

IDENTIFIKASI FAKTOR DOMINAN PENYEBAB KARHUTLA DI GAMBUT TROPIS

Identification of the Dominant Factors Causing Forest and Land Fires In Tropical Peatlands

Cornelius Antoni Nababan^{1)*}, Djati Mardiatno²⁾, Retnadi Heru Jatmiko²⁾

¹⁾Badan Riset dan Inovasi Nasional, Jl. MH Thamrin No. 8, Jakarta Pusat 10340

²⁾Universitas Gadjah Mada, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55281

*E-mail : corn002@brin.go.id

Intisari

Pengarusutamaan manajemen bencana karhutla berfokus pada pencegahan. Kesuksesan pencegahan ini sangat bergantung pada kemampuan untuk memprediksi bencana karhutla. Kendala utama pemodelan karhutla terletak pada penentuan variabel dan ketersediaan data. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi variabel dominan dalam model karhutla. Metode yang dilakukan dengan pendekatan Systematic Literature Review (SLR). Hasil penelitian menunjukkan terdapat 15 variabel yang dominan untuk pemodelan karhutla. Variabel tersebut yaitu tutupan lahan, jarak dari jalan, jarak dari pemukiman, jarak dari sungai, kepadatan penduduk, mata pencaharian, slope (antropogenik), FWI, KBDI, SPI, soil moisture, elevasi, peat type & depth, slope (fisik) dan konsesi sawit. Dari hasil validasi dengan data titik panas, 6 variabel memiliki respon tinggi, 4 variabel memiliki respon medium dan 5 variabel memiliki respon rendah.

Kata Kunci: Variabel, Bahaya, Karhutla.

Abstract

Mainstreaming of forest and land fire disaster management focuses on prevention. The success of this prevention heavily relies on the ability to predict forest and land fires. The main constraint in forest and land fire modeling is determining variables and data availability. This study aims to identify dominant variables in forest and land fire models. The method employed is a Systematic Literature Review (SLR) approach. The research result shows 15 dominant variables for forest and land fire modeling. These variables include land cover, distance from roads, distance from settlements, distance from rivers, population density, livelihoods, slope (anthropogenic), FWI (Fire Weather Index), KBDI (Keetch-Byram Drought Index), SPI (Standardized Precipitation Index), soil moisture, elevation, peat type & depth, slope (physical), and oil palm concessions. From the validation results with hotspot data, 6 variables showed a high response, 4 variables showed a medium response, and 5 variables showed a low response.

Keywords: Variable, Hazard, Peat and forest fire.

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan pemilik lahan gambut tropis terbesar di dunia. Luasan gambut di Indonesia merupakan terbesar ke-empat setelah Rusia, Kanada, dan USA dengan total luasan 14,9 juta hektar (Ritung *et al.*, 2011; KLHK, 2020) dimana 10,6 juta hektar luasan gambut tersebut berada di dalam kawasan hutan dan sisanya 4,3 juta hektar berada di luar kawasan hutan (KLHK, 2020). Luasan tersebut merupakan 50 % dari total gambut tropis yang ada di dunia. Gambut tersebut tersebar di Pulau Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, Papua dan Maluku.

Menurut Murdiyarto *et al.* (2013), gambut di Indonesia menyimpan sekitar 60 gigaton karbon atau sekitar 22 % dari total karbon gambut yang

ada di dunia. Sebagai penyimpan karbon yang besar, gambut tropis memainkan peranan yang penting dalam strategi mitigasi perubahan iklim (Murdiyarto *et al.*, 2010).

Alih fungsi lahan masih menjadi penyebab utama kerusakan hutan di Indonesia. Data dari *Global Forest Watch* (2020) menunjukkan dalam rentang tahun 2002–2019 telah terjadi kehilangan 6,5 juta hektar hutan di Indonesia. Mayoritas atau sekitar 60 % dari luasan tersebut merupakan hutan lahan gambut. Pada tahun 2019 terdapat kerusakan lahan gambut seluas 324.000 hektar yang menjadikan Indonesia negara dengan tingkat deforestasi tertinggi di dunia. Deforestasi pada lahan gambut dapat mengakibatkan kerusakan ekosistem yang kompleks, emisi karbon hingga menurunnya stok karbon, bahkan

secara agregat akan berdampak pada perubahan iklim global.

Kerusakan lahan gambut masih didominasi dari kebakaran hutan dan lahan (Tsujino *et al.*, 2016) yang disebabkan oleh aktivitas manusia seperti pembukaan lahan untuk pertanian atau perkebunan (Bappenas, 2016; Saharjo *et al.*, 2018). Kejadian kebakaran di lahan gambut bisa menyebabkan kerusakan yang signifikan, seperti penurunan kualitas dan produktivitas tanah, menurunnya ketinggian permukaan tanah, menurunnya mutu air, kehilangan biodiversitas, dan meningkatnya emisi gas rumah kaca yang bisa memengaruhi perubahan iklim global.

Terbakarnya hutan dan lahan merupakan fungsi dari aspek kondisi lingkungan yang mudah untuk terbakar dan aktivitas manusia yang memicu api (Stolle dan Lambin, 2003; Brasika, 2022; Krasovskii *et al.*, 2018; Sze *et al.*, 2019). Bappenas (2016) dan Saharjo *et al.* (2018) menyebutkan bahwa 99 % kejadian karhutla di lahan gambut disebabkan oleh aktivitas manusia.

Pada lahan gambut di Indonesia, munculnya api hanya dapat disebabkan oleh aktivitas manusia tersebut (Hooijer *et al.*, 2010). Aktivitas masyarakat cenderung diasosiasikan dengan proses pembukaan lahan dengan cara bakar, adanya konflik dalam masyarakat dan aktivitas rumah tangga yang berdampak pada terbakarnya lahan (seperti membakar sampah). Sedangkan faktor pendukung yang merepresentasikan kondisi lingkungan dapat berupa aspek meteorologi/klimatologi, fisik lahan dan biofisik lingkungan. Pada faktor kondisi pendukung lingkungan, indikator yang digunakan sangat mudah diidentifikasi dan pengukurannya, Indikator yang merepresentasikan faktor antropogenik sangat bervariasi dan dinamis secara spasio-temporal.

Pengarusutamaan penanggulangan karhutla berfokus pada pencegahan. Jika sudah terjadi kebakaran, maka api akan sangat sulit untuk dikendalikan. Upaya pencegahan karhutla sangat bergantung pada kemampuan dalam memprediksi potensi kejadian karhutla ke depannya. Graham *et al.*, (2021) mengidentifikasi 23 variabel yang berpengaruh terhadap karhutla dan mengklasterkan menjadi 4 kelompok yaitu cuaca, land (lahan), sosial dan biofisik. Selain itu beberapa penelitian sebelumnya seperti Sze *et al.* (2019), Prasetyo *et al.* (2022) dan Brasika (2022) mengelompokkan variabel dalam pemodelan karhutla menjadi faktor meteorologi, antropogenik serta sifat fisik dan biofisik lahan.

Dalam pengembangan model karhutla, penelitian sebelumnya cenderung dominan menggunakan variabel dari kelompok faktor tertentu. de Groot *et al.*, (2007) dan Matondang *et al.*, (2021) fokus pada pengembangan *Fire Weather Index* (FWI; faktor meteorologi) dalam memetakan peringkat kemudahan terbakar. Sumarga, (2017) dan Sze *et al.*, (2019) mengembangkan model karhutla dominan

menggunakan variabel dari faktor antropogenik. Sedangkan Maulana *et al.*, (2019) dan Nuthammachot & Stratoulis, (2021) dominan menggunakan variabel dari faktor fisik dan biofisik lahan. Pengembangan model karhutla dengan penggunaan variabel berimbang dari ketiga kelompok faktor tersebut dapat menjadi alternatif metode.

Terdapat tiga kelompok faktor variabel penduga tingkat kemudahan terbakar lahan gambut, yaitu faktor antropologis/sosial, faktor cuaca/klimatologi serta faktor fisik dan biofisik lahan gambut. Variabel tersebut dapat berupa data numerik atau kategorial.

Penggunaan variabel dalam penelitian sebelumnya juga masih terlalu banyak. Vilar del Hoyo *et al.* (2011) menggunakan 15 variabel, Sze *et al.* (2019) menggunakan 18 variabel, Graham *et al.*, (2021) mengidentifikasi 23 variabel, Prasetyo *et al.* (2022) menggunakan 18 variabel, dan Brasika (2022) menggunakan 14 variabel.

Peneliti berpendapat bahwa variabel yang akan digunakan dalam pemodelan karhutla ini dapat direduksi. Penggunaan indeks (seperti *Fire Weather Index*, *Standardized Precipitation Index*, *modified-Keetch-Byram Drought Index*, dan *Peat Fire Vulnerability*) yang sesuai dengan kelompok faktor akan banyak mereduksi jumlah variabel dan menghilangkan efek multikolinearitas antar variabel.

Upaya mengidentifikasi variabel yang berpengaruh dalam model karhutla dapat dilakukan dengan dua sudut pandang, yaitu subyektif dari peneliti itu sendiri atau secara obyektif dari pihak lain. Pemilihan secara subyektif sangat bergantung pada pengalaman dan pengetahuan yang dimiliki oleh peneliti. Sedangkan pemilihan secara obyektif dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan menanyakan baik secara langsung (*one on one interview*) maupun secara forum (*Focussed Group Discussion*) (Graham *et al.*, 2021) atau dengan melakukan substraksi dari hasil penelitian sebelumnya.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi variabel berpengaruh dalam pemodelan karhutla. Metode yang dilakukan yaitu dengan review literatur/artikel yang bersumber dari Scopus® dan ScienceDirect®. Pendekatan yang dilakukan yaitu meniru metode *Systematic Literature Review* (SLR) khususnya pada tahapan perencanaan dan pengumpulan data.

Selain itu, variabel yang teridentifikasi dalam penelitian ini hanya menggambarkan variabel paling berpengaruh dan sering digunakan dalam penelitian model karhutla khususnya di lahan gambut tropis. Hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan untuk pengembangan model pemetaan bahaya karhutla, khususnya di lahan bergambut, sebagai mitigasi bencana karhutla.

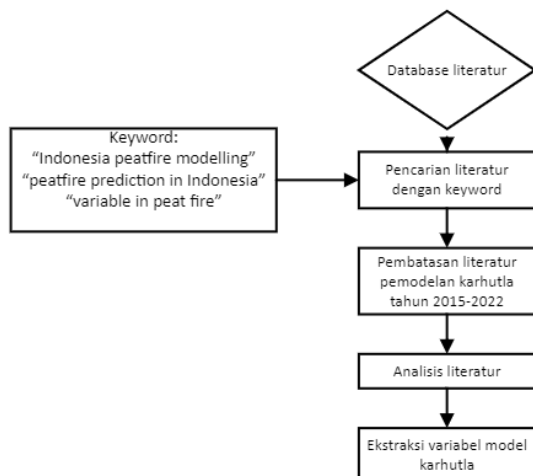
Evaluasi variabel yang terseleksi dilakukan dengan mengambil contoh kasus di Kabupaten Bengkalis, Provinsi Riau tahun 2019.

2. METODE

Pendekatan yang dilakukan untuk mengidentifikasi variabel berpengaruh dalam pemodelan karhutla yaitu meniru proses pada *Systematic Literature Review* (SLR). SLR merupakan metode untuk mengumpulkan, mengevaluasi, dan menganalisis secara kritis penelitian yang ada tentang topik tertentu dengan cara yang sistematis dan transparan. Terdapat 8 tahapan dalam metode SLR, namun dalam penelitian ini hanya mengadopsi 6 tahapan yaitu indentifikasi pertanyaan penelitian, penyusunan protokol, pencarian literatur, seleksi studi, ekstraksi data dan sintesis data.

Penelitian terkait pengembangan model karhutla telah banyak dilakukan baik pada gambut tropis maupun pada non-tropis. Basis data literatur yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dari penerbit Scopus® dan ScienceDirect®.

Dalam pencarian literatur, digunakan kata kunci (*keyword*) yang disesuaikan dengan topik utama penelitian. Kata kunci yang digunakan yaitu “Indonesia peatfire modelling”, “peatfire prediction in Indonesia”, dan “variable in peatfire”. Untuk memperluas cakupan data dilakukan pengembangan kata kunci dengan menambahkan kata kunci “forest fire” sebagai substitusi “peatfire”. Setelah literatur terkumpul kemudian diseleksi kembali dengan membatasi tahun terbit yaitu dari tahun 2015 – 2022. Dari koleksi literatur tersebut, juga kembali ditambahkan untuk literatur terbit lebih awal yang fundamental. Alur dalam tahap ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur proses pemilihan variabel.

Dalam penelitian ini tidak dilakukan tahapan SLR secara keseluruhan. Analisis data dilakukan hanya pada pengumpulan variabel model yang digunakan dalam artikel, tidak menganalisis secara keseluruhan hasil penelitian dalam artikel tersebut.

Dari variabel yang telah dikumpulkan, substraksi variabel dominan dilakukan dengan tiga mekanisme, yaitu:

1. Berdasarkan frekuensi kemunculan tertinggi. Variabel dari masing-masing kelompok faktor

akan dipilih 8 terbesar dan/atau telah mencapai persentase akumulasi sebesar 75 %.

2. Berdasarkan bobot tertinggi. Jika pada artikel disebutkan bobot masing-masing variabel, maka 3 variabel yang memiliki bobot tertinggi akan terpilih.
3. Berdasarkan tingkatan prioritas tertinggi. Jika pada artikel tidak disebutkan nilai bobot namun hanya disebutkan variabel yang memiliki pengaruh dominan (secara kualitatif) maka dipilih maksimal 3 variabel paling dominan.

Pada tahap akhir dilakukan evaluasi dari data variabel yang telah dilakukan skoring dan klasifikasi dengan data pada peristiwa titik panas tahun 2019 untuk wilayah Kabupaten Bengkalis. Klasifikasi, skoring, sumber data dan referensi dapat dilihat pada Tabel 2. Kabupaten Bengkalis dipilih karena memiliki luasan gambut sekitar 842.648 hektar atau sekitar 15 % dari total luasan gambut di Provinsi Riau. Luasan tersebut setara dengan 69,68 % dari total luas daratan Kabupaten Bengkalis.

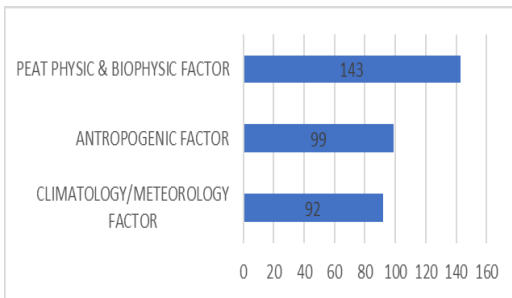
Selain itu, secara geografis letak Kabupaten Bengkalis terletak di ujung utara dan berbatasan dengan negara Malaysia sehingga asap yang dihasilkan dari karhutla di Kabupaten Bengkalis memiliki potensi yang besar untuk menyebar hingga ke Malaysia, Thailand dan Singapore (Field et al., 2016).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari pengumpulan data (artikel) dari dua sumber jurnal, diperoleh 44 artikel yang membahas tentang pemodelan karhutla atau sistem peringatan bahaya karhutla. Dari 44 artikel tersebut dieliminasi 5 artikel karena 4 artikel merupakan pemodelan karhutla bukan di gambut tropis sedang 1 artikel terjadi duplikasi. Duplikasi yang dimaksud yaitu artikel tersebut muncul pada jurnal *Scopus* dan *ScienceDirect*.

Analisis pertama yang dilakukan yaitu dengan melihat frekuensi kemunculan variabel. Secara akumulasi terdapat 334 kali kemunculan variabel yang digunakan, 92 kali kemunculan variabel masuk ke dalam kelompok faktor cuaca/klimatologi, 99 kali kemunculan variabel masuk ke dalam kelompok faktor sosial (*anthropogenic*) dan 143 kali kemunculan variabel masuk ke dalam kelompok faktor sifat fisik dan biofisik lahan (Gambar 2).

Hasil ini menunjukkan bahwa dalam dekade terakhir penelitian pemodelan karhutla masih dominan menggunakan variabel kelompok sifat fisik dan biofisik lahan.



Gambar 2. Sebaran frekuensi kemunculan variabel berdasarkan kelompok faktor

Masing-masing kelompok faktor tersebut dilakukan perincian untuk mengidentifikasi variabel dominan per kelompok faktor (Gambar 3). Terdapat 16 variabel yang masuk ke dalam kelompok faktor meteorologi/klimatologi dengan total kemunculan sebanyak 92 kali. Lima variabel yang paling sering muncul secara berurutan yaitu *rainfall/precipitation* (17,39 %), *evapotranspiration* (17,39 %), *temperature* (16,3 %), *wind (speed & direction)* (11,96 %) dan *humidity* (6,52 %).

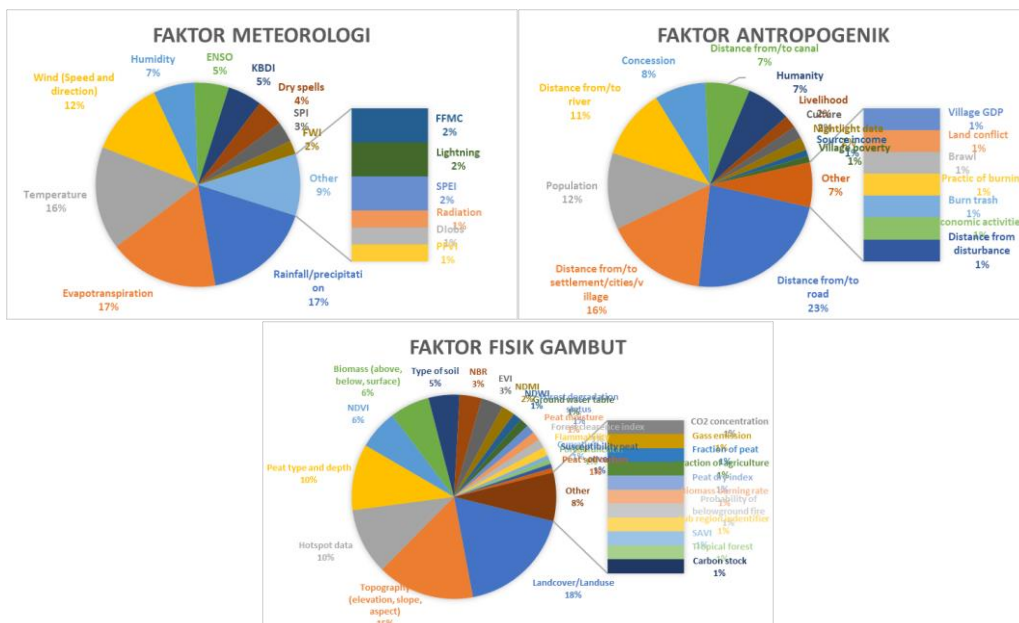
Kelompok faktor sosial (antropogenik) memiliki 17 variabel dengan total kemunculan 99 kali. Lima variabel yang paling sering muncul yaitu *Distance from/to road* (23,23 %), *Distance from/to settlement/cities/village* (16,16 %), *Population* (12,12 %), *Distance from/to river* (11,11 %) dan *Concession* (8,08 %). Terdapat 31 variabel yang masuk ke dalam kelompok faktor sifat fisik dan biofisik lahan dengan total kemunculan 143 kali. Secara berurutan variabel 5 besar yaitu *Landcover/Landuse* (18,18 %), *Topography* (15,38 %), data titik panas (10,49 %), *Peat type and depth* (10,49 %) dan *NDVI* (6,29 %).

Berikutnya dilakukan substraksi variabel berdasarkan nilai bobot variabel yang tertinggi dalam model karhutla. Dari 39 artikel yang terkumpul, terdapat 9 artikel yang menjelaskan secara tegas bobot dari masing-masing variabel yang digunakan

dalam model. Beberapa variabel yang memiliki bobot sangat tinggi seperti variabel *distance to road* pada Thoha et al., (2020) yang memiliki bobot 63 %. Selain itu ada juga variabel *peat depth* pada Rezainy et al., (2020) yang mencapai bobot 51,4 %. Ada juga variabel NDVI pada N. Ngoc Thach et al. (2018) yang memiliki bobot 51 %. Dari hasil substraksi 9 artikel tersebut, terdapat 11 variabel dengan bobot tertinggi dalam model yaitu *distance to road*, *distance to settlement*, *surface temperature*, NDMI, NDVI, *elevation*, *humidity*, *rainfall*, *peat depth*, fungsi kawasan dan *slope*.

Substraksi variabel juga dilakukan berdasarkan dominansi variabel dalam model namun tanpa menyebutkan nilai bobot secara tegas. Dari 39 artikel pada tahapan pengumpulan data, terdapat 8 artikel yang menjelaskan variabel yang berpengaruh dominan dalam model. Seperti pada artikel Horton et al., (2021) yang menjelaskan bahwa variabel *distance to settlement* paling dominan diikuti oleh variabel *distance to canal*. Contoh lain seperti pada artikel Nurdiana & Risdiyanto (2015) menyebutkan bahwa variabel NDWI paling dominan diikuti oleh NDVI, *surface temperature* dan *air temperature*. Untuk kondisi artikel demikian, maka akan dipilih 3 variabel yang paling dominan yang disebutkan dalam artikel untuk mewakili metode tingkat prioritas dalam model ini.

Metode seleksi variabel dengan melihat frekuensi kemunculan pada penelitian sebelumnya untuk menunjukkan variabel apa yang menjadi *top of mind* peneliti ketika ingin mengembangkan sebuah model karhutla. Variabel yang muncul dalam *top of mind* peneliti tersebut perlu juga divalidasi dengan tingkat prioritas variabel tersebut dalam sebuah model karhutla. Sehingga variabel yang terpilih nantinya memenuhi dua kriteria, yaitu variabel yang paling sering digunakan dan memiliki bobot pengaruh yang tinggi.



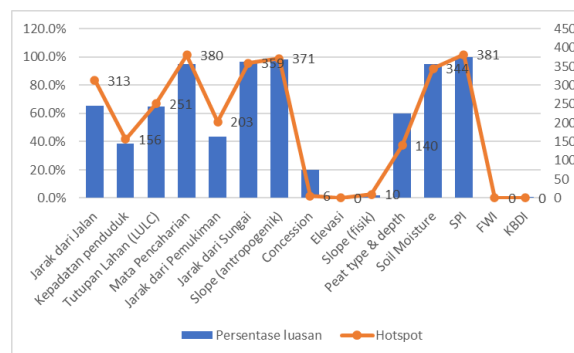
Gambar 3. Sebaran kemunculan variabel berdasarkan kelompok faktor.

Hasil substraksi variabel dikelompokkan berdasarkan kemunculan, bobot akumulasi > 50 % dan tingkat dominan dalam model (Tabel 1). Variabel juga dikelompokkan ke dalam kelompok faktor meteorologi/klimatologi, antropogenik serta sifat fisik dan biofisik lahan. Dalam kelompok meteorologi umumnya muncul parameter cuaca pengukuran permukaan, seperti suhu, kelembaban, arah dan kecepatan angin, curah hujan, dan evapotranspirasi. Jika parameter cuaca tersebut dipilih maka selain kesulitan dalam memperoleh data secara spasial juga ada kemungkinan multikolinearitas yang tinggi baik antar parameter cuaca maupun dengan variabel pada kelompok faktor lain. Misal korelasi yang tinggi antara curah hujan dengan kelembaban tanah (*soil moisture*). Sehingga dalam penelitian ini digunakan indeks yang mencakup hampir keseluruhan dari parameter cuaca permukaan tersebut. Indeks yang dipilih yaitu FWI, KBDI dan SPI.

Dalam kelompok faktor antropogenik, banyak penelitian sebelumnya yang mengukur bagaimana aksesibilitas masyarakat dari dan ke lahan yang rawan terbakar. Aksesibilitas tersebut diukur dengan melihat bagaimana jarak lahan dari jalan, sungai dan pemukiman. Dalam penelitian ini, data jalan yang digunakan yaitu jalan arteri, kolektor, lokal dan jalan lainnya (mengacu data Rupa Bumi Indonesia/RBI). Kualitas jalan tidak dipertimbangkan dalam penelitian ini. Jalan yang dapat dilalui baik dengan jenis kendaraan apapun maupun dengan berjalan kaki diasumsikan memberikan pengaruh terhadap tingkat bahaya karhutla. Namun jalan yang berada di dalam konsesi dikecualikan karena akses ke area konsesi memerlukan ijin (tidak bebas diakses masyarakat). Selain itu, aspek mata pencaharian serta kepadudukan (sebaran dan tingkat kepadatan) dalam satu wilayah juga menjadi fokus pada penelitian sebelumnya. Faktor-faktor tersebut dapat mengukur kondisi sosial dan ekonomi dari satu wilayah.

Sedangkan dalam kelompok faktor sifat fisik dan biofisik lahan, penelitian sebelumnya banyak mencermati keberadaan lahan gambut, baik jenis dan tingkat kedalamannya. Faktor vegetasi yang diukur dari tutupan lahan juga menjadi variabel yang tidak kalah penting. Sifat fisik lainnya seperti kelembaban lahan, topografi (elevasi dan *slope*) serta kepemilikan lahan menjadi variabel penting lainnya.

Setelah variabel ditentukan sesuai dengan Tabel 1, dilakukan juga evaluasi respon variabel tersebut terhadap kemunculan titik panas. Penelitian ini mengambil studi kasus di Kabupaten Bengkalis tahun 2019. Terlebih dahulu variabel tersebut dilakukan klasifikasi, skoring dan reklasifikasi sesuai dengan Tabel 2. Sehingga masing-masing variabel akan memiliki 4 kelas bahaya yaitu rendah, sedang, tinggi dan sangat tinggi. Peta sebaran kelas bahaya per variabel kemudian ditumpang tindihkan (*overlay*) dengan data titik panas *confidence level* > 80 %.



Gambar 4. Persentase akumulasi luasan kelas bahaya tinggi dan sangat tinggi serta jumlah titik panas yang terdeteksi pada kelas tersebut.

Berdasarkan luasan pada kelas bahaya tinggi dan sangat tinggi sesuai pada Gambar 4, variabel dapat dikelompokkan ke dalam 3 kategori yaitu respon rendah, medium dan tinggi. Terdapat 5 variabel yang memiliki respon tinggi dengan persentase di atas 85 %, yaitu mata pencaharian, jarak dari sungai, slope (antropogenik), *soil moisture* dan SPI. Selain itu terdapat 5 variabel yang memiliki respon medium dengan persentase 30–70%, yaitu jarak dari jalan, kepadatan penduduk, tutupan lahan (*Land Use/Land Cover*, LULC), jarak dari pemukiman, dan *peat type & depth*. Terakhir, kelompok variabel respon rendah dengan persentase dibawah 30 % yaitu *concession*, elevasi, *slope* (fisik), FWI, dan KBDI.

Dari segi jumlah titik panas (grafik garis pada Gambar 4), terdapat enam variabel yang memiliki jumlah titik panas tertinggi, yaitu jarak dari jalan, mata pencaharian, jarak dari sungai, slope (antropogenik), *soil moisture* dan SPI. Variabel jarak dari jalan bukan bagian dari variabel respon tinggi secara luasan, namun memiliki jumlah titik panas yang sangat tinggi. Berikutnya, terdapat 4 variabel yang memiliki respon medium berdasarkan jumlah titik panas yang terdeteksi, yaitu kepadatan penduduk, Tutupan lahan (LULC), jarak dari pemukiman, dan *peat type & depth*. Variabel yang memiliki respon rendah yaitu *concession*, elevasi, slope (fisik), FWI dan KBDI.

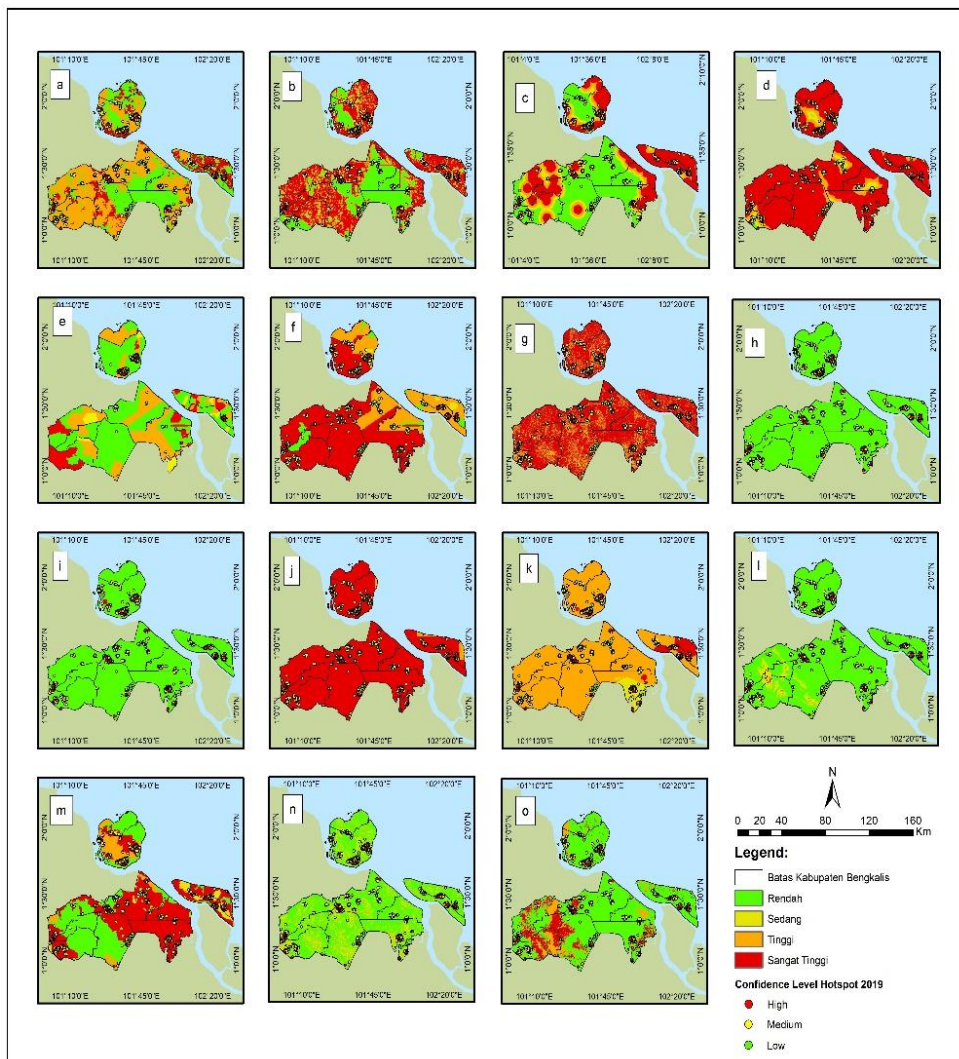
Sebaran spasial variabel di Kabupaten Bengkalis tahun 2019 dapat dilihat pada Gambar 5. Secara spasial, dari kelima variabel yang memiliki luasan kelas bahaya tinggi dan sangat tinggi terdapat 3 variabel yang menutupi hampir seluruh wilayah Kabupaten Bengkalis dengan kelas bahaya sangat tinggi. Variabel tersebut yaitu jarak dari sungai, slope (antropogenik), dan SPI. Dari variabel tutupan lahan, terlihat bahwa kelas bahaya sangat tinggi dominan berada di Pulau Bengkalis. Kelas tertinggi dalam variabel tersebut berupa semak belukar, savana dan pertanian lahan kering yang bercampur semak. Sebaran kelas bahaya pada variabel jarak dari jalan dan jarak dari pemukiman memiliki pola yang mirip. Ini membuktikan bahwa pemukiman selalu berasosiasi dengan jalan. Data pada variabel jalan sudah mengecualikan jalan yang berada di wilayah konsesi, sehingga jalan yang dimaksud yaitu jalan yang dapat diakses secara bebas oleh masyarakat. Wilayah tengah Kabupaten

Bengkalis memiliki kelas bahaya yang rendah, mirip dengan pada variabelutupan lahan. Hal tersebut mengindikasikan bahwa wilayah tersebut merupakan area hutan yang hampir tidak terdapat jalan dan pemukiman.

Pada variabel jarak dari sungai, terlihat bahwa hampir seluruh wilayah memiliki kelas bahaya sangat tinggi. Hal ini mengindikasikan banyak sungai (besar hingga kecil) yang melewati wilayah Kabupaten Bengkalis. Variabel kepadatan penduduk memberikan luasan kelas bahaya sangat tinggi yang paling sedikit. Kepadatan penduduk dalam penelitian ini dihitung data penduduk BPS per satuan luas pemukiman dan bangunan. Bangunan diidentifikasi melalui NDBI. Data variabel kepadatan penduduk dan mata pencaharian memiliki batasan wilayah administratif kelurahan/desa. Dari variabel mata pencaharian sebaran kelas bahaya dominan yaitu tinggi dan sangat tinggi. Yang menarik yaitu area yang masuk dalam kelas rendah pada variabelutupan lahan dan jarak dari jalan (karena termasuk area hutan) justru memiliki kelas bahaya sangat tinggi di variabel mata pencaharian. Dari variabel

slope (antropogenik), hampir seluruh wilayah Kabupaten Bengkalis memiliki kelas tinggi dan sangat tinggi. Ini menggambarkan bahwa Kabupaten Bengkalis cenderung memiliki kelerengan yang landai. Kelerengan yang landai tidak menghambat masyarakat untuk mengakses lahan yang rawan terbakar.

Sebaran kelas bahaya pada variabel FWI, KBDI, elevasi dan *slope* (fisik) memiliki pola yang sama dimana didominasi kelas bahaya rendah. Hampir seluruh wilayah dalam variabel SPI memiliki kelas bahaya sangat tinggi. Dengan menerapkan SPI pada rata-rata tahunan cukup efektif menggambarkan tingkat kekeringan. Tahun 2019 merupakan tahun *El Nino* dimana terjadi penurunan curah hujan yang signifikan di wilayah Indonesia. Gambaran tingkat kekeringan yang diberikan oleh SPI ini sesuai dengan kondisi iklim global. Hal yang sama juga ditunjukkan oleh variabel *soil moisture*. Berkurangnya curah hujan tentu akan berdampak pada penurunan kelembaban lahan. Pada variabel *soil moisture*, wilayah Bengkalis didominasi kelas bahaya tinggi dan sangat tinggi yang artinya lahan cukup kering.



Gambar 5. Peta sebaran kelas bahaya dan kemunculan titik panas pada variabel: (a)utupan lahan, (b) jarak dari jalan, (c) jarak dari pemukiman, (d) jarak dari sungai, (e) kepadatan penduduk, (f) mata pencaharian, (g) slope (antropogenik), (h) FWI, (i) KBDI, (j) SPI, (k) soil moisture, (l) elevasi, (m) peat type & depth, (n) slope (fisik), dan (o) konsesi sawit.

Gambut di wilayah Bengkalis didominasi oleh kelas gambut dalam. Gambut dalam tersebut tersebar di bagian tengah hingga timur pada pulau utama dan menyebar merata di Pulau Bengkalis dan Rupat. Gambut di Bengkalis hanya sedikit diliputi gambut muda (fibrik). Sehingga gambut tipe hemic yang dalam memiliki kelas bahaya yang sangat tinggi. Pada variabel *concession*, lahan yang dimiliki masyarakat (*small holders*) memiliki kelas bahaya sangat tinggi. Dari sebaran yang ada, lokasi lahan yang dimiliki masyarakat cenderung tidak jauh dari pemukiman dan umumnya tidak berada digambut tua dan dalam.

DISKUSI

Secara umum, munculnya api di lahan gambut merupakan kombinasi antara kondisi lingkungan yang mudah terbakar dan aktivitas manusia yang memicu api (Stolle & Lambin, 2003). Aktivitas masyarakat cenderung diasosiasikan dengan proses pembukaan lahan dengan cara bakar, adanya konflik dalam masyarakat dan aktivitas rumah tangga yang berdampak pada terbakarnya lahan (seperti membakar sampah). Pada lahan gambut di Indonesia, munculnya api hanya dapat disebabkan oleh aktivitas manusia tersebut (Hooijer *et al.*, 2012). Aktivitas masyarakat ini sering dicirikan dengan bagaimana sebaran masyarakat, pekerjaan yang dimiliki masyarakat serta bagaimana kemudahan akses masyarakat ke lokasi-lokasi mudah terbakar tersebut. Dalam penelitian ini dilakukan substraksi variabel aktivitas manusia dari penelitian sebelumnya. Variabel tersebut yaitu jarak dari jalan, jarak dari sungai, jarak dari pemukiman, kelereng (*slope* antropogenik), kepadatan penduduk, tutupan lahan (LULC), dan mata pencaharian penduduk. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian Sumarga (2017), Sze *et al.* (2019), Rezainy *et al.* (2020), Thoha *et al.* (2020; Thoha & Triani (2021), Horton *et al.* (2021) dan Graham *et al.* (2021).

Kondisi lingkungan sendiri dapat dipisahkan menjadi bagaimana kondisi atmosfer dan bagaimana kondisi lahan. Kondisi atmosfer (disebut faktor meteorologis) juga memiliki pengaruh terhadap kondisi lahannya. Misal, suhu dan curah hujan memiliki pengaruh kuat terhadap hidrologi gambut (tinggi muka air dan kelembaban). Dalam penelitian ini diidentifikasi variabel FWI, KBDI dan SPI yang menggambarkan kondisi atmosfer. FWI sebagai indikator tunggal sering digunakan sebagai *Fire Danger Rating System* (FDRS) sesuai penelitian de Groot *et al.* (2006), Tan *et al.* (2020) dan Matondang *et al.* (2021). FWI sendiri mampu menggambarkan tingkat kemudahan terbakar pada tiga lapisan tanah yang dideskripsikan oleh indeks penyusunnya. Sama seperti FWI, KBDI juga dikembangkan sebagai *rating system* kemudahan terbakar kawasan hutan di Amerika Serikat (Keetch & Byram, 1968). Penggunaan KBDI sebagai indikator kemudahan terbakar juga dilakukan oleh Taufik (2010), Taufik *et al.* (2019, 2020), dan Prasetyo *et al.* (2022) sebagai variabel input. Sedangkan

SPI sendiri merupakan indikator kekeringan meteorologis yang menggambarkan durasi kekurangan hujan di suatu wilayah (diukur dengan jumlah hari tanpa hujan). Variabel ini juga digunakan oleh Horton *et al.*, (2021; Prasetyo *et al.*, (2022); Widayastuti *et al.*, (2021) dalam pengembangan model karhutla.

Kondisi lahan (baik fisik dan biofisik) memainkan peranan yang cukup penting dalam menilai tingkat kemudahan terbakarnya lahan. Faktor ini cenderung selalu digunakan dalam pemodelan karhutla. Topografi (*slope* dan elevasi) menjadi variabel yang paling sering digunakan dalam model karhutla seperti dalam penelitian (Mukti *et al.*, 2016), (Sloan *et al.*, 2017), (Sumarga, 2017), (N Ngoc Thach *et al.*, 2018), (Sze *et al.*, 2019b), (Hidayanto *et al.*, 2021), Horton *et al.* (2021 & 2022), Prasetyo *et al.* (2022), Suhartono *et al.* (2022) dan , (Suharnoto *et al.*, 2022). Selain itu terdapat variabel *soil moisture*, *peat type & depth* dan konsesi sawit. *Soil moisture* mewakili kondisi hidrologi gambut. Seharusnya akan lebih baik jika menggunakan variabel tinggi muka air (TMA) gambut. Namun karena keterbatasan data pada variabel tersebut maka digunakan alternatif yaitu kelembaban gambut. Penelitian terkait penggunaan hidrologi gambut juga terdapat pada (Taufik *et al.*, 2019, 2020), Graham *et al.* (2021), Wisyastuti *et al.* (2021), dan Prasetyo *et al.* (2022). *Peat type & depth* menentukan tingkat kemudahan dan penyebaran api pada lahan gambut. Pemilihan variabel ini sejalan dengan penelitian (Usman *et al.*, 2015), (Thoha & Ahmad, 2018), Maulana *et al.* (2019), Taufik *et al.* (2019), Sze *et al.* (2019), Graham *et al.* (2021), Hidayanto *et al.* (2021), dan Horton *et al.* (2021 & 2022). Penggunaan variabel konsesi sawit sejalan dengan penelitian Sumarga (2019), Thoha *et al.* (2018), dan Tan *et al.* (2020).

4. KESIMPULAN

Terdapat 15 variabel yang berpengaruh dalam pemodelan karhutla berdasarkan hasil penelitian sebelumnya, variabel tersebut dapat dikelompokkan ke dalam 3 kelompok faktor yaitu meteorologi/klimatologi (FWI, KBDI dan SPI), sosial atau antropogenik (jarak dari jalan, jarak dari sungai, jarak dari pemukiman, *slope* (antropogenik), mata pencaharian dan kepadatan penduduk), dan sifat fisik dan biofisik lahan (tutupan lahan, *slope* (fisik), *soil moisture*, elevasi, *peat type & depth*, dan konsesi sawit). Variabel yang paling dominan menggambarkan kelas bahaya tinggi dan sangat tinggi serta respon identifikasi titik panas yang baik yaitu jarak dari jalan, mata pencaharian, jarak dari sungai, *slope* (antropogenik), *soil moisture* dan SPI.

5. DAFTAR PUSTAKA

Bappenas. (2016). *Grand Design Pencegahan Kebakaran Hutan, Kebun dan Lahan 2017 -*

- 2019.
- Brasika, I. B. M. (2022). The Role of El Nino Variability and Peatland in Burnt Area and Emitted Carbon in Forest Fire Modeling. *Forest and Society*, 6(1), 84–103. DOI: 10.24259/fs.v6i1.10671
- de Groot, W. J., Field, R. D., Brady, M. A., Roswintiarti, O., & Mohamad, M. (2006). Development of the Indonesian and Malaysian fire danger rating systems. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12(1), 165–180. DOI: 10.1007/s11027-006-9043-8
- Graham, L. L. B., Arifanti, A., Malik, I., Pribadi, M. A., & Applegate, G. B. (2021). Steps towards the development of a Peat Fire Danger Rating System in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 874(1). DOI: 10.1088/1755-1315/874/1/012010
- Hidayanto, N., Saputro, A. H., & Nuryanto, D. E. (2021). Peatland Data Fusion for Forest Fire Susceptibility Prediction Using Machine Learning. *2021 4th International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems, ISRITI 2021*, 544–549. DOI: 10.1109/ISRITI54043.2021.9702762
- Hooijer, A., Page, S., Canadell, J. G., Silvius, M., Kwadijk, J., Wösten, H., & Jauhiainen, J. (2010). Current and future CO₂ emissions from drained peatlands in Southeast Asia. *Biogeosciences*, 7(5), 1505–1514. DOI: 10.5194/bg-7-1505-2010
- Hooijer, A., Page, S., Jauhiainen, J., Lee, W. A., Lu, X. X., Idris, A., & Anshari, G. (2012). Subsidence and carbon loss in drained tropical peatlands. *Biogeosciences*, 9(3), 1053–1071. DOI: 10.5194/bg-9-1053-2012
- Horton, A. J., Virkki, V., Lounela, A., Miettinen, J., Alibakhshi, S., & Kumm, M. (2021). Identifying Key Drivers of Peatland Fires Across Kalimantan's Ex-Mega Rice Project Using Machine Learning. *Earth and Space Science*, 8(12). DOI: 10.1029/2021EA001873
- Keetch, J. J., & Byram, G. M. (1968). A Drought Index for Forest Fire Control. *U.S.D.A. Forest Service Research Paper, SE-38*. DOI: 10.1016/j.acppm.2015.04.007
- KLHK. (2020). *Statistik 2020 Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan*. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Krasovskii, A., Khabarov, N., Pirker, J., Kraxner, F., Yowargana, P., Schepaschenko, D., & Obersteiner, M. (2018). Modeling burned areas in Indonesia: The FLAM approach. *Forests*, 9(7). DOI: 10.3390/f9070437
- Matondang, J. S., Sanjaya, H., & Arifandri, R. (2021). *Development of Google Earth Engine Fire Weather Index Calculator for Indonesian Fire Danger Rating System Development of Google Earth Engine Fire Weather Index Calculator for Indonesian Fire Danger Rating System*. DOI: 10.1088/1755-1315/936/1/012040
- Maulana, S. I., Syaufina, L., Budi Prasetyo, L., & Nur Aidi, M. (2019). Spatial Logistic Regression Models For Predicting Peatland Fire In Bengkalis Regency, Indonesia. In *Journal of Sustainability Science and Management* 14).
- Mukti, A., Prasetyo, L. B., & Rushayati, S. B. (2016). *Mapping of fire vulnerability in Alas Purwo National Park*. 33, 290–304. DOI: 10.1016/j.proenv.2016.03.080
- Murdiyarso, D., Hergoualc'h, K., Verchot, L. V., & Lebel, L. (2013). Indonesia's Forests in the Global Carbon Cycle. In *Indonesia's Fires and Haze*. Springer, 87–97.
- Murdiyarso, D., Hergoualc'h, K., & Verchot, L. V. (2010). Opportunities for reducing greenhouse gas emissions in tropical peatlands. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(46), 19655–19660. DOI: 10.1073/pnas.0911966107
- Nurdiana, A., & Risdiyanto, I. (2015). Indicator determination of forest and land fires vulnerability using Landsat-5 TM data (case study: Jambi Province). *Procedia Environmental Sciences*, 24, 141–151. DOI: 10.1016/j.proenv.2015.03.019
- Nuthammachot, N., & Stratoulis, D. (2021). A GIS- and AHP-based approach to map fire risk: a case study of Kuan Kreng peat swamp forest, Thailand. *Geocarto International*, 36(2), 212–225. DOI: 10.1080/10106049.2019.1611946
- Prasetyo, L. B., Setiawan, Y., Condro, A. A., Kustiyo, K., Putra, E. I., Hayati, N., Wijayanto, A. K., Ramadhi, A., & Murdiyarso, D. (2022). Assessing Sumatran Peat Vulnerability to Fire under Various Condition of ENSO Phases Using Machine Learning Approaches. *Forests*, 13(6). DOI: 10.3390/f13060828
- Rezainy, A., Syaufina, L., & Sitanggang, I. S. (2020). *Pemetaan Daerah Rawan Kebakaran Di Lahan Gambut Berdasarkan Pola Sekuens Titik Panas Di Kabupaten Pulang Pisau Kalimantan Tengah Mapping of Risk Fire in Peat Land based on Hotspot Sequential Pattern Mining in District of*. 10(1), 66–76.
- Ritung S, Wahyunto, K Nugroho, Sukarman, Hikmatullah, Suparto, C., & Tafakresnanto. (2011). Peta Lahan Gambut Indonesia Skala 1:250.000. *Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian*.
- Saharjo, B. H., Syaufina, L., Nurhayati, A. D., Putra, E. I., Waldi, R. D., & Wardana. (2018). *PENGENDALIAN KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN*.
- Sloan, S., Locatelli, B., Wooster, M. J., & Gaveau, D. L. A. (2017). Fire activity in Borneo driven by industrial land conversion and drought

- during El Niño periods , 1982 – 2010. *Global Environmental Change*, 47(September), 95–109. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2017.10.001
- Stolle, F., & Lambin, E. F. (2003). *Interprovincial and interannual differences in the causes of land-use fires in Sumatra , Indonesia*. 30(4), 375–387. DOI: 10.1017/S0376892903000390
- Suharnoto, Y., Taufik, M., Setiawan, B. I., & Buchori, D. (2022). *Development of Spatial Peatland Fire Danger Index Using Coupled SWAT-MODFLOW Model*. 1–16.
- Sumarga, E. (2017). Spatial indicators for human activities may explain the 2015 fire hotspot distribution in central Kalimantan Indonesia. *Tropical Conservation Science*, 10. DOI: 10.1177/1940082917706168
- Sze, J. S., Jefferson, & Lee, J. S. H. (2019). Evaluating the social and environmental factors behind the 2015 extreme fire event in Sumatra, Indonesia. *Environmental Research Letters*, 14(1). DOI: 10.1088/1748-9326/aaee1d
- Tan, Z. D., Carrasco, L. R., & Taylor, D. (2020). *Spatial correlates of forest and land fires in Indonesia*. 1088–1099.
- Taufik, M. (2010). *Analisis Perilaku Indeks Kekeringan di Wilayah Rentan Kebakaran, Sumatera Utara*. 24(2), 9–17.
- Taufik, M., Minasny, B., Mcbratney, A. B., Van Dam, J. C., Jones, P. D., & Van Lanen, H. A. J. (2020). Human-induced changes in Indonesian peatlands increase drought severity. *Environmental Research Letters*, 15(8). DOI: 10.1088/1748-9326/ab96d4
- Taufik, M., Veldhuizen, A. A., Wösten, J. H. M., & van Lanen, H. A. J. (2019). Exploration of the importance of physical properties of Indonesian peatlands to assess critical groundwater table depths, associated drought and fire hazard. *Geoderma*, 347, 160–169. DOI: 10.1016/j.geoderma.2019.04.001
- Thach, N., Dang, B. N., Pham, X., & Nguyen, H. (2018). *Ecological Informatics Spatial pattern assessment of tropical forest fire danger at Thuan Chau area (Vietnam) using GIS-based advanced machine learning algorithms : A comparative study*. 46(March), 74–85. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2018.05.009
- Thoha, A. S., & Ahmad, A. G. (2018). *Environment A sia*. 11(3), 1–14. DOI: 10.14456/ea.2017.34
- Thoha, A. S., & Triani, H. (2021). *A spatial model of forest and land fire vulnerability level in the Dairi District , North Sumatra , Indonesia*. 22(8), 3319–3326. DOI: 10.13057/biodiv/d220827
- Thoha, A. S., Triani, H., Slamet, B., & Harahap, M. M. (2020). *Fire vulnerability level model for land fire and forest management in Labuhanbatu , North Fire vulnerability level model for land fire and forest management in Labuhanbatu , North Sumatera , Indonesia*. DOI: 10.1088/1755-1315/782/3/032003
- Tsujino, R., Yumoto, T., Kitamura, S., Djamaluddin, I., & Darnaedi, D. (2016). History of forest loss and degradation in Indonesia. *Land Use Policy*, 57, 335–347. DOI: 10.1016/j.landusepol.2016.05.034
- Usman, M., Sukaesih, I., & Syaufina, L. (2015). Hotspot distribution analyses based on peat characteristics using density-based spatial clustering. *Procedia Environmental Sciences*, 24, 132–140. DOI: 10.1016/j.proenv.2015.03.018
- Vilar del Hoyo, L., Isabel, M. P. M., & Vega, F. J. M. (2011). Logistic regression models for human-caused wildfire risk estimation: Analysing the effect of the spatial accuracy in fire occurrence data. *European Journal of Forest Research*, 130(6), 983–996. DOI: 10.1007/s10342-011-0488-2
- Watch, G. F. (2020). *Indonesia's Forests in Focus*. <https://www.globalforestwatch.org/country/IDN>
- Widyastuti, K., Imron, M. A., Pradopo, S. T., Suryatmojo, H., Sopha, B. M., Spessa, A., & Berger, U. (2021). PeatFire: An agent-based model to simulate fire ignition and spreading in a tropical peatland ecosystem. *International Journal of Wildland Fire*, 30(2), 71–89. DOI: 10.1071/WF19213

Tabel 1. Substraksi akhir variabel.

Berdasarkan Kemunculan	Berdasarkan bobot akumulasi >50%	Berdasarkan variabel dominan top 3	Variabel yang digunakan
Rainfall/precipitation	Surface temperature	Precipitation/Rainfall	FWI
Evapotranspiration	Humidity	Surface temperature	mKBDI
Temperature	Rainfall		SPI
Wind (Speed and direction)			
Humidity			
ENSO			
KBDI			
Dry spells			
Distance from/to road	Distance from/to road	Distance from/to canal	Distance from/to settlement
Distance from/to settlement/cities/village	Distance from/to village/settlement/residential	Distance from/to settlement	Distance from/to road
Population	Population (density)		Distance from/to river
Distance from/to river	Distance from/to river		Population density
Distance from/to canal			Livelihood
Humanity			
Livelihood			
Landcover/Landuse	NDMI	Elevation	LULC
Topography (elevation, slope, aspect)	NDVI	NDWI	Slope
Hotspot data	Elevation	NDVI	Ground water table
Peat type and depth	Peat depth	Peat moisture	Elevasi
NDVI	Fungsi Kawasan	Ground water table	Peat type & depth
Biomass (above, below, surface)	Slope	Land type	Concession
Type of soil	Forest function	Landuse/Landcover	
NBR	Soil types	NDMI	
Concession	Land cover/Land use	Peath type/depth	
		Net Burning Ratio	

Tabel 2. Variabel, klasifikasi, skoring dan referensi.

No	Variabel	Klasifikasi	Skoring	Resolusi (m)	Sumber Data	Referensi
1	Jarak dari Pemukiman	>8001	1	30	BIG	Nuthammachot & Stratouillas (2019)
		6001 – 8000	2			
		4001 – 6000	3			
		2001 – 4000	4			
		0 – 2000	5			
2	Jarak dari jalan	>1000	1	30	BIG	Nuthammachot & Stratouillas (2019)
		751 – 1000	2			
		501 – 750	3			
		250 – 500	4			
		0 – 250	5			
3	Jarak dari Sungai	>10000	1	30	BIG	Nuthammachot & Stratouillas (2019)
		7501 – 10000	2			
		5001 – 7500	3			
		2501 – 5000	4			
		0 – 2500	5			
4	Mata Pencarian penduduk	Lainnya	1	500	PODES 2018, KEMENDES	Santika et al. (2020)
		Pertanian Padi & Kelapa	2			BPS
		Pertanian Karet	3			
		Pertanian Kelapa sawit	4			
5	LULC	Hutan Primer	1	500	KLHK	Modified from Maulana et al. (2019)
		Hutan Sekunder	2			
		Hutan Industri/Perkebunan Monokultur	3			
		Semak belukar dan Pertanian lahan kering	4			
6	Slope (anthropogenik)	>35	1	30	BIG	Nuthammachot & Stratouillas (2019)
		25-35	2			
		15-25	3			
		5-15	4			
		<5	5			
7	Population Density	< 500	1	500	BPS	Modifikasi dari Perka BPS No 37 Tahun 2010
		501-2500	2			
		2501-6000	3			
		>6000	4			
8	FWI	Rendah (0-1)	1	24000	Cloud computing Google Earth Engine (GEE) provide by https://app.climateengine.org/climateEngine	BMKG
		Sedang (2-6)	2			
		Tinggi (7-13)	3			
		Sangat Tinggi (>13)	4			
9	SPI	Sangat Basah (≥ 2)	1	4800	Cloud computing Google Earth Engine (GEE) provide by https://app.climateengine.org/climateEngine	BMKG
		Basah (1.5 – 1.99)	2			
		Agak Basah (1 s.d 1.49)	3			
		Normal (-0.99 s.d 0.99)	4			
		Agak Kering (-1.49 s.d -1.0)	5			
		Kering (-1.99 s.d -1.5)	6			
Sangat Kering (≤ -2)	7					
10	KBDI	Rendah (0-200)	1	4000	Cloud computing Google Earth Engine (GEE), provide by Institute of Industrial Science, The University of Tokyo, Japan	Takeuchi, W. et al. (2015)
		Sedang (201-400)	2			
		Tinggi (401-600)	3			
		Ekstrim (601-800)	4			
11	Soil Moisture	<25%	4	500	BRGM	Prayoga (2021), dengan modifikasi
		25-50%	3			
		50-75%	2			
		> 75%	1			
12	Slope (fisik)	<5	1	30	BIG	Nuthammachot & Stratouillas (2019)
		5-15	2			
		15-25	3			
		25-35	4			
		>35	5			
13	Elevasi	<30	1	30	BIG	Nuthammachot & Stratouillas (2019)
		30.01 – 60	2			
		60.01 – 90	3			
		90.01 – 120	4			
		>120.01	5			
14	Peat Type and depth	S2c (Sapric/Mineral 50/50, D2)	1	500	Wetland International Indonesia (WII)	Maulana, et al. (2019)
		S3a (Sapric/Hemic 60/40, D3)	2			
		S2a (Sapric/Hemic 60/40, D2)	3			
		H3a (Hemic/Sapric 60/40, D3)	4			
		H4a (Hemic/Sapric 60/40, D4)	5			
		H2a (Hemic/Sapric 60/40, D2)	6			
15	Concession	Others	1	10	Cloud computing Google Earth Engine (GEE), provide by Biopama programme	
		Large Holder (Industry)	2			
		Small Holder	4			