

# Penentuan Rute Evakuasi Tsunami di Pantai Pangandaran dengan Algoritma A\*

Alif Bhadraka Parikesit – 13519186<sup>1</sup>  
Program Studi Teknik Informatika  
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika  
Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesha 10 Bandung  
<sup>1</sup>13519186@std.stei.itb.ac.id

**Abstract**—Sebagai negara kepulauan, Indonesia memiliki aset kemaritiman yang melimpah. Luas perairan lautan yang mencapai 71% dari keseluruhan wilayah Indonesia membuat masih banyak masyarakat yang menggantungkan hidupnya dari laut. Laut memberikan nilai ekonomis tidak hanya dari biota-biota laut di dalamnya, melainkan dari sektor pariwisata pun memberikan kontribusi devisa negara dalam jumlah besar. Dibalik keindahan dan nilai ekonomis yang menjanjikan, wilayah pesisir memiliki tingkat kerentanan terhadap bencana alam yang cukup tinggi, mengingat Indonesia berada dalam Cincin Api Pasifik sehingga memiliki aktivitas gempa yang cukup aktif. Ini melatarbelakangi ancaman tsunami yang cukup tinggi di kawasan pesisir. Salah satu kawasan pesisir yang merupakan objek wisata dan pernah mengalami tsunami adalah Pantai Pangandaran. Kerugian yang disebabkan tsunami pada 2006 silam cukup membuat pemulihan terhambat ditambah dengan korban jiwa yang tidak sedikit semakin menambah buruk kerugian yang dialami masyarakat sekita pantai. Oleh karena itu, pada makalah ini akan ditentukan rute evakuasi termangkus sebagai langkah minimal upaya mitigasi bencana tsunami untuk meminimalisir jumlah korban jiwa akibat ancaman tsunami mendatang.

**Keywords**—algoritma A\*, rute evakuasi, tsunami, pangandaran

## I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia. Dengan garis pantai sepanjang 95.181 km, membuat Indonesia sebagai negara dengan garis pantai terpanjang kedua di dunia. Luas perairan laut yang mencapai 71% dari keseluruhan wilayah Indonesia, yaitu 5,8 juta km<sup>2</sup> membuat mata pencaharian masyarakat Indonesia banyak bergantung pada lautan, khususnya masyarakat di wilayah pesisir.

Wilayah pesisir banyak dimanfaatkan sebagai sumber mata pencaharian bagi masyarakat sekitarnya. Tidak hanya untuk mencari sumber daya yang berada di lautan sebagai sumber penghasilan, wilayah pesisir juga kerap dimanfaatkan sebagai objek wisata. Keindahan pantai dan lautan menjadi suatu daya tarik yang cukup mendatangkan keuntungan bagi masyarakat sekitar kawasan pesisir.

Dibalik keindahan dan nilai ekonomis wilayah pesisir, kawasan pesisir merupakan kawasan yang cukup rentan terhadap bencana alam. Salah satu kawasan pesisir dengan kerentanan terhadap bencana alam cukup tinggi adalah

Kabupaten Pangandaran, Jawa Barat. Menurut BPBD Kabupaten Pangandaran, kondisi geografis dan geologis menyebabkan wilayah Pangandaran rentan terhadap bencana gempa bumi, tsunami, dan tanah longsor. Tercatat gempa bumi yang terjadi berada di rentang 6,5-7,8 SR, dengan tiga dari empat gempa bumi disertai tsunami. Tsunami yang paling baru terjadi di Pangandaran terjadi pada 17 Juli 2006 didahului dengan gempa berkekuatan 7,7 SR. Tsunami wilayah selatan pesisir Pantai Pangandaran. WHO mencatat ada sekitar 668 korban jiwa dan 65 orang dinyatakan hilang akibat tsunami pada 2006 silam.

Berdasarkan kerentanan wilayah pesisir Pantai Pangandaran terhadap risiko tsunami tersebut, penulis akan menerapkan algoritma A\* untuk menemukan rute termangkus sebagai titik evakuasi dalam upaya mitigasi bencana alam tsunami di wilayah Pantai Pangandaran. Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat menjadi upaya minimal dalam rangka meminimalisir korban jiwa akibat tsunami mendatang yang mengancam Pantai Pangandaran kedepannya.

## II. LANDASAN TEORI

### A. Graf

Graf dalam struktur diskrit adalah sebuah struktur data yang digunakan untuk merepresentasikan objek-objek diskrit beserta hubungannya dalam antar objek tersebut. Graf memiliki dua komponen utama, yaitu simpul (node) yang merepresentasikan objek-objek pada graf dan dinyatakan sebagai titik, dan sisi (edge) yang merepresentasikan hubungan antar objek graf dan dinyatakan sebagai garis pada graf.

Secara formal, graf didefinisikan dengan notasi  $G = (V, E)$ , dengan  $V$  (vertices atau node) adalah simpul graf dan  $E$  (edges) sebagai sisi penghubung sepasang simpul pada graf.  $V$  dapat ditulis sebagai  $V = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$  dengan  $V$  bukan himpunan kosong dan  $n$  adalah banyak simpul, sedangkan  $E$  dapat ditulis  $E = \{e_1, e_2, e_3, \dots, e_m\}$  dengan  $E$  boleh merupakan himpunan kosong dan  $m$  adalah banyak sisi. Dengan kata lain, dimungkinkan membuat suatu graf yang tidak memiliki sisi dengan jumlah simpul minimal sebanyak satu buah simpul.

Sisi pada graf dinyatakan sebagai pasangan  $e = (v_1, v_2)$  yang berarti sisi  $e$  merupakan sisi yang menghubungkan simpul

v1 dengan simpul v2. Simpul dapat ditulis dengan huruf, angka, maupun kombinasi keduanya. Pada graf, dimungkinkan adanya simpul yang memiliki sisi ke dirinya sendiri yang disebut dengan kalang (loop), kemudian dimungkinkan pula adanya simpul yang memiliki lebih dari satu sisi yang disebut sisi ganda (multiple edges).

### B. Algoritma A\*

Secara umum, algoritma pencarian rute (*route planning*) dibedakan menjadi dua, yaitu *uninformed search* dan *informed search*. Pencarian tanpa informasi atau bisa disebut dengan *blind search* merupakan pencarian rute tanpa ada informasi tambahan yang membantu pencarian sehingga prosedur pencarian berjalan apa adanya secara *brute force* berdasarkan definisi algoritma tersebut. Contoh algoritma tanpa informasi tambahan yaitu algoritma BFS (*Breadth First Search*), DFS (*Depth First Search*), DLS (*Depth Limited Search*), IDS (*Iterative Deepening Search*) dan UCS (*Uniform Cost Search*). Sedangkan *informed search* merupakan prosedur pencarian namun dengan tambahan informasi *state* pencarian yang dapat membuat prosedur pencarian lebih efisien. Contoh algoritma *informed search* adalah algoritma *Greedy Best First Search* dan A\*.

Algoritma *informed search* memanfaatkan pendekatan heuristik dalam menentukan informasi tambahan terkait *state* pencarian yang dapat membantu pencarian menjadi lebih efisien. Kata heuristik sendiri berasal dari kata Yunani yang artinya mencari atau menemukan. Pendekatan heuristik pada algoritma pencarian diartikan sebagai proses mendapatkan nilai estimasi atau perkiraan biaya dari suatu solusi. Biaya yang dimaksud dapat tingkat kesulitan mencapai simpul, harga atau jarak tempuh menuju simpul solusi, atau apapun yang dapat membandingkan kualitas dari suatu simpul pada saat melakukan ekspansi simpul solusi. Pencarian dengan heuristik memiliki kemungkinan tidak *complete* karena pencarian heuristik bersifat selektif dan memandu pencarian hanya ke arah solusi.

Algoritma A\* (dibaca "A-star") ditemukan oleh Bertram Raphael pada 1967 merupakan perbaikan dari algoritma *Best First Search* yang menggunakan pendekatan heuristik fungsi  $h(n)$ , untuk memberikan nilai estimasi jarak tempuh dari simpul  $n$  ke simpul tujuan. A\* hadir dengan menambahkan  $g(n)$ , yaitu jarak tempuh dari simpul awal ke simpul  $n$ . Penambahan ini justru menghasilkan algoritma yang optimal untuk persoalan optimasi seperti mencari rute optimum dengan *cost* terpendek dengan tetap memperhatikan batasan-batasan yang diterapkan pada suatu persoalan.

Fungsi objektif dari algoritma A\* dinyatakan sebagai formula sebagai berikut.

$$f(n) = g(n) + h(n)$$

- $f(n)$ : nilai estimasi total *cost* rute yang melalui simpul  $n$  ke simpul tujuan
- $g(n)$ : nilai total *cost* untuk mencapai simpul  $n$  dari simpul asal

- $h(n)$ : nilai heuristik (atau nilai ongkos untuk mencapai simpul tujuan dari simpul  $n$ ).

Penentuan nilai heuristik tidak boleh sembarangan. Ada kriteria tersendiri untuk mengevaluasi apakah nilai tersebut dapat diterima sebagai nilai terkaan yang *admissible* atau tidak. Suatu nilai bersifat *admissible* jika nilainya tidak melebihi nilai *cost* sebenarnya untuk mencapai simpul tujuan (*overestimates*). Untuk contoh kasus nilai heuristik jarak ke suatu kota, nilai terkaannya tidak boleh melebihi jarak sebenarnya ke kota tersebut. Adapun fungsi untuk mengevaluasi nilai heuristik tersebut adalah sebagai berikut.

$$h(n) \leq h^*(n)$$

- $h(n)$ : nilai heuristik
- $h^*(n)$ : nilai *cost* sebenarnya

Adapun algoritma A\* jika dijabarkan secara poin per poin adalah sebagai berikut.

1. Mula-mula tetapkan simpul start dan simpul tujuan, inialisasi nilai  $f = g + h$  awal
2. Ekspansi simpul start (secara breadth-first/melebar)
3. Hitung nilai  $f(n) = g(n) + h(n)$  tiap simpul yang telah diekspansi
4. Ekspansi simpul yang belum dikunjungi dengan  $f(n)$  minimum
5. Ulangi langkah 3-4 hingga simpul tujuan dikunjungi (dengan  $f(n)$  minimum) atau hingga dapat disimpulkan tidak terdapat path dari simpul start ke simpul tujuan

Perlu digarisbawahi, pada langkah ke-5 pencarian dilakukan hingga simpul tujuan dikunjungi dengan  $f(n)$  minimum. Artinya, jika simpul tujuan telah tercapai, semua simpul hidup yang memiliki nilai fungsi objektif lebih besar dari fungsi objektif  $f(n)$  simpul tujuan dimatikan. Jika masih ada simpul hidup ( $f(n)$  lebih kecil dari  $f(n)$  simpul tujuan yang telah dicapai pertama kali), pencarian dilanjutkan hingga tidak ada lagi simpul hidup (nilai  $f(n)$  lebih kecil dari  $f(n)$  simpul tujuan). Tidak seperti *Best First Search*, algoritma A\* bersifat *complete* dan optimal dengan syarat nilai heuristik *admissible* memenuhi formula di atas.

Sebagai algoritma pencarian solusi optimasi, kompleksitas waktu yang dimiliki A\* adalah eksponensial,  $O(b^m)$ , begitu pula kompleksitas ruangnya dengan  $b$  menyatakan banyak simpul dan  $m$  menyatakan tingkatan pohon pencarian.

### C. Formula Haversine

Ditemukan pertama kali oleh James Andrew pada tahun 1805, formula haversine pertama kali digunakan untuk penelitian "Masalah Utama Astronomi Nautical" oleh Josef de Mendoza y Rios. Formula haversine digunakan untuk menentukan jarak antar dua titik di permukaan *great-circle* berdasarkan koordinat *longitude* dan *latitude*. Berbeda dengan menentukan jarak garis lurus antara dua titik di bidang kartesian yang dapat menggunakan *Euclidean formula*,

sebagai contoh haversine digunakan untuk menghitung dua titik di permukaan bumi yang permukaannya tidak rata 2D melainkan lengkungan besar (*great-circle*). Berikut ini adalah persamaan formula haversine.

$$d = 2r \sin^{-1} \left( \sqrt{\sin^2 \left( \frac{\phi_2 - \phi_1}{2} \right) + \cos(\phi_1) \cos(\phi_2) \sin^2 \left( \frac{\psi_2 - \psi_1}{2} \right)} \right)$$

- $d$ : jarak antara dua titik
- $r$ : jari-jari permukaan lengkung ( $r$  bumi = 6731.0 km)
- $\phi_1, \phi_2$ : *latitude* titik 1 dan 2
- $\psi_1, \psi_2$ : *longitude* titik 1 dan 2

#### D. Kriteria Titik Evakuasi Mitigasi Bencana Tsunami

Sebuah titik evakuasi untuk mitigasi bencana tsunami perlu memenuhi kriteria-kriteria tertentu. Berikut ini adalah metrik untuk mengevaluasi dan mengkaji suatu titik apakah layak atau tidaknya dijadikan titik evakuasi bencana tsunami menurut Jurnal Arsitektur Lansekap “Perencanaan Lanskap Pantai Pangandaran Berbasis Mitigasi Bencana Tsunami.”

Tabel 1. Kriteria Titik Evakuasi Mitigasi Bencana Tsunami

Kriteria	Parameter	Skor	Tingkat Kerentanan
Elevasi	<10 m	5	Sangat tinggi
	10-25 m	4	Tinggi
	25-50 m	3	Sedang
	50-100 m	2	Rendah
Tata Guna Lahan	>100 m	1	Sangat rendah
	Lahan terbangun dari sawah	5	Sangat tinggi
	Kebun, tambak danau	4	Tinggi
	Ladang	3	Sedang
	Semak dan lahan kosong	2	Rendah
Kemiringan	Vegetasi darat dan hutan	1	Sangat rendah
	<2%	5	Sangat tinggi
	2%-10%	4	Tinggi
	10-15%	3	Sedang
	15-40%	2	Rendah
Jarak dari pantai	>45%	1	Sangat rendah
	<500 m	5	Sangat tinggi
	500-1000 m	4	Tinggi
	1000-1500 m	3	Sedang
	1500-3000 m	2	Rendah
Jarak dari sungai	>3000 m	1	Sangat rendah
	<100 m	5	Sangat tinggi
	100-200 m	4	Tinggi
	200-300 m	3	Sedang
	300-500 m	2	Rendah
	>500 m	1	Sangat rendah

### III. IMPLEMENTASI

#### A. Penentuan Titik Aman Evakuasi Pantai Pangandaran

Penentuan titik evakuasi mitigasi bencana tsunami Pantai Pangandaran dilakukan dengan mencari titik dengan tingkat kerentanan (*vulnerability*) terendah. Berdasarkan jurnal Perencanaan Lanskap Pantai Pangandaran Berbasis Mitigasi Bencana Tsunami, kriteria yang menjadi metrik penilaian tingkat kerentanan adalah elevasi, tata guna lahan, kemiringan, jarak dari pantai, dan jarak dari sungai [6].

Berdasarkan penilaian dan hasil analisis penulis terhadap lima variabel penentu tingkat kerentanan tersebut, didapatkan titik dengan koordinat *latitude* -7.690925150024142°, *longitude* 108.65396298155484° dengan elevasi atau ketinggian 11 m dari permukaan laut, tertinggi dari titik-titik di sekitarnya yang hanya berkisar 5-9 m dari permukaan laut. Kemudian dari sisi tata guna lahan, titik ini merupakan lahan perkebunan yang terbuka sehingga memungkinkan dijadikan tempat kerumunan orang. Sedangkan dari sisi jarak dari pantai, jarak garis lurus garis pantai terdekat dan titik ini yaitu 508 m.

#### B. Pendefinisian Graf Berdasarkan Denah Pantai Pangandaran

Sebelum dapat menerapkan algoritma A\* dalam mencari rute evakuasi bencana tsunami dengan lintasan terpendek dari titik lokasi wisata Pantai Pangandaran, ada beberapa komponen yang perlu didefinisikan. Pertama-tama diperlukan pendefinisian graf yang merepresentasikan denah atau peta Pantai Pangandaran. Simpul pada graf menyatakan persimpangan jalan yang saling terhubung atau ujung jalan, sedangkan sisi menyatakan suatu jalan di antara dua persimpangan dengan panjang lintasan antar persimpangan dinyatakan sebagai bobot sisi.

Pendefinisian graf dimulai dengan mengidentifikasi jalan-jalan yang terdapat di denah Pantai Pangandaran. Berdasarkan denah pada gambar 1, nama-nama jalan sebagai sisi-sisi graf yaitu:

- Jl. Pantai Barat (PB)
- Jl. E. Jaga Lautan (EJL)
- Jl. Kidang Pananjung (KP)
- Jl. Pantai Timur (PT)
- Jl. Pasanggrahan (Ps)
- Jl. Kalen Buaya (KB)
- Jl. Pramuka (Pr)
- Jl. Jangilus (Ja)
- Jl. Sumardi (Su)
- Jl. Bulak Laut (BL)
- Jl. Talanca (Ta)
- Jl. Pengadilan Lama (PL)
- Jl. Ps. Ikan (PI)

- Jl. Tembusan (Te)
- Jl. Kakap (Ka)

Selanjutnya, pendefinisian graf dilanjutkan dengan mengidentifikasi persimpangan-persimpangan jalan di denah Pantai Pangandaran sebagai simpul graf. Berdasarkan denah Pantai Pangandaran pada gambar 1 di atas, teridentifikasi simpul graf sebagai berikut.

Tabel 2. Simpul Graf Berdasarkan Denah Pantai Pangandaran

Persimpangan	Simbol	Long	Lat
PB – Ejl	A	-7.7023037253	108.656604281
PB – Ps	B	-7.7013671281	108.656492005
PB – KB	C	-7.6997014479	108.656004764
PB – Pr	D	-7.6960840697	108.654104818
Ejl – KP	E	-7.7023622740	108.657744989
KP – Ps	F	-7.7011340700	108.657766526
KP – Pr	G	-7.696255777	108.657818798
KB – Ps	H	-7.701172320	108.656880092
KB – Pr	I	-7.695970832	108.656113913
Ja – Pr	J	-7.695962267	108.656082040
Su – Pr	K	-7.695713352	108.654910276
PB – BL	L	-7.693265808	108.651137498
Su – BL	M	-7.692811345	108.654937840
PT – Ejl	N	-7.702442504	108.658352021
PT – Ta	O	-7.698507041	108.659192597
KP – Ta	P	-7.698351619	108.657784076
PT – PL	Q	-7.692957661	108.662694751
PL – BL	R	-7.692526706	108.657954317
PT – PI	S	-7.695994340	08.6604676078
PL – PI	T	-7.692378654	108.659362799
Te – PI	U	-7.693854057	108.659677266
Te – KP	V	-7.693857467	108.657893002
KP – Ka	W	-7.694731832	108.657854734
Ja – Ka	X	-7.694320918	108.65616711
KP – BL	Y	-7.692547170	108.657942874
Ja – BL	Z	-7.692655966	108.656313613

Selain 25 simpul di atas, diperlukan juga satu buah simpul sebagai titik kumpul aman jika terjadi bencana tsunami yang ditandai dengan symbol SAFE. Simpul SAFE merupakan titik aman evakuasi dengan koordinat *latitude* - 7.690925150024142°, *longitude* 108.65396298155484°. Selanjutnya yang akan dipilih sebagai titik awal yaitu simpul A dan N. Alasan pemilihan titik ini selain karena intensitas pengunjung yang tinggi, titik ini juga merupakan titik yang paling dekat dengan pantai sebelah barat (A) dan timur (N).

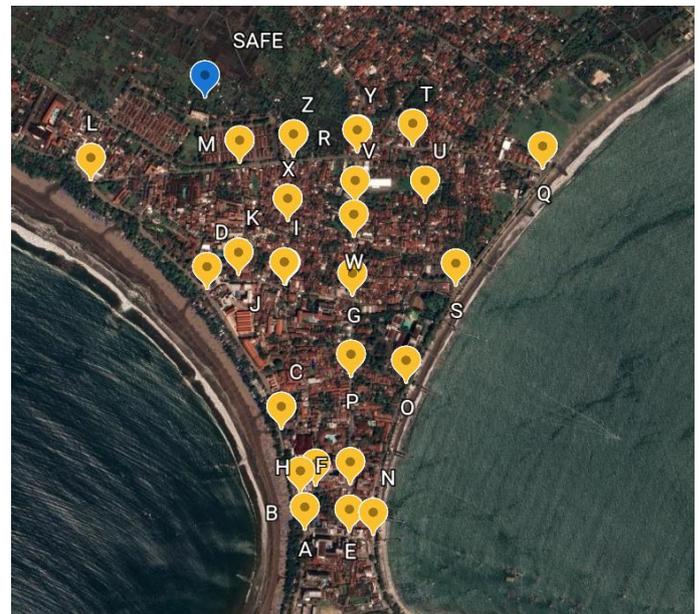


Fig. 1. Identifikasi Simpul-Simpul Graf Berdasarkan Denah Pantai Pangandaran (Sumber: Google Earth)

Setelah mengidentifikasi simpul-simpul pada graf, selanjutnya perlu dilakukan pengukuran jarak tempuh dari suatu simpul atau persimpangan jalan ke persimpangan jalan lainnya sebagai *weight* sisi graf. Berikut ini adalah daftar antar simpul pada graf dalam (km).

Tabel 3. Jarak Tempuh Antar Simpul Graf yang Bertetangga

Simpul I	Simpul II	Cost (km)
A	B	0.105
	E	0.126
B	C	0.193
	H	0.048
C	D	0.453
	H	0.190
	I	0.415
D	K	0.098
	L	0.453
E	F	0.137
	N	0.067
F	H	0.098
	P	0.309
	I	0.191
	J	0.194
G	P	0.233
	W	0.170
	I	0.585
	J	0.004
H	K	0.080
	K	0.132
I	X	0.183
	M	0.323
J	M	0.422
	SAFE	0.406
K	Z	0.153
	R	0.334
	SAFE	0.219
	Y	0.332
L	M	0.422
	O	0.447

O	P	0.156
	S	0.313
Q	S	0.417
	T	0.373
R	T	0.156
	Y	0.003
S	U	0.253
T	U	0.186
	Y	0.158
R	Y	0.003
S	U	0.253
T	U	0.168
	Y	0.158
U	V	0.197
V	W	0.097
	Y	0.146
W	X	0.191
X	Z	0.186
Y	Z	0.180
Z	SAFE	0.323

### C. Nilai $g(n)$

Nilai  $g(n)$  pada kasus pencarian rute evakuasi termangkus di Pantai Pangandaran merupakan *cost* atau jarak tempuh dari simpul akar (A atau N), yang pada kasus ini merupakan kawasan wisata Pantai Pangandaran dengan intensitas pengunjung tertinggi menuju persimpangan jalan  $n$  yang sedang diperiksa saat ini.

$$g(n) = \text{jarak tempuh dari simpul akar ke persimpangan jalan } n$$

### D. Nilai heuristik $h(n)$

Sebagai nilai heuristik atau nilai terkaan supaya algoritma  $A^*$  dapat diterapkan dalam kasus pencarian rute evakuasi termangkus di Pantai Pangandaran, perlu identifikasi nilai fungsi heuristik  $h(n)$ . Pada penelitian ini, penulis menetapkan nilai  $h(n)$  sebagai *great-circle cost* antara simpul  $n$  dan simpul SAFE (titik kumpul evakuasi) dengan formula haversine.

$$h(n) = \text{jarak simpul } n \text{ dan simpul SAFE dengan haversine formula}$$

Pada tabel 3 di bawah ini adalah nilai  $h(n)$  sebagai jarak simpul  $n$  pada setiap simpul graf dengan titik evakuasi SAFE yang dihitung dengan formula haversine dalam km.

Tabel 4. Nilai Heuristik  $h(n)$  Setiap Simpul Pada Graf

Simpul	$h(n)$ (km)
A	1.298284967
B	1.194070762
C	1.001480127
D	0.573858578
E	1.338293786
F	1.210082601
G	0.729293402
H	1.183907132
I	0.609065047
J	0.606827748
K	0.542560231
L	0.405808316
M	0.219445581

N	1.368951753
O	1.021200876
P	0.926937986
Q	0.988378477
R	0.474508822
S	0.911856537
T	0.616589514
U	0.708918955
V	0.542088892
W	0.602561312
X	0.448963026
Y	0.474201028
Z	0.322699379

## IV. PENGUJIAN

Pada tahap sebelumnya, telah teridentifikasi seluruh komponen-komponen yang diperlukan untuk menerapkan algoritma  $A^*$  dalam pencarian rute evakuasi termangkus sebagai langkah mitigasi tsunami Pantai Pangandaran, yaitu nilai  $h(n)$ ,  $g(n)$ , dan pendefinisian denah pantai sebagai graf berbobot. Selanjutnya, pada bagian ini akan dilakukan pengujian algoritma  $A^*$  pada data-data yang telah teridentifikasi di atas.

Tabel 5. Tabel Pembangkitan Simpul Ekspan  $A^*$

Simpul Ekspan	Simpul Hidup	Nilai Fungsi Simpul Hidup		
		$f(n)$	$g(n)$	$h(n)$
ITERASI I				
A	Ba	1.403	0.105	1.298
	Ea	1.464	0.126	1.338
ITERASI II				
Ba	Cba	1.299	$0.193 + 0.105 = 0.298$	1.001
	Hba	1.336	$0.048 + 0.105 = 0.153$	1.183
	Ea	1.464	0.126	1.338
ITERASI III				
Cba	Icba	1.322	$0.415 + 0.298 = 0.713$	0.609
	Dcba	1.324	$0.453 + 0.298 = 0.751$	0.573
	Hba	1.336	$0.048 + 0.105 = 0.153$	1.183
	Ea	1.464	0.126	1.338
	Hcba	1.529	$0.048 + 0.298 = 0.346$	1.183
ITERASI IV				
Icba	Jicba	1.323	$0.004 + 0.713 = 0.717$	0.606
	Dcba	1.324	0.751	0.573
	Kicba	1.335	$0.080 + 0.713 = 0.793$	0.542
	Hba	1.336	0.153	1.183
	Ea	1.464	0.126	1.338
	Hcba	1.529	0.346	1.183
	Gicba	1.633	$0.191 + 0.713 = 0.904$	0.729
	Hicba	2.481	$0.713 + 0.585 = 1.298$	1.183
ITERASI V				
Jicba	Dcba	1.324	0.751	0.573
	Kicba	1.335	0.793	0.542
	Hba	1.336	0.153	1.183
	Xjicba	1.348	$0.717 + 0.183 = 0.900$	0.448
	Kjicba	1.391	$0.717 + 0.132 = 0.542$	0.542

			0.849	
	Ea	1.464	0.126	1.338
	Hcba	1.529	0.346	1.183
	Gicba	1.633	0.904	0.729
	Gjicba	1.640	$0.717 + 0.194 = 0.911$	0.729
	Hicba	2.481	1.298	1.183
ITERASI VI				
Dcba	Kicba	1.335	0.793	0.542
	Hba	1.336	0.153	1.183
	Xjicba	1.348	0.900	0.448
	Kdcba	1.388	$0.098 + 0.751 = 0.846$	0.542
	Kjicba	1.391	0.849	0.542
	Ea	1.464	0.126	1.338
	Hcba	1.529	0.346	1.183
	Ldcba	1.609	$0.453 + 0.751 = 1.204$	0.405
	Gicba	1.633	0.904	0.729
	Gjicba	1.640	0.911	0.729
	Hicba	2.481	1.298	1.183
ITERASI VII				
Kicba	Mkicba	1.335	$0.323 + 0.793 = 1.116$	0.219
	Hba	1.336	0.153	1.183
	Xjicba	1.348	0.900	0.448
	Kdcba	1.388	0.846	0.542
	Kjicba	1.391	0.849	0.542
	Jkicba	1.403	$0.004 + 0.793 = 0.797$	0.606
	Ea	1.464	0.126	1.338
	Hcba	1.529	0.346	1.183
	Ldcba	1.609	1.204	0.405
	Gicba	1.633	0.904	0.729
	Gjicba	1.640	0.911	0.729
	Dkicba	1.819	$0.453 + 0.793 = 1.246$	0.573
		Hicba	2.481	1.298
ITERASI VIII				
Mkicba	SAFE	1.335	$1.116 + 0.219 = 1.335$	0
	Hba	1.336	0.153	1.183
	Xjicba	1.348	0.900	0.448
	Kdcba	1.388	0.846	0.542
	Kjicba	1.391	0.849	0.542
	Jkicba	1.403	0.797	0.606
	Ea	1.464	0.126	1.338
	Hcba	1.529	0.346	1.183
	Zmikcba	1.591	$1.116 + 0.153 = 1.269$	0.322
	Ldcba	1.609	1.204	0.405
	Gicba	1.633	0.904	0.729
	Gjicba	1.640	0.911	0.729
	Dkicba	1.819	1.246	0.573
	Rmikcha	1.924	$1.116 + 0.334 = 1.450$	0.474
	Lmikcba	1.926	$1.116 + 0.422 = 1.521$	0.405
		Hicba	2.481	1.298
SAFE mkicba	SAMPAI SIMPUL TUJUAN Rute: A – B – C – I – K – M – SAFE Cost: 1.335 km			

Selanjutnya, untuk memperkuat kepastian hasil rute termangkus, penulis juga telah membuat program dalam bahasa pemrograman python [7] untuk menentukan jalur termangkus

dengan algoritma A\*. Program akan menerima input berupa koordinat *latitude* dan *longitude* titik-titik simpul dan *adjacency matrix* graf. Berikut ini adalah hasil eksekusi program penentuan rute termangkus dengan A\*.

```
C:\Users\ASUS\Documents\shortest-path-a-star\src>py main.py
#### A* Shortest Path Finder ####
ENTER MAP NAME (map.txt): pangandaran.txt

PLACES AT PANGANDARAN
[ 1 ] A
[ 2 ] B
[ 3 ] C
[ 4 ] D
[ 5 ] E
[ 6 ] F
[ 7 ] G
[ 8 ] H
[ 9 ] I
[ 10 ] J
[ 11 ] K
[ 12 ] L
[ 13 ] M
[ 14 ] N
[ 15 ] O
[ 16 ] P
[ 17 ] Q
[ 18 ] R
[ 19 ] S
[ 20 ] T
[ 21 ] U
[ 22 ] V
[ 23 ] W
[ 24 ] X
[ 25 ] Y
[ 26 ] Z
[ 27 ] SAFE
SOURCE: 1
DESTINATION: 27

THE SHORTEST PATH FROM A TO SAFE
A --> B --> C --> I --> K --> M --> SAFE
```

Fig. 2. Hasil Eksekusi Program Rute Evakuasi Termangkus Pantai Pangandaran dengan A\* dari Simpul A (Sumber: Dokumen penulis)

Berdasarkan hasil pengujian secara tertulis dan dengan menggunakan program, dapat disimpulkan bahwa rute evakuasi termangkus memperoleh hasil yang sama yaitu dengan mengikuti rute sebagai berikut.

A → B → C → I → K → M → SAFE

setelah dihubungkan setiap simpulnya menjadi

Jl. Pantai Barat → Jl. Kalen Buaya → Jl. Pramuka → Jl. Sumardi → Jl. Bulak Laut → Titik Evakuasi

Kemudian, untuk menentukan rute evakuasi jika simpul awal adalah simpul N (pantai sebelah timur), dengan menggunakan program yang telah dibuat, didapat hasil eksekusi sebagai berikut.

```

C:\Users\ASUS\Documents\shortest-path-a-star\src>py main.py
#### A* Shortest Path Finder ####
ENTER MAP NAME (map.txt): pangandaran.txt

PLACES AT PANGANDARAN
[ 1 ] A
[ 2 ] B
[ 3 ] C
[ 4 ] D
[ 5 ] E
[ 6 ] F
[ 7 ] G
[ 8 ] H
[ 9 ] I
[ 10 ] J
[ 11 ] K
[ 12 ] L
[ 13 ] M
[ 14 ] N
[ 15 ] O
[ 16 ] P
[ 17 ] Q
[ 18 ] R
[ 19 ] S
[ 20 ] T
[ 21 ] U
[ 22 ] V
[ 23 ] W
[ 24 ] X
[ 25 ] Y
[ 26 ] Z
[ 27 ] SAFE
SOURCE: 14
DESTINATION: 27

THE SHORTEST PATH FROM N TO SAFE
N --> E --> F --> H --> I --> K --> M --> SAFE

```

Fig. 3. Hasil Eksekusi Program Rute Evakuasi Termangkus Pantai Pangandaran dengan A\* dari simpul N  
(Sumber: Dokumen penulis)

Sehingga didapat rute evakuasi dari Pantai Pangandaran sebelah timur adalah sebagai berikut.

$N \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow H \rightarrow I \rightarrow K \rightarrow M \rightarrow \text{SAFE}$

setelah dihubungkan setiap simpulnya menjadi

Jl. Pantai Timur  $\rightarrow$  Jl. E. Jaga Lautan  $\rightarrow$  Jl. Kidang Pananjung  $\rightarrow$  Jl. Pasanggrahan  $\rightarrow$  Jl. Kalen Buaya  $\rightarrow$  Jl. Pramuka  $\rightarrow$  Jl. Sumardi  $\rightarrow$  Jl. Bulak Laut  $\rightarrow$  Titik Evakuasi

Gambar 4 di bawah ini adalah visualisasi dari rute evakuasi mitigasi tsunami Pantai Pangandaran. Garis warna merah menunjukkan rute yang harus dilewati pengunjung dari pantai sebelah timur untuk bergabung dengan rute utama yang berwarna putih.

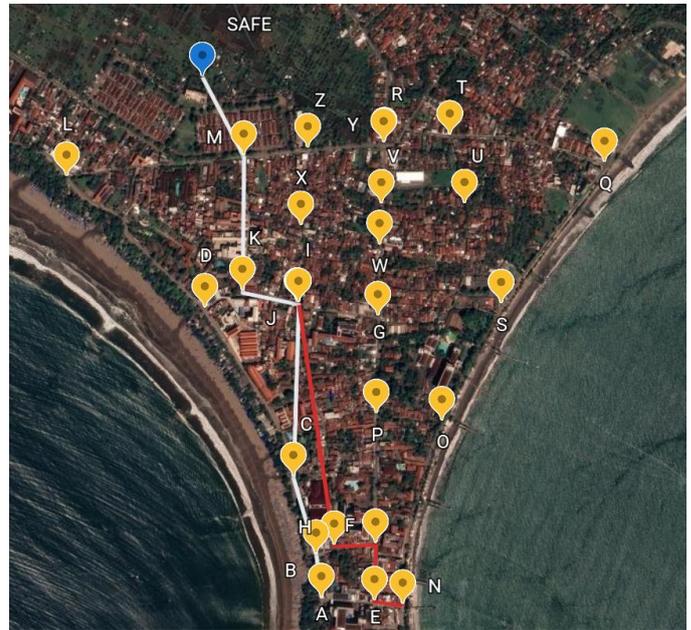


Fig. 4. Visualisasi Hasil Identifikasi Rute Evakuasi Termangkus Pantai Pangandaran dengan A\*  
(Sumber: Google Earth)

## V. KESIMPULAN

Penentuan rute termangkus dari sekelompok simpul dapat menerapkan algoritma A\* karena hasilnya yang optimal dan *complete*. Pada kasus pencarian rute evakuasi mitigasi tsunami Pantai Pangandaran, pertama yang perlu dilakukan adalah penentuan titik evakuasi dengan memperhatikan lima kriteria titik evakuasi. Selanjutnya, dengan memanfaatkan A\* didapat rute evakuasi Pantai Pangandaran untuk pengunjung yang berada di sebelah barat pantai yaitu Jl. Pantai Barat ke Jl. Kalen Buaya ke Jl. Pramuka ke Jl. Sumardi ke Jl. Bulak Laut kemudian sampai di titik evakuasi. Sedangkan untuk pengunjung yang berada di pantai sebelah timur, pengunjung harus melalui Jl. Pantai Timur ke Jl. E. Jaga Lautan ke Jl. Kidang Pananjung ke Jl. Pasanggrahan sehingga kemudian masuk ke Jl. Kalen Buaya mengikuti rute evakuasi untuk pengunjung pantai barat sebelumnya.

### VIDEO LINK AT YOUTUBE

Video penjelasan terkait makalah ini dapat diakses di pranala berikut ini,

<https://youtu.be/uo8ZY9XwvCc>

### UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karuniaNya penulis diberi kesehatan sehingga dapat menyelesaikan makalah ini dengan baik. Kemudian, penulis berterima kasih kepada orang tua penulis yang telah memberikan dukungan baik secara moral maupun materi dalam proses penulisan makalah ini. Tidak lupa, penulis

mengucapkan terima kasih kepada dosen mata kuliah IF2211 Strategi Algoritma K-04, yaitu Bapak Rinaldi Munir yang telah membina dan membimbing penulis dalam kegiatan perkuliahan mata kuliah Strategi Algoritma selama satu semester ini serta senantiasa menjadi teladan dan inspirasi bagi mahasiswanya. Terakhir, ucapan terima kasih juga tak lupa saya berikan kepada teman-teman Teknik Informatika 2019 dan Alifia Adila Asmara yang telah menjadi penyemangat sekaligus pengingat untuk selalu berproses menjadi lebih baik.

#### REFERENCES

- [1] Aji, Wibowo Limpat. (2020). "Identifikasi Jalur dan Tempat Evakuasi Tsunami Berdasarkan FEMA P646 Pada Objek-Objek Wisata Pantai di Kabupaten Gunungkidul." Jurnal Informasi dan Ekspos Hasil Riset Teknik Sipil dan Arsitektur Universitas Negeri Yogyakarta vol. 16, No.1, 2020.
- [2] Lecture Notes in Informed Heuristic Search, ICS 271 (2008). Diakses online dari <http://www.ics.uci.edu/~dechter/courses/ics-271/fall-08/lecturenotes/4.InformedHeuristicSearch.ppt> pada 11 April 2021.
- [3] Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia. (2019) "Laut Masa Depan Bangsa, Mari Jaga Bersama". Diakses online dari <https://kkp.go.id/artikel/12993-laut-masa-depan-bangsa-mari-jaga-bersama#:~:text=Indonesia%20memiliki%20garis%20pantai%20sepanjang,71%25%20dari%20keseluruhan%20wilayah%20Indonesia> pada 11 April 2021.
- [4] Munir, Rinaldi dan Ulfa Mauladevi. (2020). Graf. Diakses online dari [https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Stmik/2017-2018/Algoritma-Greedy-\(2018\).pdf](https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Stmik/2017-2018/Algoritma-Greedy-(2018).pdf) pada 11 April 2021.
- [5] Munir, Rinaldi dan Ulfa Mauladevi. (2020). Graf. Diakses online dari <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Stmik/2020-2021/Route-Planning-Bagian2-2021.pdf> pada 11 April 2021.
- [6] Ramdhany, Rizky R. dan Afra Makalew. (2016). "Perencanaan Lanskap Pantai Pangandaran Berbasis Mitigasi Bencana Tsunami." E-Jurnal Arsitektur Lanskap Insitut Pertanian Bogor vol. 2, No. 1, April 2016.

- [7] Parikesit, Alif B. dan Moh. Sheva A.S. (2021). "*Shortest Path A\* Algorithm with Python*" [source code file] diakses dari <https://github.com/alifbhadrika/shortest-path-a-star> pada 11 April 2021.

#### PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa makalah yang saya tulis ini adalah tulisan saya sendiri, bukan saduran, atau terjemahan dari makalah orang lain, dan bukan plagiasi.

Tangerang, 11 April 2021



Alif Bhadrika Parikesit  
NIM: 13519186