

## Original Article

e-ISSN: 2581-0545 - <https://journal.itera.ac.id/index.php/jsat/>



Received 5th May 2020  
Accepted 4th November 2020  
Published 1st July 2021

Open Access

DOI: 10.35472/jsat.v5i2.269

# Analisis Keputusan Multi Kriteria dalam Penentuan Rute Optimum sebagai Jalur Darurat dan Evakuasi Kebakaran Hutan di Taman Nasional Gunung Merbabu

Adnin Musadri Asbi<sup>a\*</sup>, Diyanti Isnani Siregar<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan, Indonesia Program Studi

<sup>b</sup> Rekayasa Kehutanan, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan, Indonesia

\* Corresponding E-mail: [adnin.asbi@pkw.itera.ac.id](mailto:adnin.asbi@pkw.itera.ac.id)

**Abstract:** This study combined the Multi Criteria Decision Analysis approach and the Geographic Information System in determining the most optimum route as an emergency and evacuation route in the case of forest fire. Forest areas in Gunung Merbabu National Park which are prone to fire were selected as case study areas. This research was conducted in 4 stages, namely multi-criteria analysis (land cover, slope, and distance from the path), analysis of forest fire-prone areas, analysis of alternative routes using Least-Cost Path, multi-criteria evaluation, and multi-criteria decision analysis to determine optimum route as an emergency route and evacuation of forest fires. The results found that there were two optimum routes for emergencies (Selo and Alternative 1 routes) and three routes were selected as the most optimum evacuation routes (Cuntel, Wekas and Alternative 4 routes).

**Keywords:** forest fire, emergency and evacuation route, Multi-Criteria Decision Analysis, SIG

**Abstrak:** Penelitian ini mengombinasikan pendekatan Analisis Keputusan Multi Kriteria dan Sistem Geografis Informasi dalam menentukan rute yang paling optimum sebagai jalur darurat dan evakuasi pada saat terjadi kebakaran hutan. Kawasan hutan di Taman Nasional Gunung Merbabu yang rawan terhadap kebakaran dipilih sebagai wilayah studi kasus. Penelitian ini dilakukan dalam 4 tahapan yaitu analisis multi kriteria (tutupan lahan, kelerengan, dan jarak dari jalur), analisis daerah rawan kebakaran hutan, analisis rute alternatif menggunakan Least-Cost Path, evaluasi multi kriteria, dan analisis keputusan multi kriteria untuk menentukan rute optimum sebagai jalur darurat dan evakuasi kebakaran hutan. Hasil penelitian menemukan bahwa terdapat dua rute yang optimum untuk keadaan darurat (Rute Selo dan Alternatif 1) dan tiga rute dipilih sebagai rute evakuasi yang paling optimum (rute Cuntel, Wekas dan Alternatif 4).

**Kata Kunci :** kebakaran hutan, jalur darurat dan evakuasi, Analisis Keputusan Multi Kriteria, SIG

## Pendahuluan

Kebakaran hutan menyebabkan berkurangnya sumber daya hutan di berbagai belahan dunia, terutama di daerah yang memiliki periode suhu tinggi dan kurang presipitasi [1]. Indonesia adalah salah satu dari banyak negara yang selalu bermasalah dengan kebakaran hutan, dimana dalam dekade terakhir ini telah menunjukkan adanya peningkatan kejadian

kebakaran hutan [2]. Dibutuhkan studi mendalam yang terkait hal tersebut, terutama dalam hal perencanaan dan tindakan di lapangan. Salah satu bagian dari solusi awal masalah ini adalah studi lebih lanjut mengenai jaringan jalan hutan untuk mendukung kegiatan evakuasi kebakaran [3]. Sampai saat ini, belum banyak penelitian tentang akses yang telah dilakukan untuk mengatasi masalah kebakaran hutan [4]. Pengetahuan tentang rute optimal saat kebakaran hutan



terutama di kawasan Taman Nasional sangat penting untuk dipertimbangkan sebagai bagian dari strategi yang tepat untuk mengurangi kehilangan hutan, memadamkan api secara efektif, serta menyelamatkan manusia. Saat ini Sistem Informasi Geografis (SIG) memberikan kemudahan untuk berbagai analisis terkait identifikasi jalur [5]. Menurut Z. Wang, et. al [6] sistem yang didukung SIG juga dapat dirancang dan dikembangkan dalam penentuan jalur alternatif saat kebakaran hutan. Analisis SIG juga dapat menemukan rute optimal secara efektif dibandingkan analisis lainnya [7]. Untuk menentukan rute yang paling sesuai dalam keadaan darurat dan evakuasi jika terjadi kebakaran hutan, beberapa analisis seperti Analisis Jaringan Jalan, Analisis *Least-Cost Path* dan Evaluasi Multi Kriteria (MCE) dapat dipertimbangkan [8].

## Metode

### Klasifikasi Tutupan Lahan dari Landsat 8

Data tutupan lahan di area TNGMb diperoleh dari olahan citra satelit Landsat 8 yang diperoleh pada tahun 2015 dengan sistem koordinat dan proyeksi wilayah studi WGS 84 dan UTM Zone 49S. Landsat 8 telah dilengkapi dengan *Standard Terrain Correction* (STC) Level 1T yang memberikan akurasi geometrik dan sistem radiometrik yang baik dalam menggabungkan titik kontrol tanah untuk akurasi topografi. Klasifikasi tutupan lahan diproses berdasarkan klasifikasi tutupan lahan nasional Indonesia (SNI 2010) tingkat II (resolusi 30-100 m) [9]. Citra satelit diolah dengan klasifikasi terbimbing yang menerapkan metode *maximum likelihood*. Warna komposit RGB532 digunakan dalam identifikasi tutupan lahan. Ada 3 kelas klasifikasi tingkat II (SNI, 2010) yang tidak termasuk awan dan bayangan: non-vegetasi (lahan terbuka) dan non-pertanian (hutan campuran, hutan pinus, semak belukar dan rumput), yang diidentifikasi secara visual untuk menciptakan area sampel dengan mempertimbangkan tekstur, asosiasi, bentuk, ukuran, bayangan, dan situs menurut [10]. Statistik Kappa diterapkan untuk penilaian akurasi kuantitatif. Citra Landsat 8 tahun 2015 dinilai dengan menggunakan 102 titik sampel berdasarkan data lapangan yang diberikan oleh staf TNGMb, yang digabungkan dengan 94 sampel dari visualisasi area dari Google Earth pada tahun yang sama (2015).

### Klasifikasi Kelerengan melalui TerraSAR-X DEM

Data kelerengan berasal dari data elevasi digital (TerraSAR-X DEM) yang telah diproses dengan operasi *Raster Surface* di ArcGIS 10.3. Klasifikasi berdasarkan [11] digunakan dalam identifikasi lereng. Ada 7 kelas tingkat kelerengan yang digunakan: 2%, 7%, 13%, 20%, 55%, 140%, dan > 140%. Kelas kelerengan ini bertujuan untuk meningkatkan akurasi penentuan jalur alternatif, karena peta kemiringan menjadi salah satu variabel utama dalam Analisis *Least-Cost Path*.

### Memetakan Lokasi Historis Kebakaran Hutan

Data historis lokasi kebakaran hutan dikumpulkan sebagai data sekunder yang mencakup informasi mengenai area terbakar pada tahun 2014 dan 2015. Poligon daerah yang terbakar dipisahkan antara wilayah 2014 dan 2015, serta menjadi variabel terpisah dalam pembuatan peta daerah rawan kebakaran hutan.

### Identifikasi Daerah Rawan Kebakaran Hutan

Peta daerah rawan kebakaran hutan diperoleh dengan meng-*overlay* peta historis kebakaran hutan dan peta potensi kebakaran hutan di TNGMb. Peta historis kebakaran hutan dihasilkan berdasarkan data sekunder yang didapatkan dari Balai TNGMb terkait dengan data tipe pembakaran, lokasi, tanggal, dan luas wilayah terbakar. Relatif serupa dengan yang telah dilakukan oleh [12], peta potensi kebakaran dihasilkan dengan mempertimbangkan aspek jalan, kemiringan dan material yang mudah terbakar. Dalam penelitian ini, peta daerah rawan kebakaran diperoleh dengan meng-*overlay* peta historis kebakaran, peta jarak ke jalan, peta tutupan lahan, dan peta kelerengan dengan operasi *Intersect* menggunakan ArcGIS 10.3.

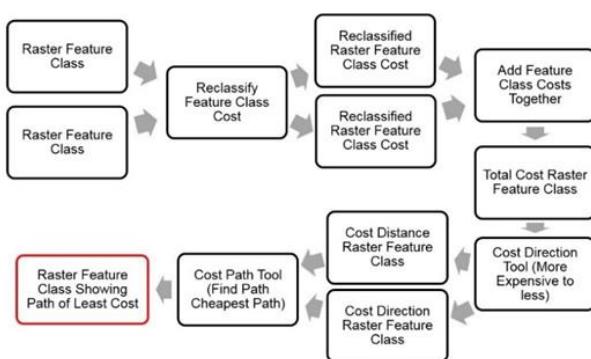
### Analisis Jarak dari Jalur

Jarak dari jalur dihitung dengan analisis *Euclidean Distance* pada ArcGIS 10.3, menggunakan data jalur eksisting di TNGMb untuk mengukur probabilitas ancaman kebakaran hutan berdasarkan jarak dari jalur. Klasifikasi dilakukan dengan membagi jarak menjadi empat rentang: 50 meter, 100 meter, 150 meter, 200 meter dengan jarak terdekat (50 meter) dianggap sebagai daerah yang paling rentan terancam kebakaran hutan. Klasifikasi ini didasarkan pada informasi pendamping penelitian, yang menunjukkan bahwa 200 meter di sekitar jalur adalah jangkauan maksimum yang dapat dicapai pengunjung saat mereka berada di luar jalur.

### Analisis Jaringan Jalan

## Original Article

Analisis Jaringan Jalan dilakukan sebagai proses untuk mengidentifikasi distribusi jalur di TNGMb. Dalam analisis ini, setiap jalur eksisting akan digunakan sebagai impedansi dalam menentukan jalur terbaik. Pada tahap ini, operasi *New Route* dilakukan di bawah *Network Analyst extension* dalam ArcGIS 10.3. Berdasarkan hasil analisis ini, karakteristik jalur eksisting akan diidentifikasi berdasarkan jarak (meter) dan berdasarkan waktu tempuh (jam) yang dihitung selama penelitian di lapangan.

*Analisis Least-Cost Path*

Gambar 1. Diagram Alur Analisis *Least-Cost Path*

Gambar 1 menunjukkan Alur Analisis *Least-Cost Path* dalam penelitian ini yang mendefinisikan akses yang sesuai untuk kondisi darurat atau kondisi evakuasi berkenaan dengan variabel tertimbang (kemiringan, jenis tutupan lahan, dan daerah rawan kebakaran). Variabel tersebut dipilih berdasarkan literatur yang berkaitan dengan faktor kebakaran hutan dan aspek ekologi di kawasan hutan oleh Larue dan Nielsen [13] dan Ariyanto [12] yang mengindikasikan kemiringan, tutupan lahan, dan daerah rawan kebakaran sebagai variabel yang sesuai untuk analisis ini dengan skema pembobotan seperti yang disajikan pada Tabel 1.

Skema pembobotan tidak hanya mempertimbangkan studi literatur namun juga informasi dari staf Taman Nasional Gunung Merbabu dan masyarakat setempat. Pada distribusi bobot, nilai terendah dalam konteks ini menunjukkan "*least cost*" dalam menentukan jalur dengan biaya paling rendah. Ada tiga titik asal dan dua titik tujuan yang ditetapkan dalam analisis ini. Titik asal dipilih berdasarkan basecamp eksisting (Selo, Wekas, dan Tekelan). Lalu titik tujuan dibagi

## Journal of Science and Applicative Technology

menjadi dua area yang berbeda, yaitu di sisi barat dan sisi timur.

Tabel 1. Variabel dan Skema Pembobotan dalam Analisis *Least-Cost Path*

Variabel	% Pengaruh	Jenis Nilai	Bobot Nilai
Kelerengan	50	2%	1
		7%	2
		13%	3
		20%	4
		55%	5
		140%	7
		>140%	9
Tutupan Lahan	30	Lahan Terbuka	1
		Rumput & Alang	2
		Hutan Pinus	5
		Hutan Campuran	9
Area Rawan Api	20	Rendah	1
		Sedang	5
		Tinggi	9

*Evaluasi Multi-Kriteria*

Evaluasi Multi Kriteria digunakan untuk mengevaluasi jalur alternatif untuk mendapatkan jalur yang paling sesuai dalam kasus kebakaran hutan. Dalam penelitian ini, Evaluasi Multi Kriteria dilakukan untuk dua kasus (keadaan darurat dan evakuasi). Analisis penentuan jalur darurat dan evakuasi dalam penelitian ini terdiri dari tiga langkah dasar:

- Mempersiapkan peta kriteria dengan menetapkan nilai kriteria dan mengklasifikasikan data peta. Kriteria di fase ini mempengaruhi jalur yang cocok untuk keadaan darurat dan evakuasi.
- Meng-overlay setiap peta kriteria sesuai dengan prioritas yang ditetapkan, di mana setiap kriteria memiliki bobot yang berbeda.
- Memilih rute alternatif dengan peta kesesuaian area. Tahap ini dilakukan untuk memeriksa jalur yang paling sesuai baik untuk kegiatan darurat atau evakuasi ditunjukkan oleh total nilai setiap rute berdasarkan peta kesesuaian area.

Penggunaan metode pembobotan memerlukan informasi yang relatif penting berdasarkan masing-masing faktor yang perlu ditetapkan. *Rank Sum* menjadi metode yang vital dalam menilai bobot kepentingan, yang dihitung berdasarkan rumus berikut:

$$w_j = \frac{(n - r_j + 1)}{\sum (n - r_k + 1)} \quad (1)$$

Metode diatas telah dirumuskan [14] dan juga digunakan [15] untuk menilai kerentanan deforestasi di TNGMb. Dimana  $w_j$  mengambil bagian sebagai bobot normal untuk kriteria  $J_{th}$ ,  $n$  sebagai jumlah kriteria dengan pertimbangan ( $k = 1, 2, 3 \dots, n$ ), dan  $r_j$  sebagai posisi ranking kriteria.

$(N - r_j + 1)$  menunjukkan bahwa setiap kriteria dibobot dan kemudian dinormalisasi dengan semua jumlah berat  $\Sigma (n - r_k + 1)$ . Kriteria dan ranking yang bobotnya telah digunakan untuk menentukan jalur darurat dan evakuasi dijelaskan pada Tabel 2. Semua kriteria diberi peringkat urut berdasarkan kepentingannya, yang diperoleh dari wawancara petugas yang memiliki pengalaman dalam kegiatan darurat dan evakuasi di TNGMb. Bobot normal dihitung dengan menggunakan metode [14].

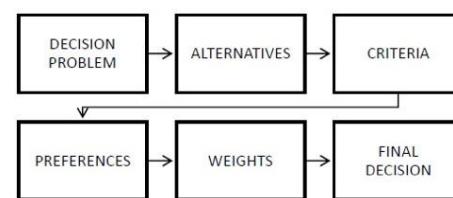
Tabel 2. Kriteria, Rangking dan Bobot dalam Evaluasi Multi Kriteria

Kasus	Kriteria	Ranking	Jumlah Ranking	
			Bobot ( $n - r_j + 1$ )	Normalisasi Bobot
Respon Darurat	Kelerengan Jarak ke Sumber Air	1	3	0.40
	Jarak ke Daerah Rawan	3	1	0.27
	Jarak ke Daerah Rawan	2	2	0.33
Evakuasi	Jarak ke Jalur Lama	3	1	0.27
	Jarak ke Fasilitas	2	2	0.33
	Jarak dari Daerah Rawan	1	3	0.40

#### Analisis Keputusan Multi Kriteria untuk Penentuan Rute Paling Optimum

*Multi Criteria Decision Analysis* (MCDA) dimulai dengan pernyataan masalah dan dilanjutkan dengan proses menemukan keputusan seperti pada Gambar 2. Setelah definisi masalah, kriteria pemilihan perlu didefinisikan, dan alternatif perlu dievaluasi dengan kendala untuk mengembangkan matriks keputusan [14]. *Multi Criteria Decision Analysis* berlaku dengan matriks keputusan yang dihasilkan, mencakup skor alternatif terkait dengan kriteria yang dipilih [16].

Proses Hirarki Analitik pada tahap ini dilakukan dengan metode perbandingan berpasangan, yang membandingkan tiap jalur berdasarkan pangkat mereka dalam hal jarak (dalam kilometer) dan kesesuaian jalur dalam konteks keadaan darurat/evakuasi. Di peringkat ini, jalur yang memiliki jarak terpendek diberikan peringkat tertinggi, sedangkan dalam hal kesesuaian, jalur yang paling sesuai diberikan peringkat tertinggi. Peringkat jalur dalam hal jarak, kesesuaian darurat, dan kesesuaian evakuasi yang menggunakan AHP dapat dilihat pada Tabel 3.



Gambar 2. Diagram Alur Multi Criteria Decision Analysis

Tabel 3. Peringkat jalur berdasarkan Analytical Hierarchy Process (AHP)

Jalur Eksisting	Ranking		
	Jarak	Kesesuaian dalam darurat	Kesesuaian dalam evakuasi
Selo	2	1	2
Wekas	1	4	3
Cuntel	3	2	1
Tekelan	4	3	4
Alternatif LCP	Jarak	Kesesuaian dalam darurat	Kesesuaian dalam evakuasi
Alternatif 1	2	2	2
Alternatif 2	4	1	3
Alternatif 3	1	4	4
Alternatif 4	3	3	1

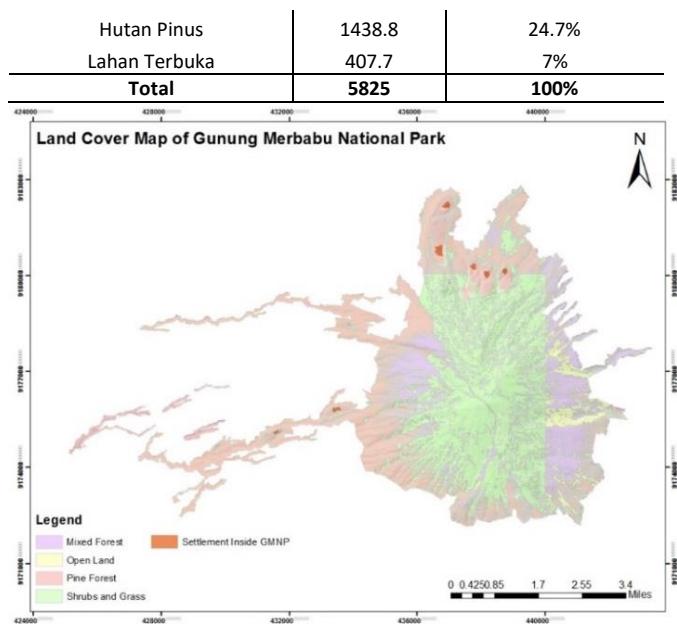
## Hasil dan Pembahasan

### Klasifikasi Tutupan Lahan

Lima jenis tutupan lahan telah diidentifikasi dalam analisis tutupan lahan diTNGMb, yaitu hutan campuran, lahan terbuka, hutan pinus, permukiman dan juga semak belukar dan rerumputan. Rincian masing-masing jenis tutupan lahan dapat dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 3.

Tabel 4. Luas Tiap Tipe Tutupan Lahan di Taman Nasional Gunung Merbabu

Tipe Tutupan Lahan	Luas (Hektar)	Persentasi Tutupan
Rumput dan Semak belukar	3020.3	51.8%
Hutan Campuran	941.3	16.2%
Permukiman	16.9	0.3%



Gambar 3. Peta Tutupan Lahan TN Gunung Merbabu

Tabel 4. Luas Tiap Tipe Tutupan Lahan di Taman Nasional Gunung Merbabu

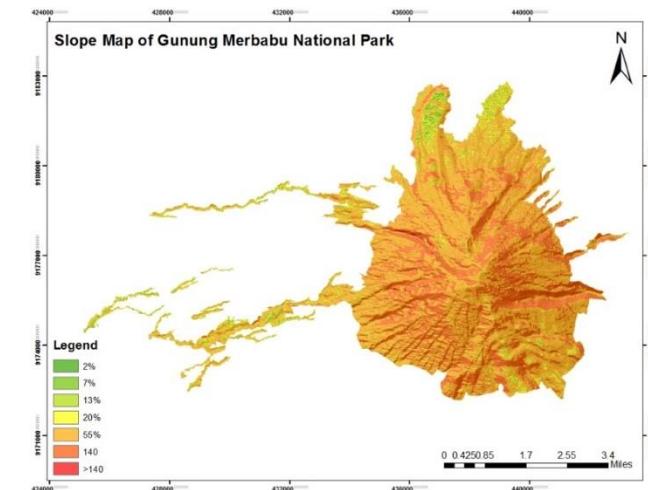
Tipe Tutupan Lahan	Luas (Hektar)	Percentasi Tutupan
Rumput dan Semak belukar	3020.3	51.8%
Hutan Campuran	941.3	16.2%
Permukiman	16.9	0.3%
Hutan Pinus	1438.8	24.7%
Lahan Terbuka	407.7	7%
<b>Total</b>	<b>5825</b>	<b>100%</b>

Gambar 3 dan Tabel 4 menunjukkan semak belukar dan rumput adalah salah satu jenis tutupan lahan yang mendominasi sebagian besar wilayah TNGMb, dimana jenis penutup ini juga menjadi objek paling sering terbakar saat terjadi kebakaran hutan. Hal ini sesuai dengan [12], yang mengatakan bahwa semak dan rumput adalah salah satu spesies tanaman yang rentan terhadap kebakaran hutan. Hutan pinus menjadi tutupan lahan terbesar kedua di TNGMb setelah semak belukar dan rumput. Pinus sebagai jenis konifera juga tergolong rentan terhadap kebakaran hutan, terutama di daerah dataran tinggi dimana api biasanya bergerak secara sporadis dan intens [17]. Distribusi besar pohon pinus di sekitar TNGMb ada karena pada dahulu kala kawasan itu adalah milik PERHUTANI, dimana komoditas utamanya didominasi pohon pinus. Sangat berbeda dengan

hutan pinus yang lebih homogen, hutan campuran didominasi oleh pepohonan dengan kanopi yang padat, membuat mereka rentan terhadap penyebaran api. Pohon-pohon ini tumbuh di ketinggian berkisar antara 2000-2250 m.d.p.l, yang umumnya juga menjadi makanan utama bagi spesies satwa endemik yang dilindungi oleh TNGMb, yaitu Surili Jawa (*Presbytis fredericae*) [18].

#### Klasifikasi Kelerengan

Kemiringan menjadi salah satu pertimbangan dalam menentukan daerah rawan kebakaran hutan. Ketinggian sekitar TNGMb berkisar antara 1000 sampai dengan 3142 m.d.p.l, didominasi oleh ketinggian yang cukup tinggi [18]. Hasil klasifikasi lereng dapat dilihat pada Gambar 4.

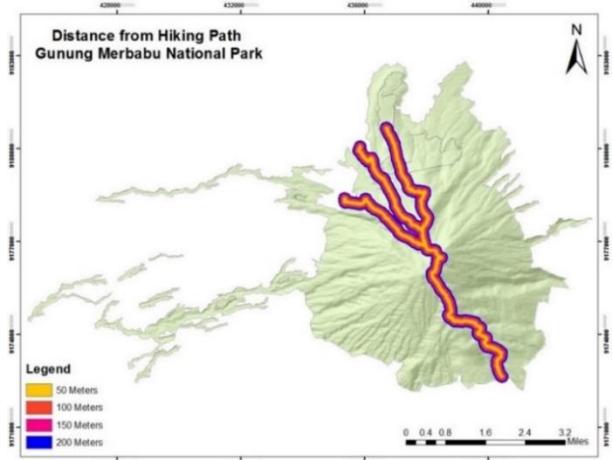


Gambar 4. Peta Kelerengan Taman Nasional Gunung Merbabu

Taman Nasional Gunung Merbabu (TNGMb) didominasi oleh Slope Grade V (20-55%), yang mencakup hampir 60% dari total luas dan menyebar luas mulai dari desa sampai ke lahan hutan. Slope Grade VI (55-140%) atau lereng yang sangat curam juga memiliki cakupan yang luas sehingga mencakup hampir 30% dari total luas area. Slope Grade IV (13-20%) meliputi hampir 6% dari total area, sedangkan sisanya (2%, 7%, 13% dan > 140%) tidak memiliki persentase signifikan yang hanya berkisar antara 0,1-3,3% dari luas total. Dari hasil analisis ini dapat disimpulkan bahwa wilayah TNGMb sebagian besar dikelilingi oleh daerah curam dan rentan terhadap penyebaran api. Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini jauh lebih akurat daripada penelitian sebelumnya karena menggunakan data Model Elevasi Digital dengan resolusi tinggi (TerraSAR-X DEM) tahun 2011.

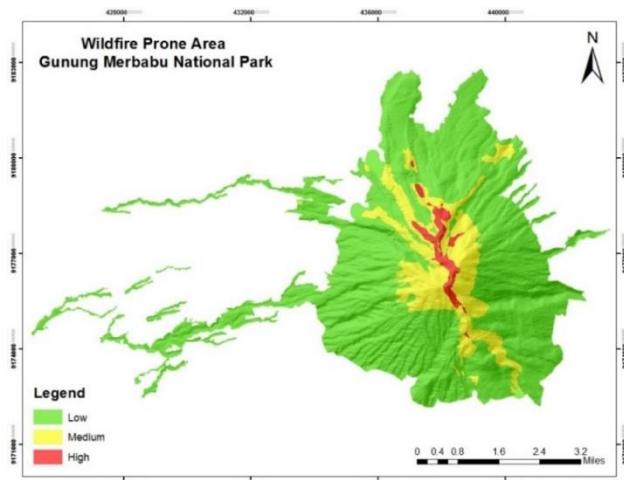
### Jarak Dari Jalur

Dalam proses ini, jarak dari jalur dibagi menjadi empat rentang: 50, 100, 150, dan 200 meter. Biru menunjukkan jarak 200 meter, merah muda 150 meter, dan merah 100 meter. Kuning menunjukkan jarak terdekat (50 m) sebagai daerah yang paling rawan terdampak kebakaran hutan. Area dekat jalur pendakian lebih rawan terganggu manusia. Klasifikasi yang digunakan berdasarkan pada informasi pendamping lapangan, yang menjelaskan bahwa jarak 200 meter di sekitar jalur adalah jangkauan maksimum yang dapat dicapai pengunjung saat tersesat. Hasil klasifikasi jarak dari jalur pendakian dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Peta Klasifikasi Jarak dari Jalur Pendakian Taman Nasional Gunung Merbabu

### Daerah Rawan Kebakaran Hutan



Gambar 6. Peta Klasifikasi Daerah Rawan Kebakaran Hutan TNGMb

Peta rawan kebakaran menunjukkan daerah dengan tingkat kerawanan tertentu terkait dengan kebakaran hutan. Variabel yang berkontribusi terhadap kejadian kebakaran hutan digunakan untuk menyusun peta ini adalah tutupan lahan, jarak ke jalur, kelerengan dan daerah yang pernah terbakar. Variabel tersebut berkaitan dengan elemen segitiga api seperti radiasi panas, oksigen, dan bahan bakar.

Dari peta di Gambar 6, dapat dilihat bahwa daerah rawan kebakaran dengan level rendah dan menengah sebagian besar berada di pusat TNGMb. Daerah rawan kebakaran yang dengan level tinggi dan menengah mencakup sekitar 20% wilayah Taman Nasional Gunung Merbabu, melingkupi hampir 1200 ha yang sebagian besar berkumpul di sekitar puncak gunung merbabu. Sebagian besar wilayah TNGMb tergolong sebagai daerah dengan tingkat bahaya rendah, mencakup lebih dari 4.600 ha yang tersebar dari daerah dataran rendah ke daerah dataran tinggi.

### Analisis Jaringan Jalan – Rute yang telah ada di TNGMb

Tabel 5. Hasil Analisis berdasarkan Panjang dan Waktu Tempuh

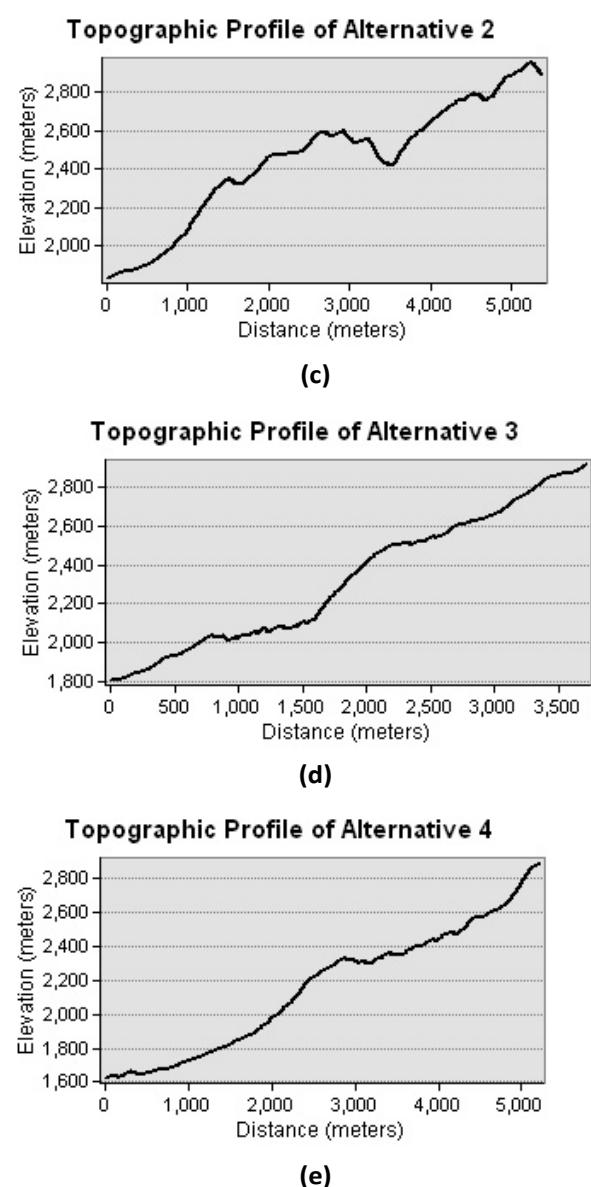
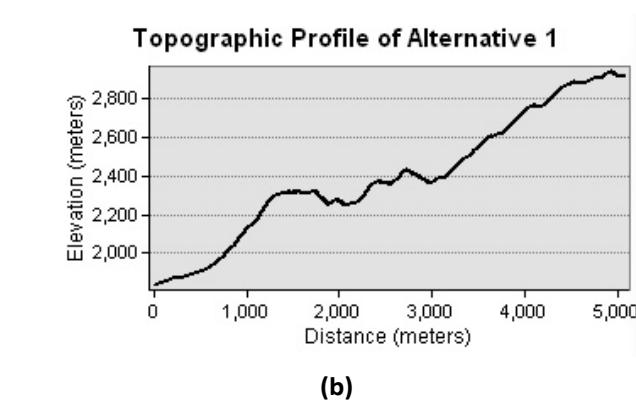
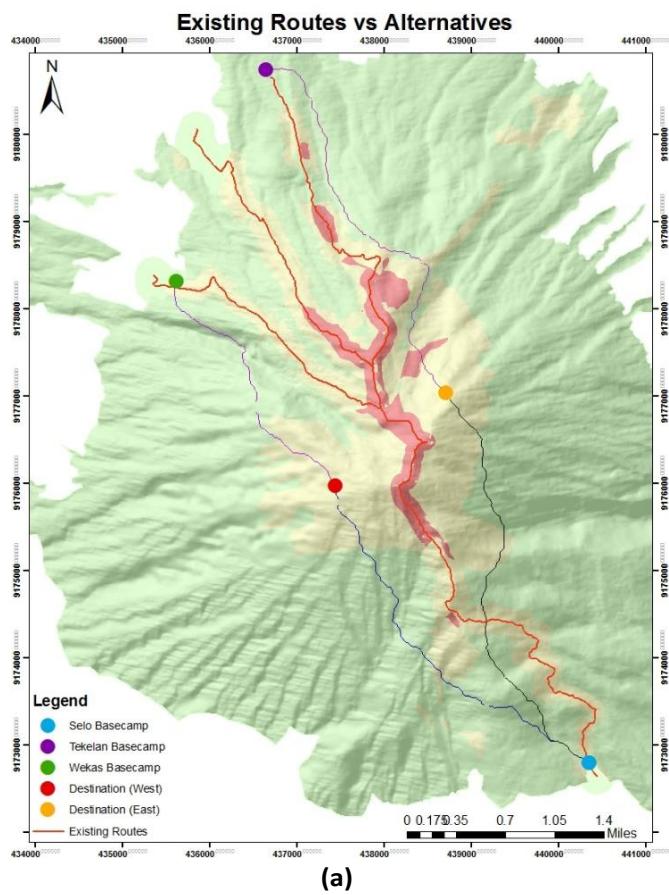
Jalur	Panjang (Km)	Waktu Tempuh (Jam)
Selo	5	5.40
Cuntel	5.7	4.45
Wekas	4.8	6.30
Tekelan	6.2	7.45

Tabel 5 menunjukkan bahwa ada perbedaan antara jarak dan waktu tempuh. Jarak yang lebih pendek tidak membuat waktu tempuh menjadi lebih cepat. Hal itu disebabkan perbedaan tingkat kesulitan medan jalur yang ditempuh. Kelerengan dan elevasi merupakan salah satu faktor yang paling mempengaruhi pendakian gunung, yang juga menentukan waktu tempuh untuk sampai ke titik tujuan. Perbedaan tingkat kesulitan medan jalur dapat digambarkan dengan hubungan jarak dan elevasi seperti yang ditunjukkan pada profil topografi pada halaman berikutnya. Singkatnya, grafik profil topografi dari rute eksisting menunjukkan pergerakan yang stabil antara jarak dan elevasi. Gerakan kenaikan yang stabil tersebut mengindikasikan bahwa medan setiap jalur cenderung menanjak.

### Analisis Least-Cost Path – Jalur Alternatif Baru

Terdapat empat jalur alternatif baru: (1) dari Basecamp Selo ke titik tujuan barat; (2) dari Basecamp Selo ke

tujuan timur; (3) dari Basecamp Wekas ke tujuan sisi barat; Dan (4) dari Basecamp Tekelan ke arah timur. Berdasarkan profil topografi pada Gambar 7, setiap jalur alternatif memiliki pola grafik tersendiri, yang menunjukkan fluktuasi. Fluktuasi dapat didefinisikan bahwa medan jalur tidak selalu menanjak, namun lebih bervariasi dari datar ke atas dan ke bawah.



**Gambar 7 (a).** Peta; **(b,c,d,e)** Profil Topografi Jalur Alternatif Baru Hasil dari Analisis Least-Cost Path

#### Evaluasi Multi Kriteria untuk Menentukan Rute Sesuai dalam Kasus Darurat dan Evakuasi

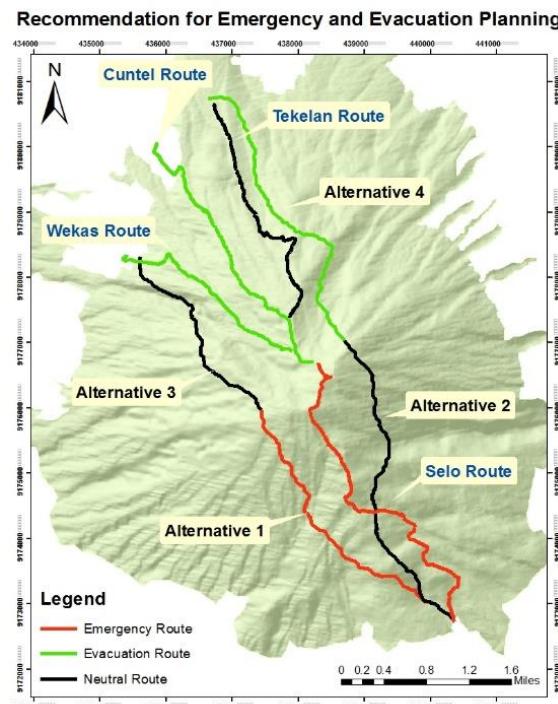
Rute yang paling cocok untuk kegiatan darurat dan evakuasi telah ditetapkan berdasarkan peringkat total nilai piksel alternatif Least-Cost Path (LCP), yang dihitung berdasarkan proses overlay tertimbang dalam menentukan peta area yang sesuai. Nilai total piksel juga telah diklasifikasikan berdasarkan kelas kesesuaian (cocok, cukup sesuai, dan tidak sesuai) dalam konteks darurat dan evakuasi. Rute yang paling cocok untuk

keadaan darurat (berdasarkan rute alternatif LCP) adalah Alternatif 2, masing-masing dengan Alternatif 1, Alternatif 4, dan Alternatif 3. Sedangkan rute yang paling sesuai (berdasarkan rute alternatif LCP) untuk kegiatan evakuasi adalah Alternatif 4 diikuti oleh Alternatif 1, Alternatif 2 dan Alternatif 3.

Rute yang paling cocok jika terjadi keadaan darurat dan evakuasi berdasarkan rute eksisting juga dihitung dalam penelitian ini. Berdasarkan rute yang ada, rute yang paling cocok untuk kegiatan darurat adalah Jalur Selo, diikuti oleh Jalur Tekelan, Cuntel, dan Wekas. Sedangkan rute yang paling cocok untuk evakuasi adalah Jalur Cuntel, diikuti oleh Selo, Wekas, dan Jalur Tekelan.

#### *Analisis Keputusan Multi Kriteria untuk Menentukan Rute Optimum dalam Konteks Darurat & Evakuasi*

Rute yang paling optimum ditentukan dengan menggunakan dua kriteria penting: jarak dalam kilometer (yang berasal dari analisis jaringan dan analisis LCP) dan kesesuaian rute dalam kegiatan darurat dan evakuasi (yang telah diperoleh dari evaluasi multi kriteria). Peringkat rute ini dibagi berdasarkan rute yang ada dan rute alternatif. Hasil ini didapat berdasarkan kombinasi perhitungan Normalized Value dan Global Score.



Gambar 8. Peta Rekomendasi Perencanaan Jalur Darurat dan Evakuasi di TNGMb

**Gambar 8** menunjukkan rekomendasi rute paling optimal dalam konteks kegiatan darurat dimana jalur Cuntel dan Wekas menjadi rute yang paling optimal digunakan untuk aktivitas evakuasi yang diikuti oleh jalur Selo dan Tekelan. Di sisi lain, Alternatif 4 menjadi rute paling optimal untuk kegiatan evakuasi dibandingkan alternatif LCP lainnya, yang masing-masing diikuti oleh Alternatif 1, 3 dan 2.

#### Kesimpulan

Kebakaran hutan dimulai dari daerah yang berdekatan dengan desa dan pemukiman, dan sebagian lain dimulai dari daerah dekat jalan dan perkemahan. Kelalaian manusia dalam menggunakan api serta lahan pertanian berpindah (dengan sistem pembakaran) diduga sebagai faktor utama kebakaran hutan di TNGMb. Faktor lingkungan yang memungkinkan terjadinya permulaan dan penyebaran kebakaran hutan adalah kemiringan, jenis tutupan lahan, bahan bakar dari daerah yang sebelumnya terbakar, dan gangguan manusia di dekat jalur pendakian dan perkemahan. Daerah rawan kebakaran tingkat menengah dan tinggi terletak di pusat TNGMb, yang sebagian besar mencakup jalur pendakian dan perkemahan, di sekitar puncak gunung.

Ada 4 jalur akses resmi di TNGMb yang tersebar di wilayah yang berbeda. Satu di selatan (Selo) dan yang lainnya di sisi barat laut (Wekas, Cuntel dan Tekelan). Berdasarkan profil topografi jalur di TNGMb, tiap jalur menunjukkan grafik kenaikan yang stabil dalam hubungan antara jarak dan elevasi. Ada 4 jalur alternatif baru: (1) dari Basecamp Selo ke titik tujuan barat; (2) dari Selo ke tujuan timur; (3) dari Wekas ke tujuan sisi barat; Dan (4) dari Tekelan ke arah timur.

Akses darurat yang paling sesuai didefinisikan sebagai jalur yang memenuhi kriteria yang memiliki kemiringan datar, dekat dengan sumber air dan daerah rawan kebakaran. Sedangkan akses evakuasi yang paling sesuai didefinisikan sebagai rute yang memenuhi kriteria yang jauh dari daerah rawan kebakaran, dekat dengan jalur dan fasilitas yang ada. Jalur yang paling optimal untuk keadaan darurat dan evakuasi didefinisikan sebagai jalur yang memenuhi kriteria yang memiliki jarak lebih pendek dan kesesuaian tertinggi dalam keadaan darurat/evakuasi. Jalur ter-optimum untuk keadaan darurat adalah Selo dan Alternatif 1, lalu jalur evakuasi ter-optimal adalah Cuntel, Wekas, dan Alternatif 4.

**Konflik Kepentingan**

Tidak ada konflik untuk dideklarasikan.

**Pernyataan Resmi**

Terima kasih diucapkan kepada Balai Taman Nasional Gunung Merbabu yang telah menyediakan data dukung untuk penelitian ini.

**Referensi**

- [1] A. E. Akay, "Using GIS techniques to determine fire protection zones considering forest road network," 2012.
- [2] A. Nurdiana and I. Risdiyanto, "Indicator determination of forest and land fires vulnerability using Landsat-5 TM data (Case Study: Jambi Province)," *Procedia Environ. Sci.*, vol. 24, pp. 141–151, 2015.
- [3] B. Stefanović and M. Danilović, "Multi-criteria forest road network planning in fire-prone environment : a case study in Serbia," pp. 911–926, 2015.
- [4] W. J. De Groot, "Development of the Indonesian and Malaysian fore danger rating systems," *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Chang.*, vol. 12, no. 1, pp. 165–180, 2016.
- [5] S. Bagli, D. Geneletti, and F. Orsi, "Routeing of power lines through least-cost path analysis and multicriteria evaluation to minimise environmental impacts," *Environ. Impact Assess. Rev.*, vol. 31, pp. 234–239, 2011.
- [6] Z. Wang, "A data model for route planning in the case of forest fires," *Comput. Geosci.*, vol. 68, pp. 1–10, 2014.
- [7] K. K. Lwin, R. C. Estoque, and Y. Murayama, "Data collection, processing and applications for geospatial analysis," in *Progress in geospatial analysis*, Tokyo: Springer, 2012.
- [8] E. Abdi, "A GIS-MCE based model for forest road planning," *J. For. Sci.*, vol. 55, no. April, pp. 171–176, 2009.
- [9] P. Danoedoro, *Pengantar Penginderaan Jauh Digital*. Yogyakarta: CV. ANDI, 2012.
- [10] M. A. Reddy, *Remote Sensing and Geographical Information Systems*, 3rd ed. Hyderabad: BS Publication, 2008.
- [11] R. A. Van Zuidam, *Aerial photo-interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping*. The Hague: Smith Publishers, 1985.
- [12] A. C. Ariyanto, "Mapping of possible corridors for Javan Leopard (*Panthera pardus* ssp. *melas*) between Gunung Merapi and Gunung Merbabu National Parks, Indonesia," Faculty of Geo
- [13] M. A. Larue and C. K. Nielsen, "Modelling potential dispersal corridors for cougars in midwestern North America using least-cost path methods," *Ecol. Modell.*, vol. 212, pp. 372–381, 2008.
- [14] J. Malczewski, "A GIS-based approach to Multiple Criteria Group decision making," *Int. J. Geogr. Inf. Syst.*, vol. 10, pp. 955–971, 1996.
- [15] K. Dewi, "Forest cover change and vulnerability of Gunung Merbabu National Park," Faculty of Geo Information Science and Earth Observation (ITC), 2009.
- [16] S. J. Carver, "Integrating Multi-Criteria Evaluation with Geographical Information Systems," *Int. J. Geogr. Inf. Syst.*, vol. 5, pp. 321–339, 1991.
- [17] J. K. Agee, *Fire Ecology of Pacific Northwest Forests*. Washington D.C.: Island Press, 1993.
- [18] S. Hidayat, "Pengelolaan Taman Nasional Gunung Merbabu sebagai upaya konservasi rekreasi," Universitas Sebelas Maret, 2015.