

# Model Penentuan Jalur Evakuasi Multi-Kriteria Menggunakan Algoritma Dijkstra

Any Nurhasanah<sup>1</sup>, Desi Cempakalia<sup>2</sup>, Ahmad Cucus<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik

<sup>3</sup>Program Studi Informatika, Fakultas Ilmu Komputer

Universitas Bandalampung

Bandar Lampung, Indonesia

any.nurhasanah@ubl.ac.id<sup>1</sup>, desi.cempakalia@ubl.ac.id<sup>2</sup>, ahmad.cucus@ubl.ac.id<sup>3</sup>

**Abstract-** Natural disasters such as tsunamis, floods, and earthquakes often create emergency situations that require rapid and accurate evacuation processes to minimize casualties. One of the major challenges in evacuation management is the lack of real-time information regarding safe and feasible routes, especially when road conditions change dynamically during a disaster. This study proposes an evacuation route determination model using the multi-criteria Dijkstra algorithm, integrating eight key parameters: road segment length, travel speed, road width, slope, road classification, distance to hazard zones, distance to evacuation points, and accessibility. Spatial road network data and supporting attributes were processed using min-max normalization and criterion weighting to generate a comprehensive cost function for each road segment. A case study conducted in Surung Batang demonstrates that the proposed model identifies the optimal route A-C-E with a total cost of 0.785. This differs from the conventional Dijkstra approach, which selects the shortest physical path A-B-C-E but involves higher risk conditions. The results indicate that the multi-criteria approach is more effective and realistic for evacuation routing, prioritizing safety and accessibility rather than distance alone. This model has the potential to be implemented within mobile-based emergency systems and can support decision-making processes for disaster management agencies.

**Keywords:** evacuation route, Dijkstra algorithm, multi-criteria, GIS, disaster mitigation.

**Abstrak-** Bencana alam seperti tsunami, banjir, dan gempa bumi sering menimbulkan situasi darurat yang memerlukan proses evakuasi cepat dan tepat untuk meminimalkan risiko korban jiwa. Tantangan utama dalam pelaksanaan evakuasi adalah keterbatasan informasi mengenai jalur yang aman dan layak digunakan, terutama ketika kondisi jalan berubah secara dinamis. Penelitian ini mengusulkan model penentuan jalur evakuasi menggunakan algoritma Dijkstra berbasis multi-kriteria dengan mengintegrasikan delapan parameter penentu kelayakan rute, yaitu panjang segmen jalan, kecepatan tempuh, lebar jalan, kemiringan, jenis jalan, jarak ke titik rawan, jarak ke titik evakuasi, dan aksesibilitas. Data spasial jaringan jalan dan atribut pendukung dianalisis melalui proses normalisasi min-maks dan pembobotan, kemudian digunakan dalam fungsi biaya komprehensif untuk setiap ruas jalan. Pengujian dilakukan pada studi kasus wilayah Surung Batang, menghasilkan jalur optimal A-C-E dengan total biaya 0,785. Hasil ini berbeda dengan Dijkstra standar berbasis jarak yang memilih rute A-B-C-E, yang meskipun lebih pendek secara fisik namun memiliki risiko lebih tinggi berdasarkan parameter keselamatan. Temuan ini menunjukkan bahwa pendekatan multi-kriteria lebih efektif dan realistis dalam menentukan jalur evakuasi yang aman dibandingkan metode jarak semata. Model ini berpotensi diterapkan dalam sistem evakuasi berbasis mobile dan mendukung pengambilan keputusan oleh instansi kebencanaan.

**Kata Kunci:** jalur evakuasi, algoritma Dijkstra, multi-kriteria, GIS, mitigasi bencana.

## 1. Pendahuluan

Bencana alam seperti banjir, gempa bumi, tanah longsor, kebakaran hutan, dan tsunami merupakan kejadian yang memiliki frekuensi tinggi di berbagai wilayah Indonesia [1]. Dampak yang ditimbulkan umumnya bersifat kritis, terutama terhadap keselamatan jiwa penduduk. Dalam situasi darurat, proses evakuasi menjadi komponen krusial yang menentukan keberhasilan upaya mitigasi bencana [2]. Pelaksanaan

evakuasi yang tepat membutuhkan tersedianya informasi jalur yang cepat, aman, dan relevan dengan kondisi lingkungan saat bencana terjadi [3]. Dalam praktiknya, masyarakat kerap tidak memperoleh panduan jalur evakuasi yang memadai, terutama ketika kondisi lapangan berubah secara dinamis akibat kerusakan infrastruktur, genangan air, runtuhnya material, ataupun berbagai



hambatan lain yang mengurangi aksesibilitas dan memengaruhi kelayakan jalur evakuasi [4].

Secara umum, penentuan jalur evakuasi masih mengandalkan metode konvensional, seperti penggunaan jalur terpendek berdasarkan estimasi jarak atau papan penunjuk fisik yang bersifat statis [5]. Pendekatan tersebut memiliki keterbatasan karena tidak mempertimbangkan faktor-faktor penting yang memengaruhi keamanan dan kelayakan jalur, seperti tingkat risiko pada zona tertentu, kapasitas jalan, kondisi permukaan, maupun potensi kemacetan [6]. Dalam beberapa kondisi, jalur terdekat justru berpotensi melewati area yang memiliki tingkat bahaya tinggi [7], sehingga dapat memperbesar risiko terhadap masyarakat. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan penentuan rute evakuasi yang lebih adaptif dan mampu mengakomodasi berbagai faktor secara simultan [8].

Perkembangan teknologi Sistem Informasi Geografis (SIG), pemetaan digital, dan komputasi algoritmik menyediakan peluang untuk membangun model penentuan jalur evakuasi yang lebih komprehensif. Salah satu pendekatan yang relevan adalah representasi jaringan jalan sebagai graf, di mana setiap simpul (node) dan ruas jalan (edge) diberi atribut berupa jarak, tingkat bahaya, elevasi, kondisi fisik, dan parameter-parameter lain yang berpengaruh terhadap proses evakuasi [9]. Pemodelan graf semacam ini memungkinkan penerapan metode pencarian lintasan berbobot untuk menentukan rute yang optimal berdasarkan berbagai kriteria [10].

Algoritma Dijkstra merupakan algoritma klasik yang banyak diterapkan pada pencarian lintasan terpendek dalam graf berbobot non-negatif dan telah terbukti efisien dalam berbagai implementasi sistem transportasi dan navigasi [11]. Fleksibilitas algoritma ini memungkinkan penyesuaian bobot pada setiap edge sehingga tidak hanya mewakili jarak, tetapi juga faktor keselamatan dan aksesibilitas lain yang relevan dalam konteks evakuasi bencana. Dengan demikian, Dijkstra dapat digunakan sebagai dasar pemodelan jalur evakuasi multi-kriteria yang mengintegrasikan aspek jarak, risiko, dan kelayakan jalan ke dalam satu fungsi biaya komprehensif [12].

Pendekatan multi-kriteria memberikan kerangka yang lebih realistis dan adaptif dalam penentuan jalur evakuasi dibandingkan pendekatan jarak tunggal [13]. Model ini memungkinkan pengambil keputusan dan sistem evakuasi otomatis untuk menghasilkan rute yang lebih aman dan sesuai dengan karakteristik lingkungan aktual. Integrasi model ini ke dalam sistem berbasis mobile juga memberikan manfaat strategis [14], karena masyarakat dapat memperoleh informasi rute evakuasi secara cepat dan sesuai dengan posisi mereka pada saat kejadian bencana [15].

Berdasarkan kebutuhan tersebut, penelitian ini berfokus pada pengembangan “Model Penentuan Jalur Evakuasi Multi-Kriteria Menggunakan Algoritma Dijkstra” yang bertujuan untuk menghasilkan pendekatan evaluasi rute yang lebih komprehensif, adaptif, serta mampu mengintegrasikan berbagai parameter penting seperti jarak, waktu tempuh, kondisi jalan, tingkat risiko, dan kapasitas jalur. Dengan mempertimbangkan banyak

aspek secara simultan, model ini diharapkan dapat menyajikan rekomendasi rute evakuasi yang lebih optimal dibandingkan pendekatan konvensional yang hanya berfokus pada satu kriteria, misalnya jarak terpendek saja.

Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi nyata dalam peningkatan efektivitas mitigasi bencana, khususnya dalam proses pengambilan keputusan yang cepat dan tepat pada situasi darurat. Selain itu, model yang dikembangkan dapat diimplementasikan ke dalam sistem evakuasi modern berbasis teknologi informasi, sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam penyusunan strategi evakuasi, perencanaan tata ruang, serta pengembangan aplikasi penunjang jalur evakuasi yang lebih aman dan berorientasi pada keselamatan masyarakat.

## 2. Metodologi

### A. Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data spasial dan data atribut yang diperlukan untuk pemodelan jalur evakuasi berbasis multi-kriteria. Data utama meliputi:

#### 1. Jaringan jalan (road network)

Data berupa peta jaringan jalan yang berisi informasi simpul (node), ruas jalan (edge), panjang segmen, lebar jalan, serta klasifikasi jalan. Data diperoleh dari OpenStreetMap (OSM) atau sumber resmi pemerintah daerah.

#### 2. Peta risiko bencana

Data zona bahaya seperti daerah rawan banjir, potensi longsor, atau kawasan terdampak gempa. Data diperoleh dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) atau instansi terkait yang menyediakan peta risiko bencana.

#### 3. Titik lokasi evakuasi (evacuation points)

Berupa koordinat titik kumpul atau shelter resmi, diperoleh dari BPBD atau dokumen perencanaan kebencanaan daerah.

#### 4. Data pendukung lainnya

Seperti elevasi, kondisi permukaan jalan, dan hambatan potensial, apabila tersedia. Seluruh data atribut digunakan untuk menyusun bobot multi-kriteria pada setiap segmen jalan.

Data-data tersebut divalidasi dengan membandingkan sumber peta, dokumen pemerintah, serta pengecekan lapangan terbatas apabila diperlukan, guna memastikan akurasi dan kesesuaian data pada area studi.

## B. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan 2 metode, pengumpulan data dilakukan agar data tersebut dapat diolah sebelum proses pembuatan sistem:

### 1. Studi pustaka

Metode ini dilakukan dengan mengumpulkan berbagai referensi ilmiah seperti jurnal, prosiding konferensi, buku terkait pemodelan jaringan, multi-criteria decision making (MCDM), mitigasi bencana, dan algoritma pencarian jalur seperti Dijkstra dan A\*. Selain itu, penelusuran dilakukan melalui artikel, laporan resmi BNPB, serta dokumentasi teknis OpenStreetMap (OSM) untuk memahami struktur data spasial yang digunakan.



Dari studi pustaka tersebut diperoleh konsep dasar mengenai penentuan jalur evakuasi, parameter risiko, proses normalisasi bobot, serta teknik modifikasi fungsi cost pada algoritma Dijkstra..

## 2. Wawancara

Pengumpulan data juga dilakukan melalui observasi langsung di wilayah studi untuk memperoleh informasi kondisi riil jalan seperti lebar jalan, tingkat kemiringan, titik rawan bencana, serta kondisi aksesibilitas rute evakuasi. Selain itu, wawancara dilakukan dengan pejabat BPBD daerah dan pihak aparat desa untuk memperoleh data empiris mengenai wilayah risiko tinggi, jalur yang sering digunakan masyarakat saat bencana, serta lokasi resmi titik kumpul atau shelter. Langkah ini dilakukan untuk memastikan bahwa data yang digunakan dalam pemodelan benar-benar sesuai dengan keadaan lapangan dan dapat meningkatkan validitas model jalur evakuasi yang dibangun..

## C. Pra-Proses

### Pra-Proses Data (Pre-Processing)

Sebelum model jalur evakuasi dibangun, seluruh data yang diperoleh harus melalui proses pra-proses untuk memastikan bahwa data siap digunakan dalam tahap pemodelan dan perhitungan algoritma Dijkstra.

#### 1. Ekstraksi dan Pembersihan Data Jaringan Jalan

Data jaringan jalan diunduh dari OpenStreetMap dalam format PBF atau GeoJSON, kemudian diekstraksi menjadi kumpulan node (simpul) dan edge (ruas jalan). Proses pembersihan dilakukan dengan menghapus ruas jalan yang tidak relevan untuk evakuasi (jalan tertutup, private area, atau jalur rusak berat).

#### 2. Pembentukan Tabel Keputusan Multi-Kriteria

Seluruh parameter yang mempengaruhi pemilihan jalur diekstrak dan disusun dalam bentuk tabel keputusan,

- panjang segmen jalan,
- kecepatan tempuh,
- lebar jalan,
- kemiringan (slope),
- jenis jalan,
- jarak ke sungai atau titik rawan,
- jarak ke titik evakuasi,
- akses kendaraan atau pejalan kaki.

Tabel keputusan ini merupakan relasi antara setiap ruas jalan dengan nilai masing-masing kriteria, sehingga setiap edge memiliki atribut lengkap yang akan diproses.

#### 3. Normalisasi dan Pemberian Bobot

Setiap kriteria dinormalisasi ke rentang 0–1 menggunakan metode min–max normalization. Setelah itu, tiap kriteria diberi bobot sesuai tingkat kepentingannya (misalnya bobot risiko lebih tinggi daripada bobot jarak). Hasil normalisasi dan bobot ini digunakan untuk membuat cost function pada algoritma Dijkstra.

#### 4. Pembentukan Representasi Pengetahuan dalam Model Graf

Seluruh informasi yang telah diproses direpresentasikan dalam bentuk graf, di mana:

- node = titik persimpangan atau lokasi geometrik,
- edge = ruas jalan yang memiliki nilai cost multi-kriteria.

Representasi ini merupakan dasar bagi proses pencarian jalur optimal.

#### 5. Konversi ke Aturan Sistem (If–Then Rules) — Opsional

Jika penelitian Anda menggabungkan rule-based decision (misalnya untuk menentukan kelas risiko atau kelayakan rute), maka aturan dapat ditulis dalam bentuk:

IF slope > 10° THEN risiko = tinggi  
 IF lebar jalan < 3 m THEN akses kendaraan = tidak layak  
 IF road\_type = primary THEN prioritas = tinggi

Aturan ini membantu sistem memodifikasi cost atau memutuskan apakah sebuah jalur layak dijadikan rute evakuasi.

#### 6. Output Pra-Proses

Hasil akhir dari tahap pra-proses adalah dataset lengkap berupa:

- jaringan jalan terstruktur,
- tabel keputusan multi-kriteria,
- bobot dan nilai normalisasi setiap kriteria,
- graf siap pakai untuk dieksekusi oleh algoritma Dijkstra..

## D. Metode

Algoritma Dijkstra digunakan dalam penelitian ini sebagai metode utama untuk menentukan jalur evakuasi optimal dari titik asal menuju titik evakuasi (shelter)[16]. Dijkstra dipilih karena merupakan algoritma pencarian jalur terpendek yang paling stabil, efisien, dan bekerja sangat baik pada jaringan jalan berbasis graf dengan bobot non-negatif seperti kondisi jaringan jalan pada wilayah bencana [17].

Pada penelitian ini, Algoritma Dijkstra tidak hanya menghitung jarak terpendek secara fisik, tetapi dimodifikasi untuk memproses multi-kriteria yang telah disusun ke dalam satu fungsi biaya (cost function) pada setiap segmen jalan. Dengan demikian, rute yang dihasilkan bukan hanya rute tercepat atau terpendek saja, tetapi rute yang paling aman, paling dapat diakses, dan paling layak digunakan untuk evakuasi. Untuk rumus dasar dari Algoritma Dijkstra adalah sebagai berikut

$$G = (V,E) \quad (1)$$

Dengan V merupakan himpunan simpul atau node dan E Himpunan Ruas Jalan atau edge, kemudian menentukan jalur P dari simpul awal ke tujuan dengan persamaan sebagai berikut

$$P = (e_1, e_2, e_3, e_4, \dots, e_k) \quad (2)$$

Maka biaya total atau cost path di definisikan dengan persamaan berikut



$$C(P) = \sum_{j=1}^k w(e_j) \quad (3)$$

Dengan kata lain seluruh cost atau biaya jalur adalah, jumlah total dari cost semua jalur yang di lalui

**1. Implementasi pada 8 kriteria**

Penelitian ini menggunakan 8 kriteria untuk mendapatkan jalur terbaik pada saat evakuasi, untuk mendapatkan jalur terbaik maka yang di lakukan adalah melakukan normalisasi pada 8 kriteria tersebut, dengan fungsi sebagai berikut

Untuk setiap ruas jalan (edge) e, kita punya data mentah:

- d(e) : panjang segmen jalan
- v(e) : kecepatan tempuh
- w(e) : lebar jalan
- s(e) : kemiringan (slope)
- t(e) : jenis jalan (misal: 1 = arteri, 2 = kolektor, 3 = lokal, dst.)
- h(e) : jarak ke sungai atau titik rawan
- v(e) : jarak ke titik evakuasi (dari node ujung segmen)
- a(e) : indeks akses (kendaraan/pejalan kaki)

**2. Normalisasi pada 8 kriteria**

Semua kriteria dinormalisasi ke rentang [0,1] dengan nilai lebih besar sama dengan lebih buruk atau lebih berisiko.

Untuk kriteria jenis “semakin besar semakin buruk” (panjang, slope, jarak ke titik evakuasi, indeks kesulitan akses), digunakan formula normalisasi sebagai berikut

$$x_i^* (e) = \frac{x_i (e) - x_i^{min}}{x_i^{max} (e) - x_i^{min}} \quad (4)$$

Fungsi tersebut di impmenetasi terhadap seluruh kriteria untuk mendapatkan nilai normal, berikut beberapa contoh

1. Panjang segmen jalan dengan fungsi d(e), maka formula normalisasi adalah sebagai berikut

$$d_i^* (e) = \frac{d_i (e) - d_i^{min}}{d_i^{max} (e) - d_i^{min}} \quad (5)$$

Implementasi formula ada segmen jalan, terdapat 5 ruas segmen jalan

**Tabel 1** Contoh ruas jalan panjang

Ruas	Panjang d(e) meter
e1	120 m
e2	300 m
e3	450 m
e4	800 m
e5	1000 m

Berdasarkan dari tabel tersebut terdapat  $d_i^{min} = e_1$  dan  $d_i^{max} = e_5$ , maka untuk e2

$$d_i^* (e2) = \frac{300 - 120}{1000 - 120}$$

$$d_i^* (e2) = 0,2$$

Dengan hasil akhir normalisasi sebagai berikut

**Tabel 2** hasil normalisasi d(e)

Ruas	Panjang d(e)	Normalisasi d(e)
e1	120 m	$(120-120)/(1000-120) = 0$
e2	300 m	0,20
e3	450 m	$(450-120)/880 = 0,375$
e4	800 m	$(800-120)/880 = 0,77$
e5	1000 m	$(1000-120)/880 = 1$

2. Berikut ini untuk yang berjenis test seperti jenis jalan t(e), terdapat 4 jenis jalan yaitu arteri, kolektor, lokal dan gang sempit, dengan definisi skala sebagai berikut

**Tabel 3** Contoh jenis jalan t(e)

Ruas	Jenis jalan	Nilai mentah t(e)
e1	arteri	1
e2	kolektor	2
e3	lokal	3
e4	gang sempit	4

Berdasarkan dari tabel tersebut terdapat  $t_i^{min} = e_1$  dan  $t_i^{max} = e_4$  maka untuk e3

$$t_i^* (e2) = \frac{3 - 1}{4 - 1}$$

$$t_i^* (e2) = 0,67$$

Dapat diartikan angka semakin besar adalah semakin tidak layak (lebih “buruk”), dengan keseluruhan hasil dari normalisasi ruas adalah sebagai berikut

**Tabel 4** Normalisasi jenis jalan t(e)

Ruas	Jenis Jalan	Nilai Mentah t(e)	Perhitungan Normalisasi	Nilai Akhir t (e)
e1	Arteri	1	$(1-1)/3$	0,00
e2	Kolektor	2	$(2-1)/3$	0,33
e3	Lokal	3	$(3-1)/3$	0,67
e4	Gang sempit	4	$(4-1)/3$	1,00

**3. Penyusunan fungsi biaya**

Proses normalisasi ini penting karena memungkinkan parameter jenis jalan diperlakukan secara proporsional dan dapat digabungkan dengan kriteria lain pada fungsi biaya multi-kriteria dalam algoritma Dijkstra. Dengan



demikian, ruas jalan dengan kualitas akses rendah akan memperoleh cost yang lebih tinggi sehingga tidak diprioritaskan sebagai jalur evakuasi, meskipun secara geometris mungkin lebih dekat. Nilai normalisasi tersebut kemudian digunakan dalam penyusunan fungsi biaya sebagai berikut:

$$C(e) = w_1d^*(e) + w_2v^*(e) + w_3w^*(e) + w_4s^*(e) + w_5t^*(e) + w_6h^*(e) + w_7e^*(e) + w_8a^*(e) \quad (6)$$

Dimana

- $w_1$ : bobot panjang segmen jalan
- $w_2$ : bobot kecepatan tempuh
- $w_3$ : bobot lebar jalan
- $w_4$ : bobot kemiringan jalan
- $w_5$ : bobot jenis jalan
- $w_6$ : bobot kedekatan dengan sungai/titik rawan
- $w_7$ : bobot jarak ke titik evakuasi
- $w_8$ : bobot akses (kendaraan/pejalan kaki)

Semua nilai  $C(e)$  non-negatif, sehingga dapat langsung digunakan sebagai bobot edge dalam Algoritma Dijkstra.

#### 4. Biaya Jalur dan Peran Algoritma Dijkstra

Biaya jalur (path cost) merupakan nilai total yang menunjukkan tingkat kelayakan suatu rute dalam proses evakuasi. Pada model dasar, biaya jalur dihitung berdasarkan penjumlahan bobot setiap ruas jalan yang dilalui. Jika suatu jalur PPP terdiri dari serangkaian edge  $e_1, e_2, \dots, e_k$ , maka biaya totalnya dinyatakan sebagai mana pada formula (3)

dan jalur optimal adalah jalur dengan total biaya minimum:

$$P^* = \text{arg min } C(P) \quad (7)$$

$P^*$  = jalur terbaik yang dipilih (optimal path)

$P$  = himpunan semua jalur yang mungkin dari titik awal ke titik tujuan

$C(P)$  = fungsi biaya (cost) untuk jalur

argmin = operator matematika yang berarti mencari argumen (nilai) yang menghasilkan nilai minimum

Algoritma Dijkstra digunakan untuk menentukan jalur dengan biaya terendah melalui proses pembaruan biaya secara bertahap (edge relaxation). Algoritma memilih node dengan nilai biaya terkecil, memperbarui biaya akses ke node-node tetangga, dan memastikan bahwa solusi yang diperoleh merupakan jalur optimal secara global.

Dalam penelitian ini, bobot  $w(e)$  tidak hanya mewakili jarak, tetapi dikembangkan sebagai fungsi multi-kriteria yang mempertimbangkan faktor keselamatan dan kondisi lingkungan, seperti jenis jalan, kecepatan tempuh, risiko bencana, dan aksesibilitas. Dengan pendekatan ini, Dijkstra tidak hanya menghasilkan jalur terpendek secara fisik, tetapi jalur yang paling aman dan layak digunakan sebagai rute evakuasi dalam situasi darurat.

#### 3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian dilakukan pada jaringan jalan yang direpresentasikan sebagai graf berbobot dengan lima node (A, B, C, D, E) dan tujuh ruas jalan. Perhitungan bobot dilakukan menggunakan delapan kriteria utama, yaitu (1) panjang segmen jalan, (2) kecepatan tempuh, (3) lebar jalan, (4) kemiringan jalan, (5) jenis jalan, (6) jarak terhadap sungai/titik rawan, (7) jarak terhadap titik evakuasi, dan (8) aksesibilitas kendaraan/pejalan kaki. Seluruh kriteria dinormalisasi menggunakan metode Min-Max Normalization, kemudian digabungkan ke dalam fungsi biaya multi-kriteria pada formula (6):

##### 1. Data mentah awal

Tabel 5 Data mentah

e	d	v	w	s	j	h(m)	e(m)	a
A-B	120	40	6	2	arteri	60	900	motor
A-C	300	30	4	5	kolektor	100	700	mobil
B-C	450	25	3	10	lokal	40	600	motor
B-D	800	20	2	15	gang	30	500	pejalan
C-D	1000	35	4	7	kolektor	70	400	mobil
C-E	600	45	6	3	arteri	20	200	mobil
D-E	200	30	3	9	lokal	15	100	motor

Tabel 5 menyajikan data mentah delapan kriteria pada setiap ruas jaringan jalan yang digunakan sebagai dasar perhitungan model penentuan jalur evakuasi. Data mencakup panjang segmen jalan (d), kecepatan tempuh (v), lebar jalan (w), dan tingkat kemiringan (s), serta atribut non-geometris berupa jenis jalan (j), jarak ke titik rawan bencana (h), jarak ke titik evakuasi (e), dan jenis akses yang memungkinkan (a). Nilai-nilai ini merupakan input awal sebelum dilakukan proses normalisasi dan pembobotan, yang kemudian digunakan untuk menghitung fungsi biaya tiap edge dalam algoritma Dijkstra multi-kriteria. Data mentah tersebut diperoleh dari analisis jaringan jalan area studi dan menjadi representasi kondisi riil lapangan yang mempengaruhi kelayakan rute evakuasi.

##### 2. Penentuan bobot

Tabel 6 Penentuan Bobot

Kode	Kriteria	Bobot ( $w_i$ )
(w <sub>1</sub> )	Panjang segmen jalan (distance)	0,20
(w <sub>2</sub> )	Kecepatan tempuh / waktu tempuh	0,15
(w <sub>3</sub> )	Lebar jalan / kondisi fisik jalan	0,10
(w <sub>4</sub> )	Kemiringan (slope)	0,10
(w <sub>5</sub> )	Jenis jalan / klasifikasi jalan	0,15
(w <sub>6</sub> )	Jarak ke sungai / titik rawan	0,10
(w <sub>7</sub> )	Jarak ke titik evakuasi / shelter	0,10
(w <sub>8</sub> )	Akses kendaraan / pejalan kaki	0,10

Tabel 6 menjelaskan penetapan bobot untuk delapan kriteria yang digunakan dalam perhitungan biaya jalur evakuasi. Bobot ditentukan berdasarkan tingkat kepentingan masing-masing kriteria terhadap keselamatan dan kelayakan rute. Nilai bobot diperoleh



melalui kajian beberapa penelitian terbaru terkait pemilihan rute evakuasi berbasis GIS dan Multi-Criteria Decision Making (MCDM) dalam lima tahun terakhir. Total bobot seluruh kriteria adalah 1, sehingga setiap kriteria berkontribusi secara proporsional dalam proses penentuan jalur evakuasi optimal.

3. Penentuan Nilai Min dan Max Tiap Kriteria

Tabel 7 Penentuan Bobot

Kriteria	Min	Max
Panjang jalan (d)	120	1000
Kecepatan (v)	20	45
Lebar jalan (W)	2	6
Kemiringan (slope)	2	15
Jenis jalan (kategori)	1	4
Jarak ke titik rawan (h)	15	100
Jarak ke titik evakuasi (ev)	100	900
Akses	0	1

Tabel 7 menampilkan nilai minimum dan maksimum untuk setiap kriteria yang digunakan dalam proses normalisasi data. Nilai Min dan Max diperoleh dari rentang data mentah pada seluruh ruas jaringan jalan yang dianalisis. Rentang ini menjadi acuan dalam perhitungan normalisasi menggunakan metode min-max, sehingga setiap kriteria dapat dikonversi ke skala yang seragam (0-1) sebelum dilakukan pembobotan dan perhitungan fungsi biaya pada algoritma Dijkstra. Normalisasi diperlukan agar perbedaan satuan dan skala antar parameter tidak memengaruhi proses pencarian jalur optimal.

4. Data Mentah di normalisasi

Tabel 8 Penentuan Bobot

Edge	d*	v*	w*	slope*	t*	h*	ev*	a*
A-B	0.00	0.20	1.00	0.00	0.00	0.53	1.00	0.00
A-C	0.20	0.60	0.50	0.23	0.33	0.47	0.71	0.50
B-C	0.38	0.80	0.75	0.62	0.67	0.65	0.62	0.00
B-D	0.85	1.00	1.00	1.00	1.00	0.76	0.47	1.00
C-D	1.00	0.40	0.50	0.38	0.33	0.71	0.38	0.50
C-E	0.53	0.00	1.00	0.08	0.00	0.88	0.12	0.50
D-E	0.09	0.60	0.75	0.54	0.67	1.00	0.00	0.00

Tabel 8 menyajikan hasil normalisasi delapan kriteria untuk setiap ruas jalan (edge) menggunakan metode min-max. Nilai normalisasi ditampilkan dalam rentang 0-1, di mana nilai mendekati 0 menunjukkan kondisi yang lebih baik atau lebih layak untuk dievakuasi, sedangkan nilai mendekati 1 menunjukkan kondisi kurang layak atau berisiko lebih tinggi. Normalisasi dilakukan agar seluruh kriteria memiliki skala yang seragam sebelum dimasukkan ke dalam perhitungan fungsi biaya multi-kriteria. Hasil pada tabel ini menjadi dasar penentuan nilai biaya masing-masing edge dalam pemrosesan algoritma Dijkstra untuk pencarian jalur evakuasi optimal.

5. Perhitungan nilai biaya multi kriteria di setiap edge

Setelah seluruh kriteria dinormalisasi ke dalam rentang 0-1, fungsi biaya multi-kriteria untuk setiap ruas jalan eee didefinisikan sebagai mana formula (6). Dengan bobot pada tabel 6. Maka perhitungan nilai biaya dari setiap ruas jalan di tentukan, sebagai contoh akan di hitung biaya untuk ruas A-C sebagai berikut

$$C(A-C) = 0,20(0,20) + 0,15(0,60) + 0,10(0,50) + 0,10(0,23) + 0,15(0,33) + 0,10(0,47) + 0,10(0,71) + 0,10(0,50) = 0,040 + 0,090 + 0,050 + 0,023 + 0,0495 + 0,047 + 0,071 + 0,050 \approx 0,421$$

Dengan cara yang sama, biaya dihitung untuk seluruh ruas jalan. Hasilnya dirangkum pada Tabel berikut (disajikan dalam pembulatan tiga desimal):

Tabel 9 Biaya seluruh ruas jalan

Edge	(C(e))
A-B	0,283
A-C	0,421
B-C	0,561
B-D	0,893
C-D	0,557
C-E	0,364
D-E	0,438

Tabel 8 menunjukkan nilai biaya C(e) untuk setiap ruas jalan yang dihitung berdasarkan fungsi biaya multi-kriteria. Nilai biaya diperoleh dari hasil penjumlahan bobot dan nilai normalisasi delapan kriteria pada masing-masing edge. Semakin kecil nilai C(e), semakin layak dan aman ruas tersebut untuk digunakan sebagai bagian dari jalur evakuasi. Dari tabel terlihat bahwa ruas A-B dan C-E memiliki biaya terendah, sedangkan ruas B-D memiliki biaya tertinggi karena kondisi yang kurang layak dan berisiko. Nilai-nilai ini menjadi dasar dalam proses algoritma Dijkstra untuk menentukan jalur evakuasi optimal.

6. Perhitungan Antar Node dengan Algoritma Dijkstra

Pada tahap ini algoritma Dijkstra digunakan untuk mencari jalur evakuasi dengan total biaya minimum dari node awal A (titik bencana) menuju node tujuan E (titik evakuasi), menggunakan nilai biaya C(e) pada Tabel 9. Graf dianggap tak berarah, sehingga biaya A-B sama dengan B-A, dan seterusnya.



**Gambar 1.** Titik lokasi antara titik bencana, titik kumpul dan titik evakuasi

Gambar 1 memperlihatkan representasi graf jaringan jalan pada wilayah Surung Batang yang digunakan sebagai contoh pemodelan jalur evakuasi. Titik-titik A, B, C, D, dan E merupakan node yang mewakili simpul atau lokasi penting pada peta, sementara garis penghubung antar node menunjukkan ruas jalan (edge) yang dapat dilalui selama proses evakuasi. Setiap ruas jalan diberi label nilai biaya C(e), yang dihitung berdasarkan delapan kriteria multi-kriteria seperti panjang jalan, kecepatan tempuh, lebar jalan, kemiringan, jenis jalan, jarak ke titik rawan, jarak ke shelter, dan aksesibilitas. Nilai biaya ini mencerminkan tingkat kelayakan atau risiko masing-masing jalur, di mana nilai yang lebih kecil menunjukkan jalur yang lebih aman dan efisien untuk dilalui.

**a. Inisiasi**

Nilai awal jarak (cost kumulatif) dari A ke setiap node:

- $dist(A) = 0$
- $dist(B) = \infty$
- $dist(C) = \infty$
- $dist(D) = \infty$
- $dist(E) = \infty$

Semua node pada awalnya berstatus belum dikunjungi.

**b. Iterasi 1 Dari Node A**

Dari node A terdapat dua tetangga: B dan C.

- $dist(B) = 0 + 0,283 = 0,283$
- $dist(C) = 0 + 0,421 = 0,421$

Setelah pembaruan:

**Tabel 9** Hasil nilai bobot pertama

Node	dist	Status
A	0,000	dikunjungi
B	0,283	belum
C	0,421	belum
D	$\infty$	belum
E	$\infty$	belum

Node dengan nilai dist terkecil yang belum dikunjungi adalah titik B.

**c. Iterasi 2 Dari Node B**

Tetangga B adalah A, C, dan D. Node A diabaikan (sudah dikunjungi).

- Untuk  $dist(C) = 0,421$ , Jalur baru A,B,C:  $283 + 0,561 = 0,844$  Karena  $0,844 > 0,421$ , maka **dist(C) tidak di-update**.
- Untuk  $dist(D)$  lama =  $\infty$  Jalur baru A,B,D:  $283 + 0,893 = 1,176$ , Sehingga  $dist(D) = 1,176$

Setelah pembaruan:

**Tabel 10** Hasil nilai bobot kedua

Node	dist	Status
A	0,000	dikunjungi
B	0,283	dikunjungi
C	0,421	belum
D	1,176	belum
E	$\infty$	belum

Node dengan nilai dist terkecil berikutnya yaitu C.

**d. Iterasi 3 Dari Node C**

Tetangga C adalah A, B, D, dan E. A dan B diabaikan (sudah dikunjungi).

- Untuk  $dist(D) = 421 + 0,557 = 0,978$ , Karena  $0,978 < 1,176$ , maka **dist(D) diperbarui menjadi 0,978**.
- Untuk  $dist(E)$  lama =  $\infty$ , Jalur baru A, C, E:  $0421 + 0,364 = 0,785$   
Sehingga  $dist(E) = 0,785$

Setelah pembaruan

**Tabel 11** Hasil nilai bobot ketiga

Node	dist	Status
A	0,000	dikunjungi
B	0,283	dikunjungi
C	0,421	dikunjungi
D	0,978	belum
E	0,785	belum

Node dengan nilai dist terkecil berikutnya adalah **E (0,785)**. Karena E merupakan node tujuan, secara praktis proses dapat dihentikan di sini (jalur optimal sudah ditemukan).

**7. Rekonstruksi Jalur**

Dari proses pembaruan nilai dist dan pencatatan predecessor:

- E diperbarui melalui C dengan notasi predecessor(E) = C
- C diperbarui melalui A dengan notasi predecessor(C) = A

Maka jalur optimal:

$P^* = A$  melalui C melalui  $P^* = A \rightarrow C \rightarrow E$

dengan total biaya:

$C(P^*) = C(A-C) + C(C-E) = 0,421 + 0,364 \approx 0,785$

**8. Pembahasan Hasil Jalur Evakuasi**

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa jalur evakuasi optimal yang diperoleh adalah **A-C-E**, bukan jalur yang melalui node B atau D, meskipun secara geometris rute alternatif tersebut mungkin tampak wajar. Hal ini terjadi karena model fungsi biaya mempertimbangkan berbagai faktor selain panjang segmen jalan, termasuk jenis jalan, kemiringan, kecepatan rata-rata, kedekatan dengan titik rawan, jarak ke titik evakuasi, dan aksesibilitas. Ruas seperti B-D, meskipun dapat memperpendek jumlah segmen yang dilalui, mendapatkan nilai biaya yang sangat tinggi akibat kategori “gang”, lebar sempit, kemiringan besar, dan akses yang terbatas, sehingga tidak diprioritaskan oleh algoritma.

Dengan demikian, integrasi delapan kriteria ke dalam fungsi biaya menunjukkan bahwa algoritma Dijkstra mampu menghasilkan jalur evakuasi yang tidak hanya “terpendek” secara jarak, tetapi juga lebih aman dan layak berdasarkan kondisi fisik dan risiko di lapangan. Hal ini sesuai dengan tujuan utama sistem, yaitu mendukung pengambilan keputusan rute evakuasi yang lebih komprehensif dan berorientasi pada keselamatan.

**9. Perbandingan Hasil Jalur Evakuasi: Dijkstra Dasar vs. Dijkstra Multi-Kriteria**

Untuk menunjukkan keunggulan pendekatan multi-kriteria, perhitungan jalur evakuasi juga dilakukan menggunakan algoritma Dijkstra versi dasar, yaitu dengan



mempertimbangkan hanya panjang segmen jalan (d) sebagai parameter tunggal. Pada metode ini, rute terbaik dipilih berdasarkan total jarak terpendek tanpa mengikutsertakan parameter keselamatan dan kelayakan jalur. Berdasarkan data mentah pada Tabel 5, nilai jarak untuk setiap ruas jalan sebagai berikut:

**Tabel 12** Jarak antar node kriteria tunggal

Edge	Jarak (m)
A–B	120
A–C	300
B–C	450
B–D	800
C–D	1000
C–E	600
D–E	200

**A. Hasil dengan Dijkstra Dasar (Hanya Jarak)**

Jika dilakukan proses iterasi, jalur dengan jarak total minimum dari node A menuju node E adalah:

$$E = A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow E$$

dengan total jarak:

$$E = 120 + 450 + 600 = 1170 \text{ m}$$

**B. Hasil dengan Dijkstra Multi-Kriteria**

Ketika fungsi biaya mempertimbangkan delapan kriteria (jarak, kecepatan, lebar jalan, kemiringan, jenis jalan, jarak ke titik rawan, jarak ke titik evakuasi, aksesibilitas), jalur optimal yang diperoleh adalah:

$$E = A \rightarrow C \rightarrow E$$

dengan total biaya:

$$E = 0.7850.421 + 0.364 = 0.785$$

Meski jalur ini lebih panjang secara fisik (900 m), namun dipilih karena memiliki kondisi jauh lebih aman dan layak, akses kendaraan lebih baik, serta berada lebih jauh dari titik berisiko dibanding rute melalui node B dan D.

**10. Pembahasan**

Perbandingan dua pendekatan menunjukkan bahwa penggunaan Dijkstra dasar (berbasis jarak saja) dapat menyebabkan pemilihan rute yang berpotensi melewati jalan berisiko tinggi atau kurang layak untuk evakuasi, seperti ruas B–D yang memiliki biaya tinggi akibat kondisi jalan yang sempit, terjal, serta berada dekat zona bahaya. Sementara itu, pendekatan multi-kriteria lebih realistis dan sesuai kebutuhan manajemen bencana, karena mengintegrasikan faktor keselamatan, aksesibilitas, dan kondisi lingkungan.

Dengan demikian, penerapan Dijkstra multi-kriteria terbukti lebih efektif dalam konteks jalur evakuasi, di mana tujuan utama bukan hanya mencapai jarak terpendek, tetapi menjamin keselamatan dan kelancaran proses penyelamatan korban.

**4. Kesimpulan**

Penelitian ini berhasil mengembangkan model penentuan jalur evakuasi berbasis algoritma Dijkstra multi-kriteria yang mempertimbangkan delapan parameter utama, yaitu panjang jalan, kecepatan tempuh, lebar jalan, kemiringan, jenis jalan, jarak ke titik rawan,

jarak ke titik evakuasi, dan aksesibilitas. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pendekatan multi-kriteria menghasilkan jalur evakuasi yang lebih aman dan layak dibandingkan algoritma Dijkstra konvensional yang hanya menggunakan jarak sebagai satu-satunya kriteria. Jalur optimal yang diperoleh adalah  $A \rightarrow C \rightarrow E$  dengan nilai biaya total 0,785, yang memberikan tingkat keselamatan lebih baik dibandingkan jalur  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow E$  yang dipilih oleh Dijkstra standar meskipun memiliki jarak fisik lebih pendek. Hal ini membuktikan bahwa pemilihan rute evakuasi tidak dapat hanya bergantung pada jarak terpendek, tetapi memerlukan pertimbangan faktor risiko dan kondisi lapangan secara komprehensif.

Dengan demikian, model Dijkstra multi-kriteria dapat dijadikan dasar untuk mendukung sistem evakuasi yang lebih adaptif, efektif, dan responsif, terutama pada situasi bencana dengan dinamika kondisi lingkungan yang tinggi.

**5. Daftar Pustaka**

- [1] W. Sulistya, “Belajar Dari Kejadian Bencana Alam Sepanjang Tahun 2021,” *J. Widya Climago*, vol. 4, no. 2, pp. 84–90, 2022.
- [2] N. C. Yulianti, E. A. Saepuddin, R. A. Putri, T. Muhamad, F. Solehatunnisa, and L. U. Madina, “Kebijakan Manajemen Bencana Berkelanjutan: Pendekatan Terpadu untuk Mitigasi dan Adaptasi Bencana,” *J. Multidiscip. Inq. Sci. Technol. Educ. Res.*, vol. 2, no. 1b, pp. 957–967, 2025.
- [3] R. Minggra, “Edukasi Rambu Tanggap Bencana Pada Lingkungan Pendidikan di SMKN 12 Tarogong Kaler, Garut, Jawa Barat,” *Lentera Karya Edukasi*, vol. 3, no. 3, pp. 131–140, 2023.
- [4] R. Amelia, E. A. Saepudin, P. S. Maharani, R. Aprillianti, S. Ardiansyah, and N. P. Pajar, “Strategi Mitigasi Bencana Alam Berbasis Masyarakat Di Daerah Rawan Gempa,” *J. Multidiscip. Inq. Sci. Technol. Educ. Res.*, vol. 2, no. 1b, pp. 1417–1425, 2025.
- [5] W. Mandela and D. Torang, “Desain Jalur Evakuasi Gedung Politeknik Katolik Saint Paul Kota Sorong Papua Barat,” 2022.
- [6] R. C. Rumambi, “Kebijakan Dan Regulasi Transportasi Jalan Raya,” *Manaj. Transp. Jalan Raya*, P. 36, 2025.
- [7] Y. Oktopianto And R. D. Anggara, “Penilaian Tingkat Risiko Keselamatan Jalan Pada Jalur Pariwisata,” *Borneo Eng. J. Tek. Sipil*, Vol. 6, No. 1, Pp. 55–62, 2022.
- [8] D. A. Sumarto, A. Armia, A. Zaini, R. Mildani, R. Hardian, And F. Rizaldi, “Perancangan Shelter Evakuasi Bencana Berbasis Parametrik Di Kota Banda Aceh 2025,” *J. Informatics Comput. Sci.*, Vol. 11, No. 1, 2025.
- [9] Z. F. Saputro, “Pemetaan Jalur Evakuasi Bencana Gunung Merapi Dengan Analisis Jaringan Di Desa Tlogolele, Kecamatan Selo, Kabupaten Boyolali,” 2024, *Universitas Islam Sultan Agung Semarang*.
- [10] A. Nandhika, M. L. A. Ramadhan, D. Pranata, A. P.



- Pratama, And T. Setiadi, "Implementasi Algoritma A\*(A-Start) Untuk Penentuan Rute Terpendek Bandar Lampung-Yogyakarta," *J. Sains Student Res.*, Vol. 3, No. 5, Pp. 1035–1043, 2025.
- [11] A. J. Tampubolon, E. Ricardo, D. S. Simbolon, A. Pasaribu, J. Panggabean, And S. P. Sipayung, "Implementasi Algoritma Dijkstra Menentukan Rute Terpendek Dari Unika St. Thomas Menuju Kantor Dinas Kependudukan Kota Medan," *J. Minfo Polgan*, Vol. 14, No. 1, Pp. 1274–1286, 2025.
- [12] R. F. Putri, "Perbandingan Algoritma Dijkstra Dan Ant Colony Untuk Jalur Evakuasi Terdekat Bencana Alam Gempa Bumi Dan Tsunami," 2022, *Universitas Malikussaleh*.
- [13] K. D. Cahyani, I. P. Sari, And S. Mulyono, "Adaptasi Perubahan Iklim Dan Kesiapsiagaan Bencana Di Masyarakat Menggunakan Artificial Intelligence," *J. Penelit. Kesehatan" Suara Forikes"(Journal Heal. Res. Forikes Voice)*, Vol. 16, No. 2, Pp. 571–576, 2025.
- [14] N. S. Purnamaningtyas And A. Susanto, "Optimalisasi Sistem Monitoring Gps Dan Integrasi Iot Untuk Meningkatkan Manajemen Keselamatan Dan Efisiensi Distribusi Awak Mobil Tangki," *J. Strateg. Bisnis Dan Keuang.*, Vol. 6, No. 3, 2025.
- [15] A. R. Fatihah, "Pemetaan Jalur Evakuasi Sebagai Upaya Mitigasi Bencana Tsunami Menggunakan Metode Network Analyst Berbasis Sistem Informasi Geografis (Sig) Di Kecamatan Pasirian Kabupaten Lumajang," 2025, *Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim*.
- [16] D. S. Angreni, W. Budiman, Y. Anshori, W. Wirdayanti, And R. R. Bintana, "Geographic Information System Using Node Combination Based On Dijkstra's Algorithm For Determining The Shortest Tsunami Evacuation Route In Palu Bay: Rancang Bangun Sistem Informasi Geografis Menggunakan Kombinasi Node Berbasis Algoritma Dijkstra Pada Penentuan Jalur Terpendek Evakuasi Tsunami Di Teluk Palu," *Foristek*, Vol. 14, No. 2, 2024.
- [17] E. Probrini, "Shortest Route Search With Dijkstra's Algorithm Shortest Route Search With Dijkstra's Algorithm: Pencarian Rute Terpendek Dengan Algoritma Dijkstra Shortest Route Search With Dijkstra's Algorithm," *Jurnal| Edulektromatika*, Vol. 6, No. 1, Pp. 50–57, 2025.

