

Peluang Penggunaan Gel dalam Pengendalian Kebakaran Hutan dan Lahan

Opportunities for Using Gel in Controlling Forest and Land Fires

Bambang Hero Saharjo^{1*} dan Muhammad Kahlil Gibran¹

(Diterima 6 November 2023 /Disetujui 24 November 2023)

ABSTRACT

The recurring issue of forest and land fires, especially during the dry season, poses a persistent challenge in Indonesia. Conventional firefighting efforts using water as the primary extinguishing agent have not proven entirely effective in preventing and reducing the extent of burned areas. This research aims to explore the potential use of gel as an alternative in combating forest and land fires. The research methodology involves preparation, oven testing, burning experiments, as well as observation and evaluation. Various fuel types, including needle leaf litter, broadleaf litter, and understory litter, were examined along with Gel Pack Extinguishing Agent (GPEA) at varying doses (0g/100ml water, 1g/100ml water, 2g/100ml water, and 3g/100ml water). The results indicate significant differences with the highest efficiency observed at a dose of 1g/100ml water for needle leaf litter, 2g/100ml water for broadleaf litter, and 1g/100ml water for understory litter.

Keywords: forest and land fires, Gel Pack Extinguishing Agent, extinction.

ABSTRAK

Permasalahan kebakaran hutan dan lahan, terutama pada musim kemarau, merupakan tantangan yang terjadi setiap tahun di Indonesia. Upaya pengendalian konvensional dengan menggunakan air sebagai bahan utama belum sepenuhnya efektif dalam mencegah dan mengurangi luasnya lahan yang terbakar. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi potensi penggunaan gel sebagai alternatif dalam pemadaman kebakaran hutan dan lahan. Metode penelitian melibatkan persiapan, pengovenan, pembakaran, serta pengamatan dan evaluasi. Berbagai jenis bahan bakar, termasuk serasah daun jarum, serasah daun lebar, dan serasah tumbuhan bawah, diteliti bersama dengan *Gel Pack Extinguishing Agent* (GPEA) dengan dosis variasi (0g/100ml air, 1g/100ml air, 2g/100ml air, dan 3g/100ml air). Hasil penelitian menunjukkan perbedaan signifikan dengan efisiensi tertinggi pada dosis 1g/100ml air untuk serasah daun jarum, 2g/100ml air untuk serasah daun lebar, dan 1g/100ml air untuk serasah tumbuhan bawah.

Kata kunci: kebakaran hutan dan lahan, *Gel Pack Extinguishing Agent*, pemadaman.

¹ Departemen Silvikultur, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, IPB University
Jl. Ulin Kampus IPB, Dramaga, Bogor, Jawa Barat, Indonesia 16680

* Penulis korespondensi:
e-mail: saharjobambangh@gmail.com

PENDAHULUAN

Hutan di Indonesia menghadapi berbagai ancaman, seperti *illegal logging*, kebakaran hutan dan lahan, perambahan untuk perkotaan dan pertanian, serta eksploitasi sumber daya hayati yang berlebihan setiap tahunnya (Kramer *et al.* 2022). Kebakaran hutan dan lahan menjadi ancaman utama bagi hutan di Indonesia dan juga menjadi penyumbang emisi yang signifikan (Page *et al.* 2002).

Masalah kebakaran hutan dan lahan yang terjadi setiap tahun, khususnya pada musim kemarau, merupakan isu berulang di Indonesia (Wulandari *et al.* 2022). Kebakaran hutan dan lahan dalam skala besar terjadi pada tahun 1982-1983, 1991, 1994, 1997-1998, dan 2006 (Varkkey 2013). Pada tahun 2015, kebakaran hutan dan lahan yang parah melanda Sumatera, Kalimantan, dan Papua, menyebabkan 80% wilayah tersebut tertutup asap pekat (Kustiyo *et al.* 2015). Dampak kebakaran ini tidak hanya berdampak secara nasional tetapi juga memengaruhi negara-negara tetangga, seperti Singapura dan Malaysia (Arandas dan Ling 2020).

Peningkatan kerusakan hutan setiap tahun menuntut upaya pencegahan dan perlindungan hutan (Aldyan 2020). Meskipun sudah dilakukan upaya melalui perangkat hukum, namun hasilnya belum optimal (Rahmah 2022). Oleh karena itu, diperlukan kajian mendalam untuk mencegah kebakaran hutan (Purnomo *et al.* 2021). Pengendalian kebakaran hutan saat ini masih bergantung pada penggunaan air, namun saat kebakaran meluas, air sulit mencapai titik api karena suhu yang tinggi mengakibatkan air menguap sebelum sampai ke titik kebakaran (Saharjo dan Imtina 2019).

Flannigan *et al.* (2016) mencatat bahwa penurunan suhu bahan bakar tidak efektif karena air yang turun melalui hujan bisa menguap akibat suhu api yang tinggi. Oleh karena itu, diperlukan inovasi atau metode baru dalam pemadaman kebakaran hutan dan lahan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh *Gel Pack Extinguishing Agent* (GPEA) terhadap berbagai jenis bahan bakar. GPEA merupakan metode pemadaman api menggunakan gel pemadam yang memiliki sifat menahan penyebaran api dan memberikan efek pendingin pada bahan bakar (Saharjo dan Imtina 2019). Pemadaman hutan dan lahan menggunakan gel merupakan metode baru dalam upaya pemadaman kebakaran hutan dan lahan (Muizzaddin *et al.* 2021). GPEA diharapkan dapat membantu memadamkan titik kebakaran dan mencegah penyebarannya.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan dosis penggunaan gel yang efektif dan efisien dalam pemadaman kebakaran hutan dan lahan pada berbagai jenis bahan bakar, seperti serasah daun jarum, serasah daun lebar, dan serasah tumbuhan bawah. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi mengenai efisiensi penggunaan gel yang optimal untuk pemadaman kebakaran hutan dan lahan.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret 2023 – Juli 2023 di Laboratorium Kebakaran Hutan dan Lahan, Departemen Silviculture, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor. Lokasi pengambilan serasah jenis daun jarum, daun lebar, dan tumbuhan bawah di sekitar kampus IPB University, Dramaga, Bogor.

Alat dan Bahan Penelitian

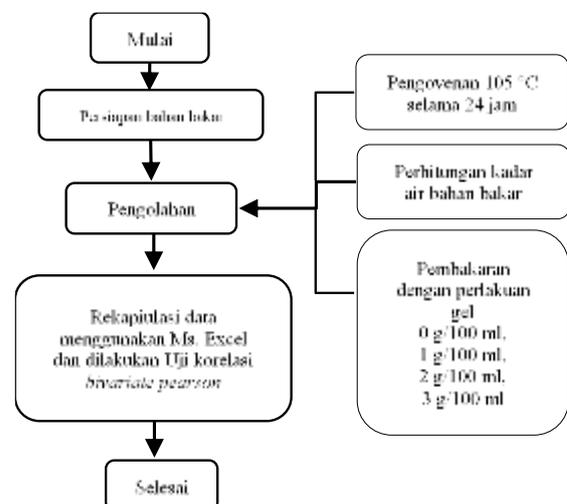
Alat yang digunakan dalam penelitian ini berupa timbangan digital, oven, alat pengukur tinggi api, *water sprayer*, pemantik, *fire weather meter* (kecepatan angin, suhu ruang, kelembapan, tekanan udara, ketinggian tempat), *thermal infrared*, *fuel bed pit*, ponsel, alat tulis, perangkat lunak laptop (Microsoft word dan Microsoft excel). Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah air, *Gel Pack Extinguishing Agent* (GPEA), serta serasah jenis daun jarum, daun lebar, dan tumbuhan bawah dengan berat perulangan 300g.

Prosedur Kerja

Penelitian ini melibatkan beberapa tahapan penting untuk mencapai tujuan yang ditetapkan. Tahapan-tahapan tersebut melibatkan persiapan, pengovenan, pembakaran, dan pengamatan. Diagram alir penelitian ini secara garis besar dapat dilihat pada Gambar 1.

Persiapan

Tahap awal penelitian ini melibatkan persiapan secara menyeluruh. Hal ini mencakup perencanaan, pengumpulan peralatan, dan persiapan area penelitian. Semua alat dan bahan ini disiapkan dengan cermat untuk memastikan bahwa penelitian dapat dilaksanakan dengan baik dan memberikan hasil yang akurat. Tahap persiapan yang teliti menjadi kunci kesuksesan penelitian dalam



Gambar 1 Diagram alir penelitian

menjalankan serangkaian eksperimen pemadaman kebakaran hutan dan lahan dengan menggunakan GPEA.

Pengovenan

Proses pengovenan mencakup langkah-langkah di mana bahan bakar, seperti serasah daun jarum, daun lebar, dan tumbuhan bawah, ditempatkan dalam oven selama periode 24 jam dengan suhu konstan sebesar 105 °C. Setelah mengalami pengovenan, bahan bakar yang telah diproses kemudian diukur kembali bobotnya untuk mengestimasi kadar air yang tersisa setelah proses pengovenan.

Pembakaran

Serasah dari jenis daun jarum, daun lebar, dan tumbuhan bawah, setelah melalui tahap penimbangan dan pengovenan, kemudian menjalani proses pembakaran di atas *fuel bed pit*. Sejumlah serasah, dengan bobot 300 g setiap perulangannya, diatur secara rapi di atas *fuel bed pit* yang memiliki panjang 120 cm dan lebar 25 cm. Selanjutnya, bahan bakar tersebut diberi perlakuan *Gel Pack Extinguishing Agent* (GPEA) pada salah satu ujungnya, membentuk batasan sepanjang 40 cm dan lebar 25 cm, dengan penyemprotan menggunakan *water sprayer* sebanyak 50 ml dan dosis GPEA 0 g/100 ml, 1 g/100 ml, 2 g/100 ml, dan 3 g/100 ml.

Pada tahap berikutnya, bahan bakar tersebut dihidupkan api pada ujung yang tidak menerima perlakuan GPEA. Selama proses pembakaran, dilakukan pengukuran kecepatan angin, suhu ruangan, kelembapan, tekanan udara, dan ketinggian tempat dengan menggunakan *fire weather meter* di lokasi pembakaran. Selain itu, suhu api selama proses pembakaran juga dihitung menggunakan alat *thermal infrared*.

Seluruh proses pembakaran direkam menggunakan ponsel untuk memperoleh data mengenai tinggi api dan durasi rancangan pembakaran. Proses ini dirancang untuk memberikan pemahaman yang komprehensif tentang respons bahan bakar terhadap perlakuan GPEA serta karakteristik pembakaran secara keseluruhan.

Pengamatan

Pengamatan melibatkan pengukuran sisa pembakaran bahan bakar, termasuk area yang terbakar

dan tidak terbakar pada bahan bakar yang telah menerima perlakuan.

Pengolahan dan Analisis Data

Pengolahan data yang dilakukan yaitu perhitungan kadar air bahan bakar, laju penjalaran, emisi, dan pengujian secara statistik.

Kadar air bahan bakar (KA)

Rumus umum untuk menghitung kadar dalam bahan bakar dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$KA = \frac{BB - BK}{BK} \times 100\%$$

Keterangan:

KA = Kadar air (%)

BB = Berat basah serasah sebelum di oven (g)

BK = Berat kering serasah setelah di oven (g)

Laju Penjalaran Api

Laju penjalaran api dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\text{Penjalaran Api} = \frac{\text{Volume ruang bahan yang terbakar (cm}^3\text{)}}{\text{Waktu pembakaran (detik)}}$$

Perhitungan Estimasi Karbon

Persamaan Seiler dan Crutzen (1980) digunakan untuk mengalkulasikan kehilangan biomassa yang terbakar :

$$M = A \times B \times E$$

Keterangan:

M = Massa bahan bakar yang terbakar (ton)

A = Luas area terbakar (hektar)

B = Efisiensi pembakaran (*burning efficiency*) penutupan lahan

E = Muatan bahan bakar (*fuel load*)

Karbon pada pembakaran biomassa diasumsikan tergabung ke dalam gas dan kehilangan karbon dari pembakaran M(C) dikalkulasikan sebagai :

$$M(C) = 0,45 \times M$$

Keterangan:

M(C) = Emisi karbon (ton)

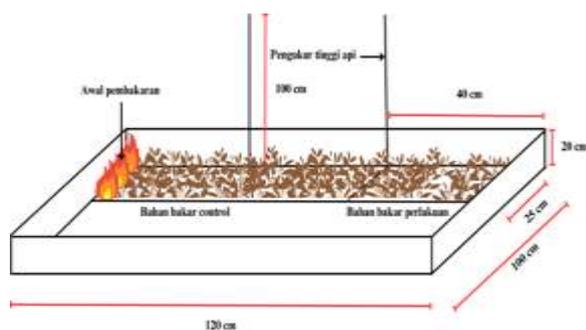
M = Massa bahan bakar yang terbakar (ton)

Pengukuran estimasi karbondioksia (CO₂) yang dihasilkan dari proses pembakaran dihitung dengan menggunakan persamaan

$$M(CO_2) = 0,90 \times M(C)$$

Uji t-test Berpasangan

Uji t berpasangan (*Paired Sample t-Test*) adalah metode statistik yang digunakan untuk mengevaluasi perbedaan antara dua sampel yang berpasangan. Sampel berpasangan ini merujuk kepada subjek yang sama, namun mengalami perlakuan atau pengukuran yang berbeda. Metode uji ini umumnya diterapkan untuk menganalisis perbedaan antara dua model penelitian yang berkaitan dengan kondisi sebelum dan sesudah



Gambar 2 Proses pembakaran di atas *fuel bed pit*

suatu kejadian atau perlakuan tertentu. Selain itu, pengujian ini dilakukan dengan menggunakan tingkat signifikansi sebesar 0,05 ($\alpha=5\%$), yang digunakan untuk mengevaluasi signifikansi perbedaan antara variabel independen dan variabel dependen.

Dasar pengambilan putusan untuk menerima atau menolak H_0 pada uji ini adalah sebagai berikut:

- $t_{\text{hitung}} > t_{\text{tabel}}$ maka H_0 diterima atau H_a ditolak (berbeda signifikan)
- $t_{\text{hitung}} < t_{\text{tabel}}$ maka H_0 ditolak atau H_a diterima (tidak berbeda signifikan)

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan apakah dosis GPEA (*Gel Pack Extinguishing Agent*) pada tingkat 1 g/100 ml air, 2 g/100 ml air, dan 3 g/100 ml air memiliki pengaruh pada tinggi api, lama pembakaran, laju penjalaran, dan sisa pembakaran untuk setiap jenis bahan bakar, termasuk bahan bakar jenis daun jarum, daun lebar, dan tumbuhan bawah.

Rumus paired t-test

$$t = \frac{\bar{D}}{\left(\frac{SD}{\sqrt{N}}\right)}$$

Keterangan:

T = Nilai t hitung

\bar{D} = Rata-rata pengukuran sampel 1 dan 2

SD = Standar deviasi

N = Jumlah sampel

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pembakaran yang terjadi di dalam kawasan hutan, yang melibatkan bahan bakar bervegetasi seperti dedaunan, rumput, dan ranting, dikenal sebagai kebakaran hutan (Bruce 1961). Kebakaran hutan merupakan suatu fenomena yang melibatkan pembakaran bahan bakar bervegetasi di dalam kawasan hutan dengan penjalaran api yang bersifat bebas dan tidak terkendali. Sebaliknya, jika kebakaran terjadi di kawasan non-hutan, fenomena tersebut dikenal sebagai kebakaran lahan (Sitanggang *et al.* 2022).

Api, sebagai hasil dari kombinasi antara bahan bakar dan oksigen, muncul dalam bentuk panas, cahaya, dan nyala, dan merupakan bagian dari fenomena fisik alam (Atroshenko *et al.* 2019). Proses pembakaran melibatkan tiga komponen utama, yaitu bahan bakar, panas, dan oksigen, yang dikenal sebagai segitiga api. Pembakaran tidak akan terjadi jika salah satu dari komponen tersebut tidak terpenuhi (Doddyakhmasyah 2009).

Penyebaran api dapat dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu bahan bakar dan cuaca (Rahman *et al.* 2021). Cuaca kebakaran, yang merujuk pada sifat cuaca yang mempengaruhi kebakaran hutan, memainkan peran penting dalam menentukan bagaimana, di mana, dan kapan kebakaran hutan dapat terjadi (Hawkins *et al.* 2022). Faktor-faktor cuaca yang dapat memengaruhi kebakaran hutan meliputi suhu, kelembapan, tekanan udara, kecepatan dan arah angin, serta ketinggian tempat (Husen *et al.* 2022).

Gel Pack Extinguishing Agent (GPEA)

Gel Pack Extinguishing Agent (GPEA) merupakan sebuah agen pemadam api berbentuk bubuk yang memiliki bahan dasar utama dari jagung. Proses penggunaan GPEA melibatkan pencampuran dengan air, yang kemudian menghasilkan campuran yang kental. Hasil campuran ini mampu melapisi bahan yang rentan terbakar, menghambat penyebaran api dengan pembatasan oksigen, serta memberikan efek pendinginan. Sebaliknya dengan air konvensional yang memiliki fluiditas tinggi dan cenderung menguap pada suhu api tinggi, GPEA membuktikan dirinya sebagai alternatif yang lebih efektif dalam pemadaman kebakaran hutan dan lahan.

Penting untuk dicatat bahwa GPEA, yang larut dalam air, memiliki kemampuan untuk memadatkan air, sehingga meningkatkan massa air menjadi lebih berat. Hal ini membuatnya lebih akurat saat diaplikasikan pada titik api, bahkan dalam kondisi angin yang kencang sekalipun. Selain itu, GPEA yang diaplikasikan pada titik api akan membentuk lapisan penutup pada bahan bakar, secara signifikan mengurangi ketersediaan oksigen pada bahan bakar tersebut.

GPEA muncul sebagai inovasi dalam pemadaman kebakaran hutan dan lahan, diharapkan dapat menciptakan zona pencegahan kebakaran dengan penggunaan GPEA pada titik api. Keuntungan lainnya dari penggunaan gel dalam proses pemadaman ini adalah potensi penghematan biaya jika dibandingkan dengan penggunaan air saja. Selain dari segi ekologi, GPEA dianggap sebagai produk yang aman karena terbuat dari bahan aditif makanan berupa jagung, sehingga tidak memberikan dampak berbahaya bagi lingkungan.

Kondisi Umum Lokasi Penelitian

Kondisi lokasi pembakaran dapat mempengaruhi proses pembakaran. Informasi mengenai kondisi umum lokasi pembakaran disajikan pada Tabel 1. Tabel 1 memberikan gambaran mengenai kondisi rata-rata selama proses pembakaran yang memiliki dampak signifikan terhadap terjadinya kebakaran. Proses pembakaran dilaksanakan dalam rentang waktu antara pukul 09.00 hingga 17.00 WIB, dengan kondisi cuaca yang mencakup kecepatan angin sebesar 0,56 km/jam, suhu ruang sekitar 30,18°C, kelembapan 68,83%, tekanan udara sekitar 988,9 hPa, dan ketinggian tempat sekitar 207,26 meter dari permukaan laut.

Kebakaran hutan dan lahan, menurut Saharjo *et al.* (2013), dipengaruhi oleh faktor iklim dan cuaca yang melibatkan beberapa aspek. Pertama, kandungan air dalam bahan bakar dan terjadinya kebakaran sangat dipengaruhi oleh tingkat kelembapan udara. Kedua, kekeringan suatu wilayah dipengaruhi oleh suhu udara, terutama pada musim kemarau. Ketiga, kelembapan dan

Tabel 1 Kondisi umum lokasi penelitian

Kecepatan Angin (km/h)	Suhu Ruang (°C)	Kelembapan (%)	Tekanan Udara (hPa)	Ketinggian (m dpl)
0,56	30,18	68,83	988,90	207,26

kandungan air dalam bahan bakar dipengaruhi oleh curah hujan. Keempat, pengeringan bahan bakar dibantu oleh angin, yang juga menentukan arah penjalaran api.

Asril *et al.* (2003) menyatakan bahwa pada pagi hari, api cenderung tidak berkembang dan terkonsentrasi pada satu titik, terutama ketika suhu rendah sekitar 20°C dan kecepatan angin rendah. Namun, pada siang hari dengan suhu yang meningkat menjadi 30-35°C, dan kadar air bahan bakar yang cukup rendah (<30%), proses pembakaran berlangsung dengan cepat. Pengaruh angin juga memainkan peran penting dalam membuat proses pembakaran menjadi dinamis dan berubah-ubah, tidak hanya terfokus pada satu titik.

Kemudahan atau kesulitan bahan bakar untuk mengering dan terbakar sangat dipengaruhi oleh kelembaban udara. Konca-Kędzierska dan Pianko-Kluczyńska (2018) menegaskan bahwa jumlah kandungan air dalam bahan bakar ditentukan oleh tingkat kelembaban udara.

Kadar Air Bahan Bakar

Proses pembakaran menjadi terpengaruh secara signifikan oleh kadar air yang terdapat dalam bahan bakar. Oleh karena itu, untuk mengevaluasi kerentanan suatu bahan bakar terhadap kebakaran, penting dilakukan pengukuran kadar air bahan bakar, yang hasilnya dijelaskan dalam Tabel 2.

Tabel 2 menggambarkan perbedaan kadar air antara jenis bahan bakar yang digunakan dalam penelitian, berdasarkan rata-rata dari tiga ulangan per jenis bahan bakar. Dapat dicatat bahwa nilai kadar air pada jenis bahan bakar daun jarum dan daun lebar relatif serupa. Sementara itu, tumbuhan bawah menunjukkan nilai kadar air tertinggi, yakni mencapai 33,8% dari berat basah yang digunakan penelitian ini. Hal ini disebabkan oleh penggunaan bahan bakar tumbuhan bawah yang masih hidup dan dikeringkan, berbeda dengan jenis daun jarum dan daun lebar yang digunakan dalam kondisi mati. Akbar (2016) menyatakan bahwa vegetasi hidup mengandung kadar air sekitar 80% dari beratnya.

Daun jarum dan daun lebar, dengan kadar air di bawah 20%, menunjukkan kerentanan terbakar yang lebih tinggi. Meskipun serasah tumbuhan bawah memiliki kadar air sebesar 33,8%, yang tergolong tinggi, namun sudah termasuk dalam kategori dapat terbakar. Bahan bakar dengan kadar air di bawah 30% dianggap rentan terbakar (Heikkilä *et al.* 2007). Aryanti (2002) mencatat bahwa tingkat kebakaran bahan bakar sangat

dipengaruhi oleh kadar air, sekaligus dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti temperatur, kelembaban udara, curah hujan terakhir, lama penyinaran matahari, jenis vegetasi, kadar air tanah, dan topografi.

Suhu Pembakaran

Suhu pembakaran yang dihasilkan selama proses pembakaran diukur ketika api sudah mencapai ukuran yang cukup besar, dan hasil pengukuran tersebut terdokumentasi pada Gambar 3.

Gambar 3 memberikan informasi mengenai suhu pembakaran pada berbagai perlakuan terhadap bahan bakar serasah daun jarum, daun lebar, dan tumbuhan bawah. Pada bahan bakar serasah daun jarum, dapat dilihat bahwa suhu tertinggi tercatat pada perlakuan 2 g/100 ml air sebesar 761,2 °C, sementara suhu terendah terjadi pada perlakuan 1 g/100 ml air sebesar 583,3 °C. Pada bahan bakar serasah daun lebar, suhu api tertinggi tercatat pada perlakuan 3 g/100 ml air sebesar 595,0 °C, sedangkan suhu terendah terjadi pada perlakuan 2 g/100 ml air sebesar 479,7 °C. Untuk bahan bakar serasah tumbuhan bawah, suhu tertinggi terjadi pada perlakuan 3 g/100 ml air sebesar 782,6 °C, dan suhu terendah tercatat pada perlakuan 1 g/100 ml air sebesar 662,1 °C.

Tinggi Api

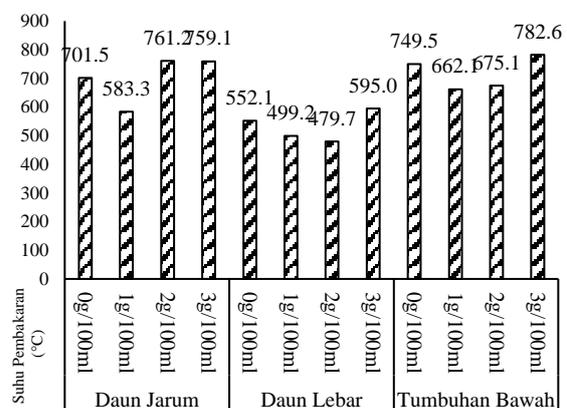
Tinggi api selama proses pembakaran diukur ketika api menyentuh bahan bakar yang telah diberi perlakuan, dan hasil pengukuran tersebut terdokumentasi pada Gambar 4.

Gambar 4 memberikan gambaran tinggi api untuk berbagai perlakuan dosis pada bahan bakar serasah daun jarum, daun lebar, dan tumbuhan bawah. Untuk bahan bakar daun jarum, tinggi api tertinggi tercatat pada perlakuan dosis 3 g/100 ml air, sementara tinggi api terendah terjadi pada perlakuan dosis 1 g/100 ml air. Pada bahan bakar daun lebar, tinggi api tertinggi tercatat pada perlakuan dosis 3 g/100 ml air, dan tinggi api terendah terjadi pada perlakuan dosis 1 g/100 ml air. Sedangkan pada bahan bakar tumbuhan bawah, tinggi api tertinggi terjadi pada perlakuan dosis 1 g/100 ml air, dan tinggi api terendah tercatat pada perlakuan dosis 0 g/100 ml air.

Tabel 2 Kadar air bahan bakar

Jenis Bahan Bakar	Ulangan	1	2	3	Mean	KA (%)
Daun Jarum	BB (g)	100,6	100,5	100,3	100,5	16,1
	BK (g)	87,1	86,3	86,2	86,5	
Daun Lebar	BB (g)	100,2	100,2	100,2	100,2	16,3
	BK (g)	86,2	86	86,3	86,2	
Tumbuhan Bawah	BB (g)	100,2	100,1	100,5	100,3	33,8
	BK (g)	73,9	73,9	77	74,9	

Keterangan: BB= berat basah; BK= berat kering; KA= kadar air



Gambar 3 Suhu Pembakaran pada masing-masing bahan bakar dengan beda perlakuan

Analisis statistik menggunakan uji *t-student* menunjukkan adanya pengaruh dosis gel terhadap tinggi api selama proses pembakaran. Hasil dari uji tersebut menunjukkan bahwa penambahan dosis gel pada setiap jenis bahan bakar memberikan pengaruh yang signifikan terhadap tinggi api. Pada bahan bakar jenis daun jarum, semakin banyak dosis GPEA yang digunakan, semakin tinggi tinggi api saat proses pembakaran. Namun, perlu dicatat bahwa gel kurang efektif dalam menahan api secara efisien, dan penambahan dosis GPEA menyebabkan air menjadi lebih kental, memerlukan waktu lebih lama untuk melapisi bahan bakar.

Dalam konteks bahan bakar daun lebar, perlakuan dosis memberikan perbedaan tinggi api yang tidak terlalu signifikan. Bahan bakar daun lebar, setelah diberi perlakuan, cenderung menjadi basah, membutuhkan energi lebih untuk terbakar. Faktor susunan padat dan luas bidang dasar yang kecil pada bahan bakar daun lebar juga menjadi hambatan, membuatnya sulit terbakar. Selain itu, zat ekstraktif yang terdapat pada tumbuhan berdaun lebar juga memberikan kontribusi pada ketahanan bahan bakar terhadap pembakaran.

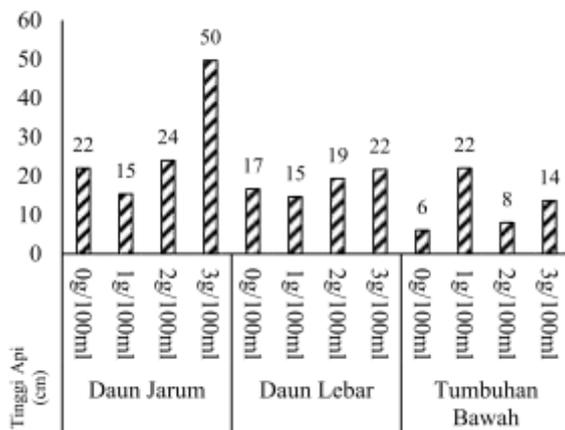
Bahan bakar dari tumbuhan bawah menunjukkan tinggi api yang lebih bervariasi dibandingkan dengan jenis bahan bakar daun jarum dan daun lebar. Perbedaan tersebut mungkin dipengaruhi oleh karakteristik intrinsik dari setiap jenis bahan bakar dan responsnya terhadap dosis GPEA.

Penelitian ini mendukung temuan sebelumnya yang menyatakan bahwa jenis bahan bakar dan perlakuan dosis dapat mempengaruhi tinggi api selama proses pembakaran (Saharjo dan Imtinan 2019). Selanjutnya, hasil penelitian ini memberikan kontribusi pada pemahaman kita tentang efek dosis GPEA terhadap tinggi api pada berbagai jenis bahan bakar, memberikan informasi yang dapat digunakan dalam upaya pemadaman kebakaran hutan dan lahan.

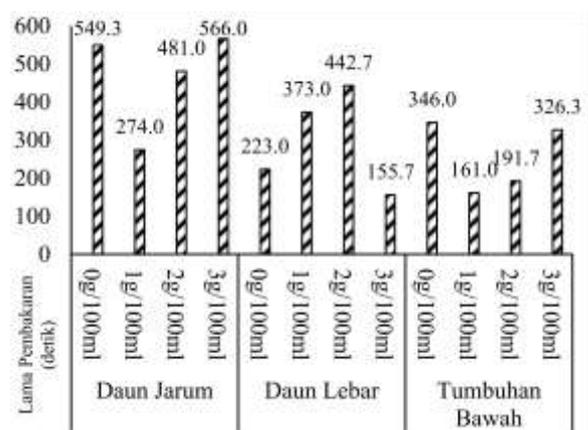
Lama Pembakaran

Lama pembakaran diukur sejak api membakar bahan bakar yang telah diberi perlakuan hingga tidak ada lagi asap dan bara yang menyala, dan hasil lama pembakaran tersebut direpresentasikan dalam Gambar 5.

Gambar 5 menggambarkan lama pembakaran untuk berbagai perlakuan dosis pada bahan bakar serasah daun jarum, daun lebar, dan tumbuhan bawah. Pada bahan bakar daun jarum, lama pembakaran tertinggi tercatat pada perlakuan dosis 3 g/100 ml air, sementara lama pembakaran tercepat terjadi pada perlakuan dosis 1 g/100 ml air. Pada bahan bakar daun lebar, lama pembakaran terlama terjadi pada perlakuan dosis 2 g/100 ml air, dan lama pembakaran tercepat tercatat pada perlakuan dosis 3 g/100 ml air. Sedangkan pada bahan bakar tumbuhan bawah, lama pembakaran terlama tercatat pada perlakuan



Gambar 4 Tinggi nyala api pada masing-masing bahan bakar dengan beda perlakuan



Gambar 5 Lama pembakaran pada masing-masing bahan bakar dengan beda perlakuan

Tabel 3 Hasil pengujian pengaruh penambahan dosis GPEA terhadap tinggi api

Daun Jarum			Daun Lebar			Tumbuhan Bawah					
Dosis (g)	1	2	3	Dosis (g)	1	2	3	Dosis (g)	1	2	3
1	■	BS	BS	1	■	BS	BS	1	■	BS	BS
2	■	■	BS	2	■	■	BS	2	■	■	BS
3	■	■	■	3	■	■	■	3	■	■	■

Keterangan: BS = Berbeda signifikan, TBS = Tidak berbeda signifikan

Tabel 4 Hasil pengujian pengaruh penambahan dosis GPEA terhadap lama pembakaran

Daun Jarum			Daun Lebar			Tumbuhan Bawah					
Dosis (g)	1	2	3	Dosis (g)	1	2	3	Dosis (g)	1	2	3
1	■	BS	BS	1	■	BS	BS	1	■	BS	BS
2	■	■	BS	2	■	■	BS	2	■	■	BS
3	■	■	■	3	■	■	■	3	■	■	■

Keterangan: BS = Berbeda signifikan, TBS = Tidak berbeda signifikan

dosis 0 g/100 ml air, dan lama pembakaran tercepat terjadi pada perlakuan dosis 1 g/100 ml air.

Analisis statistik menggunakan uji *t-student* menunjukkan bahwa terdapat pengaruh penambahan dosis gel terhadap lama pembakaran selama proses pembakaran untuk jenis bahan bakar daun jarum, daun lebar, dan tumbuhan bawah. Lama pembakaran yang lebih lama menunjukkan bahwa proses pembakaran berlangsung lebih lama, sementara waktu pembakaran yang lebih cepat menunjukkan proses pembakaran yang lebih cepat padam. Kecepatan atau lambatnya proses pembakaran sangat dipengaruhi oleh kadar air yang terdapat dalam bahan bakar. Bahan bakar yang basah akan mengarahkan energi api untuk menguapkan air dalam bahan bakar, sehingga memperlambat proses pembakaran. Kadar air bahan bakar memengaruhi penyalaan api, proses pembakaran, dan intensitas api (Saharjo dan Imtinan 2019).

Gambar 5 juga memberikan gambaran bahwa pada bahan bakar daun jarum, semakin banyak dosis gel yang ditambahkan, semakin lama pula proses pembakaran yang terjadi. Penelitian ini mendukung temuan Saharjo dan Imtinan (2019) yang menyatakan bahwa semakin tinggi kadar air bahan bakar, semakin banyak energi panas yang diperlukan untuk menguapkan air dalam bahan bakar sehingga mencapai titik bakar. Efek mendinginkan dari gel menjadi faktor dalam membuat proses pembakaran relatif lebih lama. Hal yang serupa terjadi pada bahan bakar jenis daun lebar dan tumbuhan bawah.

Dengan demikian, temuan ini menegaskan bahwa dosis gel berpengaruh terhadap lama pembakaran, dan pemahaman ini dapat digunakan sebagai landasan dalam

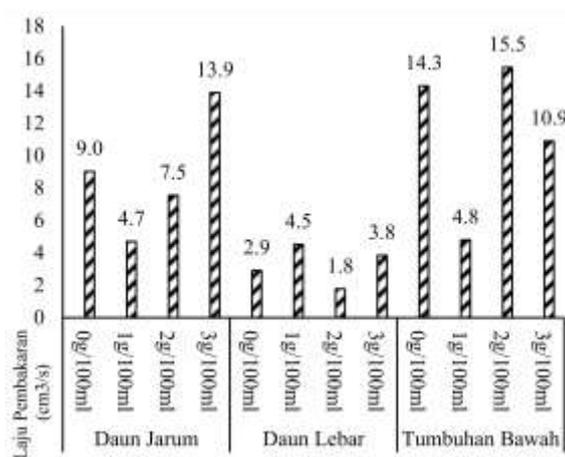
upaya pemadaman kebakaran hutan dan lahan dengan mempertimbangkan jenis bahan bakar yang berbeda.

Laju Penjalaran

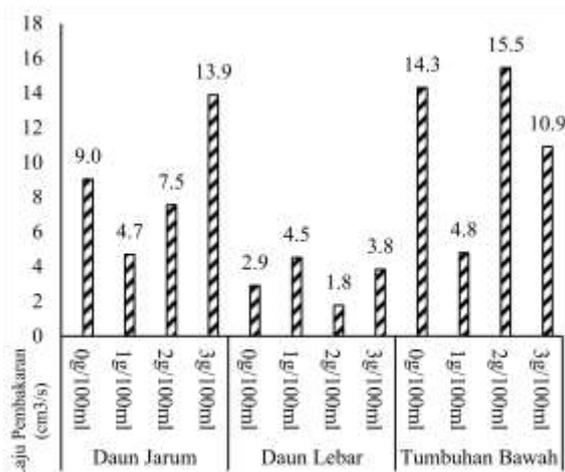
Laju penjalaran, yang diperoleh melalui perhitungan bahan yang terbakar dibagi lama pembakaran, memberikan gambaran yang lebih mendetail mengenai proses pembakaran. Hasil perhitungan laju penjalaran api dapat dilihat dalam Gambar 6.

Gambar 6 memberikan informasi mengenai laju penjalaran api pada berbagai perlakuan dosis untuk bahan bakar serasah daun jarum, daun lebar, dan tumbuhan bawah. Pada bahan bakar daun jarum, laju penjalaran api paling besar tercatat pada perlakuan dosis 3 g/100 ml air, sementara laju penjalaran terkecil terjadi pada perlakuan dosis 1 g/100 ml air. Pada bahan bakar daun lebar, laju penjalaran api tertinggi tercatat pada perlakuan dosis 1 g/100 ml air, sementara laju penjalaran terendah terjadi pada perlakuan dosis 2 g/100 ml air. Sedangkan untuk bahan bakar tumbuhan bawah, laju penjalaran api paling besar terjadi pada perlakuan dosis 2 g/100 ml air, dan laju penjalaran terkecil tercatat pada perlakuan dosis 1 g/100 ml air.

Analisis statistik menggunakan uji *t-student* menunjukkan bahwa terdapat pengaruh penambahan dosis gel terhadap laju penjalaran api selama proses pembakaran untuk jenis bahan bakar daun jarum, daun lebar, dan tumbuhan bawah. Semakin banyak dosis gel yang ditambahkan, semakin besar pula laju penjalaran yang terjadi. Bahan bakar yang tidak terlapsi gel menyebabkan proses pembakaran tidak tertahan dan



Gambar 6 Laju penjalaran api pada bahan bakar dengan perlakuan dosis gel berbeda



Gambar 7 Sisa pembakaran terbakar dan tidak terbakar masing-masing bahan bakar dengan beda perlakuan

Tabel 5 Hasil pengujian pengaruh penambahan dosis GPEA terhadap laju penjalaran

Dosis (g)	Daun Jarum			Daun Lebar			Tumbuhan Bawah				
	1	2	3	Dosis (g)	1	2	3	Dosis (g)	1	2	3
1	■	BS	BS	1	■	BS	BS	1	■	BS	BS
2	■	■	BS	2	■	■	BS	2	■	■	BS
3	■	■	■	3	■	■	■	3	■	■	■

Keterangan: BS = Berbeda signifikan; TBS = Tidak berbeda signifikan

terus berlanjut. Pada bahan bakar daun jarum dan tumbuhan bawah, dengan luas bidang dasar yang besar, api dapat dengan mudah membakar bahan bakar yang tidak terlapsi gel. Sementara pada bahan bakar daun lebar, susunan yang berbeda dan keberadaan zat ekstraktif membuatnya sulit terbakar (Clar dan Chatten 1954).

Dengan demikian, penelitian ini menunjukkan bahwa dosis gel memengaruhi laju penjalaran api, dan hasil ini dapat menjadi dasar penting dalam strategi pemadaman kebakaran hutan dan lahan dengan mempertimbangkan karakteristik bahan bakar yang beragam.

Sisa Pembakaran

Sisa pembakaran bahan bakar serasah dihitung berdasarkan bahan yang terbakar dan yang tidak terbakar dalam persentase. Hasil sisa pembakaran dapat dilihat dalam Gambar 7.

Gambar 7 memberikan wawasan mengenai sisa pembakaran pada berbagai perlakuan dosis untuk bahan bakar serasah daun jarum, daun lebar, dan tumbuhan bawah. Pada bahan bakar daun jarum, perlakuan dosis 1g/100ml air menunjukkan sisa pembakaran yang tidak terbakar paling banyak, sementara perlakuan dosis 3g/100ml air menunjukkan sisa pembakaran yang paling sedikit. Jenis bahan bakar daun lebar menunjukkan sisa pembakaran yang relatif sama untuk setiap perlakuan yang diberikan. Di sisi lain, jenis bahan bakar tumbuhan bawah menunjukkan sisa pembakaran yang tidak terbakar paling banyak pada perlakuan dosis 1g/100ml air dan paling sedikit pada perlakuan dosis 0g/100ml air.

Analisis statistik menggunakan uji hipotesis *t-student* menunjukkan adanya pengaruh penambahan dosis gel terhadap sisa pembakaran. Semakin banyak dosis yang digunakan, semakin banyak bahan bakar yang terbakar. Sifat kental gel menyebabkan sebagian bahan bakar tidak terlapsi gel, sehingga proses pembakaran

terus berlanjut. Jenis bahan bakar daun jarum menunjukkan tingkat terbakar tertinggi dibandingkan dengan jenis bahan bakar tumbuhan bawah dan daun lebar. Kandungan resin pada daun jarum menjadi faktor penyebab mudahnya penyebaran api. Tumbuhan berdaun jarum, dengan kandungan resin yang tinggi, menjadi mudah terbakar (Clar dan Chatten 1954). Luas bidang dasar pada bahan bakar daun jarum dan tumbuhan bawah yang besar membuatnya mudah terbakar, berbeda dengan jenis daun lebar yang memiliki luas bidang dasar yang lebih kecil. Susunan bahan bakar daun jarum dan tumbuhan bawah yang jarang membuat kondisi oksigen melimpah, menciptakan nyala api yang besar (Akbar 2016).

Emisi

Emisi karbon, yang merupakan pelepasan gas yang mengandung karbon ke lapisan atmosfer bumi, menjadi isu serius terkait dengan kebakaran hutan dan lahan. Kebakaran tersebut menjadi salah satu penyumbang emisi karbon, yang tidak hanya berdampak pada lingkungan tetapi juga berpotensi merugikan kesehatan manusia. Analisis emisi karbon selama proses pembakaran dapat dilihat dalam Tabel 7.

Tabel 7 memberikan gambaran mengenai emisi karbon pada jenis bahan bakar daun jarum, daun lebar, dan tumbuhan bawah. Pada bahan bakar daun jarum, terlihat bahwa perlakuan dengan dosis 1g/100ml air menghasilkan emisi karbon paling sedikit, yakni sebesar 0,000210 ton CO₂/ha, sementara perlakuan dosis 3g/100ml air menghasilkan emisi karbon paling besar, mencapai 0,000312 ton CO₂/ha. Untuk daun lebar, emisi karbon yang paling minim terjadi pada perlakuan dosis 0g/100ml air, sebesar 0,000172 ton CO₂/ha, dan paling maksimal terjadi pada perlakuan dosis 1g/100ml air, sebesar 0,000177 ton CO₂/ha. Sementara itu, pada jenis tumbuhan bawah, emisi karbon paling rendah tercatat pada perlakuan dosis 1g/100ml air, yaitu sebesar 0,000187 ton CO₂/ha, sementara perlakuan dosis

Tabel 6 Hasil pengujian pengaruh penambahan dosis GPEA terhadap sisa pembakaran

Daun Jarum			Daun Lebar			Tumbuhan Bawah					
Dosis (g)	1	2	3	Dosis (g)	1	2	3	Dosis (g)	1	2	3
1	■	BS	BS	1	■	BS	BS	1	■	BS	BS
2	■	■	BS	2	■	■	BS	2	■	■	BS
3	■	■	■	3	■	■	■	3	■	■	■

Keterangan: BS = Berbeda signifikan; TBS = Tidak berbeda signifikan

Tabel 7 Hasil perhitungan emisi karbon selama proses pembakaran

Bahan	Perlakuan	M (ton/ha)	M (C)	M (CO ₂)
Daun Jarum	0g/100ml	0,000727	0,000327	0,000294
	1g/100ml	0,000519	0,000234	0,000210
	2g/100ml	0,000603	0,000271	0,000244
	3g/100ml	0,000770	0,000346	0,000312
Daun Lebar	0g/100ml	0,000425	0,000191	0,000172
	1g/100ml	0,000436	0,000196	0,000177
	2g/100ml	0,000433	0,000195	0,000175
	3g/100ml	0,000433	0,000195	0,000175
Tumbuhan Bawah	0g/100ml	0,000569	0,000256	0,000230
	1g/100ml	0,000463	0,000208	0,000187
	2g/100ml	0,000569	0,000256	0,000230
	3g/100ml	0,000522	0,000235	0,000211

0g/100ml air menghasilkan emisi karbon paling tinggi, yakni sebesar 0,000230 ton CO₂/ha.

Penelitian ini memberikan informasi mengenai dampak emisi karbon yang dihasilkan dari proses pembakaran berbagai jenis bahan bakar, yang nantinya dapat digunakan sebagai dasar untuk strategi mitigasi dan perlindungan lingkungan.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat dinyatakan bahwa keberhasilan dosis yang diterapkan bervariasi untuk setiap jenis bahan bakar, seperti serasah daun jarum, serasah daun lebar, dan serasah tumbuhan bawah. Hal ini disebabkan oleh perbedaan karakteristik antarjenis bahan bakar yang menghasilkan dampak beragam pada perilaku api, termasuk suhu pembakaran, tinggi nyala api, durasi pembakaran, kecepatan penjaralan, dan sisa pembakaran selama kebakaran.

Oleh karena itu, berdasarkan data yang terkumpul, direkomendasikan dosis efisien untuk penggunaan gel pada masing-masing jenis bahan bakar. Untuk serasah daun jarum, dosis optimal adalah sebesar 1g/100ml air. Pada jenis bahan bakar serasah daun lebar, dosis yang tepat adalah 2g/100ml air, sementara untuk serasah tumbuhan bawah, dosis optimalnya adalah 1g/100ml air. Rekomendasi ini memberikan panduan praktis untuk meningkatkan efektivitas pemadaman kebakaran dengan mempertimbangkan dosis yang sesuai untuk setiap jenis bahan bakar yang terlibat.

Saran

Saran yang diberikan dari penelitian ini yaitu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut secara di lapang dan perlu adanya penelitian mengenai alat pemadam yang efektif dan efisien untuk memadamkan api menggunakan bahan gel.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar A. 2016. *Pemahaman dan Solusi Masalah Kebakaran Hutan di Indonesia*. Bogor(ID): Forda Press.
- Aldyan RA. 2020. The effect of globalization and capitalism on forest damage in Indonesia. *Diadik. J.* 1(1):1–9.doi:10.21428/8c841009.0f98753e.
- Arandas MF, Ling LY. 2020. Indonesian crisis communication response after deliberate forest fires and transboundary haze. *J. Komun. Malaysian J. Commun.* 36(4):294–307.doi:10.17576/JKMJC-2020-3604-18.
- Aryanti E. 2002. Karakteristik kebakaran limbah vegetasi hutan rawa gambut di Desa Pelalawan Provinsi Riau [thesis]. Bogor: Sekolah Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor.
- Asril, Murdiyarso D, Saharjo BH. 2003. Kekeringan cuaca dan kebakaran hutan di Taman Nasional Berbak, Sumatera. *J. Agromet.* 1(2):30–39.
- Atroschenko YK, Kuznetsov G V., Strizhak PA, Volkov RS. 2019. Protective lines for suppressing the combustion front of forest fuels: experimental research. *Process Saf. Environ. Prot.* 131:73–88.doi:10.1016/j.psep.2019.09.006.
- Bruce D. 1961. Forest fire control and use. *Ecology.* 42(3):609–610.doi:10.2307/1932261.
- Clar C, Chatten L. 1954. *Principle of Forest Fire Management*. California (US): Department of Natural Resources Division of Forestry.
- Doddyakhmasyah. 2009. Klasifikasi kebakaran. *J. Pencegah. dan Penanggulangan Kebakaran.* 1(1):1–9.Flannigan MD, Wotton BM, Marshall GA, de Groot WJ, Johnston J, Jurko N, Cantin AS. 2016. Fuel moisture sensitivity to temperature and precipitation: climate change implications. *Clim. Change.* 134(1–2):59–71.doi:10.1007/s10584-015-1521-0.
- Hawkins LR, Abatzoglou JT, Li S, Rupp DE. 2022. Anthropogenic influence on recent severe autumn fire weather in the West Coast of the United States. *Geophys. Res. Lett.* 49(4):1–11.doi:10.1029/2021GL095496.
- Heikkila TV, Roy G, Jurvelius M. 2007. *Wildland fire management Handbook for Trainers*. Helsinki (FI): Finnida.
- Husen D, Sandi D, Bumbungan S, Kusnawi, Kusri. 2022. Analisis prediksi kebakaran hutan dengan menggunakan algoritma random forest classifier. *J. Nuansa Inform.* 16(1):150-155.doi:10.25134/nuansa.v16i1.5392.
- Konca-Kędzierska K, Pianko-Kluczyńska K. 2018. The influence of relative humidity on fires in forests of Central Poland. *For. Res. Pap.* 79(3):269–279.doi:10.2478/frp-2018-0027.
- Kramer K, Bouriaud L, Feindt PH, van Wassenae L, Glanemann N, Hanewinkel M, van der Heide M, Hengeveld GM, Hoogstra M, Ingram V, *et al.* 2022. Roadmap to develop a stress test for forest ecosystem services supply. *One Earth.* 5(1):25–34.doi:10.1016/j.oneear.2021.12.009.
- Kustiyo, Dewanti R, Lolitasari I. 2015. Detection of forest fire, smoke source location in Kalimantan during the dry season for the year 2015 using landsat 8 from the threshold of brightness temperature algorithm. *Int. J. Remote Sens. Earth Sci.* 12(2):151-160.doi:10.30536/j.ijreses.2015.v12.a2692.
- Muizzaddin M, Bernas SM, Sarno S. 2021. Effect of water content and soil improvement (hydrogel) on peat fire suppression. *BIOVALENTIA Biol. Res. J.* 7(1):44–49.doi:10.24233/biov.7.1.2021.215.
- Purnomo EP, Ramdani R, Agustiyara, Nurmandi A, Trisnawati DW, Fathani AT. 2021. Bureaucratic inertia in dealing with annual forest fires in Indonesia. *Int. J. Wildl. Fire.* 30(10):733–744.doi:10.1071/WF20168.
- Rahmah M. 2022. Bibliometric analysis: forest fire controlling policy in Indonesia. *J. Pemerintah.dan Kebijakan.* 3(2):60–74.doi:10.18196/jpk.v3i2.14353.

- Rahman MA, Nugroho DS, Yamanaka MD, Kawasaki M, Kozan O, Ohashi M, Hashiguchi H, Mori S. 2021. Weather radar detection of planetary boundary layer and smoke layer top of peatland fire in Central Kalimantan, Indonesia. *Sci. Rep.* 11(367):1–9.doi:10.1038/s41598-020-79486-6.
- Saharjo BH, Imtinan I. 2019. Upaya pemadaman kebakaran hutan dan lahan menggunakan gel pemadam (*Gel Pack Extinguishing Agent*). *J. Trop. Silv.* 10(1):45–50.doi:10.29244/j-iltrop.10.1.45-50.
- Saharjo BH, Syaufina L, Putra EI, Bahruni B, Sunarti E, Nurhayati AD. 2013. Penanggulangan kebakaran hutan dan lahan. *Pros. Semin. Nas. Ris. Kebencanaan.* 1(1):8–10.
- Seiler W, Crutzen PJ. 1980. Estimates of gross and net fluxes of carbon between the biosphere and the atmosphere from biomass burning. *Clim. Change.* 2(3):207–247.doi:10.1007/BF00137988.
- Sitanggang IS, Syaufina L, Trisminingsih R, Ramdhany D, Nuradi E, Hidayat MFA, Rahmawan H, Wulandari, Ardiansyah F, Albar I, *et al.* 2022. Indonesian forest and land fire prevention patrol system. *Fire.* 5(5):1–21.doi:10.3390/fire5050136.
- Wulandari E, Mardianto D, Susilastuti DH, Maryudi A. 2022. Scholarly interest in forest fires in Indonesia: a bibliographical review. *For. Soc.* 6(2):609–619.doi:10.24259/fs.v6i2.21473.