tumbuh 6,23 persen dan Sulawesi Utara tumbuh 6,12 persen [3].

Perkembangan dan peningkatan PDRB di wilayah KTI, salah satu konsekuensi yang akan dihadapi adalah bertambahnya emisi polutan udara yang diakibatkan oleh sektor domestik wilayah ini. Seperti kita ketahui selain sektor non migas, penyumbang utama polutan udara lainnya berasal dari bahan bakar fosil [3,8]. Penelitian yang dilakukan oleh F. Jansen menunjukkan bahwa di wilayah Manado 92% polutan CO berasal dari transportasi [4,5]. Makalah ini bermaksud menganalisa kondisi polusi udara di wilayah propinsi yang terletak di Timur Indonesia, dengan mengkaji emisi yang dihasilkan dari nilai PDRB wilayah Sulawesi dan Papua. Diharapkan dari makalah ini akan memberi masukan kepada pemerintah daerah setempat tentang dampak emisi polutan udara dan gas rumah kaca terhadap kualitas udara.

METODE PENELITIAN

Makalah ini menganalisa data Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) di wilayah Sulawesi dan Papua yang diperoleh dari Badan Pusat statistik (BPS) periode tahun

2014-2016. Selanjutnya data PDRB tersebut diolah untuk menghitung estimasi 3 polutan udara (NO_x, SO₂ dan CO₂). Estimasi emisi parameter CO₂, NO_x dan SO₂ dilakukan dengan metode sederhana yaitu melalui nilai Produk Domestik Regional Bruto per propinsi yang ada di Sulawesi dan Papua. Selanjutnya berdasarkan data dari Pengkajian Energi UI dilakukan konversi dari nilai PDRB menjadi beban emisi parameter polutan CO₂, NO_x dan SO₂ di tiap Propinsi/tahun berdasarkan harga nilai dollar tahun 1993 [6].

Rumus perhitungan estimasi emisi untuk Gas Rumah Kaca dan polutan udara didasarkan dengan perumusan seperti di bawah ini:

$$\text{Emisi (CO}_2, \text{SO}_2, \text{NO}_x) \text{ (Ton)} = \text{PDRB Propinsi (Million USD)} \times \text{Emission per PDRB (Ton/ Million USD).} \quad (1)$$

Rumus perhitungan emisi GRK berdasarkan acuan IPCC,[8, 21].

Setelah diperoleh nilai estimasi emisi polutan, selanjutnya dilakukan **mapping emisi** di wilayah Sulawesi dan Papua parameter untuk CO₂, SO₂ dan NO_x dengan menggunakan software *Arc Giss*.

Tabel 1 berikut ini menyajikan faktor konversi emisi setiap polutan (CO₂, NO_x dan SO₂) yang dikeluarkan oleh Pengkajian Energi Universitas Indonesia dengan berdasarkan pada nilai tukar dollar tahun 1993. Selanjutnya tabel tersebut digunakan untuk menghitung emisi polutan dari nilai PDRB yang tahun 2014 - tahun 2016 [6].

Tabel 1. Faktor konversi Emisi dari tiap Polutan per Produk Domestik Regional Bruto (berdasarkan nilai dolar tahun 1993)

Tahun	Emisi CO ₂ per PDRB	NO _x per PDRB	SO ₂ per PDRB
2014	1764,52	11,02	8,82
2015	1732,76	10,71	8,55
2016	1707,01	10,51	8,39

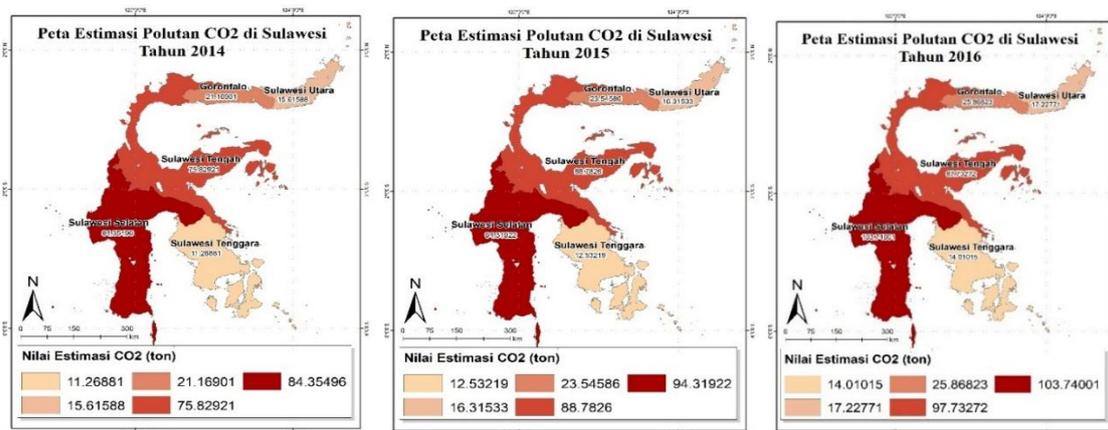
Sumber: Indonesia Energy Outlook and Statistic UI, 2004 [6]

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Mapping Emisi Polutan

Hasil estimasi emisi CO₂, NO_x dan SO₂ yang bersumber dari sektor non migas di wilayah Sulawesi dan Papua disajikan pada Gambar 1 sampai Gambar 6.

Gambar 1 menunjukkan peta estimasi CO₂ di Sulawesi tahun 2014-tahun 2016 di kawasan Sulawesi Tengah, Sulawesi Selatan, Sulawesi Utara dan Sulawesi Tenggara. Dari keempat wilayah di Sulawesi, Makassar merupakan kontributor CO₂ tertinggi di Sulawesi. Hasil emisi polutan CO₂ di Sulawesi menunjukkan nilai tertinggi di wilayah Sulawesi selatan yaitu sebesar 84,4 ton; 94,3 ton; 103,7 ton masing-masing berurutan dari tahun 2014 hingga tahun 2016. Dengan peningkatan yang cukup signifikan dari tahun 2014 hingga tahun 2016, maka terjadi kenaikan emisi CO₂ di Sulawesi Selatan sebesar 23%. CO₂ merupakan senyawa kelompok Gas Rumah Kaca yang dapat mengakibatkan terjadinya pemanasan global suhu di atmosfer bumi. Eddy H, dkk menyatakan bahwa sejak tahun 1990 telah terjadi laju kenaikan emisi CO₂ yang cukup signifikan di atas wilayah Indonesia dan menariknya laju kenaikan CO₂ ini diikuti naiknya laju intensitas hujan [7].



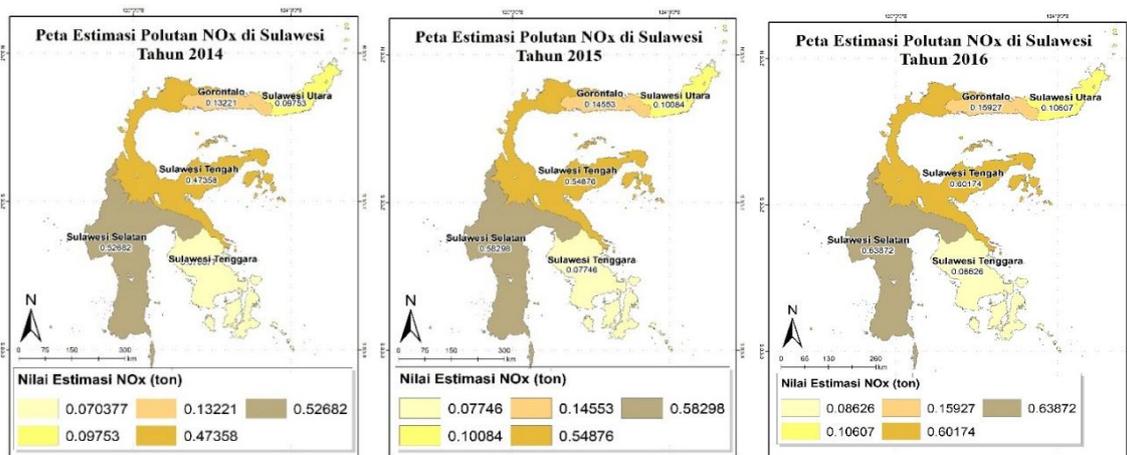
Sumber: Data PDRB BPS Sulawesi dengan pengolahan

Gambar 1. Emisi CO₂ dari sumber non migas di wilayah Sulawesi tahun 2014-2016

Gambar 2 menunjukkan peta estimasi polutan NO_x di Sulawesi. NO_x merupakan polutan yang banyak terdapat di daerah perkotaan yang berpenduduk padat akan lebih tinggi dibandingkan di pedesaan karena berbagai macam kegiatan manusia akan menunjang pembentukan NO_x, misalnya transportasi, generator pembangkit listrik, pembuangan sampah, dan lain-lain. Namun, pencemar utama NO_x berasal dari gas buangan hasil pembakaran bahan bakar gas alam [7]. Kadar NO_x di udara perkotaan

biasanya 10-100 kali lebih tinggi daripada udara pedesaan [4,17].

Peta emisi polutan NO_x di kawasan Sulawesi disajikan pada Gambar 2. Berdasarkan nilai PDRB di wilayah Sulawesi ditunjukkan bahwa Makassar merupakan wilayah dengan PDRB tertinggi mengemisikan NO_x sebesar 0,07 ton pada tahun 2014, dan meningkat hingga 0,087 ton pada tahun 2016. Dengan demikian di Makassar terjadi kenaikan emisi NO_x sebesar 21% selama kurun waktu 2 tahun. Sedangkan emisi NO_x yang terendah di wilayah Sulawesi Tenggara.

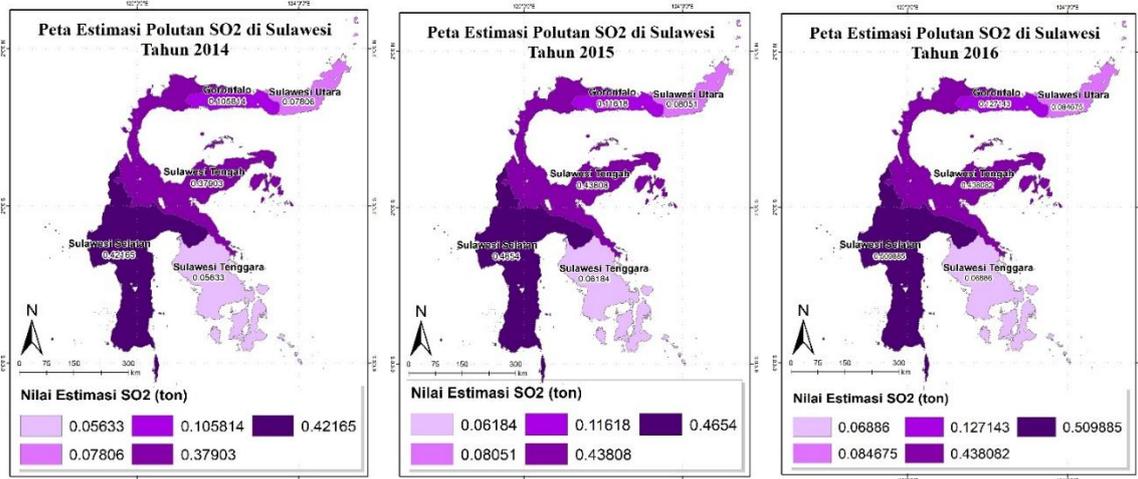


Sumber: Data PDRB BPS Sulawesi dengan pengolahan

Gambar 2. Emisi NO_x dari sumber non migas di wilayah Sulawesi tahun 2014-2016

Gambar 3 menyajikan estimasi emisi SO₂ di Sulawesi yang semakin meningkat dari tahun 2014-2016. Hal ini sejalan dengan peningkatan PDRB di wilayah tersebut. emisi SO₂ mengalami

peningkatan sebesar 26%, bila hal ini tidak disertai dengan penggunaan teknologi mitigasi polutan yang baik, maka akan menurunkan kualitas udara di wilayah tersebut.

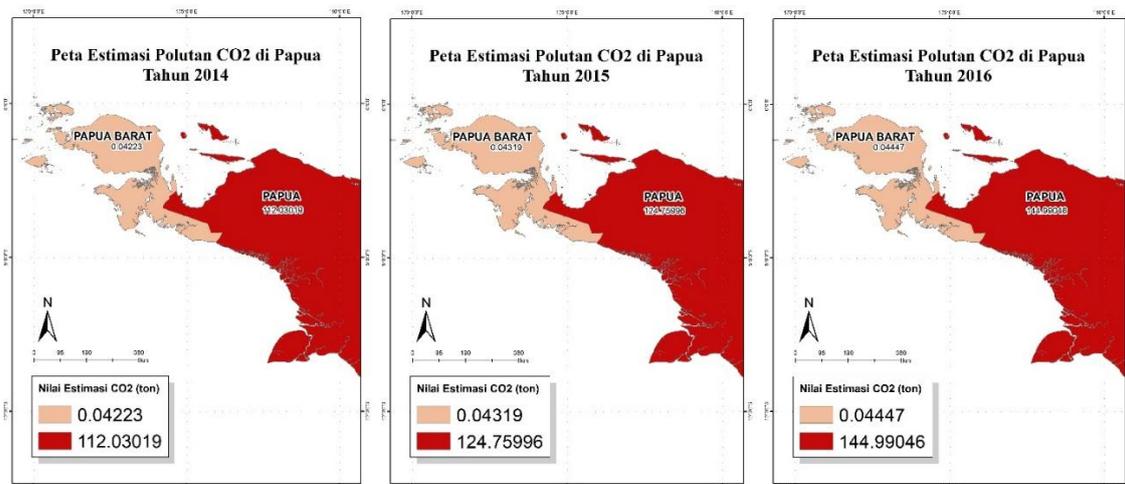


Sumber: Data PDRB BPS Sulawesi dengan pengolahan

Gambar 3. Emisi SO₂ dari sumber non migas di wilayah Sulawesi tahun 2014-tahun 2016

Gambar 4 sampai dengan Gambar 6 menunjukkan peta emisi CO₂, SO₂ dan NO_x di Papua dan Papua Barat pada periode tahun 2014 hingga tahun 2016. Gambar 4 menyajikan peta estimasi CO₂ di wilayah Papua dan Papua Barat selama tahun 2014- 2016. Peta

menunjukkan bahwa wilayah Papua mengemisikan CO₂ yang lebih dominan. Beban emisi CO₂ selama tahun 2014 menunjukkan angka sebesar 112 ton dan mengalami kenaikan sebesar 144 ton pada tahun 2016. Terjadi kenaikan emisi CO₂ sebesar 29%.

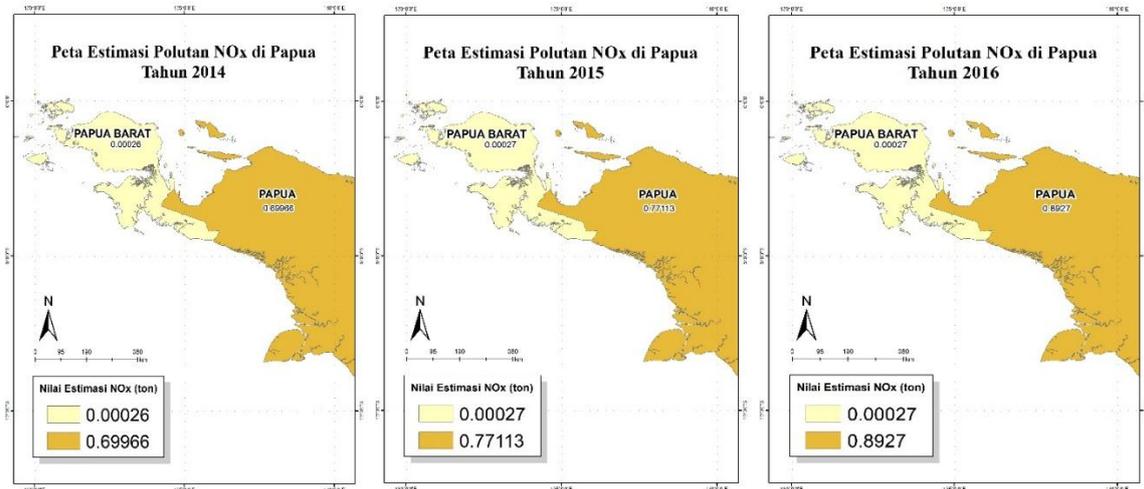


Sumber: Data PDRB BPS Papua dengan pengolahan

Gambar 4. Emisi CO₂ dari sumber non migas di wilayah Papua tahun 2014- tahun 2016

Gambar 5 menyajikan estimasi emisi NOx selama tahun 2014-2016 berturut-turut adalah: 0,70 ton; 0,77 ton dan 0,89 ton, sehingga terjadi kenaikan sebesar 27%.

Semakin meningkat PDRB suatu wilayah, maka semakin meningkat emisi yang akan dikeluarkan setiap tahunnya.

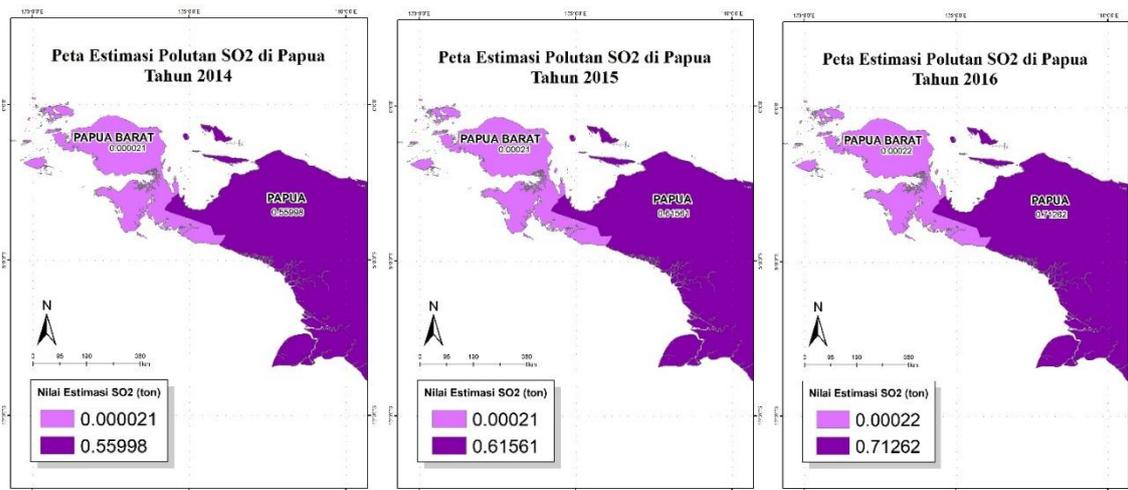


Sumber: Data PDRB BPS Sulawesi dengan pengolahan

Gambar 5. Emisi NOx dari sumber non migas di wilayah Irian Jaya tahun 2014-tahun 2016

Gambar 6 menyajikan estimasi emisi SO2 berturut-turut selama tahun 2014-2016 yaitu: 0,56 ton; 0,61 ton dan 0,71 ton. Terjadi kenaikan emisi SO2 sebesar 26% selama periode tersebut, sesuai dengan kenaikan

PDRB di wilayah ini. Mixing ratio SO₂ di udara perkotaan dapat mencapai hingga ratusan ppb, sedang di daerah background hanya berkisar 20 ppt hingga 1 ppb [14,15].



Sumber: Data PDRB BPS Papua dengan pengolahan

Gambar 6. Emisi SO₂ dari sumber non migas di wilayah Papua tahun 2014- tahun 2016

Tabel 2 dan 3 berikut ini menyajikan nilai estimasi emisi di pulau Sulawesi dan

Papua yang mengalami peningkatan dari tahun 2014 hingga tahun 2016.

Tabel 2. Rangkuman Estimasi Emisi Polutan di Sulawesi (Ton/tahun)

NO _x	2014	2015	2016	SO ₂	2014	2015	2016	CO ₂	2014	2015	2016
GORONTALO	0,13	0,15	0,16	GORONTALO	0,11	0,12	0,13	GORONTALO	21,17	23,55	25,87
SULTRA	0,07	0,08	0,09	SULTRA	0,06	0,06	0,07	SULTRA	11,27	12,53	14,01
SULSEL	0,53	0,58	0,64	SULSEL	0,42	0,47	0,51	SULSEL	84,35	94,82	103,74
SULTENG	0,47	0,55	0,60	SULTENG	0,38	0,44	0,44	SULTENG	75,83	88,78	97,73
SULUT	0,10	0,10	0,11	SULUT	0,08	0,08	0,08	SULUT	15,62	16,82	17,23

Tabel 3. Rangkuman Estimasi Emisi Polutan di Papua (Ton/tahun)

NO _x	2014	2015	2016	SO ₂	2014	2015	2016	CO ₂	2014	2015	2016
PAPUA	0,69966	0,77113	0,89270	PAPUA	0,55998	0,61561	0,71262	PAPUA	112,03019	124,75996	144,99046
PAPUA BARAT	0,00026	0,00027	0,00027	PAPUA BARAT	0,00002	0,00021	0,00022	PAPUA BARAT	0,04223	0,04319	0,04447

2. Kondisi Angin di Kawasan Timur Indonesia

Sebaran polutan udara dipengaruhi oleh beberapa faktor terutama faktor meteorologi yang terdiri dari angin, arah angin dan kestabilan atmosfer [18]. Secara umum, pola angin di Indonesia dipengaruhi oleh angin monsun timur dan monsun barat. Pada saat musim dingin Asia di sebagian besar Indonesia terjadi angin monsun barat dan sebagian kecil di bagian barat terjadi angin monsun timur. Sedangkan pada saat musim panas Asia, sebagian besar Indonesia terjadi angin monsun timur dan sebagian kecil di bagian barat terjadi angin monsun barat [19]. Selain faktor regional, faktor lokal seperti topografi wilayah juga berpengaruh terhadap kecepatan dan arah angin. Topografi mempunyai efek yang signifikan terhadap profil kecepatan angin [20]. Pulau Sulawesi dan Papua terdiri dari topografi yang kompleks, seperti gunung, lembah dan sungai yang berpengaruh terhadap kecepatan dan arah angin.

Kecepatan dan arah angin di setiap wilayah diwakili oleh data observasi dari stasiun Badan Meteorologi dan Klimatologi (BMKG). Tabel 4 menunjukkan arah angin dominan hasil plot *wind rose* di setiap provinsi di Pulau Sulawesi pada tahun 2014, 2015 dan 2016 selama periode Desember, Januari dan Februari (DJF), Maret, April dan Mei (MAM) dan Juni, Juli dan Agustus (JJA). Provinsi Sulawesi Tenggara merupakan wilayah yang dipengaruhi oleh angin monsun yang cukup kuat terlihat dari pola angin dominannya. Salah satu ciri angin monsun yaitu adanya pembalikan arah angin pada pola tahunan [21]. Pada periode DJF terjadi musim dingin di benua Asia dan musim panas di Asia, sehingga udara bergerak dari tekanan tinggi di benua Asia menuju tekanan rendah di benua Australia yang dikenal dengan monsun barat atau barat laut. Sebaliknya pada periode JJA terjadi musim panas di benua Asia dan musim dingin di benua Australia sehingga udara bergerak dari Australia menuju Asia atau yang dikenal dengan monsun timur atau tenggara [22].

Pada periode DJF tahun 2014 dan 2015, di stasiun meteorologi Sangia Ni Bandera (Sulawesi Tenggara) angin dominannya merupakan angin barat, kemudian terdapat pembalikan arah angin pada periode JJA yaitu menjadi angin timur. Sama halnya dengan provinsi Sulawesi Selatan yang dipengaruhi oleh angin monsun terutama pada tahun 2014 dan 2015. Di stasiun meteorologi maritim Paotore Sulawesi Selatan menunjukkan bahwa pada periode DJF tahun 2014 dan 2015 angin dominannya yaitu angin barat laut, sedangkan periode JJA angin dominannya merupakan angin tenggara. Berbeda dengan tahun 2016 angin dominan di semua bulan merupakan angin tenggara.

Di provinsi Sulawesi Utara, Gorontalo dan Sulawesi Tengah, hampir keseluruhan angin dominan baik pada bulan DJF, MAM dan JJA merupakan angin utara. Di tiga provinsi tersebut, angin meridional (utara-selatan) lebih dominan dibandingkan dengan provinsi Sulawesi Tenggara dan Sulawesi Selatan yang didominasi oleh angin zonal (barat-timur). Di stasiun Klimatologi Kayuwatu Manado pada periode DJF tahun 2014 dan 2015, angin dominannya merupakan angin utara dan pada bulan JJA merupakan angin selatan. Berdasarkan analisis perilaku angin di lapisan troposfer bawah menunjukkan bahwa di wilayah Manado relatif kuat dipengaruhi oleh angin meridional (utara-selatan) [21].

Tabel 4. Arah angin dominan di Pulau Sulawesi pada periode DJF, MAM dan JJA tahun 2014, 2015 dan 2016

Pulau	Provinsi	Arah Angin Dominan										
		2014			2015			2016				
		DJF	MAM	JJA	DJF	MAM	JJA	DJF	MAM	JJA		
	Sulawesi Utara	U	U	S	U	U	S	U	U	U		
	Gorontalo	U	U	U	U	U	U	U	U	U		
Sulawesi	Sulawesi Tengah	U	U	U	U	U	U	U	U	U		
	Sulawesi Tenggara	B	U	T	B	U	T	BD	T	T		
	Sulawesi Selatan	BL	Tg	Tg	BL	Tg	Tg	Tg	Tg	Tg		
Ket U : Utara		B : Barat										
S : Selatan		BD : Barat Daya										
BL : Barat Laut		Tg : Tenggara										

Berdasarkan lokasinya, Papua dipengaruhi oleh sirkulasi global *Hadley* dan *Walker*. Sirkulasi angin permukaan di wilayah ini dipengaruhi oleh angin pasat tenggara dan timur laut serta monsun barat, selain itu topografi di wilayah ini juga akan berpengaruh terhadap pola angin seperti adanya pegunungan [23]. Tabel 5 menunjukkan arah angin dominan di provinsi papua dan papua barat pada periode DJF, MAM dan JJA tahun 2014, 2015 dan 2016.

Pada periode DJF angin dominan merupakan angin utara baik di papua maupun papua barat pada tahun 2014, 2015 dan 2016. Pada periode JJA arah angin dominan merupakan angin timur pada tahun 2014 dan 2015, serta angin timur laut pada tahun 2016. Hal ini menunjukkan bahwa angin monsun barat lebih lemah dari pada angin monsun timur. Pada periode DJF, angin monsun barat yang terjadi berasal dari angin pasat timur laut yang berbelok menghasilkan kecepatan lebih

rendah terutama di bagian utara papua [24].
Pada periode JJA angin monsun timur cukup

berpengaruh terhadap arah angin dominan di
Papua Barat.

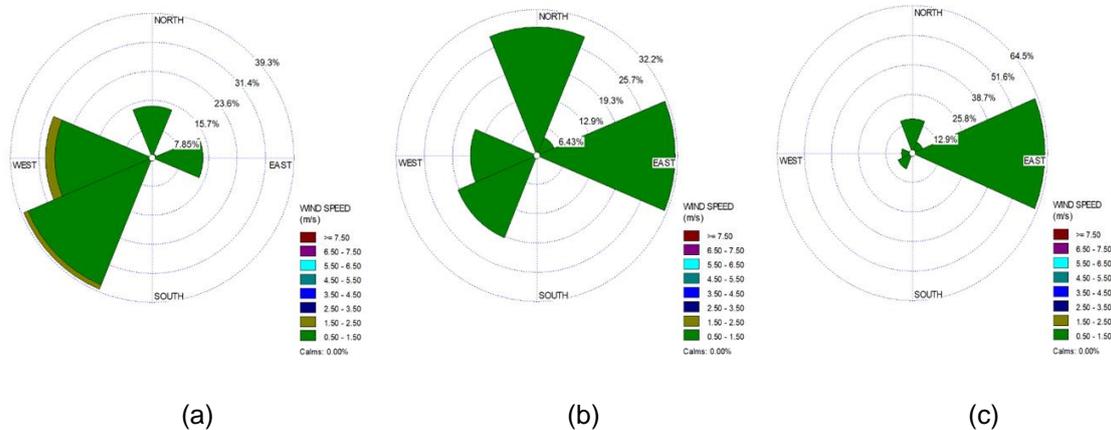
Tabel 5. Arah angin dominan di Papua pada periode DJF, MAM dan JJA tahun 2014, 2015 dan 2016

Pulau	Provinsi	Arah Angin Dominan								
		2014			2015			2016		
		DJF	MAM	JJA	DJF	MAM	JJA	DJF	MAM	JJA
Papua	Papua	U	U	T	U	U	TL	U	U	T
	Papua Barat	U	U	U	U	U	S	U	U	T

Ket: U : Utara
S : Selatan
BL : barat Laut
B : Barat
BD : Barat Daya
Tg : Tenggara

Gambar 7 merupakan gambar wind rose yang mewakili pengamatan di wilayah Sulawesi Tenggara pada tahun 2016, data angin diperoleh dari stasiun Meteorologi Sangia Ni Bandera. Secara keseluruhan, kecepatan angin di stasiun ini cukup rendah hanya berkisar antara 0,5 – 1,5 m/s. Arah angin dominan di stasiun Sangia Ni Bandera

adalah angin Barat Daya untuk periode DJF, kemudian pada periode MAM mulai berbelok dengan didominasi menjadi angin utara dan timur hingga memasuki periode JJA arah angin dominan merupakan angin timur. Hal tersebut menunjukkan bahwa angin monsun berpengaruh cukup kuat di wilayah Sulawesi Tenggara [22].



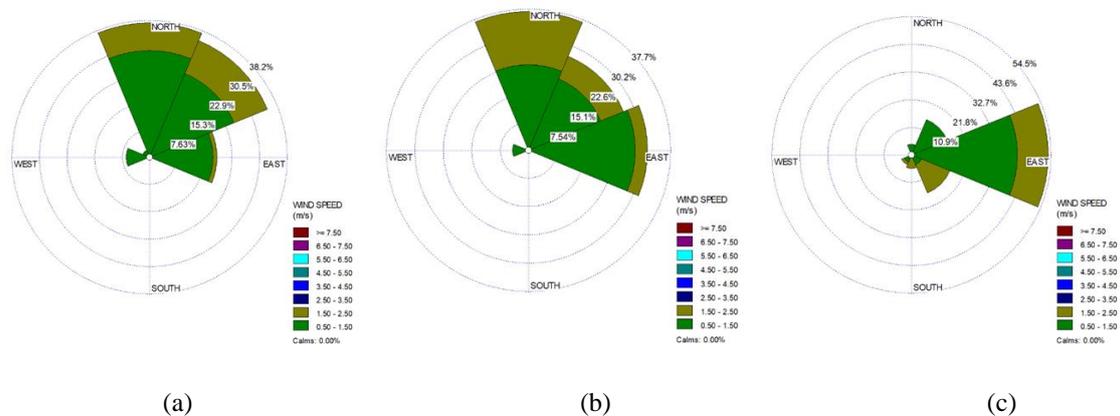
Gambar 7. Wind Rose di stasiun Meteorologi Mutiara Sulawesi pada bulan (a) Desember - Februari 2016, (b) Maret - Mei 2016 (c) Juni - Agustus 2016

Gambar 8 menunjukkan wind rose yang mewakili pengamatan di Papua Barat, yaitu stasiun meteorologi Seigun pada tahun 2016. Berbeda dengan di Stasiun Sangia Ni Bandera yang kecepatan anginnya hanya berkisar antara 0,5 – 1,5 m/s, di Stasiun

Seigun terdapat juga angina dengan kecepatan antara 1,5 – 2,5 m/s. Secara umum, arah angin dominan di stasiun ini adalah angin utara, tetapi perbedaan frekuensi kejadiannya dengan angin timur laut hanya 2,25. Pada periode MAM tidak

terdapat arah angin yang sangat dominan, karena angin utara, timur laut dan timur mempunyai perbedaan frekuensi kejadian yang kecil. Sedangkan pada periode JJA angin dominannya merupakan angin timur. Karena lokasi dan topografi di wilayah ini menyebabkan pola anginnya dipengaruhi oleh sirkulasi global, regional hingga faktor lokal [23]. Sehingga tidak terdapat arah angin

yang sangat dominan, pada periode DJF dan MAM arah angin utara, timur laut dan timur hanya memiliki perbedaan frekuensi kejadian yang kecil, sedangkan pada periode JJA angin dominannya merupakan angin timur yang mencapai 50%. Hal ini dikarenakan angin monsun timur lebih kuat dibandingkan angin monsun barat [24].



Gambar 8. Wind Rose di stasiun Meteorologi Seigun, Propinsi Papua Barat pada bulan (a) Desember - Februari 2016, (b) Maret - Mei 2016 (c) Juni-Agustus 2016

KESIMPULAN

Estimasi total emisi di wilayah Sulawesi berturut-turut adalah: CO₂ 702,31 Ton, emisi NO_x 4,35 Ton dan emisi SO₂ 3,47 Ton. Sedangkan total emisi di Papua berturut-turut adalah CO₂ 381,9 Ton, emisi NO_x 2,36 Ton dan SO₂ 1,88 Ton. Dengan kata lain emisi CO₂ di Sulawesi 1,84 kali lebih besar, emisi NO_x 1,84 kali lebih besar dan SO₂ 1,88 kali lebih besar daripada di Papua. Peningkatan emisi di wilayah Papua ini sejalan dengan peningkatan nilai PDRB di Sulawesi dan Papua yang terus meningkat. Sebagai konsekuensinya maka akan semakin meningkatkan emisi dari nilai PDRB di wilayah tersebut. Senyawa penyumbang

emisi tertinggi adalah CO₂ yang berperan penting dalam peningkatan konsentrasi gas Rumah Kaca di kedua wilayah tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh instansi Pemerintah Propinsi Sulawesi dan Papua yang telah menyediakan data PDRB yang berbasis online sehingga kami dapat mengunduh data statistik PDRB secara langsung melalui website.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] H. Mayer, "Air pollution in cities," *Atmospheric Environment*, vol. 33, pp: 4029–4037, 1999.

- [2] A. Kumar, "Ambient Air Quality Surveillance and Indexing in and around Mining Clusters in Western Kachch Region, Gujarat," *India Journal of Air Pollution*, vol. 1, pp. 22-33, 2012.
- [3] <https://www.suara.com/bisnis/2016/12/06/050000/sulawesi-dan-kalimantan-tetap-jadi-penggerak-pertumbuhan-ekonomi>, diunduh, Januari 2018.
- [4] F. Jansen, "Konsentrasi polusi udara dari kendaraan bermotor pada ruas jalan Sam Ratulangi, Manado," Univ. Samratulangi.
- [5] H. Akimonoto and H. Narita, *Atmospheric Environment*, 28, pp. 213-225. 1994.
- [6] Indonesia Energy outlook & statistics, PEUI, Univ. Indonesia, 2014.
- [7] E. Hermawan, Trimidiyanto, and T. Samiaji, "Polusi Udara dan Ozon, Perilaku Curah Hujan di Atas Semua Kawasan Indonesia pada Saat Emisi CO₂ Meningkat Drastis," *Prosiding Semnas*, Bandung. Oktober 2008
- [8] W. A. Wardhana, *Dampak Pencemaran Lingkungan*, Edisi Revisi, Yogyakarta: Andi Offset, 2004
- [9] <https://sulteng.bps.go.id/>, PDRB atas harga berlaku menurut pengeluaran, diunduh, 2 Februari 2018.
- [10] <https://sulbar.bps.go.id/>, PDRB atas harga berlaku menurut pengeluaran, diunduh, 2 Februari 2018.
- [11] <https://makassar.bps.go.id/>, PDRB atas harga berlaku menurut pengeluaran, diunduh, 2 Februari 2018.
- [12] <https://gorontalo.bps.go.id/>, PDRB atas harga berlaku menurut pengeluaran, diunduh, 2 Februari 2018.
- [13] <https://sultra.bps.go.id/>, PDRB atas harga berlaku menurut pengeluaran, diunduh, 2 Februari 2018.
- [14] <http://papua.bps.go.id/>, PDRB atas harga berlaku menurut pengeluaran, diunduh, 2 Februari 2018.
- [15] <http://papuabarat.bps.go.id/>, PDRB atas harga berlaku menurut pengeluaran, diunduh, 2 Februari 2018.
- [16] J. H. Seinfeld and S. N. Pandis, *Atmospheric Chemistry and Physics from Air Pollution to Climate Change*, New York: John Wiley and Sons, INC, 1998, pp. 27-29.
- [17] S. Wirjohamidjojo and Y. S. Swarinoto. *Iklim Kawasan Indonesia*. Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, 2010.
- [18] European Environment Agency, *Dispersal of Air Pollutant*, 2008.
- [19] Y. N. Maharani, S. Lee and Y. K. Lee, "Topographical Effects on Wind Speed over various terrains: a case study for Korean Peninsula," The seventh Asia-Pacific Conference on Wind Engineering, 2009.
- [20] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. vol. 2, Energy, NGG, 2006.
- [21] N. E. Kaparang and E. Hermawan, "Analisis Perilaku Angin di Lapisan 850 hPa Hasil Observasi Data WPR dikaitkan dengan Perilaku Data Indeks Monsun Global di Indonesia," *Jurnal Sains dan Dirgantara*, vol. 8, no.1, pp.1-24, 2010.
- [22] S. Prawirowardoyo, *Meteorologi*, Bandung: Penerbit ITB, 1996.
- [23] M. Prentice and G. S. Hope, "Climate of Papua. In: A. J. Marshall and B. M. Beehler, (Eds.)," *The Ecology of Papua*. Singapore, Periplus Editions. 2007, pp 177-195.
- [24] D. S. Permana, "Analisis Data Meteorologi dari Pemantau Cuaca Otomatis Berbagai Elevasi dan Data Radiosonde di Papua," *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, vol. 12, no. 1, pp.151-162, 2011.