

---

## PEMETAAN POLA SPASIAL KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN DI TAMAN NASIONAL GUNUNG MERBABU BERBASIS PENGINDERAAN JAUH TAHUN 2019

Inu Kencana Hadi<sup>1</sup>, Sigit Heru Mukti<sup>2</sup>, Wirastuti Widyatmanti<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada

Email Koresponden: [inukencana96@mail.ugm.ac.id](mailto:inukencana96@mail.ugm.ac.id)

**Abstrak:** Indonesia merupakan negara dengan hutan tropis terluas ketiga di dunia, namun hampir setengah dari hutan Indonesia sudah terdegradasi. Salah satu penyebab terjadinya degradasi hutan adalah kebakaran. Secara historis, kebakaran hutan dan lahan adalah fenomena yang terus berulang di semua wilayah berhutan di Indonesia. Kebakaran hutan di Taman Nasional Gunung Merbabu yang terjadi hampir setiap tahun merupakan permasalahan yang serius, terutama pada bulan-bulan kering. Tercatat dalam sepuluh tahun terakhir yaitu antara bulan September 2014 hingga bulan September 2019, terjadi 4 kali kebakaran yang cukup besar. Dalam studi ini, kami menggunakan algoritma untuk mengestimasi kebakaran menggunakan deret waktu citra Landsat-8 OLI. Pendekatan ini diuji di area Taman Nasional Gunung Merbabu menggunakan 2 citra yang diperoleh antara bulan Juni – September 2019. Akurasi keseluruhan 85% diperoleh berdasarkan *Overall Accuracy* dan *Kappa hat Classification*. Hal ini menunjukkan bahwa algoritma yang digunakan memiliki potensi yang tinggi untuk diterapkan di lanskap lain dalam studi mendatang.

**Kata Kunci:** NBR, Kebakaran Hutan, Tingkat Keparahan Kebakaran, Penginderaan Jauh

**Abstract:** *Indonesia is a country with the third largest tropical forest in the world, but almost half of Indonesia's forests are already degraded. One of the causes of forest degradation is fire. Historically, forest and land fires have been a recurring phenomenon in all forested areas of Indonesia. Forest fires in Mount Merbabu National Park that occur almost every year are a serious problem, especially in the dry months. It was recorded that in the last ten years, between September 2014 and September 2019, there were 4 fairly large fires. In this study, we use an algorithm to estimate fires using time series Landsat-8 OLI images. This approach was tested in the Mount Merbabu National Park area using 2 images obtained between June – September 2019. An overall accuracy of 85% was obtained based on the Overall Accuracy and Kappa hat Classification. This indicates that the algorithm used has a high potential to be applied in other landscapes in future studies.*

**Keywords:** *NBR, Forest Fire, Burn Severity, Remote Sensing*

## PENDAHULUAN

Penggunaan Istilah kebakaran hutan dan lahan karena kebakaran terjadi tidak hanya pada kawasan hutan yang menjadi wilayah pengelolaan Kementerian Kehutanan, akan tetapi juga terjadi pada lahan-lahan non hutan seperti perkebunan, pertanian, dan juga semak belukar (Yulianto, 2009). Secara historis, kebakaran hutan dan lahan adalah fenomena yang terus berulang di semua wilayah berhutan di Indonesia (Adam dkk, 2019; Vetrira & Cochrane, 2019). Kebakaran lahan mempengaruhi fungsi ekologi dari banyak ekosistem karena kebakaran dapat menghilangkan sebagian atau seluruh lapisan vegetasi dan mempengaruhi komposisi pasca kebakaran (Epting *et al.*, 2005) dan berpotensi meningkatkan proses degradasi lahan, seperti erosi tanah (Chafer, 2008), kerusakan pada flora dan fauna, termasuk penghuni tanah, ketersediaan unsur hara tanah, perkembangan komunitas tumbuhan, keanekaragaman hayati dan atmosfer sangat dipengaruhi oleh kebakaran hutan yang mengakibatkan dampak ekonomi yang besar di wilayah tersebut (Rather *et al.*, 2018).

Kondisi iklim dunia saat ini sedang mengalami pemanasan, yang ditandai dengan zona-zona iklim mengalami pergeseran, dimana hal tersebut berhubungan langsung dengan pemanasan global (Ma'ruf dkk., 2016; Jylhä *et al.*, 2010; Belenguer *et al.*, 2019). Lebih lanjut *Intergovernmental Panel on Climate Change* menyatakan bahwa pemanasan global merubah pola temperatur dan presipitasi di seluruh dunia (Solomon *et al.*, 2007). Perubahan tersebut secara signifikan meningkatkan frekuensi potensi terjadinya kebakaran pada suatu lahan (Kalabokidis *et al.*, 2015). Meskipun penelitian mengenai kebakaran hutan sudah dilakukan, belum banyak kemajuan yang dicapai untuk mengatasi masalah ini di Indonesia. Masalah lainnya termasuk kerancuan kebijakan, keterbatasan pemahaman tentang dampaknya terhadap ekosistem, dan ketidakpastian tentang berbagai penyebab kebakaran hutan yang disebabkan oleh respons ekonomi dan kelembagaan yang tidak pasti terhadap kebakaran hutan (Tacconi, 2003).

Kebakaran yang terjadi di Taman Nasional Gunung Merbabu yang terjadi hampir setiap tahun merupakan permasalahan yang

serius, terutama pada bulan-bulan kering. Tercatat selama sepuluh tahun terakhir yaitu antara bulan September 2014 hingga bulan September 2019, terjadi 4 kali kebakaran yang cukup besar. Tahun 2014 mencapai 151,9 hektar (Balai Taman Nasional Gunung Merbabu, 2021), pada Tahun 2015 mencapai 610,25 hektar (Balai Taman Nasional Gunung Merbabu, 2021), Tahun 2018 mencapai 457,1 hektar (Balai Taman Nasional Gunung Merbabu, 2021), dan yang terakhir pada Tahun 2019 mencapai 613,57 hektar (Balai Taman Nasional Gunung Merbabu, 2021). Akibat kebakaran hutan, tidak semua jenis vegetasi di lereng selatan Gunung Merbabu dapat mengalami suksesi dengan cepat setelah kebakaran (Ashari dan Nuraini, 2014). Disisi lain wilayah ini memiliki keanekaragaman tumbuhan yang tinggi sehingga kebakaran hutan yang sering terjadi menjadi ancaman terhadap ekosistem dan lingkungannya (Maulana dkk, 2018).

Area hutan dan lahan yang terbakar dapat diukur secara akurat melalui investigasi berbasis lapangan konvensional. Namun, investigasi berbasis lapangan membutuhkan tenaga kerja yang besar, material dan sumber daya keuangan, dan distribusi spasial area yang terbakar tidak dapat ditentukan dalam jangka waktu yang memadai. Karakteristik multispektral, multi temporal, skala besar dari data penginderaan jauh memberikan metode yang lebih nyaman dan cepat untuk mengidentifikasi area yang terbakar (Liu *et al.*, 2020). Banyak penelitian telah menggunakan data penginderaan jauh untuk menentukan luas area yang terbakar atau arah penyebaran api (García-Haro *et al.*, 2001; van Wagendonk *et al.*, 2004; Roy *et al.*, 2008; Giglio *et al.*, 2009; Miettinen & Liew, 2009; Boschetti *et al.*, 2015; Hall *et al.*, 2016; Lu *et al.*, 2016; Wang *et al.*, 2018).

Saat ini, telah tersedia data Landsat 8 sebagai generasi terbaru Landsat. Landsat 8 dilengkapi dengan sensor *Operational Land Imager* (OLI) dan *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) yang dirancang untuk menyempurnakan sensor pada satelit Landsat-7 ETM+ (Irons *et al.*, 2012). Selama ini, implementasi deteksi kebakaran yang berbasis data citra penginderaan jauh optis lebih banyak mengandalkan variabel indeks vegetasi, dan nilai pantulan (Suwarsono, dkk. 2016).

Padahal, kebakaran hutan/lahan sangat terkait dengan termal, karena proses kebakaran akan menghasilkan panas yang dapat langsung dideteksi oleh sensor thermal pada satelit. Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa band thermal pada sensor Landsat-8 OLI telah terbukti secara efektif memberikan informasi tentang suhu permukaan (Kalantar *et al.*, 2020; Prasasti, 2020). Indeks spektral *Normalized Burn Ratio* (NBR) akan digunakan sebagai referensi untuk mendeteksi area terbakar dan tidak terbakar pada citra Landsat-8 OLI. *Normalized Burn Ratio* adalah indeks yang digunakan untuk mengukur tingkat keparahan kebakaran dengan membedakan area yang telah diubah secara signifikan dalam tanda spektralnya setelah peristiwa kebakaran hutan. Ini dihitung dengan menggunakan intensitas energi dari pita panjang gelombang NIR dan SWIR dari citra satelit penginderaan jauh. Pola respon spektral pada area terbakar yang terjadi karena pembakaran biomassa menyebabkan nilai penurunan yang tinggi pada band NIR dan terjadi peningkatan yang tinggi pada band SWIR (Escuin *et al.*, 2008).

Dalam studi ini, tujuan kami adalah untuk memetakan pola spasial kebakaran hutan dan lahan di Taman Nasional Gunung Merbabu berdasarkan analisis Citra Penginderaan Jauh Tahun 2019.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode Kuantitatif Spasial Ekologi dengan memanfaatkan data citra penginderaan jauh. Metode penelitian ini meliputi data, pra-pemrosesan data, dan pengolahan data.

### 1. Data

Penelitian ini menggunakan data Citra Satelit Landsat-8 OLI dengan berdsarkan sebelum kebakaran dan setelah kebakaran. Tahun 2019 (akuisisi data Juni 2019 dan September 2019). Data Citra Landsat-8 OLI sudah terkoreksi geometrik.

### 2. Pra-pemrosesan Data

Data Citra Landsat-8 terlebih dahulu dilakukan koreksi radiometrik. Koreksi radiometrik bertujuan untuk mengubah nilai *digital number* (DN) asli menjadi nilai reflektan permukaan lapisan luar atmosfer. Langkah selanjutnya adalah konversi ke BOA dengan menggunakan metode *Dark Object Subraction* (DOS).

### 3. Pengolahan Data

Pengolahan data menggunakan metode *Normalized Burn Ratio* (NBR) yang diolah dari Citra Landsat-8 OLI dengan menggunakan spektral saluran NIR (band 5) dan SWIR (band 7). Keduanya dari citra yang menunjukkan sebelum kebakaran (*pre-fire*: Tahun 2019) dan sesudah kebakaran (*post-fire* Tahun 2019). Pengolahan data menggunakan rumus NBR yang kemudian setelah didapatkan nilai masing-masing *pre-fire* dan *post-fire*, maka dihitung selisihnya dengan menggunakan rumus dNBR. Klasifikasi nilai menggunakan standar dari *United States Geological Survey* (USGS) dengan 7 kelas.

*Normalized Burn Ratio* (NBR) diolah dari Citra Landsat-8 OLI spektral saluran NIR (band 5) dan SWIR (band 7) (Li *et al.*, 2013). Keduanya dari citra yang menunjukkan sebelum kebakaran (*pre-fire*: Tahun 2019) dan sesudah kebakaran (*post-fire* Tahun 2019). Perbedaan masing-masing pantulan saluran tunggal (dNBR =  $NBR_{pre-fire} - NBR_{post-fire}$ ) dihitung.

Metode NBR dinilai memiliki akurasi yang tinggi jika diterapkan pada hutan dataran tinggi tropis yang memiliki keanekaragaman tutupan hutan. *Normalized Burn Ratio* pada Citra Landsat-8 OLI dirumuskan sebagai berikut:

$$NBR = \frac{PNIR - PSWIR}{PNIR + PSWIR}$$

Keterangan:

NBR : *Normalized Burn Ratio*

NIR : Nilai spektral saluran Near InfraRed (Band 5 pada Landsat-8 OLI)

SWIR : Nilai spektral saluran Short Wavelength

InfraRed (Band 7 pada Landsat-8 OLI)

Hasil yang diperoleh dalam analisis optimalitas, keterpisahan, dan korelasi, indeks dengan kapasitas terbesar untuk menilai tingkat keparahan kebakaran dipilih dan dilakukan segmentasinya. Untuk melakukan ini, perlu menentukan ambang batas perubahan antar kelas. Ambang batas ini ditentukan dalam kaitannya dengan nilai indeks setiap kelompok piksel menurut tingkat keparahannya untuk kelompok kebakaran sehingga dapat melihat variabilitas di antara mereka dan memungkinkan ekstrapolasi hasilnya ke titik

api lain (Escuin et al., 2008). Perhitungan nilai ambang batas dapat dilakukan juga dengan menghitung rata-rata ( $\bar{x}$ ) dan standar deviasi ( $\sigma$ ) dari masing-masing nilai indeks yang diturunkan dari Landsat 8. Nilai ambang ditentukan sebagai  $\bar{x} - 1\sigma$ ,  $\sigma$  dan  $\bar{x} + 1\sigma$ . Perhitungan ini dilakukan dengan membandingkan indeks dNBR yang diekstraksi dengan pengukuran lapangan pada areal yang terbakar, serta dengan menganalisis koefisien kappa yang merepresentasikan akurasi konsistensi klasifikasi (Saputra dkk, 2017).

Perbedaan antara NBR pra-kebakaran dan pasca-kebakaran yang diperoleh dari citra digunakan untuk menghitung delta NBR (dNBR atau  $\Delta NBR$ ), yang kemudian dapat digunakan untuk memperkirakan tingkat keparahan area kebakaran (*burn severity*). Nilai dNBR yang lebih tinggi menunjukkan kerusakan yang lebih parah, sedangkan area dengan nilai dNBR negatif menunjukkan suksesi pada vegetasi. Rumus yang digunakan untuk menghitung dNBR diilustrasikan (Kokaly et al., 2007):

$$dNBR \text{ or } \Delta NBR = \text{PrefireNBR} - \text{PostfireNBR}$$

Keterangan:

dNBR : Delta Normalized Burn Ratio

Pre-fire : Tanggal perekaman sebelum terjadi kebakaran

Post-fire: Tanggal perekaman setelah terjadi kebakaran

Nilai dNBR dapat bervariasi dari kasus ke kasus, sehingga untuk mendapatkan hasil terbaik, interpretasi dapat dilakukan melalui penelitian lapangan. Penelitian ini menggunakan klasifikasi tingkat keparahan area terbakar menurut *United States Geological Survey* (USGS).

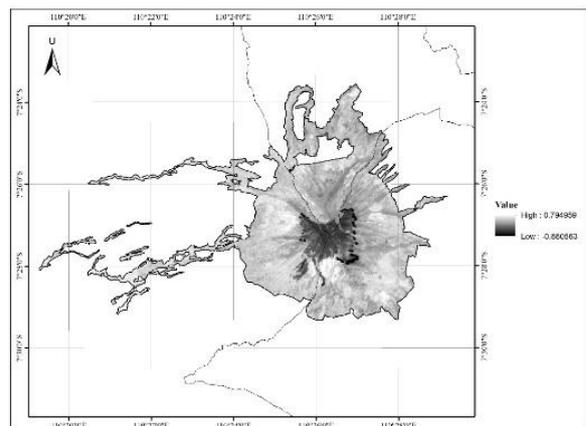
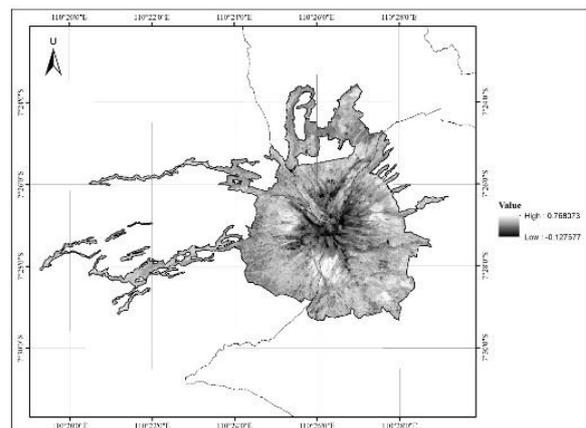
**Gambar 1.** Klasifikasi Tingkat Keparahahan Kebakaran (Burn Severity)

Severity Level	dNBR Range (scaled by 10 <sup>3</sup> )	dNBR Range (not scaled)
Enhanced Regrowth, high (post-fire)	-500 to -251	-0.500 to -0.251
Enhanced Regrowth, low (post-fire)	-250 to -101	-0.250 to -0.101
Unburned	-100 to +99	-0.100 to +0.99
Low Severity	+100 to +269	+0.100 to +0.269
Moderate-low Severity	+270 to +439	+0.270 to +0.439
Moderate-high Severity	+440 to +659	+0.440 to +0.659
High Severity	+660 to +1300	+0.660 to +1.300

Sumber: *United States Geological Survey* (USGS)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Kebakaran yang terjadi mempengaruhi fungsi ekosistem dengan menghancurkan biomassa di atas permukaan tanah dan mengubah sifat tanah. Kebakaran juga berdampak terhadap pergeseran habitat satwa endemik yang berada di Gunung Merbabu, seperti satwa Makaka (*Macaques*). Pemetaan tingkat kebakaran menggunakan data citra satelit sebagian besar mengandalkan perbedaan indeks spektral sebelum dan sesudah kebakaran untuk mendapatkan indeks tingkat kebakaran yang berbeda. Alasan pendekatan ini digunakan adalah bahwa perbedaan sebelum dan sesudah kebakaran, mencerminkan tingkat perubahan lingkungan akibat kebakaran. Perbedaan kejadian sebelum dan sesudah kebakaran dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Kondisi sebelum kebakaran (atas), Kondisi sesudah kebakaran (bawah)

**Tabel 1.** Nilai NBR dari Area yang Terbakar Tahun

2019

	Min	Max	Mean	Stdev
Pre-Fire	0	97.138	0.288	0.487
Post-Fire	-0.337	0.989	0.925	0.067
dNBR	-0.551	96.180	0.036	0.383

Sumber: Hasil Pengolahan Data

Nilai di atas merupakan nilai yang diperoleh dengan ekstraksi pada citra yang sudah dilakukan koreksi radiometrik yaitu nilai reflektansi yang menggambarkan rasio energi yang dipantulkan dengan total energi yang mengenai suatu permukaan per unit area. Nilai piksel maksimal dan mean pada citra menunjukkan perubahan yang variatif pada band multispektral pada citra Landsat-8.

Hasil pengolahan data Citra Landsat-8 OLI Tahun 2019, diketahui nilai reflektansi tertinggi pada citra *pre-fire* 97,138 dengan nilai terendah adalah 0 dan nilai reflektansi tertinggi citra *post-fire* 0,989 dengan nilai terendah -0,337. Nilai indeks NBR antara *prefire* dan *postfire* menunjukkan perubahan yang tidak terlalu signifikan yakni sebesar 0,33.

Pembakaran biomassa di wilayah vulkanik menyebabkan nilai penurunan yang tinggi pada band 5 dan peningkatan yang tinggi pada band 7. Tahun 2019 merupakan waktu dengan intensitas kebakaran terparah dan terluas selama rentang 10 tahun terakhir. Hasil analisis dari peta kebakaran penyebaran api cenderung berada di lereng bagian barat, selatan, dan timur yaitu daerah Kecamatan Pakis, dan Kecamatan Wonolelo sampai dengan Kecamatan Selo.

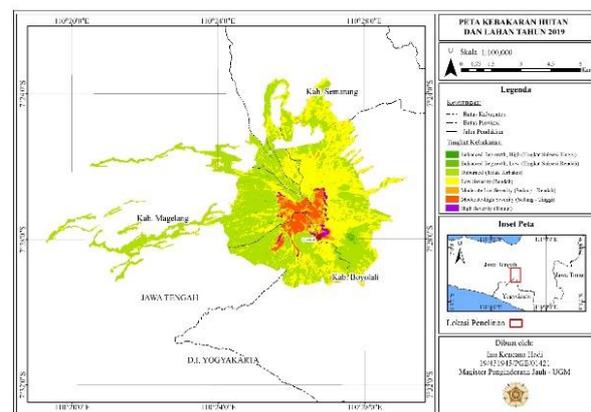
Berdasarkan observasi lapangan, kebakaran terjadi mulai dari perbatasan antara Pos 2 (Pandean) dengan Pos 3 (Batu Tulis) yang dikenal dengan nama Simpang Macan. Kebakaran terjadi di wilayah kering dengan akumulasi bahan bakar, serta aktivitas *anthropogenic* (misalnya pembakaran untuk pakan ternak). Kebakaran cenderung terjadi pada bulan kemarau atau bulan kering yakni berkisar pada bulan Juni – September dengan intensitas yang tinggi, dipengaruhi oleh ketersediaan bahan bakar, temperatur yang panas dan berangin menyebabkan kebakaran menyebar dengan cepat dan sulit dikendalikan. Wilayah yang terbakar ini didominasi oleh vegetasi Sowo, semak belukar, pohon dengan ketinggian 5-12 meter, kebakaran di area ini

dipadamkan oleh masyarakat anti api dengan metode pembuatan sekat bakar.

Pembakaran yang dilakukan dengan sengaja oleh masyarakat bertujuan untuk keseragaman suksesi vegetasi baru, dengan asumsi vegetasi yang sudah kering tidak disukai oleh hewan ternak. Wilayah yang tidak terbakar berada di bagian bawah dengan ketinggian <1800 mdpl, yang didominasi oleh vegetasi *Kernyu*.

Dari total luas Gunung Merbabu 5.820,49 Ha, terjadi kebakaran dengan luas 534,23 Ha, dengan sekitar 90% kebakaran disebabkan oleh manusia. Kombinasi aktivitas edafik, iklim, topografi, dan kecepatan angin menyebabkan sebagian besar penyebaran kebakaran.

Kasus kebakaran yang terjadi di Gunung Merbabu adalah Kebakaran Permukaan, yang mana wilayah yang dominan terbakar adalah wilayah sabana pada ketinggian sekitar 2.000 mdpl.



Gambar 3. Peta Tingkat Kebakaran Hutan dan Lahan di TNGM Tahun 2019

Validasi adalah bagian penting dari klasifikasi apapun karena bertujuan menilai keakuratan hasil dan memberikan informasi mengenai piksel yang diklasifikasikan dengan benar atau salah. Validasi dipilih dengan mengacu pada indeks kebakaran (NBR) yang digunakan dalam mendeteksi area terbakar dan tidak terbakar. Validasi pada penelitian ini dilakukan dengan cara membandingkan hasil ekstraksi *Normalized Burn Ratio* (NBR) dengan data observasi lapangan.

Validasi dilakukan dengan menggunakan metode *Confusion Matrix*. Hasil klasifikasi dievaluasi dengan

mempertimbangkan; Akurasi Keseluruhan (OA), Akurasi Pengguna (UA), Akurasi Produsen (PA), dan Koefisien Kappa (Kc). Akurasi pengguna menunjukkan kebenaran di lapangan sedangkan akurasi produsen didasarkan pada hasil klasifikasi. Indeks kebakaran yang diekstraksi menggunakan data citra optik menghasilkan hasil keseluruhan yang baik, hasil UA dan dan PA menunjukkan nilai yang tinggi.

*Overall accuracy* (%) sebesar 85% dengan sampel sebanyak 30 per klasifikasi jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan metode serupa; Binglu *et al.*, 2016 mendapatkan akurasi sebesar 76%, Mutai, 2019 mendapatkan akurasi sebesar 84.35%. Nilai Kappa hat yang dihasilkan dari uji akurasi dinilai cukup tinggi yang menunjukkan sensitivitas spektral piksel terhadap perubahan setelah kebakaran. Terdapat kesalahan klasifikasi piksel dari masing-masing kelas disebabkan oleh rentang nilai klasifikasi dari USGS yang sangat berdekatan dengan kejadian kebakaran di lapangan. Hasil ini menunjukkan bahwa identifikasi *burn severity* menggunakan citra sensor optik dapat dikatakan berhasil. Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (García *et al.*, 2018) bahwa indeks spektral yang dianalisis menggunakan dNBR secara signifikan lebih baik dibanding indeks thermal dan campuran. Matriks thermal tidak bekerja cukup baik dikarenakan sangat berpengaruh terhadap variabel aspek dan topografi. Sehingga ekstraksi kebakaran menggunakan indeks thermal akan bekerja

dengan baik apabila variabel tersebut homogen.

Sensitivitas indeks NBR terhadap keparahan kebakaran disebabkan oleh penurunan reflektansi NIR, sensitif terhadap struktur daun seluler, dan peningkatan simultan dalam reflektansi SWIR terutama terkait dengan penurunan kadar air (García *et al.*, 2018).

## KESIMPULAN

1. Kebakaran yang terjadi di Taman Nasional Gunung Merbabu Tahun 2019 yang diekstraksi menggunakan data citra penginderaan jauh diketahui seluas 534,23 Ha.
2. Berdasarkan analisis yang dilakukan menunjukkan bahwa kebakaran selalu terjadi pada bulan-bulan kering sesaat setelah masuk musim kemarau yang berkisar antara bulan Juni – September. Dengan puncak di bulan Agustus.
3. Berdasarkan perhitungan uji akurasi dari metode *Normalized Burn Ratio* (NBR) didapatkan nilai keseluruhan 85% dengan sampel 30 perkelas, dengan total 210 sampel. Validasi didasarkan pada observasi lapangan yang selanjutnya dilakukan *Confusion Matrix*.
4. Secara umum metode *Normalized Burn Ratio* (NBR) layak digunakan pada wilayah khatulistiwa, dengan kekurangan *misclassification* karena pengaruh awan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adam dkk. 2019. Sistem Informasi Geografi untuk Zonasi Kerentanan Kebakaran Lahan dan Hutan di Kecamatan Malifut, Halmahera Utara. JTIK. Vol. 6, No. 5, Oktober.2019. p.559- 566. <http://dx.doi.org/10.25126/jtiik.201743299>
- Ashari dan Nuraini. 2014. Pengembangan Model Konservasi Lingkungan dengan Metode Introdusir Vegetasi Asli Pegunungan Jawa Pada Lereng Baratdaya Gunungapi Merbabu: Tinjauan Biogeografi. Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan. ISBN: 978-602-71088-1-3. p912-922
- Balai Taman Nasional Gunung Merbabu. 2021. Laporan Tahunan. Boyolali: BTNGMb (Balai Taman Nasional Gunung Merbabu).
- Belenguer-Plomer, M. A., Tanase, M. A., Fernandez-Carrillo, A., & Chuvieco, E. 2019. Burned area detection and mapping using Sentinel-1 backscatter coefficient and thermal anomalies. *Remote Sensing of Environment*, 233, 111345. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111345>

- Chafer, Chris J. 2008. A Comparison of Fire Severity Measures an Australian Example and Implications for Predicting Major Areas Soil Erosion. *Catena*. p-235 - 245. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2007.12.005>
- Epting, J., Verbyla, D., & Sorbel, B. 2005. Evaluation of remotely sensed indices for assessing burn severity in interior Alaska using Landsat TM and ETM+. *Remote Sensing of Environment*, 96(3–4), 328–339. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.03.002>
- Escuin, S., Navarro, R., & Fernández, P. 2008. Fire severity assessment by using NBR (Normalized Burn Ratio) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) derived from LANDSAT TM/ETM images. *International Journal of Remote Sensing*, 29(4), 1053–1073. <https://doi.org/10.1080/01431160701281072>
- García-Haro et al. 2001. Monitoring fire-affected areas using Thematic Mapper Data. *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 22, no. 4, p533–549. <http://dx.doi.org/10.1080/01431160050505847>
- Irons, J. R., Dwyer, J. L., & Barsi, J. A. 2012. The next Landsat satellite: The Landsat Data Continuity Mission. *Remote Sensing of Environment*, 122, 11–21. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.08.026>
- Jylhä, K., Tuomenvirta, H., Ruosteenoja, K., Niemi-Hugaerts, H., Keisu, K., & Karhu, J. A. 2010. Observed and Projected Future Shifts of Climatic Zones in Europe and Their Use to Visualize Climate Change Information. *Weather, Climate, and Society*, 2(2), 148–167. <https://doi.org/10.1175/2010WCAS1010>
- Kalabokidis et al. 2015. Effect of Climate Change Projections on Forest Fire Behavior and Values-at-Risk in Southwestern Greece). *Forests*. ISSN 1999-4907. doi:10.3390/f6062214
- Kalantar, B., Ueda, N., Idrees, M. O., Janizadeh, S., Ahmadi, K., & Shabani, F. 2020. Forest Fire Susceptibility Prediction Based on Machine Learning Models with Resampling Algorithms on Remote Sensing Data. *Remote Sensing*, 12(22), 3682. <https://doi.org/10.3390/rs12223682>
- Kokaly, R. F., Rockwell, B. W., Haire, S. L., & King, T. V. V. 2007. Characterization of post-fire surface cover, soils, and burn severity at the Cerro Grande Fire, New Mexico, using hyperspectral and multispectral remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 106(3), 305–325. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.08.006>
- Kumalawati, R., Riadi, S., & Febriyan, G. M. S. (2020). Pemanfaatan Data Geospasial dalam Proses Pembelajaran Geografi Pada Kondisi Bencana Covid-19. *Jurnal Geografika (Geografi Lingkungan Lahan Basah)*, 1(1), 20-29. <https://doi.org/10.20527/jgp.v1i1.2294>
- Li, P., Jiang, L., & Feng, Z. (2013). Cross-Comparison of Vegetation Indices Derived from Landsat-7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) and Landsat-8 Operational Land Imager (OLI) Sensors. *Remote Sensing*, 6(1), 310–329. <https://doi.org/10.3390/rs6010310>
- Liu, S., Wang, S., Chi, T., Wen, C., Wu, T., & Wang, D. 2020. An improved combined vegetation difference index and burn scar index approach for mapping cropland burned areas using combined data from Landsat 8 multispectral and thermal infrared bands. *International Journal of Wildland Fire*, 29(6), 499. <https://doi.org/10.1071/WF18146>
- Ma'ruf, A., Safitri, S. A., & Sinaga, A. 2016. Pengaruh Pemanasan Global terhadap Beberapa Tanaman C3 di Indonesia.

- Jurnal Penelitian Pertanian BERNAS. Vol. 12, No. 2, p44-54.
- Maulana dkk. 2018. Aplikasi teknologi satelit multitemporal untuk penyusunan model spasial sebaran potensi kebakaran hutan di lereng selatan Gunung Merbabu. Geomedica. Vol. 16 No. 2. p97 – 107.
- Prasasti, I., Rahmi, K., Nugroho, J., Sitorus, J., Arief, R., Triyono, D., & Suwarsono. (2020). Detecting the burned area in southern Kalimantan by using the sentinel-1 polarimetric SAR and landsat-8 OLI optic. *Journal of Physics: Conference Series*, 1528, 012048. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1528/1/012048>
- Rather, M. A., Farooq, M., Meraj, G., Dada, M. A., Sheikh, B. A., & Wani, I. A. 2018. Remote Sensing and GIS Based Forest Fire Vulnerability Assessment in Dachigam National Park, North Western Himalaya. *Asian Journal of Applied Sciences*, 11(2), 98–114. <https://doi.org/10.3923/ajaps.2018.98.114>
- Saputra A. D., Setiabudidaya, D., Setyawan, D., Khakim, M. Y. N., & Iskandar, I. 2017. Burn scar analysis using normalized burning ratio (NBR) index during 2015 forest fire at Merang-Kepahyang peat forest, South Sumatra, Indonesia. *International Symposium on Earth Hazard and Disaster Mitigation (ISEDMD)*. <https://doi.org/10.1063/1.4987107>
- Solomon, S., Intergovernmental Panel on Climate Change, & Intergovernmental Panel on Climate Change (Ed.). 2007. *Climate change 2007: The physical science basis: contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Suwarsono dkk. 2016. Analisis Karakteristik Temperatur Area Terbakar (Burned Area) Menggunakan Data Landsat-8 TIRS di Kalimantan. *Jurnal Penginderaan Jauh*. Vol.13, No.1. p13-22.
- Tacconi, Luca. 2013. *Kebakaran Hutan di Indonesia: Penyebab, Biaya, dan Implikasi Kebijakan*. CIFOR. Occasional Paper No. 38 (i). Bogor: Indonesia
- Vetrita, Y., & Cochrane, M. A. 2019. Fire Frequency and Related Land-Use and Land-Cover Changes in Indonesia's Peatlands. *Remote Sensing*, 12(1), 5. <https://doi.org/10.3390/rs12010005>
- Yulianto, F. 2009. Pemanfaatan Data Modis untuk Identifikasi Daerah Bekas Terbakar (Burned Area) Berdasarkan Perubahan Nilai NDVI di Provinsi Kalimantan Tengah Tahun 2009. *Jurnal Penginderaan Jauh*. Vol. 6, p54-64.