

Pemanfaatan Teknologi Penginderaan Jauh untuk Analisis Pengaruh Deforestasi Terhadap Perubahan Iklim di Indonesia Tahun 2019

Tania Septi Anggraini^{1*}, Kalingga Titon Nur Ihsan¹, Derick Masse C.A¹

¹Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung

*Penulis Korespondensi:
email : taniasepti96@gmail.com

Abstrak

Salah satu permasalahan dunia saat ini adalah ancaman perubahan iklim yang mengalami kenaikan sebesar 0,8°C pada tahun 2018 atau diprediksi mengalami kenaikan sebesar 2,5-4,7 °C pada tahun 2100. Salah satu upaya yang dapat mengatasi perubahan iklim adalah dengan cara memperbanyak area hutan termasuk dalam perencanaan pengembangan kawasan perkotaan dan industri yang mempertimbangkan pembangunan berkelanjutan. Namun faktanya, setiap tahun terjadi deforestasi di Indonesia. Dengan memanfaatkan teknologi penginderaan jauh, dampak deforestasi terhadap perubahan iklim ini akan dianalisis. Data deforestasi yang digunakan merupakan data Hansen Global Forest Change tahun 2019 yang diintegrasikan dengan analisis time series pada data faktor perubahan iklim, yaitu Land Surface Temperature (LST) dan Curah Hujan (Presipitasi). Dari penelitian ditemukan bahwa adanya korelasi yang sedang antara karbon stok dan faktor perubahan iklim. Artinya, deforestasi secara tidak langsung akan mempengaruhi perubahan iklim. Oleh karena itu, penanganan deforestasi di Indonesia harus segera ditangani agar meminimalkan dampak perubahan iklim global. Hasil penelitian ini diharapkan dapat sebagai bahan pertimbangan dalam membuat skenario dan pengambilan kebijakan dalam menerapkan program REDD+ (Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation) di Indonesia.

Kata kunci: Deforestasi; LST; Penginderaan Jauh; Perubahan Iklim; Presipitasi

PENDAHULUAN

Perubahan iklim merupakan ancaman global yang terus-menerus terjadi, menurut laporan IPCC (2018) terjadi kenaikan suhu global sebesar 0,8°C dan perlu upaya mitigasi untuk menekan laju kenaikan suhu tersebut. Pada tahun 2100 diperkirakan terjadi kenaikan suhu global sebesar 2,5 – 4,7°C jika dibandingkan dengan suhu global sebelum periode revolusi industri. Kenaikan suhu ini akan berdampak terhadap kepunahan beberapa spesies vertebrata, tanaman, dan serangga. Selain itu dampak perubahan iklim juga akan dirasakan oleh masyarakat dataran rendah di wilayah tropis yang menggantungkan kelangsungan hidup dari sektor perikanan. Salah satu upaya yang dapat mengatasi perubahan iklim adalah dengan cara memperbanyak area hutan termasuk dalam perencanaan pengembangan kawasan perkotaan dan industri yang mempertimbangkan pembangunan berkelanjutan. Indonesia sendiri dikenal sebagai wilayah tropis yang memiliki hutan hujan tropis cukup besar dan menjadi paru-paru dunia. Kondisi geografis yang berada di garis khatulistiwa menjadikan Indonesia sebagai rumah bagi tumbuhnya berbagai jenis flora dan pohon-pohon besar yang menjadi penghasil oksigen terbesar bagi makhluk hidup (Hanansyah, 2020).

Namun faktanya, deforestasi terjadi setiap tahunnya di Indonesia akibat aktivitas

manusia (antropogenik) seperti alih fungsi lahan dari kawasan hutan menjadi kawasan terbangun. Selain itu, deforestasi dapat disebabkan juga oleh kebakaran hutan baik karena aktivitas manusia melalui pembukaan lahan (Hanafi dkk., 2019) maupun secara alami yang disebabkan oleh ENSO (*El Niño Southern Oscillation*) (Alencar dkk., 2011). ENSO akan mempengaruhi kondisi lingkungan yang dapat menyebabkan padang rumput (savana) rentan terbakar akibat saling bergesekan. Kebakaran ini akan menimbulkan emisi gas CO yang tinggi ke udara dan menimbulkan dampak lokal seperti polusi udara dan dampak global seperti perubahan iklim (Pribadi & Kurata., 2017). Salah satu metode untuk mengamati perubahan iklim adalah dengan menggunakan teknologi penginderaan jarak jauh. Hal ini karena teknologi penginderaan jarak jauh mampu menyediakan data pengamatan dalam lingkup global, temporal, serta pengumpulan dan pemrosesan data yang selaras (Martinez-Vicente dkk., 2019).

Wahyuni & Suranto (2021) dalam studinya telah melakukan penelitian untuk mengetahui perkembangan tingkat deforestasi dengan melihat implikasi dan upaya Indonesia dalam mengurangi deforestasi. Menurutnya, dengan mengurangi deforestasi maka akan berdampak baik terhadap pemanasan global. Deforestasi di Indonesia sendiri masih tinggi dan diperlukan strategi dalam menangani permasalahan ini. Salah satu strategi yang digunakan adalah dengan program REDD+ (*Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation*). Program REDD+ ini dianggap cukup baik dalam menurunkan deforestasi setiap tahunnya karena program ini menggunakan pendekatan kerja sama antar lembaga. Ulasan studi ini sudah sangat baik, namun data-data yang digunakan sebagai variabel untuk meneliti perubahan iklim hanya fokus pada deforestasi dan hasil ulasannya tidak menyebutkan atau menggambarkan wilayah mana saja yang menjadi perhatian dari penelitian tersebut. Oleh sebab itu, penulis melakukan penelitian untuk mengembangkan studi terdahulu dengan menggunakan berbagai data pendukung dan data *time series* guna melihat pengaruh deforestasi terhadap perubahan iklim di Indonesia. Hasil penelitian ini selanjutnya dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan dalam membuat skenario dan pengambil kebijakan dalam menerapkan program REDD+ di Indonesia.

METODE

A. Material dan Instrumen

Pada penelitian ini akan memanfaatkan data penginderaan jauh yang kemudian akan dibandingkan dengan data statistik dari pemerintah terkait. Data secara umum dibagi menjadi tiga, yaitu data penentuan area deforestasi, data penentuan area kebakaran hutan, dan data penentuan hubungan stok karbon dengan faktor perubahan iklim. dari instansi terkait. Keterangan data yang digunakan dalam penelitian ini mulai dari unit, produk, sumber, waktu, resolusi spasial, dan referensinya dapat dilihat pada Tabel 1.

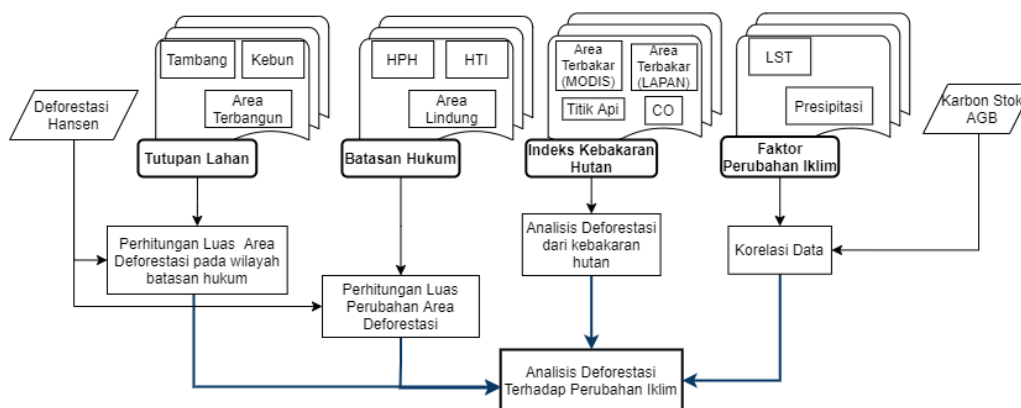
Tabel 1. Data yang digunakan dalam penelitian

No.	Data	Produk	Sumber	Waktu	Resolusi spasial	Sumber
1	Carbon Stock (MgC/Ha)	Global Aboveground and Belowground Biomass Carbon Density Maps	NASA ORNL DAAC at Oak Ridge National Laboratory	2010	300 m	Spawn dkk.,2020
2	Karbon Monoksida (mol/m ²)	Sentinel-5P OFFL CO: Offline Carbon Monoxide	European Union/ESA/Copernicus	Tahunan, Bulanan 2019	~1,11 Km	Esa,2018
3	Land Surface Temperature (Kelvin)	MOD11A2.006 Terra Land Surface Temperature and Emissivity 8-Day Global 1km	NASA LP DAAC	Tahunan, Bulanan 2010, 2019	1 Km	Wan, Z., Hook, S., Hulley, G., 2015
4	Presipitasi (mm/hari)	CHIRPS Daily: Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data (version 2.0 final)	UCSB/CHG	Tahunan, Bulanan 2010, 2019	~ 5,5 km	Funk dkk.,2018
5	Perkebunan	Forest Watch Indonesia	FWI	2019	Vektor	FWI,2019
6	Area Tambang	Forest Watch Indonesia	FWI	2019	Vektor	FWI,2019
7	Kawasan Lindung	WDPA: World Database on Protected Areas (polygons)	UN Environment World Conservation Monitoring Centre (UNEP-WCMC) / Protected Planet Copernicus	2019	Vektor	UNEP-WCMC dan IUCN,2021
8	Area Terbangun	Copernicus Global Land Cover Layers: CGLS-LC100 Collection 3		2019	100 m	Buchhorn dkk., 2020
9	Wilayah HPH (Hak Pengusahaan Hutan)	Forest Watch Indonesia	FWI	2019	Vektor	FWI,2019
10	Wilayah HTI (Hutan Tanaman Industri)	Forest Watch Indonesia	FWI	2019	Vektor	FWI,2019
11	Burned Area (DOY)	FireCCI51: MODIS Fire_cci Burned Area Pixel Product, Version 5.1	NASA LP DAAC at the USGS EROS Center	2019	500 m	NASA, 2020

No.	Data	Produk	Sumber	Waktu	Resolusi spasial	Sumber
12	Deforestasi Hansen	<i>Hansen Global Forest Change v1.8 (2000-2020)</i>	NASA	2019	30 m	NASA, 2021
13	Data Administrasi	Badan Informasi Geospasial	Badan Informasi Geospasial	2015	Vektor	BIG,2020
14	Luas Kebakaran Hutan (Ha)	Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan	KLHK	2019	Statistik	KLHK. 2020
15	Titik Api	LAPAN	LAPAN	2019	Statistik	LAPAN, 2020

B. Metode

Metodologi secara umum dapat dilihat pada Gambar 1, sebagian besar data diperoleh dan diproses melalui *Google Earth Engine* dan dilakukan analisis spasial lanjutan menggunakan perangkat analisis spasial lainnya dengan wilayah penelitian adalah Indonesia.



Gambar 1. Metode Penelitian

Secara umum, pengolahan data dibagi menjadi tiga bagian, yaitu :

1. Penentuan Area Deforestasi

Penentuan area deforestasi yang terjadi pada tahun 2019 adalah dengan menggunakan data *Hansen Global Forest Change v1.8 (2000-2020)* sehingga langsung diperoleh piksel pada daerah mana yang mengalami deforestasi sesuai tahun yang diinginkan. Dengan analisis spasial (*overlay*) dilakukan pengintegrasian data area deforestasi dengan tutupan lahan (tambang, kebun, area terbangun) dan Batasan hukum (HPH, HTI, dan Kawasan Lindung) untuk melihat arah perubahan deforestasi hutan dan birokrasi hukumnya.

2. Penentuan Area Kebakaran Hutan

Kebakaran hutan juga perlu dipertimbangkan dalam analisis deforestasi karena tingginya luas kebakaran hutan di Indonesia. Kebakaran hutan dapat menimbulkan dampak lokal seperti polusi udara hingga dampak global seperti emisi gas rumah kaca (Pribadi & Kurata, 2017). Emisi polusi udara dari kebakaran hutan sendiri didominasi

oleh gas CO (Pribadi & Kurata, 2017). Oleh karena itu, digunakan data area terbakar (NASA, 2019) dan data polusi udara dari pengamatan Sentinel-5P (ESA, 2019) untuk mengidentifikasi lokasi dan waktu kebakaran hutan.

3. Penentuan hubungan stok karbon dan faktor perubahan iklim.

Dengan menggunakan data *Global Aboveground Biomass Carbon Density Maps* yang hanya tersedia pada tahun 2010, dilakukan analisis korelasi untuk melihat pengaruh karbon stok (kawasan hutan) dengan faktor perubahan iklim pada tahun 2010.

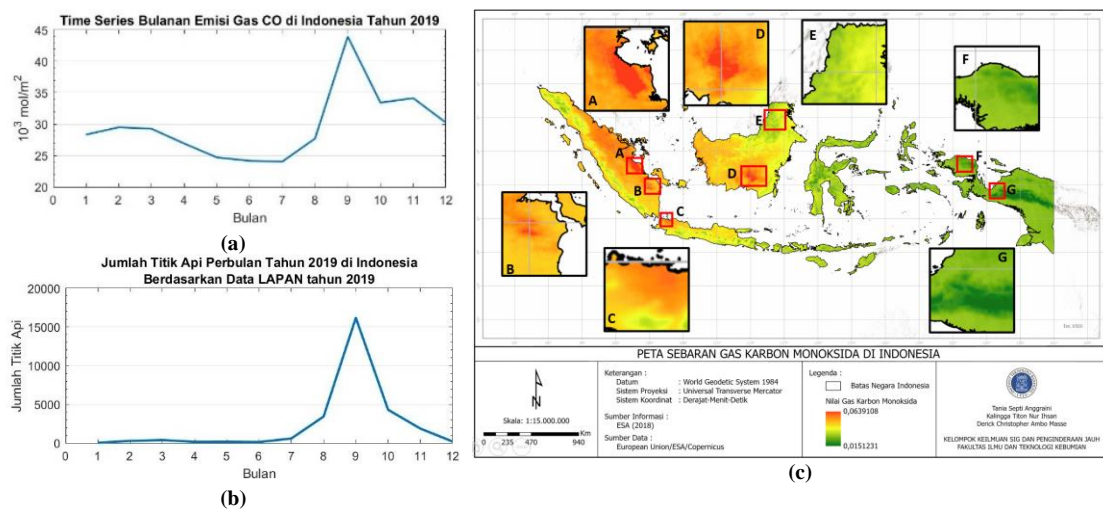
$$n = \frac{N}{1 + N e^2} \tag{1}$$

Setelah diperoleh hubungan korelasi, analisis dapat dikaitkan terhadap pengaruh deforestasi terhadap perubahan iklim tahun 2019. Analisis *time series* juga dilakukan untuk melihat pola perubahan faktor perubahan iklim terhadap waktu selama tahun 2019. Pada pengambilan sampel untuk analisis korelasi ini, digunakan rumus slovin (Ismiyati dkk., 2014) seperti pada Persamaan (1) dengan ketentuan n (jumlah sampel), N (jumlah populasi), dan e (*margin of error*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

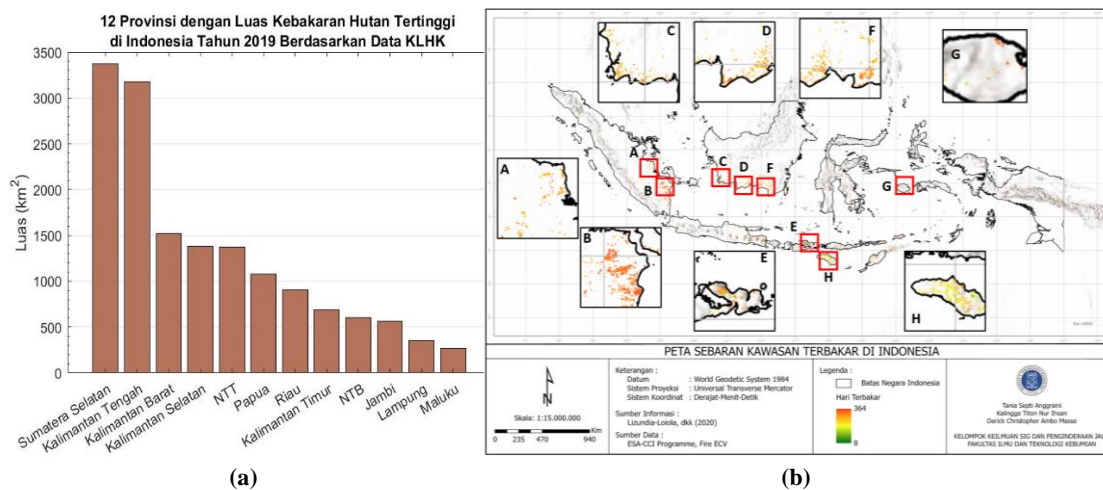
A. Kebakaran Hutan

Kebakaran hutan adalah salah satu dari beberapa penyebab deforestasi. Penyebab kebakaran hutan dapat terjadi akibat dari aktivitas manusia seperti proses pembukaan lahan (Pribadi & Kurata, 2017) ataupun secara alami dari ENSO (*El Niño Southern Oscillation*) (Alencar dkk., 2011). Berdasarkan Gambar 2(a) dan 2(b), adanya koherensi antara kenaikan gas CO dan kenaikan jumlah titik api di Indonesia. Gas CO dan titik api yang tinggi ini juga dapat dijadikan indikator terjadinya kebakaran hutan. Puncak kenaikan tertinggi gas CO dan jumlah titik api adalah pada bulan September 2019.



Gambar 2. (a) *Time series* bulanan gas CO, (b) *time series* bulanan jumlah titik api berdasarkan LAPAN (2020), dan (c) visualisasi persebaran gas CO di Indonesia tahun 2019 berdasarkan pengamatan satelit Sentinel-5P

Dari Gambar 2 (a) dan (c), data CO diperoleh melalui pendekatan penginderaan jauh dari satelit Sentinel-5P. Data satelit ini, dapat digunakan untuk merepresentasikan data di permukaan bumi, sesuai dengan Zheng dkk (2019) yang menunjukkan adanya koherensi antara hasil pengukuran polusi udara di permukaan bumi dan hasil interpretasi citra satelit. Oleh karena itu, data sebaran gas CO dari hasil interpretasi citra satelit diharapkan dapat mewakili keadaan sebenarnya.

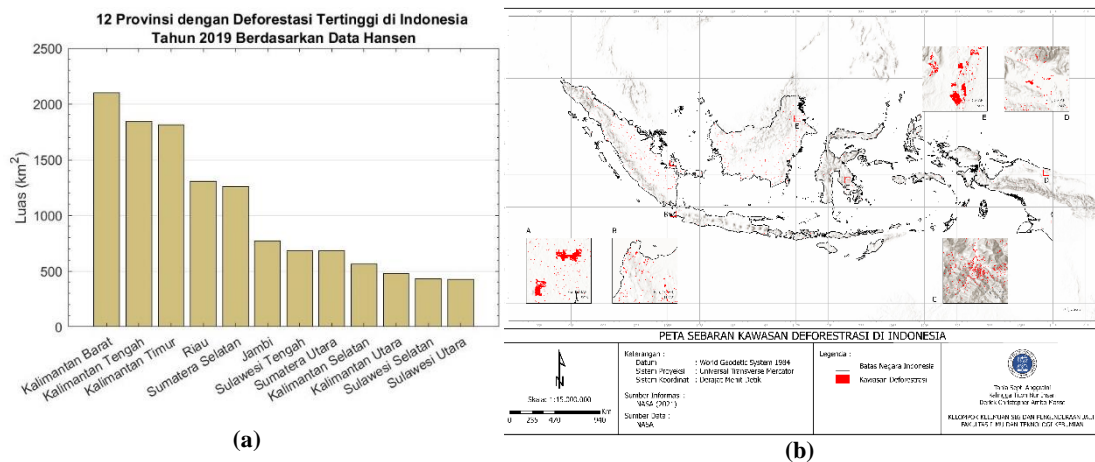


Gambar 3. (a) 12 Provinsi dengan luas kebakaran hutan tertinggi di Indonesia tahun 2019 (KLHK,2019) dan (b) Persebaran kawasan terbakar (NASA, 2020)

Di Indonesia berdasarkan Gambar 2(c), terutama daerah Kalimantan dan Sumatera teramati gas CO yang relatif tinggi Tingginya gas CO juga menandakan adanya kebakaran hutan sesuai dengan data KLHK (2020) luas kebakaran hutan di Pulau Sumatera pada tahun 2019 mencapai 5.358 km² dengan 3.064 km² terjadi di tanah mineral dan 2.294 km² di tanah gambut. Selain itu, Kalimantan didominasi oleh gas CO, yang menandakan adanya kebakaran hutan juga yang sesuai dengan KLHK (2020) bahwa luas kebakaran hutan di Pulau Kalimantan pada tahun 2019 mencapai 6.846 km² dengan 4.227 km² di tanah mineral dan 2.620 km² di tanah gambut. Hal ini juga sesuai dengan Gambar 3(a) dan 3(b) yang menunjukkan Sebagian besar area kebakaran hutan didominasi oleh wilayah Sumatera dan Kalimantan. Berdasarkan data KLHK (2019), pada tahun 2019 wilayah dengan tingkat kebakaran tertinggi terjadi di Sumatera Selatan, Kalimantan Tengah, dan Kalimantan Barat dengan luas hampir mencapai 3.400 km², 3.200 km², dan 1.520 km². Pada Pulau Jawa terindikasi adanya kenaikan gas CO namun tidak terindikasi adanya kebakaran hutan, hal ini disebabkan karena emisi gas CO juga dapat dihasilkan dari penggunaan bahan bakar fosil pada kendaraan bermotor dan aktivitas industri (Ismiyati dkk., 2014). Sebaliknya di daerah Papua secara visual tidak terindikasi adanya kenaikan gas CO, namun terindikasi adanya kebakaran hutan, hal ini dapat disebabkan berbagai faktor, terutama faktor meteorologis yang dapat membawa polusi udara ke daerah lain dan faktor lingkungan sekitar yang masih terjaga sehingga dapat membantu menyerap karbon di udara (Anggraeni, 2019).

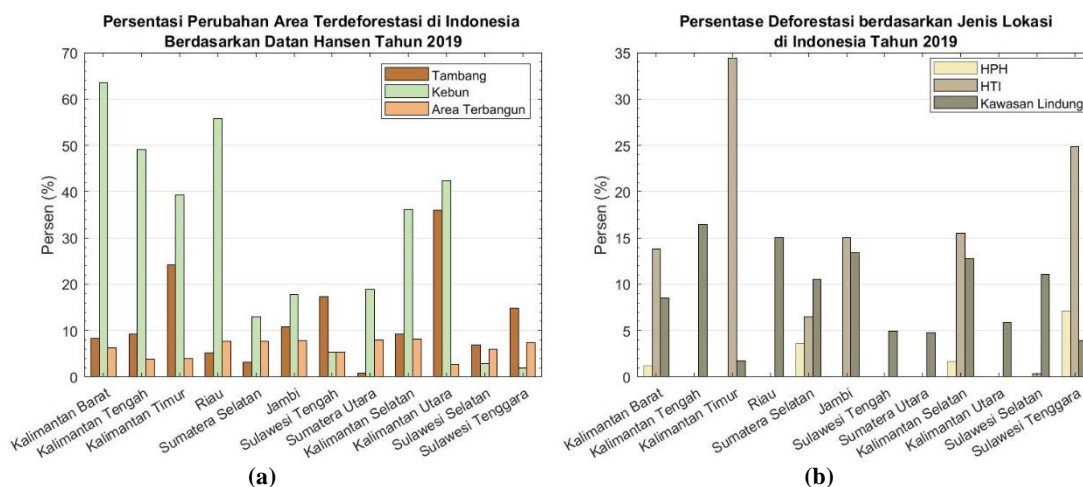
B. Deforestasi

Indonesia sering disebut sebagai paru-paru dunia karena memiliki wilayah hutan yang sangat luas. Namun Indonesia juga merupakan salah satu negara dengan tingkat deforestasi tinggi di dunia. Pada hasil penelitian ini, dengan menggunakan data deforestasi dari Hansen (2019) diketahui bahwa luas wilayah deforestasi di Indonesia mencapai 1.644.772,86 Ha. Deforestasi di Indonesia dari beberapa data menurut *World Bank* mencapai 700.000-1.200.000 Ha/tahun, FAO sebesar 1.315.000 Ha/tahun, dan *Greenpeace* mencapai 3.800.000 Ha/tahun. (Triani, 2018). Menurut data BPS, Indonesia pada tahun 2019 mengalami deforestasi *netto* Indonesia seluas 462.458,5 Ha (BPS, 2020). Perbedaan ini dapat terjadi karena data dan metode pengolahan yang berbeda. Pada metode penginderaan jauh, apabila data yang digunakan memiliki resolusi spasial yang berbeda maka hasil yang didapatkan akan berbeda pula.



Gambar 4. (a) 12 Provinsi dengan luas deforestasi tertinggi di Indonesia tahun 2019 dan (b) Persebaran wilayah deforestasi berdasar data Hansen

Pada Gambar 4(a) menunjukkan 12 provinsi dengan deforestasi tertinggi di Indonesia berdasarkan data Hansen (2019). Provinsi dengan deforestasi tertinggi adalah Kalimantan Barat dengan luas deforestasi sebesar 2096,16 km², sedangkan provinsi dengan tingkat deforestasi terendah adalah DKI Jakarta dengan luas deforestasi sebesar 0,0189 km². Dengan menggunakan data penginderaan jauh tidak hanya luas wilayah dan waktu deforestasi yang akan terekam namun persebaran secara spasial wilayah yang mengalami deforestasi juga dapat terlihat seperti pada Gambar 4(b). Dengan mengetahui sebaran lokasi deforestasi, maka akan mempermudah pengambilan kebijakan dalam penanganan deforestasi.



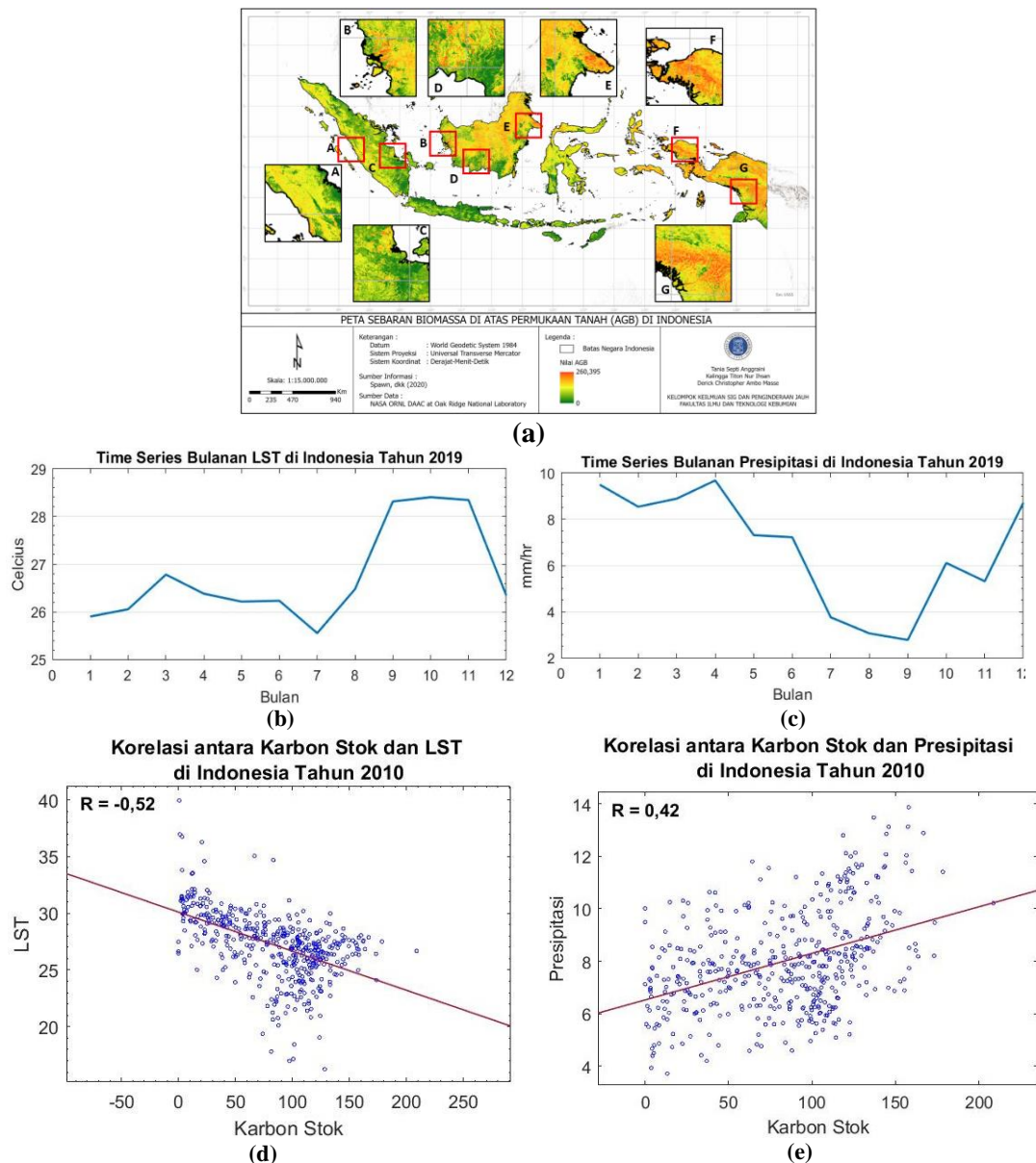
Gambar 5. (a) perubahan persentase perubahan kelas hutan terdeforestasi (b) Persentase deforestasi berdasarkan jenis lokasinya di sejumlah provinsi di Indonesia tahun 2019

Hutan yang mengalami deforestasi pada beberapa wilayah akan mengalami alih fungsi lahan menjadi jenis tutupan lahan yang lain. Dengan mengetahui data secara spasial dan temporal melalui teknik penginderaan jauh, maka dapat diketahui perubahan alih fungsi lahan yang terjadi di masing-masing wilayah deforestasi. Pada Gambar 5(a) disajikan grafik perubahan alih fungsi lahan pada 12 provinsi yang mengalami deforestasi tertinggi. Secara umum alih fungsi lahan yang terjadi adalah dari hutan berubah menjadi tambang, perkebunan, dan area terbangun. Persentase perubahan alih fungsi lahan menjadi tambang yang tertinggi adalah Kalimantan Utara, Kalimantan Timur, dan Sulawesi Tengah masing-masing nilai adalah 36%; 24,1%; dan 17,4%. Persentase alih fungsi lahan menjadi perkebunan tertinggi adalah Kalimantan Barat, Riau, dan Kalimantan Tengah dengan masing-masing nilai adalah 65,5%; 55,8%; dan 49,1%. Selain itu, persentase alih fungsi lahan menjadi area terbangun tertinggi adalah Kalimantan Selatan, Sumatera Utara, dan Jambi dengan masing-masing nilai adalah 8,2%; 8,1%; dan 7,8%. Dari tiga perubahan jenis alih fungsi lahan hutan tersebut dapat terlihat bahwa hutan diubah menjadi wilayah yang lebih memiliki nilai ekonomi. Pada Gambar 5(b) disajikan wilayah yang mengalami deforestasi yaitu wilayah hutan HPH (Hak Pengusahaan Hutan), hutan HTI (Hutan Tanaman Industri) dan Hutan area lindung. Pada wilayah HPH dan HTI, deforestasi yang terjadi dapat bersifat legal karena telah diatur dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 6 tahun 1999 tentang Hak Pengusahaan Hutan dan Hak Pemungutan Hasil Hutan dan Permen LHK Republik Indonesia No. P.17/MenLHK/SEKJEN/KUM.1/2/2017 tentang perubahan atas Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. P.12/MenLHK/II/2015 tentang Pembangunan Hutan Tanaman Industri . Tetapi, deforestasi yang terjadi di area lindung merupakan kegiatan yang ilegal sesuai yang diatur dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 23 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Kehutanan. Persentase deforestasi tertinggi yang terjadi di area lindung berada di Riau, Jambi, dan Kalimantan Selatan yang masing-masing memiliki nilai 15,1%; 13,4%; dan 12,7%.

C. Pengaruh Deforestasi terhadap Perubahan Iklim

Data dari Badan Pengembangan Infrastruktur Wilayah Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat atau PUPR (2021), terdapat beberapa daerah metropolitan di Indonesia, yaitu Jakarta, Surabaya, Bandung, Semarang, Medan, Makassar, Denpasar, Palembang, Banjarmasin, dan Manado. Pada wilayah-wilayah metropolitan tersebut, karbon stok cenderung rendah jika dibandingkan dengan wilayah-wilayah lainnya. Kondisi ini dibuktikan oleh Gambar 6(a) tentang sebaran karbon stok di atas permukaan tanah di Indonesia dengan nilai maksimum 260,395 MgC/Ha. Dari hasil tersebut, wilayah Jawa, Bali dan Sumatera cenderung berwarna hijau menuju kuning yang berarti karbon stok rendah ke sedang sedangkan wilayah Kalimantan, Sulawesi, Ambon dan Papua cenderung berwarna kuning menuju merah yang berarti sedang ke tinggi. Terbentuknya daerah metropolitan berdampak pada pengurangan luas hutan atau dikenal dengan istilah deforestasi. Deforestasi menurut Permenhut Republik Indonesia No. P30/Menhut-II/2009 adalah perubahan secara permanen dari area hutan menjadi area terbuka yang diakibatkan oleh kegiatan manusia.

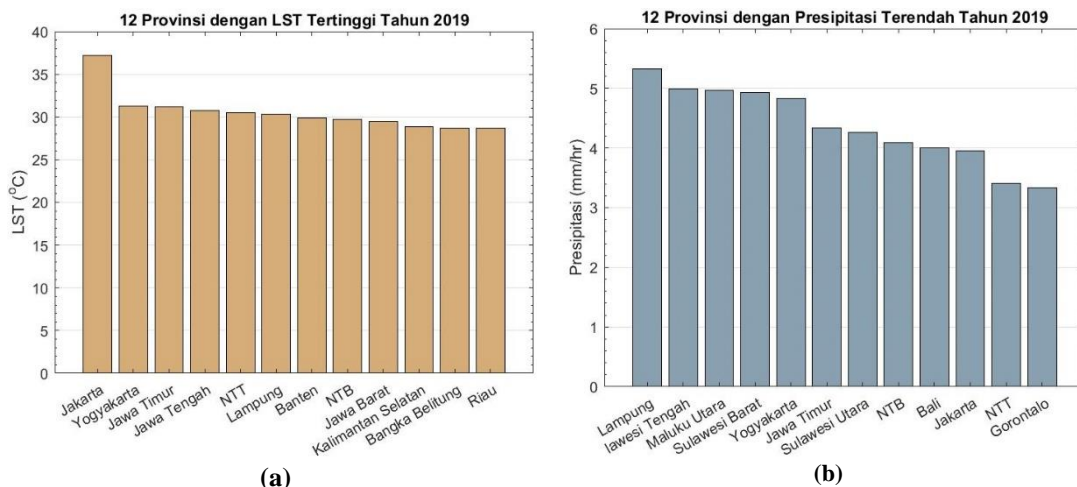
Berdasarkan data deforestasi Hansen yang berasal dari pemodelan data *time series*, telah terjadi deforestasi sebesar 1.644.772,86 Ha di Indonesia. Besarnya deforestasi tersebut menyebabkan perubahan iklim. Hal ini dapat dilihat dari Gambar 6(d) dan 6(e) berdasarkan interpretasi korelasi dari penelitian. Pada Gambar 6(d), karbon stok dengan LST menunjukkan korelasi negatif sebesar -0,52 yang berdasarkan Sugiono (2017) dan Wahyuni (2021) memiliki korelasi sedang. Artinya adalah pada wilayah yang memiliki nilai LST tinggi maka di wilayah tersebut karbon stoknya akan cenderung rendah, dapat disimpulkan bahwa wilayah tersebut adalah wilayah dengan tutupan lahan terbuka atau terbangun. Pola pembangunan di Indonesia yang tersentralisasi pada Pulau Jawa menyebabkan nilai LST di tempat tersebut menjadi tinggi karena tutupan lahannya berupa lahan terbuka atau lahan terbangun. Tinggi rendahnya LST juga dipengaruhi oleh faktor alam seperti iklim dan cuaca serta kebakaran hutan. Berdasarkan grafik *time series* bulanan LST Tahun 2019 pada Gambar 6(b), terjadi kenaikan signifikan LST pada bulan Juli dan puncaknya terjadi pada bulan Oktober dengan suhu yang mencapai lebih dari 28°C. Hasil analisis, penulis menemukan fakta bahwa pada bulan September hingga November terjadi kebakaran hutan hebat di Indonesia. Hal ini juga diperjelas berdasarkan data Lapan (2019), jumlah titik api tertinggi tahun 2019 terjadi pada bulan September sekitar 15.000 titik api. Berdasarkan data KLHK (2020) juga disebutkan bahwa pada tahun 2019 setidaknya terjadi 1,65 juta hektar kebakaran hutan di beberapa wilayah seperti Kalimantan Tengah, Kalimantan Selatan, Kalimantan Barat, Riau, dan Jambi sehingga terjadi kenaikan LST di wilayah-wilayah tersebut.



Gambar 6. (a) Sebaran karbon stok di Indonesia tahun 2010 (spawn dkk., 2010) (b) (a) *Time series* bulanan LST (c) *Time series* bulanan curah hujan (presipitasi) (d) regresi linear LST terhadap karbon stok, dan (e) regresi linear presipitasi dan karbon stok

Pada Gambar 6(e), karbon stok dengan presipitasi juga menunjukkan korelasi positif sebesar 0,42 yang berdasarkan Sugiono (2017) dan Wahyuni (2021) nilai tersebut memiliki korelasi sedang. Artinya adalah pada wilayah yang memiliki nilai presipitasi tinggi maka di wilayah tersebut karbon stok yang tinggi. Dapat disimpulkan bahwa wilayah dengan presipitasi tinggi ini adalah wilayah dengan tutupan lahan berhutan. Keberadaan hutan di suatu wilayah akan mempengaruhi presipitasi di wilayah tersebut. Semakin banyak wilayah dengan tutupan lahan berhutan, maka kemungkinan terjadinya presipitasi semakin besar. Hal ini terjadi karena hutan memiliki peran dalam menambahkan proses air di atmosfer melalui evapotranspirasi. Jika terjadi deforestasi maka presipitasi akan menjadi rendah (Butler, 2020). Berdasarkan Gambar 6(c) pada tahun 2019 presipitasi tertinggi terjadi pada bulan Januari hingga April dengan nilai 8–10 mm/hr lalu turun hingga bulan September dengan nilai presipitasi terendah

mendekati 2 mm/hr. Pada wilayah-wilayah yang memiliki presipitasi rendah akan memiliki nilai LST tinggi, kondisi tersebut dapat dilihat pada Gambar 7(a) dan 7(b). Kondisi ini sesuai dengan penelitian Butler (2020) yang menyebutkan bahwa wilayah hutan khususnya hutan tropis dapat mempengaruhi iklim dan cuaca global di mana pada area hutan yang memiliki karbon stok tinggi, suhu udaranya akan lebih rendah dan presipitasinya lebih tinggi.



Gambar 7. 12 Provinsi di Indonesia dengan rata-rata (a) LST tertinggi dan (b) Presipitasi terendah tahun 2019

Pada Gambar 7(a) dan 7(b) kita dapat melihat pengaruh deforestasi terhadap perubahan iklim. Deforestasi telah menyebabkan kenaikan nilai LST dan penurunan nilai presipitasi. Berdasarkan hasil analisis, dapat dilihat bahwa beberapa provinsi dengan LST tertinggi pada Tahun 2019 juga masuk sebagai provinsi dengan presipitasi terendah di tahun yang sama. Provinsi tersebut termasuk Jakarta, Yogyakarta, Jawa Timur, NTT, Lampung dan NTB. Provinsi Jawa Barat termasuk dalam provinsi dengan nilai LST tinggi namun tidak termasuk dalam provinsi dengan nilai presipitasi rendah karena secara geografis Jawa Barat termasuk sebagai wilayah yang menerima fenomena alam suplai air basah yang mempengaruhi pembentukan awan konvektif hujan dari Samudera Hindia (Pranita, 2021).

KESIMPULAN

Deforestasi adalah salah satu penyebab dari perubahan iklim. Hal ini terjadi karena deforestasi akan mempengaruhi jumlah hutan dan karbon stok yang ada. Beberapa hal penyebab deforestasi adalah perubahan alih fungsi lahan hutan dan juga kebakaran hutan yang disebabkan baik secara alami maupun tidak alami. Berdasarkan hasil analisis korelasi karbon stok dengan faktor perubahan iklim, LST dan Presipitasi diperoleh dengan masing-masing korelasi yang sedang. Artinya pada daerah yang memiliki karbon stok rendah, cenderung memiliki LST yang tinggi dan presipitasi yang rendah. Sebaliknya jika karbon stok tinggi maka ada kecenderungan LST rendah dan presipitasi tinggi. Dari hasil ini dapat dilihat bahwa jumlah karbon stok yang ada cukup mempengaruhi perubahan iklim. Oleh karena itu, diperlukannya penanganan yang lebih

lanjut untuk mengatasi deforestasi di Indonesia. Tidak hanya pemerintah, tetapi kita semua memiliki kewajiban dalam menjaga hutan kita.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada keluarga dan rekan-rekan yang telah mendukung penulisan artikel ini. Tak lupa juga, penulis mengucapkan terima kasih kepada keluarga besar Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika Institut Teknologi Bandung sebagai tempat kami belajar dan berkembang selama beberapa tahun ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alencar, A., Asner, G. P., Knapp, D., & Zarin, D. (2011). Temporal variability of forest fires in eastern Amazonia. *Ecological Applications*, 21(7), 2397-2412.
- Anggraeni, P. D. (2019). Analisis Serapan Karbon Dioksida Pada Hutan Lindung Gunung Banyak Kota Batu (Dimanfaatkan Sebagai Bahan Artikel Ilmiah Pembelajaran Biologi) (Doctoral dissertation, University of Muhammadiyah Malang).
- BIG. (2020). *Geospasial untuk Negeri*. [Dataset] https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web_
- BPIW Kementrian PUPR. (2017). *Kawasan Metropolitan di Indonesia*. [Dataset] <http://perkotaan.bpiw.pu.go.id/v2/metropolitan>
- BPS. (2020). *Angka Deforestasi Netto Indonesia Di Dalam Dan Di Luar Kawasan Hutan Tahun 2013-2019 Ha/Th* [Dataset]. <https://www.bps.go.id/statictable/2019/11/25/2081/angka-deforestasi-netto-indonesia-di-dalam-dan-di-luar-kawasan-hutan-tahun-2013-2019-ha-th-.html>
- Buchhorn, M., Lesiv, M., Tsendbazar, N.-E., Herold, M., Bertels, L., & Smets, B. (2020). Copernicus Global Land Cover Layers—Collection 2. *Remote Sensing*, 12(6), 1044.
- Butler, R. A. (2020). Rainforest Information: Tropical Rainforest and The Perils They Face Information on Tropical Forest, Deforestation, and Biodiversity. Dalam Mogabay. <https://rainforests.mogabay.com/>
- Chuvieco, E.; Pettinari, M.L.; Lizundia-Loiola, J.; Storm, T.; Padilla Parellada, M. (2018): ESA Fire Climate Change Initiative (Fire_cci): MODIS Fire_cci Burned Area Pixel product, version 5.1. Centre for Environmental Data Analysis, 01 November 2018.
- Departemen Kehutanan. (2009). *Permenhut RI No. P30/Menhut-II/2009 tentang Tata Cara Pengurangan Emisi dari Deforestasi dan Degradasi Hutan*. KLHK: Indonesia.
- Forest Watch Indonesia. (2019). Intip Hutan-2019. <https://fwi.or.id/publikasi/intip-hutan-2019-1/>
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., ... Michaelsen, J. (2015) The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data*, 2, 150066.

- Hanafi, N. H., Hassim, M. H., Noor, Z. Z., Ng, D. K., Helmi, N. H., & Aris, N. M. (2019). *Analysis of transported pollution and haze-related diseases via HYSPLIT Trajectory Modelling in the urbanized area of Johor, Malaysia*. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 373, 012008. DOI: 10.1088/1755-1315/373/1/012008
- Hanansyah, M, P. (2020). *Menilai Kelayakan Hutan Indonesia Sebagai Paru-Paru Dunia*. ITS. <https://www.its.ac.id/news/2020/11/21/menilai-kelayakan-hutan-indonesia-sebagai-paru-paru-dunia/>
- Hansen, M. C., P. V. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S. A. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, S. V. Stehman, S. J. Goetz, T. R. Loveland, A. Kommareddy, A. Egorov, L. Chini, C. O. Justice, and J. R. G. Townshend. (2021) Global Forest Change v 1.8. NASA. [Dataset] <https://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest>
- IPCC. (2018). IPCC Special Report about Global Warming of 1,5°C. <https://www.ipcc.ch/sr15/>
- Ismiyati, I., Marlita, D., & Saidah, D. (2014). Pencemaran udara akibat emisi gas buang kendaraan bermotor. *Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik*, 1(3), 241-248.
- KLHK. (2015) Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutan No. P.12/MenLHK/II/2015 tentang Pembangunan Hutan Tanaman Industri
- KLHK. (2020). Data Matrix Titik Panas TERRA/AQUA (LAPAN) High Tahun 2019. http://sipongi.menlhk.go.id/hotspot/matrik_tahunan?satelit=LPNMODIS&thn=2019
- KLHK. (2020). Rekapitulasi Luas Kebakaran Hutan dan Lahan (Ha) Per Provinsi Di Indonesia Tahun 2015-2020. [Dataset] SiPongi: http://sipongi.menlhk.go.id/hotspot/luas_kebakaran
- LAPAN. (2020). LAPAN Fire Hotspot. [Dataset] <http://modis-catalog.lapan.go.id/monitoring/#>
- Martinez-Vicente dkk. (2019). Measuring Marine Plastic Debris from Space: Initial Assessment of Observation Requirements. *Jurnal Remote Sensing*. 11(20), 2443
- Pemerintah Republik Indonesia (1999). Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 6 tahun 1999 tentang Hak Pengusahaan Hutan dan Hak Pemungutan Hasil Hutan
- Pemerintah Republik Indonesia. (2021). Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 23 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Kehutanan.
- Pranita, E. (2021). Empat Wilayah Indonesia Masih Hujan Meski Musim Kemarau. <https://www.kompas.com/sains/read/2021/06/24/181000023/4-penyebab-wilayah-indonesia-masih-hujan-meski-sudah-masuk-musim-kemarau?page=all>
- Pribadi, A., & Kurata, G. (2017). Greenhouse gas and air pollutant emissions from land and forest fire in Indonesia during 2015 based on satellite data. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 54(1).

- Spawn, S.A., and H.K. Gibbs. (2020). *Global Aboveground and Belowground Biomass Carbon Density Maps for the Year 2010*. ORNL DAAC, Oak Ridge, Tennessee, USA
- Sugiono. (2017). *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Alfa Beta.
- Tejada, J. J., & Punzalan, J. R. B. (2012). On the misuse of Slovin's formula. *The Philippine Statistician*, 61(1), 129-136.
- Triani. (2018). Kerusakan Hutan. DLHK. Diakses pada <https://dlhk.bantenprov.go.id/read/article/618/Kerusakan-Hutan-dan-dampaknya-bagi-kehidupan.html>
- UNEP-WCMC and IUCN. (2021). Protected Planet: The World Database on Protected Areas (WDPA) Cambridge, UK: UNEP-WCMC and IUCN <http://www.protectedplanet.net>.
- Wahyuni, H., & Suranto. (2021). Dampak Deforestasi Hutan Skala Besar terhadap Pemanasan Global di Indonesia. *Jurnal Ilmiah Ilmu Pemerintahan*, 6(1).
- Wan, Z., S. Hook, G. Hulley. (2015). MOD11A2 MODIS/Terra Land Surface Temperature/Emissivity 8-Day L3 Global 1km SIN Grid V006. *NASA EOSDIS Land Processes DAAC*. <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/missions-and-measurements/products/MOD11A2#overview>
- Wijaya, Y. (2019). *Pengaruh Kebakaran Hutan dan Lahan terhadap Kualitas Tanah*. Bengkulu: BAPPEDA.
- Zheng, Z., Yang, Z., Wu, Z., & Marinello, F. (2019). Spatial Variation of NO₂ and Its Impact Factors in China: An Application of Sentinel-5P Products. *Remote Sensing*, 11(16).