

Pengaruh Hotspot Terhadap Variabilitas Aerosol Bulan Februari Tahun 2016-2019

Tanti Tritama Okaem¹, Dodi Saputra¹, Fajri Zulgino¹

¹ Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang

Abstrak. Pengamatan Aerosol merupakan salah satu program pengukuran yang dilakukan di Stasiun Pemantau Atmosfer Global (GAW) Bukit Kototabang. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tren konsentrasi Aerosol (*Black Carbon, Particulate Matter (PM10) dan Scattering Coefficient*) di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang dan untuk melakukan penelitian terhadap dampak kemunculan titik panas di Sumatera dengan pemantauan Aerosol. Penelitian ini dilakukan menggunakan data pengamatan pada bulan Februari tahun 2016-2019. Metode yang digunakan yaitu dengan membandingkan tren konsentrasi aerosol dan sumber hotspot yang mempengaruhinya. Melalui instrumen Catcos Magee Scientific Aethalometer untuk pengamatan Black Carbon, BAM 1020 untuk pengamatan PM10, Ecotech M9003 Integrating Nephelometer untuk pengamatan *Scattering Coefficient* dan pantauan titik panas (hotspot) di pulau Sumatera diambil dari data harian titik panas dari Satelit MODIS (Terra, Aqua, dan SNPP) dengan tingkat kepercayaan diatas 70%. Hasil penelitian ini menunjukkan konsentrasi PM 10 dan *Aerosol Scattering Coefficient* meningkat pada Februari 2019 dengan bertambahnya jumlah titik panas yaitu 367 titik dan arah pergerakan angin dominan dari timur dan timur laut. Sedangkan peningkatan titik panas pada tahun 2018 meningkatkan konsentrasi Black Carbon dan PM10.

(Kata kunci: Aerosol, Black Carbon, Scattering Coefficient, PM10)

Abstract. *Aerosol observation is one of the measurement programs carried out at Global Atmospheric Watch (GAW) Bukit Kototabang. This study aims to determine the trend of Aerosol concentrations (Black Carbon, Particulate Matter (PM10) and Scattering Coefficient) and to conduct research on the impact of hotspots in Sumatra with Aerosol monitoring. This research was conducted using observational data in February 2016-2019. The*

method used is the observation conducted for 24 hours through the Catcos Magee Scientific Aethalometer instrument for Black Carbon observations, BAM 1020 for PM10 observations, Ecotech M9003 Integrating Nephelometer for Scattering Coefficient observations and hotspots monitoring on Sumatra taken from daily data hotspots of MODIS Satellite (Terra, Aqua, and SNPP) with a confidence level above 70%. The results of this study indicate that the concentration of PM 10 and Aerosol Scattering Coefficient increases in February 2019 with hotspots 367 points and the direction of dominant wind from the east and northeast. Whereas an increase in hotspots in 2018 increases the concentration of Black Carbon and PM10.

(Keywords: *Aerosol, Black Carbon, Scattering Coefficient, PM10*)

Pendahuluan

Stasiun Pemantau Atmosfer Global (GAW) Bukit Kototabang yang berada di Bukit Kototabang dipilih sebagai tempat untuk mengukur referensi udara bersih, karena Bukit Kototabang ini berada jauh dari sumber-sumber pencemaran udara antropogenik seperti kawasan perindustrian, transportasi, dan pemukiman penduduk. Stasiun yang berada di area terpencil ini terletak di daerah ekuatorial pada ketinggian 864,5 m di atas permukaan laut dan 40 km dari garis pantai bagian Barat.

Baku mutu udara ambien adalah ukuran batas atau kadar zat, energi, dan/atau komponen yang ada atau yang seharusnya ada dan/atau unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam udara ambien [1]. Kualitas udara pada umumnya dinilai dari konsentrasi parameter pencemaran udara yang terukur lebih tinggi atau lebih rendah dari nilai Baku Mutu Udara Ambien Nasional. Baku mutu udara ambien nasional ditetapkan sebagai batas maksimum mutu udara ambien untuk mencegah terjadinya pencemaran udara sebagaimana terlampir dalam PP No.41 tahun

1999 [2]. Pemerintah menetapkan Baku Mutu Udara Ambien Nasional dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Baku mutu udara ambien nasional menurut PP. No.41 tahun 1999

No.	Parameter	Waktu Pengukuran	Baku Mutu
1.	Sulfur Dioksida (SO ₂)	1 jam	900 ug/Nm ³
		24 jam	365 ug/Nm ³
		1 tahun	60 ug/Nm ³
2.	Karbon Monoksida (CO)	1 jam	30 000 ug/Nm ³
		24 jam	10 000 ug/Nm ³
		1 tahun	-
3.	Nitrogen Dioksida (NO ₂)	1 jam	400 ug/Nm ³
		24 jam	150 ug/Nm ³
		1 tahun	100 ug/Nm ³
4.	Oksidan (O ₃)	1 jam	235 ug/Nm ³
		24 jam	-
		1 tahun	50 ug/Nm ³
5.	Hidro Karbon (HC)	3 jam	160 ug/Nm ³
6.	Partikulat < 10 um (PM10)	1 jam	-
		24 jam	150 ug/Nm ³
		1 tahun	-
	Partikulat < 2,5 um (PM2,5)	1 jam	-
		24 jam	66 ug/Nm ³
		1 tahun	15 ug/Nm ³

Dari 6 Parameter kualitas udara yang terdapat pada tabel 1 di atas, yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah Aerosol.

Aerosol memiliki peranan penting dalam iklim global baik dampak secara langsung maupun dampak tidak langsung. Dampak langsung aerosol terhadap iklim adalah dengan cara menyerap dan menghamburkan radiasi matahari sehingga dapat menyebabkan terjadinya pendinginan global, dan juga meningkatkan albedo awan. Dampak aerosol secara tidak langsung adalah dengan cara memodifikasi sifat optis awan [3].

Aerosol adalah kumpulan dari partikel-partikel padat yang tersuspensi di dalam medium gas dalam waktu yang cukup lama dan memungkinkan untuk diamati dan diukur. Pada umumnya, partikel aerosol berukuran 0,001-100 µm sehingga kasat mata. Aerosol dapat terbentuk melalui dua cara, yaitu proses alami dan proses buatan yang berasal dari aktivitas makhluk hidup.

Secara alami, sumber aerosol berasal dari debu daratan, garam laut, gunung berapi dan produksi biogenik [4]. Sedangkan sumber aerosol dari aktivitas manusia yaitu pembakaran bahan bakar fosil, seperti kegiatan industri dan transportasi yang dipercaya memberikan sumbangan yang cukup besar terhadap peningkatan jumlah aerosol atmosfer, khususnya di lapisan troposfer bawah. Demikian juga dengan kebakaran hutan yang sering terjadi di beberapa negara, termasuk Indonesia, menghasilkan aerosol dalam jumlah yang sangat banyak dan terdistribusi hingga ke tempat yang sangat jauh (remote area). Aerosol yang dihasilkan dalam peristiwa kebakaran

hutan lebih dikenal dengan istilah aerosol organik maupun Black Carbon (BC) [5].

Sumber aerosol Black Carbon (BC) memainkan peran utama selama musim panas dan penting secara global, karena daun yang kering pada pohon secara otomatis terbakar karena suhu yang panas [6]. Black Carbon (BC) merupakan jenis partikel polutan yang diperoleh dari pembakaran tidak sempurna dari apapun yang mengandung karbon seperti bahan bakar fosil, biofuel dan biomassa yang tidak mengandung Oksigen [7]. Diperkirakan 8 juta ton Black Carbon (BC) dan 37 juta ton Karbon Organik yang dipancarkan di seluruh dunia setiap tahun [8][9].

Kemunculan titik panas di Sumatera pada bulan Februari tahun 2019 mendorong penulis untuk membuat kajian terhadap pengaruh hotspot tersebut terhadap variabilitas Aerosol yang diamati. Kajian ini bertujuan untuk melihat tren konsentrasi Aerosol terhadap jumlah hotspot pada bulan Februari tahun 2016-2019. Parameter Aerosol yang dianalisis pada penelitian ini adalah Black Carbon (BC), Particulate Matter (PM10) dan Scattering Coefficient di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang.

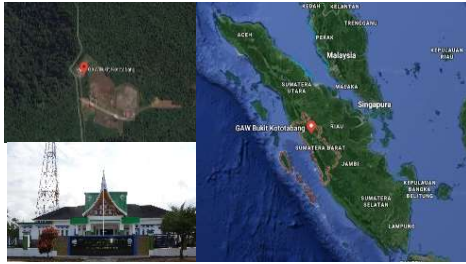
Jumlah hotspot pada bulan Februari tahun 2019 dua kali lipat jumlah hotspot pada tahun 2018. Kajian ini juga melihat pengaruh peningkatan hotspot terhadap parameter Black Carbon (BC), Particulate Matter (PM10) dan Scattering Coefficient. Konsentrasi Aerosol yang tinggi dapat menyebabkan gangguan kesehatan terutama gangguan pernafasan meskipun demikian konsentrasi Aerosol Black Carbon (BC) dan PM10 berkontribusi melalui umpan balik positif terhadap pemanasan global.

Dari hasil penelitian ini menjelaskan peningkatan hotspot tidak meningkatkan konsentrasi Black Carbon (BC) dan PM10, tapi meningkatkan konsentrasi Aerosol Scattering Coefficient.

Metodologi

Lokasi Penelitian

Pengukuran parameter Aerosol ini dilakukan di Stasiun Pemantau Atmosfer Global (GAW) Bukit Kototabang. Untuk menjamin kualitas data pengukuran, secara berkala 2-4 tahun sekali Stasiun GAW Bukit kototabang diaudit oleh World Calibration Center (WCC-EMPA) yang hasilnya tertuang dalam GAW Report.



Gambar 1. Lokasi pengambilan sampel

Data

Data yang digunakan pada kajian ini adalah data BC, Particulate Matter (PM₁₀) dan Scattering Coefficient pada bulan Februari tahun 2019-2016. Data yang digunakan merupakan data harian, untuk melihat tren konsentrasi dari masing-masing parameter. Pengamatan konsentrasi aerosol pada kajian ini menggunakan instrumen Catcos Magee Scientific Aethalometer untuk BC dimana data yang dihasilkan merupakan data konsentrasi setiap 1 menit dengan satuan ng/m³. Instrument BAM 1020 untuk konsentrasi PM₁₀ yang dihasilkan setiap 60 menit dalam satuan mikrogram per meter kubik (µg/m³). Dan Ecotech M9003 Integrating Nephelometer untuk pengamatan Scattering Coefficient dimana data yang dihasilkan setiap 1 menit dengan satuan Mm⁻¹ (Invers Megameter).

Data harian titik panas digunakan untuk analisa, data hotspot diperoleh dari website <http://satelit.bmkg.go.id> yang bersumber dari Satelit MODIS (Terra, Aqua, dan SNPP) dengan tingkat kepercayaan diatas 70%. Data pola pergerakan angin / streamline digunakan untuk melihat pola pergerakan angin dan mengindikasikan pengaruh arah angin terhadap tempat dilakukannya pengamatan.

Metode

Pengukuran parameter kualitas udara di Stasiun GAW Bukit Kototabang dilakukan monitoring selama 24 jam melalui instrumen Catcos Magee Scientific Aethalometer untuk pengamatan BC, BAM 1020 untuk pengamatan PM₁₀ dan Ecotech M9003 Integrating Nephelometer untuk pengamatan Scattering Coefficient.

Instrumen BAM 1020 bekerja berdasarkan prinsip pelemahan partikel beta yang melalui materi padatan yang dikumpulkan dalam pita filter yang terbuat dari fiber. Materi padatan yang terkumpul dalam filter fiber tidak lain adalah Aerosol PM₁₀ dalam satu volume udara ambien yang dihisap oleh pompa. Pelemahan spesifik fluks partikel beta oleh materi padatan yang terkumpul dalam pita filter

fiber sebanding dengan massa padatan tersebut. Selanjutnya massa yang telah terdeteksi oleh pelemahan partikel beta dibagi oleh volume udara yang terkumpul selama 1 jam sampel menghasilkan konsentrasi Aerosol PM₁₀ yang terkandung dalam satu volume udara ambien [10].

Prinsip kerja Ecotech M9003 Integrating Nephelometer adalah dengan melewati udara sampel dengan pompa melalui pipa inlet ke dalam suatu ruang penyorotan dan keluar melalui outlet sampel [11]. Cahaya dari sumber cahaya (LED) menyinari sampel udara dalam ruang ini, komponen gas dan partikel akan menyebabkan cahaya terpendar. Cahaya akan ditangkap oleh tabung photomultiplier. Photomultiplier ini membuat sinyal listrik proporsional terhadap intensitas cahaya. Sehingga sinyal yang dihasilkan tabung photomultiplier lah yang direkam ke dalam scattering coefficient dari sampel udara (σ_{sp}) [12].

Metode yang dilakukan pada kajian ini dengan menggunakan statistik deskriptif melihat tren konsentrasi BC, PM₁₀, Scattering Coefficient pada bulan Februari tahun 2019-2016. Data yang dihasilkan tersebut kemudian dianalisa dengan jumlah titik panas di Sumatera pada Februari tahun 2016-2019 dengan nilai kepercayaan diatas 70%.

Selanjutnya untuk memastikan arah dan sumber polutan dilakukan analisis dengan menggunakan Hysplit untuk melihat pola pergerakan angin dari sumber polutan ke titik pengamatan yang dilakukan.

Hasil dan Pembahasan

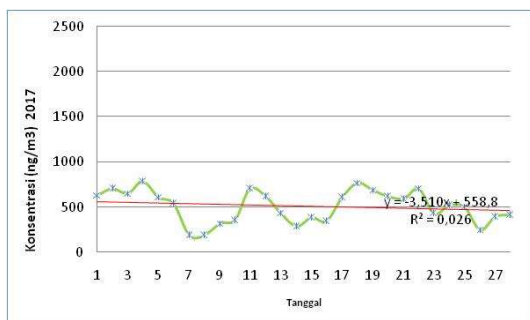
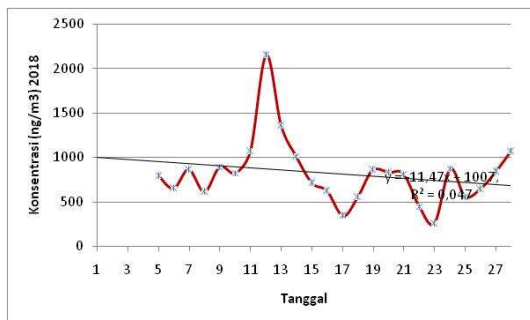
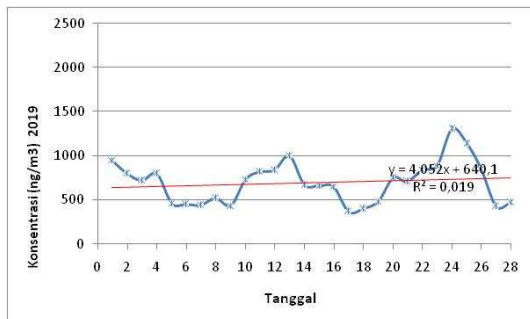
Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data konsentrasi BC, PM₁₀, Scattering Coefficient dan Jumlah Titik Hotspot pada bulan Februari dari tahun 2016-2019 di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang.

a. Analisis Black Carbon (BC)

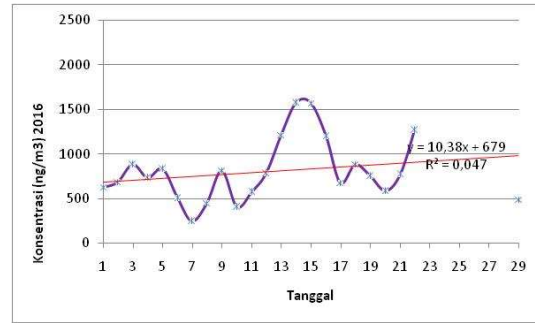
Variasi harian dari pengamatan BC pada bulan Februari tahun 2019-2016 di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang menunjukkan kecenderungan yang berfluktuasi (Gambar 2). Secara umum konsentrasi BC pada bulan Februari tahun 2019-2016 mengalami kenaikan dan penurunan tren konsentrasi. Pada tahun 2016 dan 2019 adanya peningkatan konsentrasi BC sedangkan pada tahun 2017 dan 2018 adanya penurunan konsentrasi BC walaupun tidak signifikan. Kondisi tidak adanya proses pengamatan antara tanggal 23-28 Februari 2016 lebih disebabkan oleh beberapa faktor teknis seperti padamnya listrik dan gangguan teknis.

Konsentrasi BC naik tidak terlalu fluktuatif pada tahun 2019 dengan nilai rata-rata maksimum sebesar 1307.4 ng/m³ pada tanggal 14 dan nilai rata-rata bulanan 698.9 ng/m³. Konsentrasi BC juga mengalami peningkatan pada tahun 2016 dengan nilai rata-rata maksimum sebesar 1576.8 ng/m³ dan nilai rata-rata bulanan 806.3 ng/m³.

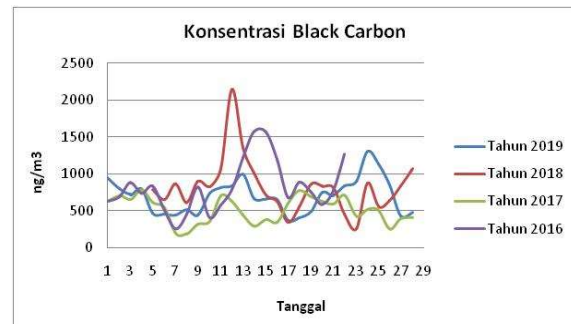
Konsentrasi BC mengalami penurunan pada tahun 2018 dan 2017, meskipun konsentrasi paling tinggi 4 tahun terakhir pada tahun 2018. Nilai rata-rata maksimum konsentrasi BC tahun 2018 dengan konsentrasi 2151.6 ng/m³ pada tanggal 12 dan nilai rata-rata bulanan 818.0 ng/m³. Tahun 2017 dengan nilai rata-rata maksimum pada tanggal 4 dengan konsentrasi 785.6 ng/m³ dan nilai rata-rata bulanan 507.9 ng/m³.



Okaem, dkk.: Pengaruh Hotspot terhadap Variabilitas Aerosol



Gambar 2. Konsentrasi Black Carbon (BC) harian pada bulan Februari 2016-2019



Gambar 3. Konsentrasi Black Carbon (BC) pada bulan Februari 2016-2019

Dari grafik diatas (Gambar.3) memperlihatkan perbandingan konsentrasi BC pada bulan Februari dari tahun 2016-2019. Secara umum menggambarkan pola yang sama pada dasarian I konsentrasi BC tidak terlalu mengalami peningkatan dan penurunan yang signifikan, sedangkan pada dasarian ke II atau pertengahan bulan adanya peningkatan dan penurunan konsentrasi BC. Perbandingan selama 4 tahun terakhir konsentrasi rata-rata maksimum tertinggi pada tahun 2018 yaitu sebesar 2151.6 ng/m³, diikuti tahun 2016 yaitu sebesar 1576.8 ng/m³ lalu tahun 2019 yaitu sebesar 1307.4 ng/m³ dan terakhir pada tahun 2017 sebesar 785.6 ng/m³.

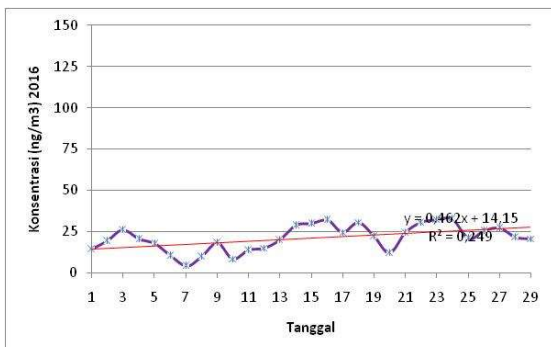
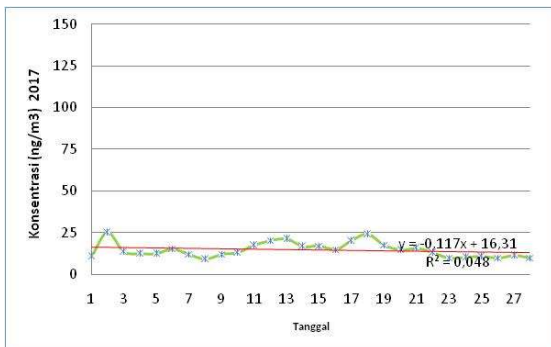
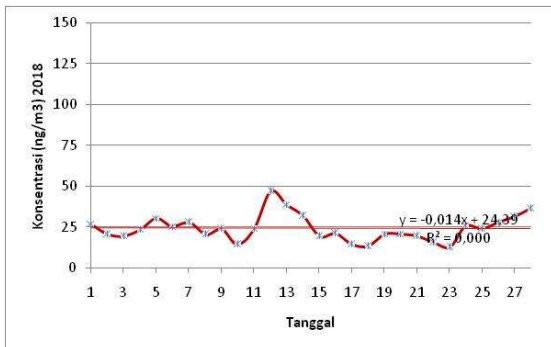
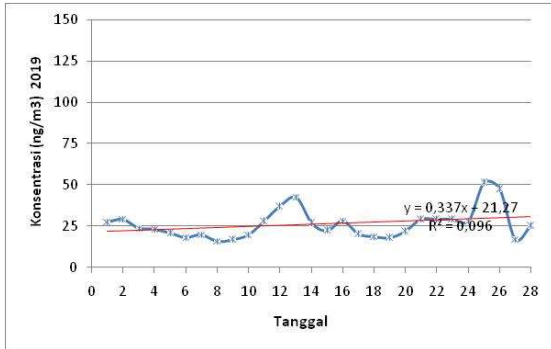
b. Analisis PM10

Hasil pengamatan Aerosol PM10 di Bukit Kototabang selama bulan Februari 2016-2019 menunjukan pola yang sama dengan konsentrasi BC dimana pada tahun 2016 dan 2019 adanya peningkatan konsentrasi PM10 walaupun demikian konsentrasi PM10 masih dalam kategori baik hingga sedang, sedangkan pada tahun 2017 dan 2018 adanya penurunan konsentrasi PM10 walaupun tidak signifikan.

Konsentrasi PM10 pada Februari 2019 mengalami kenaikan yang tidak terlalu signifikan pada pertengahan dan akhir bulan, nilai rata-rata maksimum dengan konsentrasi

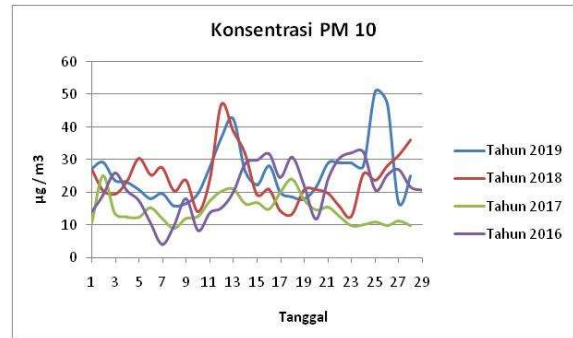
51.2 µg/m³ pada tanggal 25. Konsentrasi PM₁₀ pada Februari 2016 nilai rata-rata maksimum sebesar 32.5 µg/m³ pada tanggal 24.

Konsentrasi PM₁₀ memperlihatkan tren konsentrasi yang menurun walaupun tidak signifikan, pada Februari 2018 adanya peningkatan konsentrasi pada pertengahan bulan dengan nilai rata-rata maksimum sebesar 46.8 µg/m³ pada tanggal 12. Konsentrasi PM₁₀ pada Februari 2017 dengan nilai rata-rata maksimum sebesar 25.1 µg/m³ pada tanggal 2.



Okaem, dkk.: Pengaruh Hotspot terhadap Variabilitas Aerosol

Gambar 4. Konsentrasi PM₁₀ harian pada bulan Februari

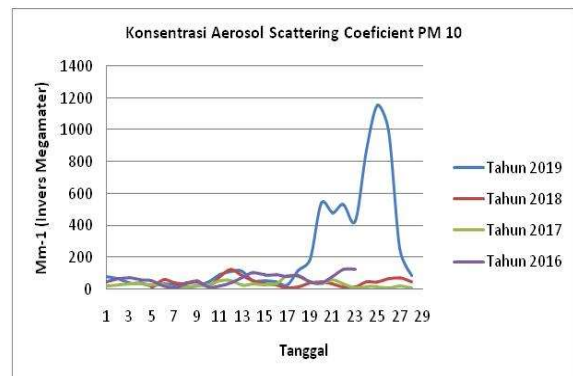


Gambar 5. Konsentrasi PM₁₀ pada bulan Februari 2016-2019

Data pengamatan pada bulan Februari 2016-2019 menunjukkan tidak ada konsentrasi PM₁₀ yang melewati nilai baku mutu udara nasional. Konsentrasi PM₁₀ tercatat dibawah nilai baku mutu nasional untuk Aerosol PM₁₀ yaitu 150 µg/m³ (Gambar 5). Tetapi pada Februari 2019 konsentrasi PM₁₀ masuk dalam kategori sedang yaitu berada diatas 50 µg/m³. Hal ini sesuai dengan peningkatan titik panas pada bulan Februari tahun 2019 yang mencapai 367 titik . Februari 2018 juga terlihat peningkatan konsentrasi PM₁₀ pada pertengahan bulan meskipun masih dalam kategori baik, pada bulan ini jumlah titik panas mencapai 162 titik lebih rendah dari tahun setelahnya. Begitu juga dengan Februari 2016 dan 2017 konsentrasi PM₁₀ masih dalam kategori baik yaitu dibawah 50 µg/m³.

c. Analisis Scattering Coefficient

Konsentrasi Aerosol Scattering Coefficient pada bulan Februari tahun 2016-2018 tidak mengalami kenaikan yang signifikan. Sedangkan pada tahun 2019 konsentrasi Aerosol Scattering Coefficient mengalami peningkatan yang cenderung tinggi. (Gambar 6)



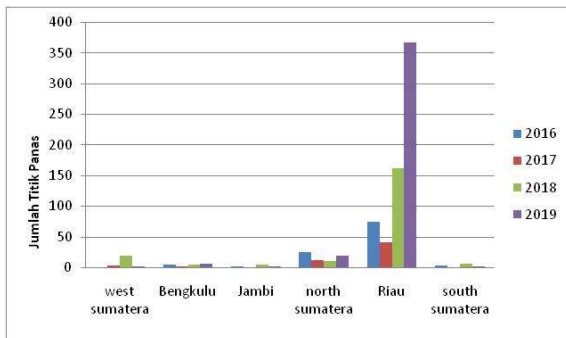
Gambar 6. Konsentrasi Aerosol Scattering Coefficient pada bulan Februari 2016-2019

Dari grafik diatas dapat kita lihat konsentrasi Aerosol Scattering Coefficient perbandingan selama 4 tahun terakhir pada bulan Februari konsentrasi rata-rata maksimum yang tertinggi pada tahun 2019 yaitu sebesar 1154 Mm⁻¹ meningkatnya konsentrasi Aerosol Scattering Coefficient seiring dengan meningkatnya jumlah titik panas pada Februari 2019 (Gambar 7) yaitu mencapai 367 titik dan dilihat dari pola pergerakan angin arah angin dominan berasal dari arah Timur dan Timur Laut yang merupakan lokasi banyaknya jumlah titik panas yang berasal dari provinsi Riau. Berdasarkan jumlah titik panas pada tahun 2019 tidak meningkatkan konsentrasi BC dan PM10, tetapi meningkatkan konsentrasi Aerosol Scattering Coefficient.

Jumlah titik panas pada Februari 2018 setengah dari jumlah titik panas tahun 2019 dan tidak membuat konsentrasi Aerosol Scattering Coefficient meningkat, konsentrasi rata-rata maksimum Aerosol Scattering Coefficient Februari 2018 yaitu sebesar 127.4 Mm⁻¹ dengan jumlah titik panas 162 titik. Februari 2017 dengan konsentrasi 86 Mm⁻¹ dan Februari 2016 dengan konsentrasi 124.3 Mm⁻¹.

d. Analisis Titik Panas

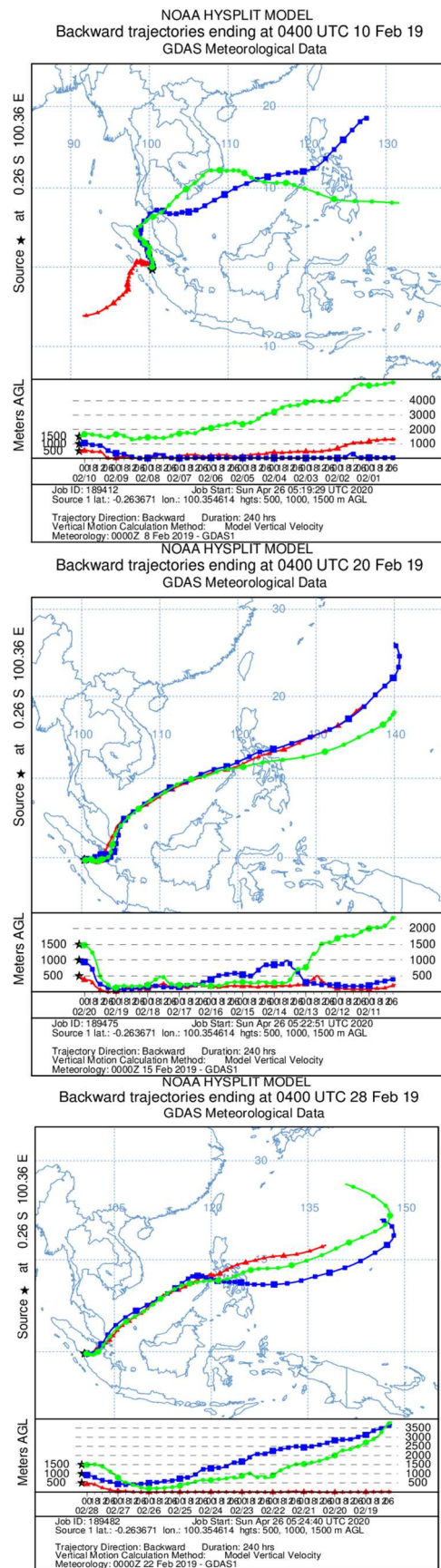
Penulis mengambil 6 provinsi dan kota di pulau Sumatera untuk melihat jumlah titik panas pada 4 tahun terakhir. Jumlah titik panas terbanyak dari tahun 2016-2019 berasal dari provinsi Riau dan dari Sumatera Selatan. Sedangkan dari provinsi Sumatera Barat, Bengkulu, Jambi dan Sumatera Selatan memiliki titik panas tetapi tidak terlalu banyak.



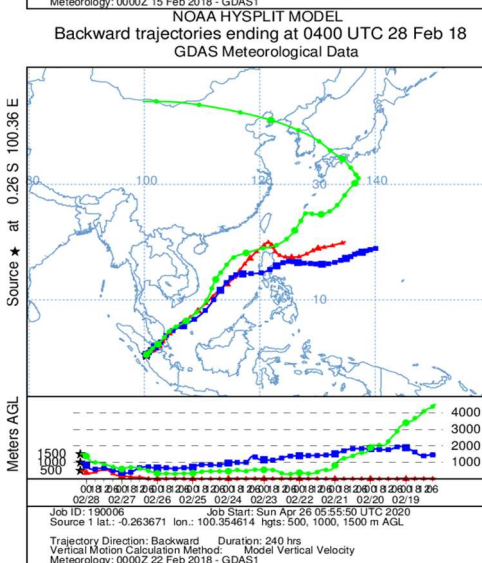
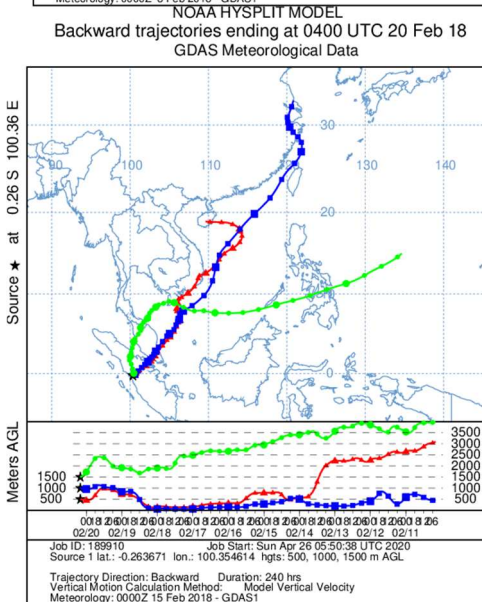
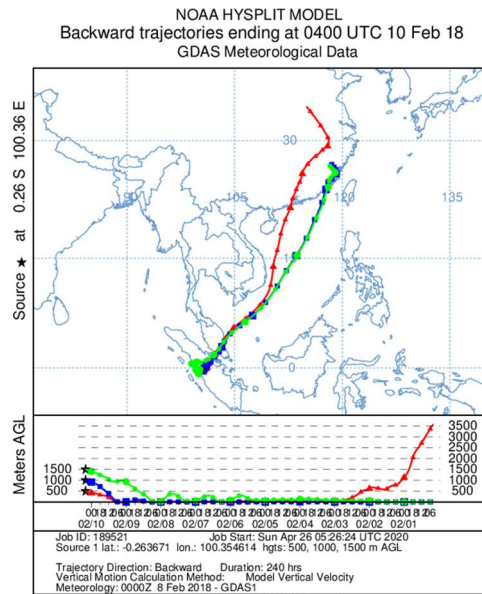
Gambar 7. Jumlah titik panas pada bulan Februari 2016-2019

Berdasarkan pantauan Satelit MODIS (Terra, Aqua, dan SNPP) di pulau Sumatera pada 4 tahun terakhir ditinjau dari sebarannya jumlah titik panas terbanyak terdapat di Riau dengan jumlah titik panas sebanyak 367 titik pada tahun 2019, 162 titik pada tahun 2018, 74 titik pada tahun 2016 dan 41 titik pada tahun 2017.

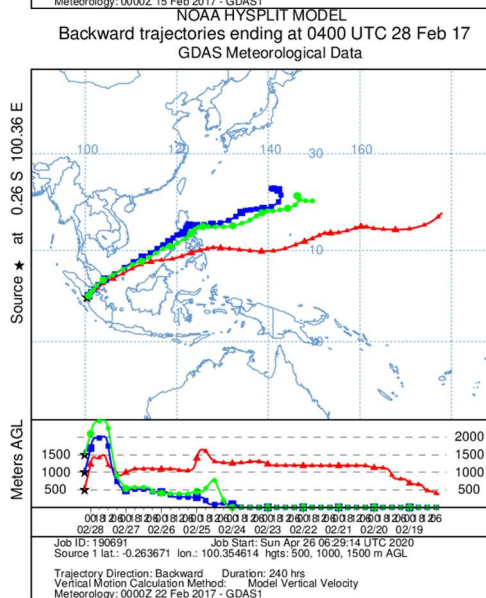
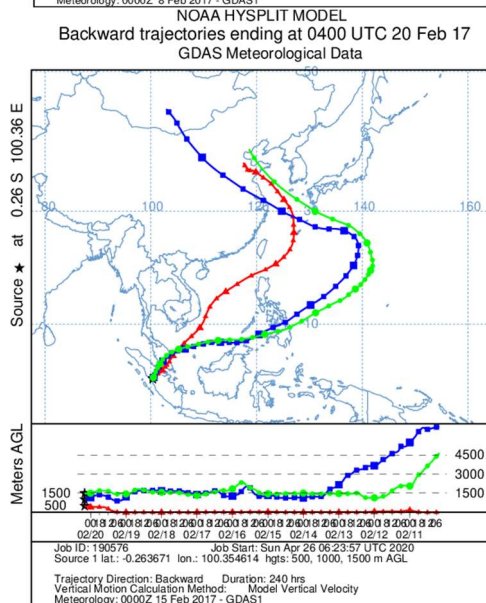
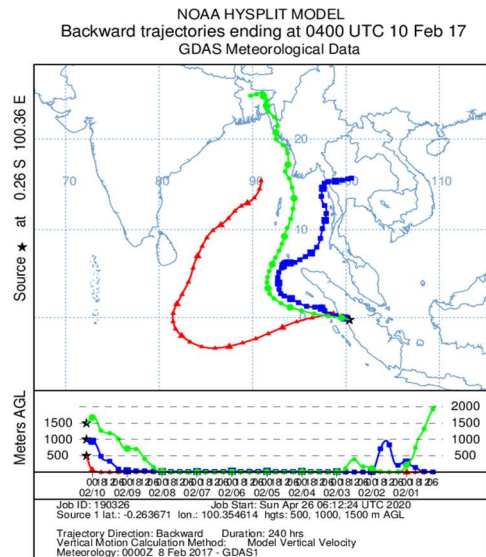
e. Analisis Pergerakan Massa Udara



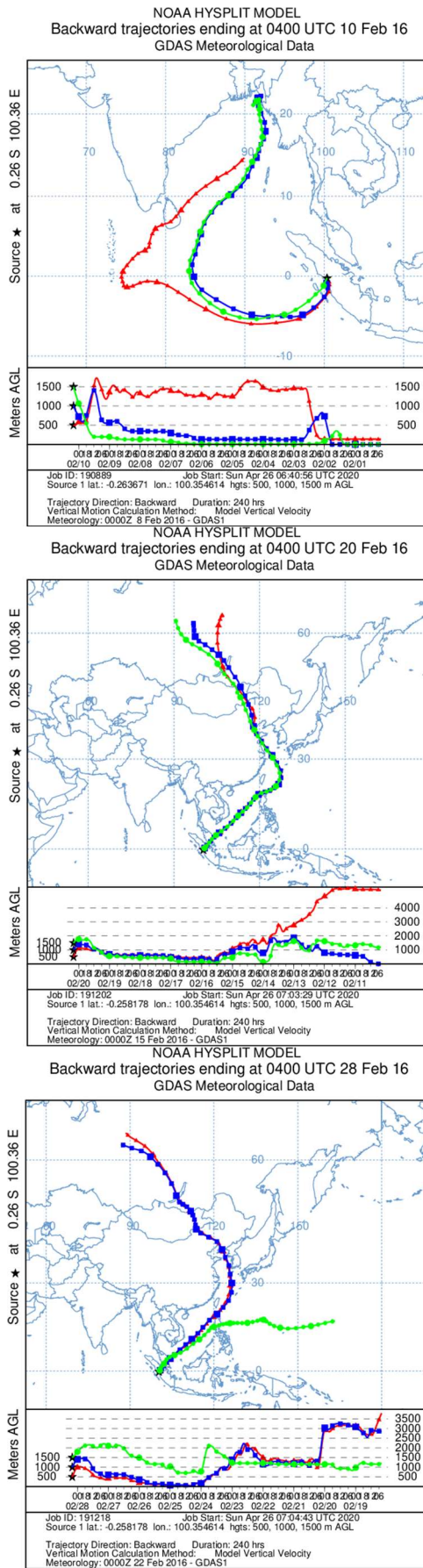
Gambar 8. Pergerakan massa udara dasarian Februari 2019



Gambar 9. Pergerakan massa udara dasarian Februari 2018



Gambar 10. Pergerakan massa udara dasarian Februari 2017



Gambar 11. Pergerakan massa udara dasarian Februari 2016

Gambar 8 sampai gambar 11 menunjukkan pergerakan massa udara dasarian pada bulan Februari tahun 2019-2016 dimana diambil tiga level ketinggian yaitu 500m, 1000m dan 1500m.

Berdasarkan pola pergerakan massa udara, pada tahun 2019-2016 dominan dari arah timur dan timur laut. Pada tahun 2019 terlihat bahwa memang terjadi peningkatan jumlah hotspot untuk wilayah Provinsi Riau hal ini juga diikuti dengan terjadinya peningkatan konsentrasi Aerosol Scattering Coefficient dan konsentrasi PM10 di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang.

Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil analisis konsentrasi Aerosol diatas dapat disimpulkan bahwa tren konsentrasi tren BC dan PM10 hampir sama, dimana menunjukkan tren naik pada tahun 2016 dan 2019 dan tren penurunan pada tahun 2017 dan 2018. Pada tahun 2019 konsentrasi Aerosol Scattering Coefficient terjadi peningkatan yang cukup signifikan dibandingkan 3 tahun sebelumnya, hal ini seiring dengan meningkatnya jumlah titik panas dan pola pergerakan massa udara, begitu pun konsentrasi PM10 yang juga mengalami peningkatan, meskipun nilai konsentrasi BC tidak mengalami kenaikan yang signifikan.

Jumlah titik panas paling banyak berada di provinsi Riau dan melihat pola pergerakan massa udara yang berasal dari arah Timur dan Timur laut membuat konsentration Aerosol Scattering Coefficient dan PM10 mengalami peningkatan pada tahun 2019. Perlunya kajian yang lebih dalam mengenai korelasi antara aerosol Scattering Coefficient, BC dan PM10 ini. Munculnya titik panas atau kebakaran hutan dapat dipicu oleh kondisi cuaca yang kering dan tidak turun hujan selama beberapa hari oleh karena itu masyarakat dihimbau untuk tidak membakar hutan untuk perluasan lahan.

Daftar Pustaka

[1] Presiden RI. (1999). Pengendalian Pencemaran Udara. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 tahun 1999.
 [2] Pemerintah Republik Indonesia No. 41 Tahun 1999 tanggal: 26 mei 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, Jakarta

- [3] Hamdi, Salpul. (2013). *Dampak Aerosol terhadap Lingkungan Atmosfer*. Berita Dirgantara Vol 14 No.1 Maret 2013: 9-16
- [4] Rathore N., Saraswati V., Mandot V., Bhatt P. (2017). *Aerosol: Production and Effects*. International Journal of Research. Vol. 4 Issue.03
- [5] Black Carbon Research. United States Environmental Protection Agency. (2019). <https://www.epa.gov/air-research/black-carbon-research>, diakses 20 September 2019.
- [6] Liveira, P.F., Artaxo, P., Pires, C., Lucca, S.D., Procopio, A., Holben, B., Schaffer, J., Cardoso, L.F., Wofsy, S.C., Rocha, H.R., (2007). *The effects of biomass burning aerosols and clouds on the CO₂ flux in Amazonia*. Tellus B: Chemical and Physical Meteorology: 338-349
- [7] Nussbaumer, T., (2010). *Overview on Technologies for Biomass Combustion and Emission Levels of Particulate Matter*. Verenum Langmauerstrasse 109 CH – 8006 Zürich Switzerland. ISBN: 3-908705-21-5
- [8] Bond, T.C., Streets, D.G., Yarber, K.F., Nelson, S.M., Woo, J.H., and Klimont, Z., (2004). *A technology -based global inventory of black and organic carbon emissions from combustion*. J. Geophys. Res: 109
- [9] Paliwal, U., Sharma, M., and Burkhart, J.F., (2016). *Monthly and spatially resolved black carbon emission inventory of India: uncertainty analysis*. Atmos. Chem. Phys., 16p
- [10] Kurniawan Agusta. 2017. Pengukuran Parameter Kualitas Udara (CO, NO₂, SO₂, O₃ dan PM₁₀) di Bukit Kototabang berbasis Ispu Vol 7. Hal 1-82. No. 1, 22 Desember 2017
- [11] Aurora 3000 User Manual 1.5. 2013. Aurora 3000 Multi Wavelength Integrating Nephelometer (with backscatter). Ecotech
- [12] Ilahi, Asep Firman & Setiawan Budi. 2008. Pengamatan Scattering Coefficient di Stasiun Pemantau Atmosfer Global (SPAG) Bukit Kototabang Analisis Bulan Oktober s/d Desember 2007. *Buletin Pengamatan Atmosfer Global Bukit Kototabang*. Vol 1, Januari 2008