

KARAKTERISTIK SPASIAL DAN TEMPORAL HOTSPOT DI PULAU SUMATERA

THE SPATIAL AND TEMPORAL CHARACTERISTICS OF HOTSPOT IN SUMATERA

Mulyono Rahadi Prabowo^{1,2*}, Yonny Koesmaryono¹, Akhmad Faqih¹, Ardhasena Sopaheluwakan²

¹Program Studi Klimatologi Terapan, Institut Pertanian Bogor, Dramaga, Bogor, Indonesia

²Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Kemayoran, Jakarta, Indonesia

*E-mail: m.prabowo@gmail.com

Naskah masuk: 11 Maret 2020

Naskah diperbaiki: 28 Juli 2020

Naskah diterima: 29 Juli 2020

ABSTRAK

Kebakaran hutan di Indonesia telah menjadi masalah global yang terjadi setiap tahun, terutama di Pulau Sumatra. Identifikasi kebakaran hutan dan lahan dalam penelitian ini didasarkan pada jumlah dan distribusi hotspot, berdasarkan data citra satelit dari *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) pada 2009-2018. Investigasi pada kondisi meteorologi juga didasarkan pada faktor-faktor global dari data *Oceanic Nino Index* (ONI), *Dipole Mode Index* (DMI) dan berdasarkan pada indeks kekeringan dari data *Standardized Precipitation Index* (SPI). Metode yang digunakan adalah metode analisis spasial dan temporal. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik pola distribusi hotspot di Pulau Sumatra, baik secara spasial dan temporal. Ada perbedaan karakteristik spasial dan temporal dari distribusi hotspot di pulau Sumatra, yang didasarkan pada karakteristik topografi, fase ENSO, serta periode musim hujan dan kemarau. Hujan orografis yang terjadi akibat topografi gunung di Aceh dan pantai barat Sumatra mengakibatkan berkurangnya titik api di daerah tersebut. Sementara itu, El Nino meningkatkan jumlah hotspot, sedangkan La Nina mengurangi jumlah hotspot. Dibandingkan dengan IOD, ENSO lebih berpengaruh pada terjadinya peristiwa hotspot di pulau Sumatra. Perbedaan periode musim kemarau di Sumatera utara, tengah, dan selatan juga memberikan perbedaan waktu terjadinya hotspot maksimum di Sumatera. Pola distribusi hotspot di Sumatera utara dan tengah memuncak pada bulan Februari dan Juni, sedangkan di selatan pada bulan September. Konsentrasi titik api yang tinggi (> 50 kejadian perbulan) pada umumnya terjadi di lahan gambut, yang umumnya ditemukan di Sumatera timur (Sumatera Utara, Riau, dan provinsi Sumatra Selatan).

Kata Kunci: Hotspot, Sumatera, SPI, spasial, temporal

ABSTRACT

Forest fires in Indonesia have become a global problem that occurs every year, especially on the island of Sumatra. The identification of forest and land fires in this study is based on the number and distribution of hotspots, based on satellite image data from the *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) in 2009-2018. Investigations on meteorological conditions are also based on global factors from *Oceanic Nino Index* (ONI) data, *Dipole Mode Index* (DMI) and based on the drought index from the *Standardized Precipitation Index* (SPI) data. The method used is a spatial and temporal analysis method. The purpose of this study was to determine the characteristics of hotspot distribution patterns on the island of Sumatra, both spatially and temporally. There are differences in the spatial and temporal characteristics of the hotspot distribution on the island of Sumatra, which is based on the characteristics of the topography, ENSO phase, as well as the wet and dry season periods. Orographic rain that occurred due to mountain topography in Aceh and the west coast of Sumatra resulted in reduced hotspots in the area. Meanwhile, El Nino increased the number of hotspots, while La Nina reduced the number of hotspots. Compared to IOD, ENSO is more influential on the occurrence of hotspot events on the island of Sumatra. The difference in the dry season period in northern, central and southern Sumatra also gives a difference in the time of the occurrence of maximum hotspots in Sumatra. The pattern of hotspot distribution in northern and central Sumatra peaked in February and June, while in the south in September. High hotspots (> 50 monthly events) with high concentrations occur on peatlands, which are commonly found in eastern Sumatra (province of North Sumatra, Riau, and South Sumatra).

Keywords: Hotspot, Sumatra, SPI, spatial, temporal

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara penghasil kelapa sawit terbesar di dunia, dengan perluasan lahan yang semakin bertambah sepanjang tahun hingga mencapai 12,75 juta hektar pada tahun 2018 [1]. Data yang sama menunjukkan bahwa sebagian besar wilayahnya berada di pulau Sumatera, yakni Sumatera Utara, Riau dan Sumatera Selatan dengan luasan mencapai >1 juta hektar lahan. Sebagian besar lahan perkebunan kelapa sawit di wilayah tersebut berada di atas lahan gambut [2]. Hal ini menimbulkan konsekuensi terhadap terjadinya kebakaran hutan dan lahan yang ditimbulkan dari usaha perluasan lahan kelapa sawit tersebut. Kondisi ini kemudian menyebabkan timbulnya bencana kebakaran hutan terutama di pulau Sumatera. Meskipun tidak semua kebakaran hutan di Indonesia dipicu oleh pembakaran hutan untuk perluasan lahan, namun [3] mengungkapkan bahwa kegiatan tersebut merupakan penyebab utama kebakaran hutan.

Tanaman gambut memiliki akar jauh di bawah permukaan tanah, sehingga menyebabkan api cepat menyebar dan sulit dipadamkan. Kebakaran hutan di Indonesia khususnya di pulau Sumatera merupakan bencana yang juga berkaitan erat dengan faktor meteorologis, yakni kurangnya curah hujan sebagai sumber pemadam api. Asap yang disebabkan kebakaran hutan kemudian terakumulasi di atmosfer dan bergerak ke wilayah yang cukup jauh hingga ke negara tetangga, yakni Malaysia, Singapura, Brunei hingga Thailand. Pencatatan indeks standar polusi/*Pollutant Standard Index* (PSI) di negara Malaysia dan Singapura akibat kebakaran hutan dan lahan di Indonesia pada tahun 1998 menunjukkan nilai yang sangat berbahaya, yakni lebih dari 100 pada pertengahan September hingga akhir Oktober 1998 [4]. Namun demikian, kondisi persebaran asap dari Indonesia sangat bergantung pada faktor meteorologis lainnya berupa arah dan kecepatan angin.

Penelitian ini terfokus pada sebaran titik api (*hotspot*) yang merupakan indikator lokasi terjadinya kebakaran hutan di wilayah Sumatera. Penelitian terdahulu yang berkaitan dengan identifikasi hotspot dilakukan dengan berdasarkan metode spasial statistik [5] serta dengan metode penginderaan jauh; yakni dengan memanfaatkan citra satelit Himawari [6]. Di Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) sendiri, pemantauan sebaran hotspot dilakukan dengan menggunakan citra *Visible infrared Imaging Radiometer Suite* (VIIRS) dan MODIS pada satelit polar (NOAA20, S-NPP, TERRA dan AQUA).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik pola sebaran *hotspot* di pulau Sumatera baik secara spasial maupun temporal. Metode yang digunakan adalah metode analisis deskriptif, yakni dengan membandingkan kejadian kebakaran hutan pada periode yang berbeda di pulau Sumatera, yang kemudian dibandingkan dengan fase meteorologis yang dominan

pada periode yang sama, baik secara spasial maupun temporal. Sementara itu manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan dalam proses penanggulangan bencana kebakaran hutan, khususnya di Sumatera.

2. Data dan Metode Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data multitemporal dari citra satelit Terra dan Aqua dari tahun 2009 hingga 2018. Salah satu perangkat yang digunakan dalam memantau kebakaran hutan dan lahan adalah *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS). MODIS adalah salah satu instrumen utama yang dibawa *Earth Observing System* (EOS) Terra dan Aqua satelites, yang merupakan bagian dari program antariksa Amerika Serikat, *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). MODIS mengorbit bumi secara polar yaitu dari utara menuju selatan pada ketinggian 705 km dan melewati garis khatulistiwa pada pukul 10.30 waktu lokal. MODIS mempunyai cakupan lebih luas dari pada sensor *The Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR) sebesar 2.330 km dengan resolusi spasial yang lebih baik. Selain itu MODIS mempunyai jendela atau kanal spektral yang lebih sempit dan beragam. Titik panas atau *hotspot* dideteksi oleh MODIS menggunakan satelit Terra (EOS AM) dan Aqua (EOS PM) dari NASA *Earth Observing System* (EOS). MODIS akan mendeteksi suatu objek di permukaan bumi yang memiliki suhu relatif lebih tinggi dibandingkan dengan suhu sekitarnya. Suhu yang dideteksi adalah 320 K (siang) dan 315 K (malam) untuk sebuah *hotspot*. Titik panas MODIS terdeteksi pada ukuran 1 km x 1 km atau 1 km² sehingga setiap *hotspot* yang terdeteksi diwakili oleh 1 pixel. *Confidence level* yang digunakan penentuan titik *hotspot* adalah 80%. Referensi mengenai modis dapat dilihat langsung pada buku pedoman pengguna MODIS [7].

Metode yang digunakan dalam pemantauan titik panas (*hotspot*) adalah metode analisis temporal dan spasial. Metode analisis temporal dilakukan untuk periode waktu 10 (sepuluh) tahun dari tahun 2009 hingga 2018, yakni dengan menghitung jumlah kejadian *hotspot* tiap bulan di pulau Sumatera selama periode penelitian. Hasil analisis secara temporal diharapkan dapat digunakan dalam proses pencegahan kebakaran dan pembakaran hutan pada saat periode puncak kejadian kebakaran hutan di lokasi penelitian. Selanjutnya juga dilakukan pengeplotan jumlah kejadian *hotspot* tahunan, guna mengetahui keterkaitan frekuensi kebakaran hutan dengan fase *El Nino Southern Oscillation* (ENSO). Data yang digunakan dalam merepresentasikan fase ENSO adalah data *Oceanic Nino Index* (ONI) dari

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) dari tahun 2009 hingga 2019. Keterkaitan kejadian kebakaran hutan dengan aktifitas *Indian Ocean Dipole* (IOD) juga dikaji dalam penelitian ini. Data yang diunakan adalah data *Dipole Mode Index* (DMI) pada periode yang sama dengan data ONI, yang diperoleh dari NOAA-Earth System Research Laboratory's (ESRL). Dokumentasi pemanfaatan data ONI dan DMI telah dipublikasikan oleh Food and Agriculture Organization (FAO) Amerika Serikat [8] dan Saji, dkk [9].

Untuk memperkuat analisis pada proses ini maka dilakukan perbandingan dengan data *Standardized Precipitation Index* (SPI) untuk periode waktu yang sama. SPI merupakan indeks yang digunakan untuk menunjukkan probabilitas presipitasi pada skala waktu tertentu, sebagai salah satu acuan dalam menentukan tingkat kekeringan di suatu wilayah [9]. Nilai SPI dihitung menggunakan metode statistik probabilitas distribusi gamma. Bila hujan yang turun berkurang maka akan mengakibatkan kandungan air di dalam anah juga ikut berkurang, yang kemudian juga akan mengurangi debit aliran air di dalam tanah. Nilai SPI yang diperoleh kemudian dinormalkan sehingga indeks SPI bernilai ≈ 0 untuk kondisi normal, 2 untuk basah ekstrem dan -2 untuk kering ekstrem berdasarkan klasifikasi McKee [10]. Data yang digunakan dalam perhitungan SPI adalah data model presipitasi dari *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF), yang sebelumnya telah dilakukan koreksi bias dengan data pengamatan hujan permukaan. Model prakiraan dari ECMWF beroperasi sejak tahun 1979, yang saat ini telah memiliki 5 (lima) sistem yakni; model sirkulasi umum,

model gelombang laut, sistem asimilasi data, prakiraan *ensemble* dan sistem prakiraan musim [11]. Model ECMWF yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan model sirkulasi umum dengan sistem asimilasi data. Tabel 1 menunjukkan identitas data yang digunakan dan kontribusinya terhadap hasil penelitian secara keseluruhan.

Sementara itu, metode analisis spasial dilakukan dengan menggunakan data penginderaan jauh. Analisis spasial dilakukan dengan cara memetakan rata - rata bulanan titik sebaran hotspot di pulau Sumatera selama 10 (sepuluh) tahun. Hasil analisis secara spasial diharapkan mampu mengkaji pola sebaran *hotspot* di pulau Sumatera, sehingga diperoleh perencanaan mitigasi bencana kebakaran hutan yang lebih presisi dari segi lokasi.

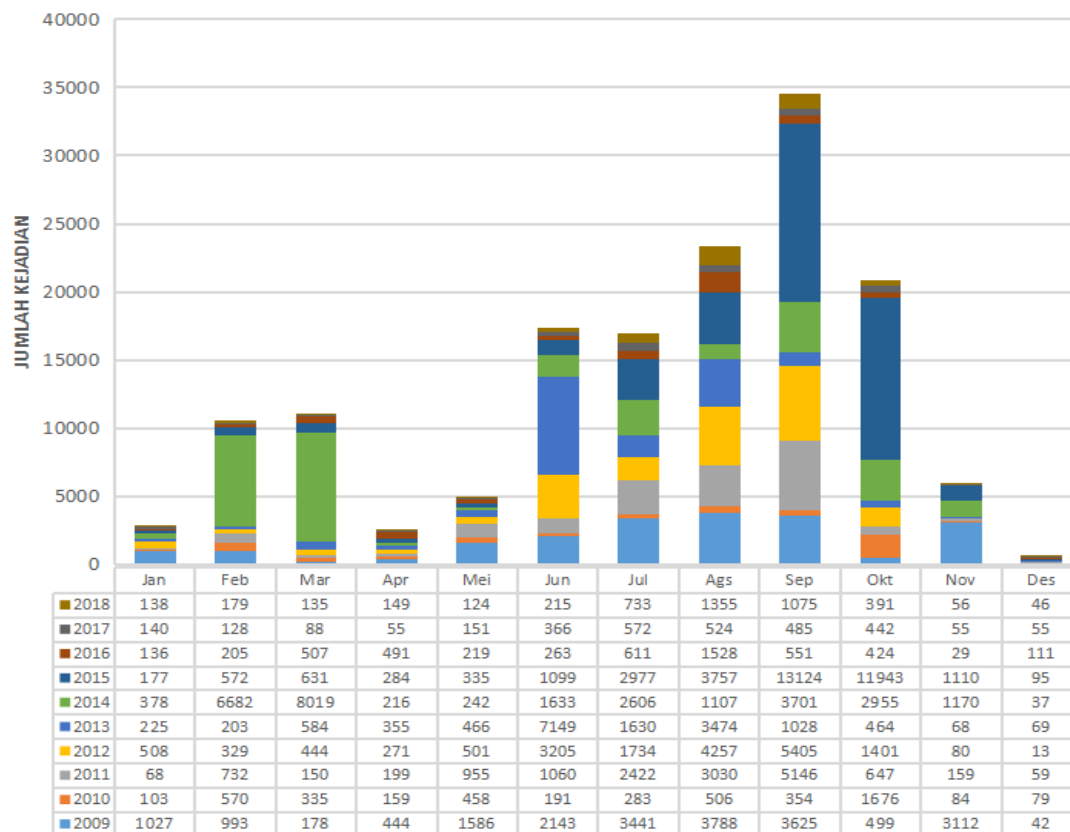
3. Hasil dan Pembahasan

Varasi Temporal Hotspot di Pulau Sumatera.

Dari variasi temporal *hotspot* (Gambar 1) yang diperoleh dari total kejadian bulanan dari tahun 2009 hingga 2018, dapat terlihat bahwa kejadian kebakaran terbanyak terjadi pada bulan Juni - Oktober Kondisi ini bersamaan dengan periode musim kemarau di Indonesia secara umum, yakni ketika atmosfer menjadi lebih kering dibandingkan dengan pada bulan November - Mei.

Tabel 1. Identitas data penelitian

Data	Resolusi	Periode	Satuan	Sumber	Kontribusi
MODIS	25x25 km, harian	2007-2018	Jumlah/km ²	NOAA	Identifikasi Hotspot
ECMWF	harian 0.75°, harian	2009 - 2019	mm/hari	ECMWF	Identifikasi SPI
Obs. Hujan permukaan	harian	2009 - 2019	mm/hari	BMKG	Koreksi ECMWF
ONI	bulanan	2009 - 2019	-	NOAA	Identifikasi faktor meteorologis (ENSO)
DMI	bulanan	2009 - 2019	-	JAMSTEC	Identifikasi faktor meteorologis (IOD)



Gambar 1. Jumlah kejadian hotspot pada wilayah Sumatera tahun 2009 - 2018

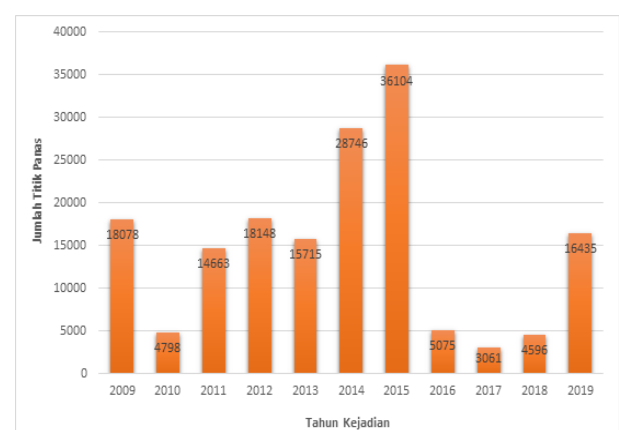
Pantauan *hotspot* dari Gambar 1 menunjukkan bahwa jumlah *hotspot* tertinggi di wilayah Sumatera pada tahun 2009 terjadi pada Bulan Agustus sebanyak 3.788 titik, sementara di tahun 2010, *hotspot* tertinggi terjadi di Bulan Oktober dengan jumlah *hotspot* sebanyak 1.676 titik. *Hotspot* di tahun 2011 maupun tahun 2012 terjadi di Bulan September dengan nilai *hotspot* berturut-turut sebesar 5.146 dan 5.405 titik.

Berbeda dengan tahun 2011 dan tahun 2012, lonjakan *hotspot* pada tahun 2013 dan 2014 di wilayah Sumatera terjadi pada Bulan Juni 2013 dan Maret 2014 dengan nilai berturut-turut sebesar 7.149 dan 8.019 titik. Sementara, lonjakan *hotspot* di tahun 2015 menunjukkan nilai yang berbeda dengan tahun-tahun sebelumnya yaitu sebesar 13.124 titik di Bulan September. Hal tersebut diperkirakan karena pengaruh El Nino kuat, yang menghambat pertumbuhan awan hujan dan menyebabkan kondisi permukaan tanah dan udara menjadi kering di Sumatera.

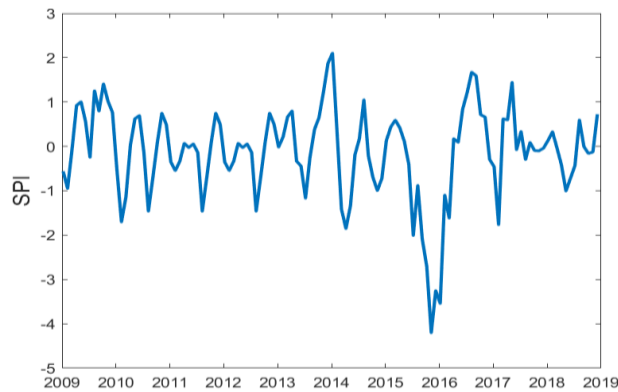
Tahun 2016 jumlah *hotspot* tertinggi di Pulau Sumatera terjadi pada Bulan Agustus dengan nilai sebesar 1.528 titik. Sementara di tahun 2017, jumlah *hotspot* secara keseluruhan menurun. Jumlah *hotspot* tertinggi pada tahun 2017 sebanyak 572 titik terjadi pada Bulan Juli. Jumlah *hotspot* di tahun 2018 tertinggi pada Bulan Agustus dengan total sebanyak 1.355 titik, berikutnya jumlah *hotspot* tersebut meningkat cukup signifikan pada tahun 2019 sebanyak 3.146 titik di bulan yang sama.

Jumlah *hotspot* tertinggi di tahun 2019 melonjak pada bulan September dengan nilai sebesar 10.263 titik.

Secara keseluruhan berdasarkan Gambar 2, jumlah *hotspot* sepanjang tahun 2009 hingga tahun 2019 terjadi tertinggi pada tahun 2015 yaitu sebanyak 36.104 titik. Kondisi ini juga sesuai dengan variasi indeks SPI yang sangat rendah (<-4) sebagaimana tersaji pada Gambar 3.



Gambar 2. Total kejadian hotspot di Pulau Sumatera tahun 2009 – 2019.

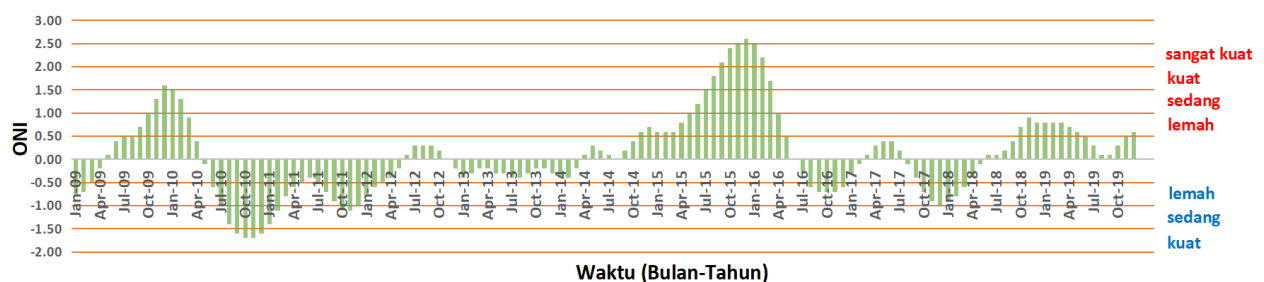


Gambar 3. Variasi SPI dari ECMWF terkoreksi tahun 2009 – 2019

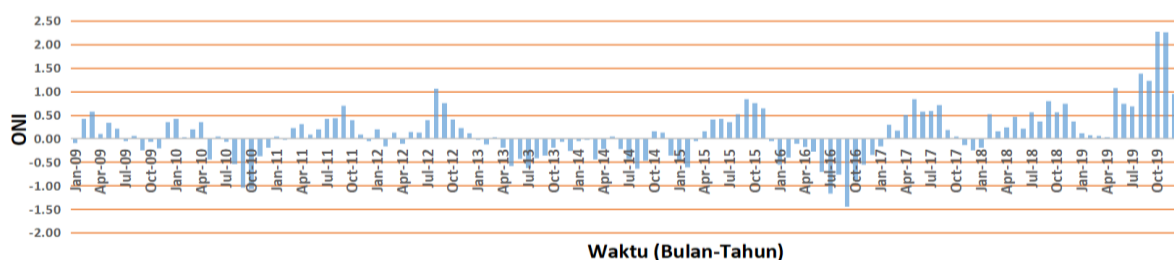
Untuk mengkonfirmasi keterkaitan tingginya jumlah *hotspot* dengan rendahnya nilai SPI pada tahun tersebut, maka dilakukan identifikasi pada interaksi atmosfer - samudera yakni dengan membandingkan dengan data aktifitas ENSO dari nilai ONI sepanjang tahun penelitian (Gambar 4). Nilai ONI positif tinggi (>2) menunjukkan tahun El Nino sangat kuat, sedangkan nilai ONI negatif rendah ($<-1,5$) menunjukkan tahun La Nina kuat [12]. Namun demikian, tahun – tahun El Nino tidak selalu bersamaan dengan peningkatan kejadian *hotspot*, begitu pula tahun – tahun La Nina tidak selalu bersamaan. Jumlah kejadian titik api masih cukup tinggi (14.663 kejadian) pada tahun 2011 yang bersamaan dengan kejadian La Nina sedang, sementara jumlah titik api hanya mencapai 5.075 kejadian pada tahun 2016 bersamaan dengan La Nina lemah. Hal ini menunjukkan bahwa aktifitas ENSO bukan merupakan faktor meteorologis utama dalam membentuk pertumbuhan awan – awan hujan untuk mengurangi kejadian titik api di pulau Sumatera. Meskipun demikian, dengan membandingkan bulan kejadian *hotspot* tertinggi antara tahun 2009 hingga 2018 (Gambar 1), dapat disimpulkan

secara umum bahwa jumlah *hotspot* ekstrem terjadi pada tahun 2015 yakni pada bulan Juli hingga September tahun 2015 yang bertepatan dengan kejadian El Nino yang sangat kuat.

Selain El Nino, interaksi atmosfer - samudera di Indonesia juga erat kaitannya dengan aktifitas *Indian Ocean Dipole* (IOD) yang mengaitkan antara suhu muka laut di Samudera Hindia bagian Barat yakni Afrika Timur, dengan Samudera Hindia bagian Timur (Indonesia). Gradien suhu muka laut pada dua lokasi tersebut kemudian disebut sebagai *Dipole Mode Index* (DMI), dengan nilai negatif yang merepresentasikan aliran massa udara dari Samudera Hindia ke wilayah Indonesia bagian Barat, begitu pula sebaliknya [13]. Oleh karena itu, IOD erat kaitannya dengan proses dinamika atmosfer di pulau Sumatera. Gambar 5 menunjukkan variasi bulanan DMI dari tahun 2009 hingga tahun 2019. Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa nilai DMI bulanan negatif pada tahun 2010 dan 2016 mengurangi frekuensi kejadian *hotspot* (<5000 kejadian) pada tahun yang sama. Fakta yang berbeda ditunjukkan dari nilai DMI positif ($>0,5$) pada tahun 2017, namun mengindikasikan frekuensi kejadian *hotspot* yang lebih rendah dari keseluruhan tahun penelitian. Kondisi yang sedikit kontras juga ditunjukkan dari tingginya nilai DMI pada tahun 2019 ($>2^{\circ}\text{C}$) namun hanya menaikkan frekuensi kejadian *hotspot* sebesar 16.435 kejadian, sementara nilai DMI tahun 2015 tidak lebih tinggi dari 1°C namun frekuensi kejadian *hotspot* mencapai 36.104 kejadian. Hal ini mengindikasikan bahwa DMI juga bukan merupakan faktor utama dalam mengendalikan kejadian *hotspot* di pulau Sumatera.



Gambar 4. Variasi ONI tahun 2009 – 2019 dari NOAA. Warna teks merah pada panel kanan menunjukkan kategori El Nino, warna biru menunjukkan kategori La Nina



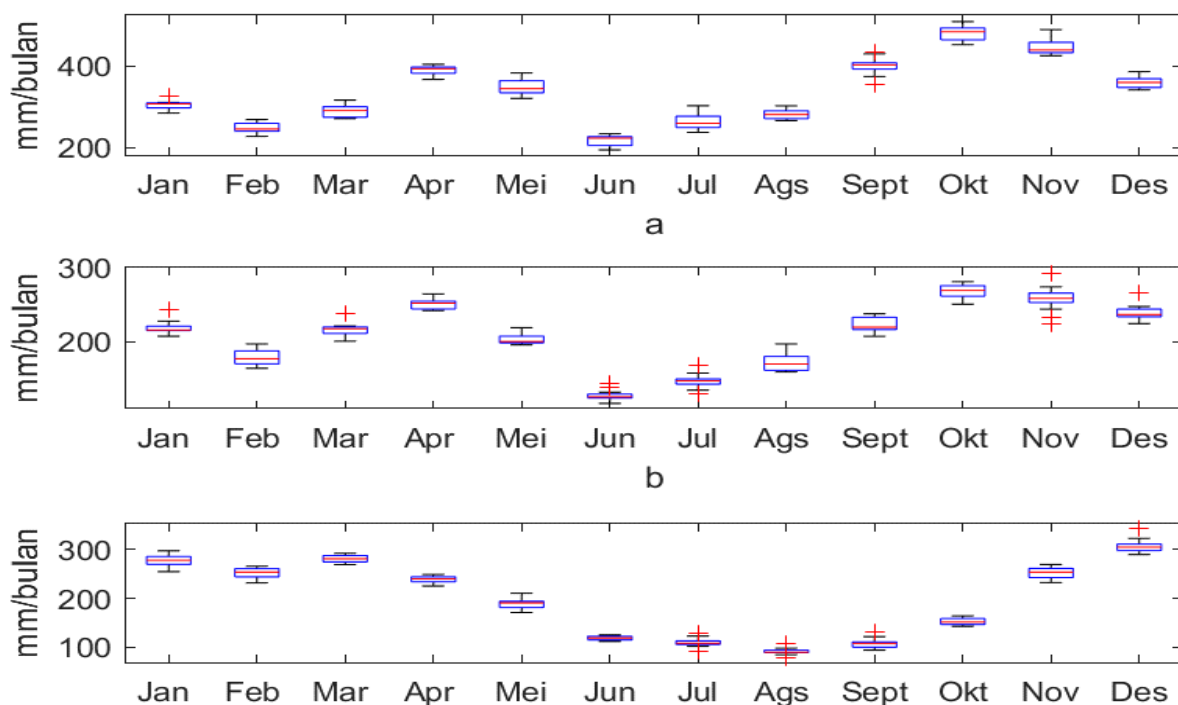
Gambar 5. Variasi DMI tahun 2009 – 2019 dari JAMSTEC

Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya, tahun dengan jumlah *hotspot* terendah sepanjang satu dekade terakhir di Pulau Sumatera (berdasarkan Gambar 2) yaitu pada tahun 2017 dengan total *hotspot* sebanyak 3.061 titik. Meskipun kontradiktif dengan nilai DMI yang positif, hal tersebut bisa disebabkan oleh banyak hal yang mempengaruhi tingginya frekuensi kemunculan awan-awan konvektif sehingga menghasilkan hujan sebagai penghambat adanya *hotspot*. Di sisi lain, gambar 4 menunjukkan bahwa tahun 2017 juga bertepatan dengan 2 (dua) periode berturut - turut tahun La Nina lemah, yakni 2016 - 2017 dan 2017 - 2018. Kondisi ini kemudian mampu meningkatkan pertumbuhan awan hujan di Indonesia, khususnya di pulau Sumatera yang kemudian menurunkan jumlah *hotspot* pada tahun 2017. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa ENSO lebih memberikan pengaruh terhadap pola temporal jumlah *hotspot* di pulau Sumatera dibandingkan IOD. Pengaruh tersebut berupa penambahan jumlah *hotspot* pada periode El Nino terutama pada kategori kuat, sementara pengurangan jumlah *hotspot* pada periode La Nina.

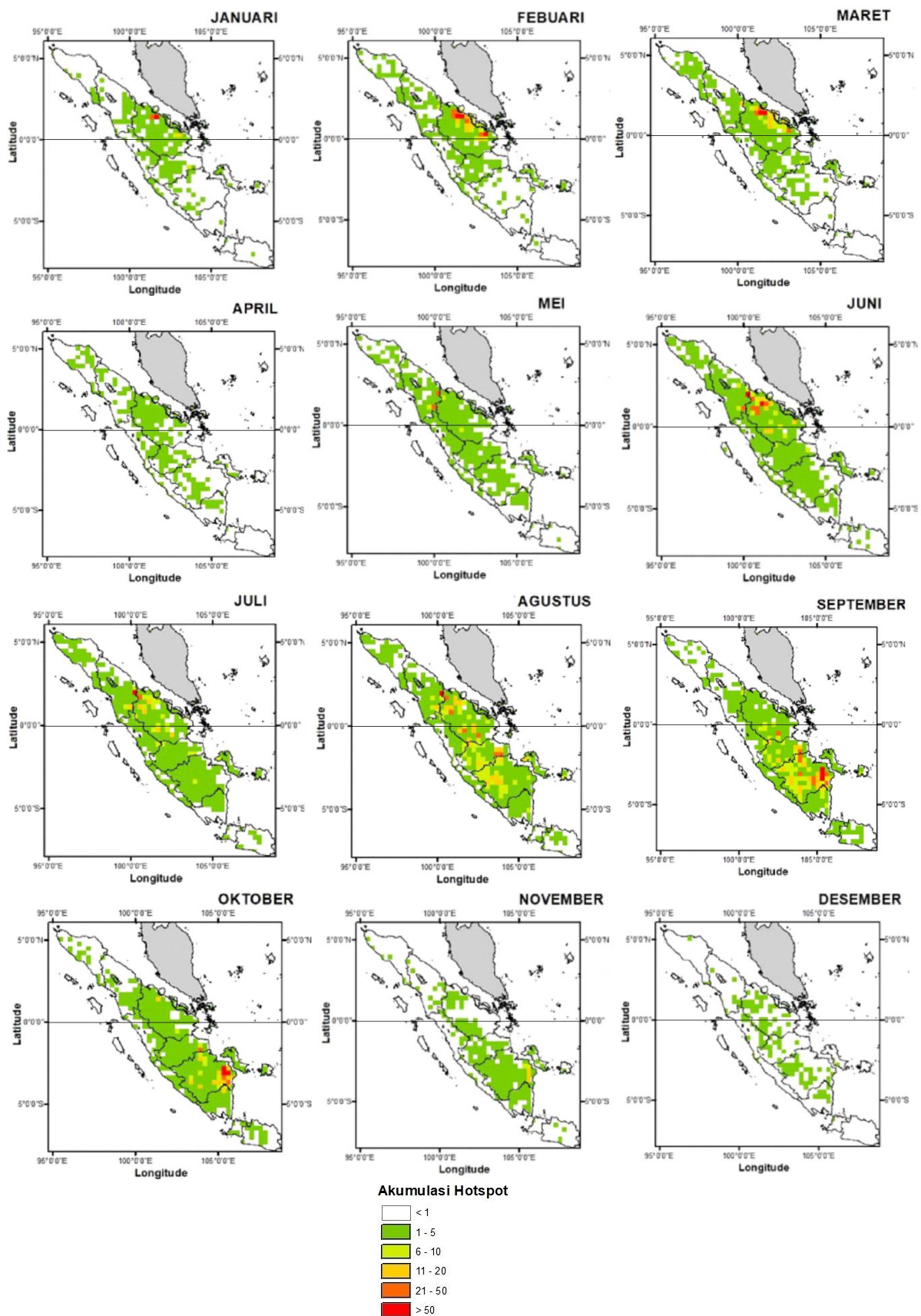
Variasi Spasial *Hotspot* di Sumatera. Sebelum dilakukan analisis mengenai rata - rata sebaran *hotspot* di pulau Sumatera untuk tiap bulan selama 10 (sepuluh) tahun, terlebih dahulu dilakukan analisis pola curah hujan di

Sumatera. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pola frekuensi kejadian *hotspot* bulanan dengan periode musim yang berbeda di Sumatera. Pemetaan pola curah hujan di Sumatera dibagi menjadi 3 (tiga) domain, yakni Sumatera bagian Utara, Tengah dan Selatan (Gambar 6 (a), (b) dan (c) secara berturut - turut).

Pada Gambar 6 nampak bahwa pola curah hujan di Sumatera mempunyai dua pola curah hujan yang dominan, yakni pola monsonal dan pola ekuatorial. Pola monsonal di bagian selatan ditandai dengan satu fase puncak hujan dalam setahun, yakni bulan Desember hingga Februari, serta satu fase lembah dalam setahun yakni bulan Juni hingga Agustus. Pola curah hujan ekuatorial di bagian tengah dan bagian utara mempunyai dua fase puncak dan dua fase lembah curah hujan. Fase puncak terjadi pada bulan April dan Oktober, sedangkan fase lembah terjadi pada bulan Februari dan Juni. Pola kejadian kebakaran hutan di pulau Sumatera kemudian dianalisis berdasarkan distribusi spasial rata - rata densitas *hotspot* untuk tiap bulan dari tahun 2000 hingga 2018 (Gambar 7).



Gambar 6. Pola curah hujan bulanan di Pulau Sumatera bagian (a) Utara (b) tengah dan (c) Selatan berdasarkan data ECMWF tahun 1981 – 2018.



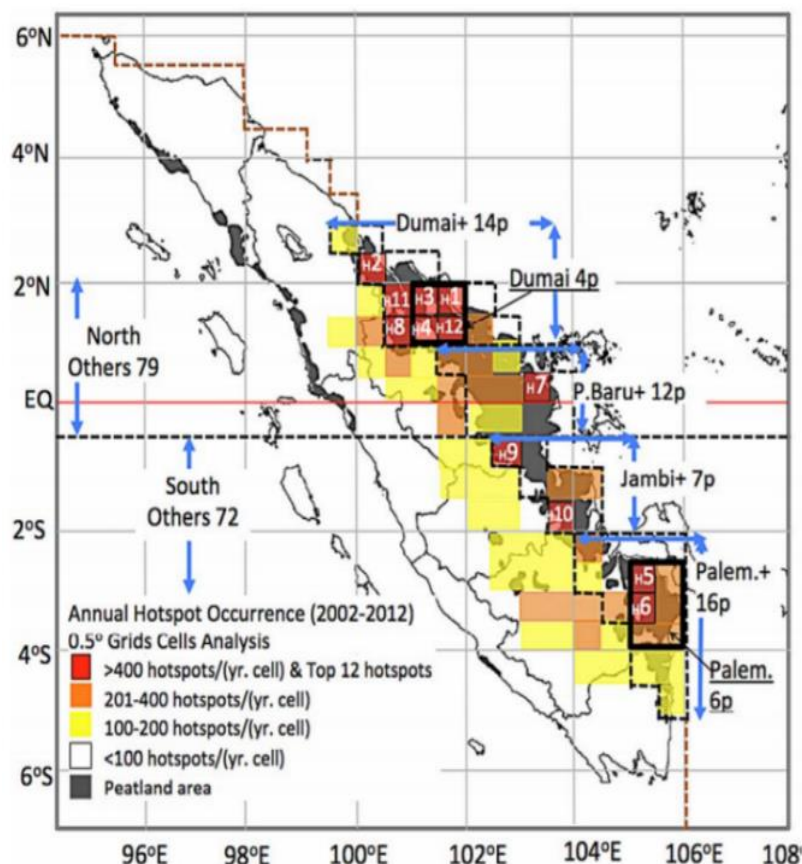
Gambar 7. Rata – rata densitas kebakaran hutan dari *hotspot* (rata - rata kejadian/bulan) tiap bulan tahun 2000 – 2018.

Dari Gambar 7 dapat diketahui bahwa sebaran kejadian *hotspot* bervariasi terhadap bulan dan domain di pulau Sumatera. Bulan dengan frekuensi kejadian rendah adalah bulan Desember dan April. Kedua bulan tersebut merupakan bulan dengan curah hujan bulanan tinggi (>200 mm/bulan) untuk semua domain di Sumatera. Sementara itu bulan dengan kejadian *hotspot* terbanyak juga berbeda berdasarkan domainnya. Frekuensi kejadian *hotspot* di Sumatera bagian utara paling tinggi terjadi pada bulan Februari dan Juni, yang bertepatan dengan periode terkering di Sumatera bagian utara dan tengah (Gambar 6). Wilayah tersebut meliputi provinsi Sumatera Utara bagian selatan dan Riau. Sedangkan frekuensi kejadian *hotspot* tertinggi di Sumatera bagian selatan, khususnya di provinsi Sumatera Selatan terjadi pada bulan September yang bertepatan dengan periode kering di domain tersebut, meskipun bukan yang terkering (Gambar 6). Fakta ini menunjukkan bahwa pola persebaran *hotspot* di pulau Sumatera erat kaitannya dengan kondisi atmosfer di wilayah tersebut.

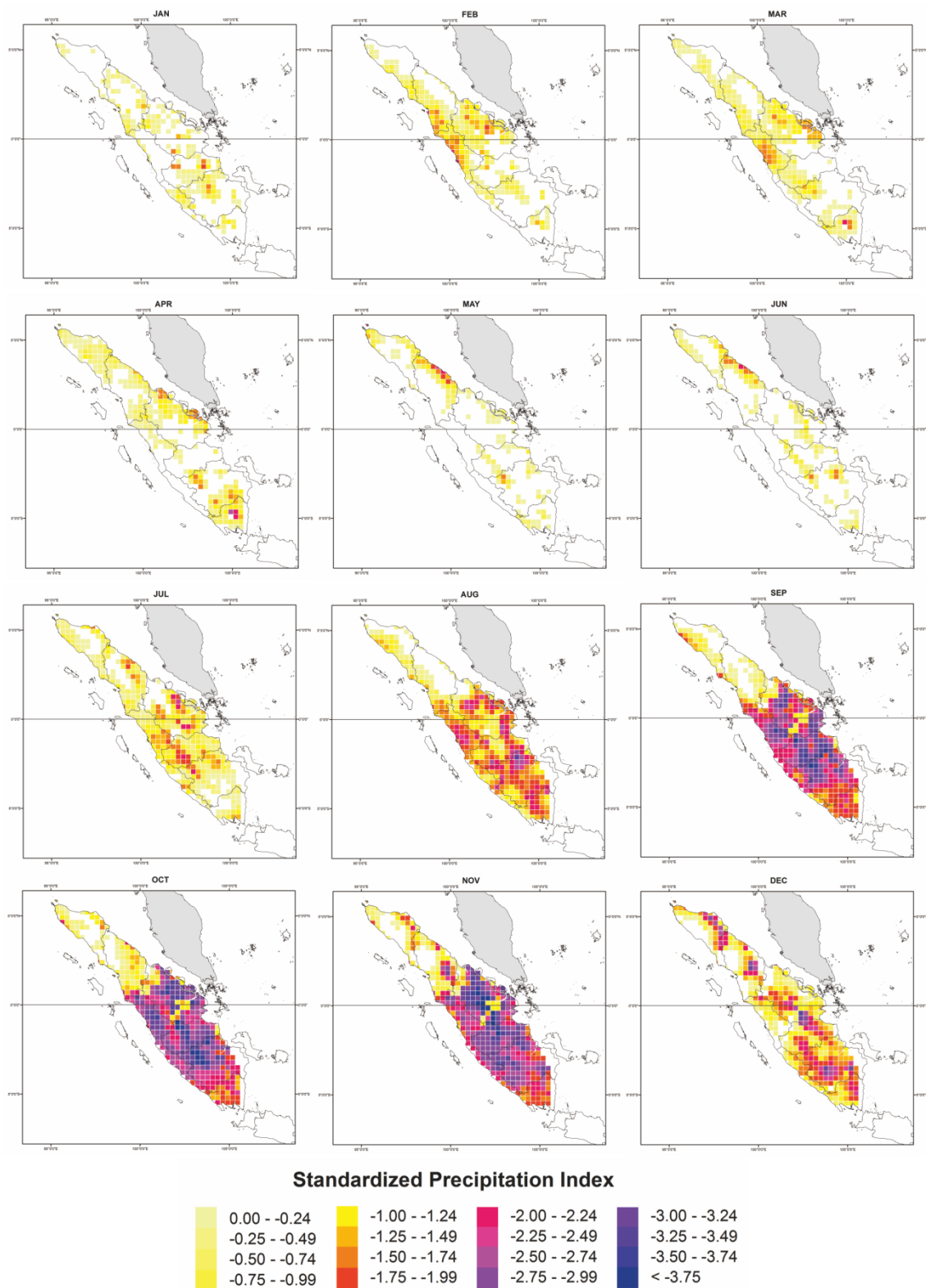
Wilayah dengan frekuensi kejadian *hotspot* yang tinggi di Sumatera ternyata bersesuaian dengan lokasi konsentrasi persebaran lahan gambut di wilayah tersebut [14], yang terlihat pada Gambar 8. Meskipun demikian, daerah persebaran lahan gambut di pesisir barat Sumatera tidak menunjukkan konsentrasi kejadian *hotspot* tinggi, yang disinyalir terjadi karena intensitas

hujan tinggi dari faktor orografis yang akan dijelaskan kemudian.

Selain bersesuaian dengan lokasi lahan gambut, penelitian sebelumnya juga menyatakan bahwa wilayah yang paling sering mengalami kebakaran hutan adalah wilayah alih lahan perkebunan kelapa sawit yang cukup tinggi (luas >1 juta hektar) di pulau Sumatera [1]. Sumber yang sama menyebutkan bahwa luas areal perkebunan kelapa sawit di Sumatera Utara, Riau dan Sumatera Selatan mencapai >1 juta hektar pada tahun 2018, yang juga sejalan dengan wilayah densitas kebakaran hutan tinggi pada Gambar 7. Di wilayah Sumatera bagian utara (provinsi Aceh dan Sumatera Utara) tidak menunjukkan adanya jumlah titik *hotspot* yang signifikan. Kurangnya akumulasi *hotspot* di Aceh dan Sumatera Utara serta di pesisir barat Sumatera terjadi karena faktor orografis berupa pegunungan bukit barisan di wilayah tersebut yang meningkatkan proses konvektifitas di Aceh, Sumatera Utara dan Sumatera Barat bagian barat. Analisis variasi spasial selanjutnya dilakukan untuk nilai SPI bulanan pada tahun kejadian *hotspot* tertinggi yakni tahun 2015 (Gambar 9), dengan tujuan untuk mengetahui keterkaitan antara kejadian kebakaran hutan dari identifikasi *hotspot* dengan kondisi kekeringan di atmosfer secara spasial.



Gambar 8. Peta distribusi *hotspot* dan daerah gambut di Pulau Sumatera



Gambar 9. Peta rata – rata distribusi nilai SPI tiap bulan tahun 2015

Distribusi spasial SPI di pulau Sumatera pada tahun 2015 (Gambar 9) menunjukkan bahwa konsentrasi kejadian *hotspot* terjadi di wilayah Sumatera bagian tengah dan selatan. Terdapat perbedaan antara distribusi kejadian

hotspot bulanan dari Gambar 7 dengan nilai SPI pada Gambar 9. Distribusi SPI (Gambar 9) menunjukkan konsentrasi kekeringan yang sangat kuat di Sumatera bagian tengah dan selatan pada

bulan September – Oktober – Desember, sementara distribusi *hotspot* (Gambar 7) memiliki hubungan yang linier dengan pola hujan di pulau Sumatera. Namun demikian, jika dibandingkan dengan aktifitas ENSO (Gambar 4) maka terlihat adanya pola kenaikan yang linier antara nilai ONI dengan distribusi SPI terutama di Sumatera bagian tengah dan selatan. Terdapat sedikit perbedaan pada bulan Desember, yakni kenaikan nilai ONI dibandingkan dengan bulan sebelumnya, namun tidak dibarengi dengan bertambahnya konsentrasi nilai SPI negatif. Faktor utama yang mungkin menjadi penyebab kondisi tersebut adalah karena pada bulan Desember merupakan puncak musim hujan di Sumatera bagian tengah dan selatan (Gambar 6), sehingga mampu menambah intensitas hujan dan mengurangi kondisi kekeringan di atmosfer yang menjadi salah satu faktor pengendali *hotspot* di pulau Sumatera.

Peningkatan nilai SPI pada tahun 2015 juga dikonfirmasi oleh peningkatan nilai DMI (Gambar 5), yakni pada bulan April hingga November 2015 meskipun dengan tren peningkatan yang tidak konsisten dari bulan ke bulan. Pada bulan Desember 2015 terjadi perubahan nilai DMI menjadi negatif, yang mengindikasikan adanya pertambahan curah hujan di Indonesia bagian barat khususnya di pulau Sumatera. Dengan memperhatikan indeks ONI dan DMI terhadap distribusi SPI di pulau Sumatera, dapat disimpulkan bahwa dinamika atmosfer memberikan pengaruh yang kuat terhadap bencana kebakaran hutan di pulau Sumatera.

4. Kesimpulan

Berdasarkan variasi temporal dan spasial sebaran *hotspot* di pulau Sumatera dari tahun 2009 hingga 2018, dapat disimpulkan bahwa faktor meteorologis berupa dinamika atmosfer merupakan faktor yang memberikan pengaruh besar terhadap pola dan frekuensi kejadian *hotspot* di pulau Sumatera. Hal ini juga telah dibuktikan pada penelitian sebelumnya yang menyebutkan bahwa curah hujan yang merupakan faktor meteorologis mampu mengendalikan kebakaran hutan sebesar 30,7% di Pulau Sumatera dan Kalimantan [15]. Banyaknya intensitas curah hujan terkait topografi, fase ENSO, serta periode musim hujan dan kemarau memberikan karakteristik yang berbeda bagi pola kejadian *hotspot* di pulau Sumatera. El Nino memberikan pengaruh terhadap penambahan jumlah *hotspot* terutama pada kategori kuat, sebaliknya La Nina memberikan dampak pengurangan jumlah *hotspot* di Sumatera [cf. 16]. Pada penelitian ini juga ditemukan bahwa ENSO lebih memberikan pengaruh terhadap frekuensi kejadian *hotspot* di pulau Sumatera dibandingkan dengan IOD. Hal ini sedikit berbeda dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa DMI positif mampu meningkatkan kejadian kebakaran hutan dua kali dari kondisi normal, sedangkan DMI negatif hanya mampu menurunkan sedikit kejadian kebakaran hutan di Indonesia [17]. Hal ini dapat disebabkan karena daerah penelitian tersebut yang

mencakup seluruh wilayah Indonesia, sedangkan penelitian ini lebih spesifik untuk pulau Sumatera saja.

Musim kemarau yang berbeda di Sumatera bagian utara, tengah dan selatan berdampak pada perbedaan pola sebaran *hotspot* di pulau Sumatera. Pola sebaran *hotspot* di Sumatera bagian utara dan tengah mencapai puncak pada bulan Februari dan Juni, sementara di bagian selatan pada bulan September. Hal ini sesuai dengan periode kering yang berbeda di pulau Sumatera bagian utara, tengah dan selatan. Fakta ini juga sesuai dengan penelitian terdahulu yang menyebutkan adanya keterkaitan yang cukup kuat antara musim kering dan musim hujan dengan periode ENSO [18]. Sementara itu, meskipun keterkaitan antara faktor topografis pegunungan yang memanjang dari Aceh dan pesisir barat Sumatera perlu diuji lebih jauh lagi, namun peta sebaran spasial *hotspot* pada Gambar 5 sudah mampu memperlihatkan bahwa wilayah tersebut merupakan wilayah minim kejadian *hotspot*. Hujan orografis yang tidak terpengaruh oleh pola musim dan periode ENSO di wilayah tersebut yang merupakan wilayah daratan [19,20], disinyalir mampu meminimalisir sebaran *hotspot* di sepanjang Bukit Barisan yang memanjang dari Provinsi Aceh dan sepanjang pesisir barat Sumatera.

Kesimpulan lain yang diperoleh dari penelitian ini ialah bahwa konsentrasi sebaran *hotspot* yang cukup tinggi pada Gambar 5 (>50 kejadian perbulan) terjadi di lahan gambut, yakni di Sumatera bagian timur [21]. Hal ini juga sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa kebakaran hutan di Sumatera terjadi di lahan gambut [22]. Usaha perluasan lahan perkebunan kelapa sawit juga disinyalir menjadi faktor pendukung peningkatan sebaran *hotspot* di Sumatera, khususnya di provinsi Sumatera Utara, Riau dan Sumatera Selatan [1,23,24]. Selanjutnya perlu dilakukan program pembangunan ekonomi dari sektor perkebunan kelapa sawit yang terencana dengan baik yang berdasarkan pada faktor meteorologis, sehingga dapat mengurangi kebakaran hutan khususnya di pulau Sumatera.

Daftar Pustaka

- [1] Badan Pusat Statistik (BPS), 2019. Statistika Kelapa Sawit Indonesia 2018 - Indonesian Oil Palm Statistics 2018. Badan Pusat Statistik (ISSN: 1978-9947).
- [2] Forest Watch Indonesia (FWI), 2019. Hutan Lindung dan Konservasi dalam Rongrongan Sawit. Forest Watch Indonesia <www.fwi.or.id>.
- [3] Saharjo B.H., 1999. Study on forest fire prevention for fast-growing tree species

- Acacia mangium plantation in South Sumatra, Indonesia. Kyoto University (Disertasi).
- [4] Glover D., dan Jessup T., 2006. Indonesia's Fires and Haze - The Cost of Catastrophe. Institute of Southeast Asian Studies Singapore. <ISBN 981-230-006-6>
- [5] Hamzah A.S., Darmawan, Sumawinata B., dkk., 2019. Spatial analysis of hotspot data for tracing the source of annual peat fires in South Sumatra, Indonesia. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 393<doi:10.1088/1755-1315/393/1/012068>.
- [6] Fatkhuroyan, Trinahwati dan Panjaitan A., 2015. Forest fires detection in Indonesia using satellite Himawari-8 (case study: Sumatera and Kalimantan on august-october 2015). IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci., <doi:10.1088/1755-1315/54/1/012053>.
- [7] Running, S.W., Mu Q., Zhao M. dan Moreno A., 2017. User's Guide MODIS Global Terrestrial Evapotranspiration (ET) Product (NASA MOD16A2/A3) NASA Earth Observing System MODIS Land Algorithm Ver 1.5. <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/missions-and-measurements/modis/MOD16_ET_User-Guide_2017.pdf>.
- [8] Rojas O., Li Y., dan Cumani R., 2014. Understanding the drought impact of El Niño on the global agricultural areas: An assessment using FAO's Agricultural Stress Index (ASI). Environment and natural Resources Manage Series - Environment Climate Change (Monitoring and Assessment), Food and Agriculture Organization of the United States, Vol. 23 (ISSN 2071-0992).
- [9] Saji N.H., Goswami B.N., Vinayachandran P.N., Yamagata T., 2012. A dipole mode in the tropical Indian Ocean. Nature, 401, 360-401.
- [10] World Meteorological Organization (WMO), 2012. Standardized Precipitation Index User Guide - WMO-No. 1090. <ISBN 978-92-63-11091-6>.
- [11] Persson A., Grazzini F., 2014. User Guide to ECMWF Forecast Products. Meteorological Bulletin M3.2 - Ver. 4.0.
- [12] National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). 2018. What is El Niño & La Niña?. <[://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/index.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/index.shtml)>.
- [13] Saji N. H., Yamagata T., 2002. Structure of SST and Surface Wind Variability during Indian Ocean Dipole Mode Events. COADS Observations. Journal of Climate, 16, 2735 - 2751.
- [14] Yulianti N., Hayasaka H., dan Sepriando A., 2013. Recent Trends of Fire Occurrence in Sumatra (Analysis Using MODIS Hotspot Data): A Comparison with Fire Occurrence in Kalimantan. Open Journal of Forestry, 3-4, 129-137.
- [15] Prayoga M.B.R., Yannato A., dan Kusumo D.A., 2017. Analisis Korelasi Kerapatan Titik Api dengan Curah Hujan di Pulau Sumatera dan Kalimantan. Jurnal Sains dan Teknologi Modifikasi Cuaca, 18-1, 17-24.
- [16] Parwati, Suwarsono dan Suprpto T., 2010. Analisis Peran ENSO Terhadap Distribusi Hotspot dan Curah Hujan di Pulau Sumatera dan Kalimantan. Prosiding Seminar Nasional Sains Atm., 391:406.
- [17] Pan, X., Chin, M., Ichoku, C. M., Field, R. D., 2018. Connecting Indonesian fires and drought with the type of El Niño and phase of the Indian Ocean dipole during 1979–2016. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 123. (<https://doi.org/10.1029/2018JD028402>).
- [18] Harrison M.E., Page S.E., Limin S.H., 2009. The global impact of Indonesian forest fires. Biologist, 56-3, 156-163.
- [19] Prasetyo B., Irawandi H., dan Pusparini N., 2018. Karakteristik Curah Hujan Berdasarkan Ragam Topografi di Sumatera Utara. Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca, 19-1, 11-20.
- [20] Rauniyar S.P., dan Walsh K.J.E., 2012. Influence of ENSO on the Diurnal Cycle of Rainfall over the Maritime Continent and Australia. Journal of Climate, 26, 1304 - 1321. <DOI: 10.1175/JCLI-D-12-00124.1>
- [21] Kementrian Lingkungan Hidup (KLH), 2012. Strategi Nasional Pengolahan Lahan Gambut Berkelanjutan di Indonesia. Deputi Bidang Pengendalian Kerusakan Lingkungan dan Perubahan Iklim.
- [22] Putra R., Sutriyono E., Kadir S., Iskandar I., dan Lestari D.O., 2019. Dynamical Link of Peat Fires in South Sumatra and the Climate Modes in the Indo-Pacific Region. Indonesian Journal of Geography, 51-1, 18 - 22.
- [23] Hutabarat S., 2017. Tantangan berkelanjutan Perkebunan Kelapa Sawit Rakyat di Kabupaten Pelalawan, Riau dalam Perubahan Perdagangan Global. Masyarakat Indonesia, 43-1, 47-64.
- [24] Nawir A.A., Murniati, dan Rumboko L., 2008. Rehabilitasi Hutan di Indonesia. Center for International Forestry Research (CIFOR) <ISBN 978-979-14-1235-3>.