

**PENENTUAN JALUR OPTIMAL PADA GRAF
BERBOBOT DALAM EVAKUASI BENCANA
TSUNAMI DI KELURAHAN BOYA KABUPATEN
DONGGALA DENGAN MENGGUNAKAN
ALGORITMA A-STAR**

SKRIPSI



WARDAH HIDAYAH H.

H011201031

**PROGRAM STUDI MATEMATIKA DEPARTEMEN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

MAKASSAR

2024

**PENENTUAN JALUR OPTIMAL PADA GRAF
BERBOBOT DALAM EVAKUASI BENCANA
TSUNAMI DI KELURAHAN BOYA KABUPATEN
DONGGALA DENGAN MENGGUNAKAN
ALGORITMA A-STAR**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
pada Program Studi Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu
Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin**

**WARDAH HIDAYAH H.
H011201031**

**PROGRAM STUDI MATEMATIKA DEPARTEMEN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
FEBRUARI 2024**

HALAMAN PERNYATAAN KEOTENTIKAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sungguh-sungguh bahwa skripsi yang saya buat dengan judul

Penentuan Jalur Optimal pada Graf Berbobot dalam Evakuasi Bencana Tsunami di Kelurahan Boya Kabupaten Donggala Dengan Menggunakan Algoritma A-Star

adalah benar hasil karya saya sendiri, bukan hasil plagiat dan belum pernah dipublikasikan dalam bentuk apapun.

Makassar, 23 Februari 2024



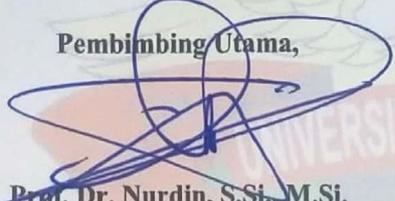
Wardah Hidayah H.
H011201031

**PENENTUAN JALUR OPTIMAL PADA GRAF BERBOBOT
DALAM EVAKUASI BENCANA TSUNAMI DI KELURAHAN
BOYA KABUPATEN DONGGALA DENGAN
MENGUNAKAN ALGORITMA A-STAR**

disetujui oleh:

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pertama


Prof. Dr. Nurdin, S.Si., M.Si.
NIP. 197008072000031002


Nur Rohmah Oktaviani P., S.Si., M.Si.
NIP. 199210062020016001

Pada 23 Februari 2024

HALAMAN PENGESAHAN

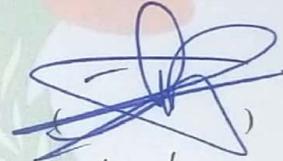
Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Wardah Hidayah H.
NIM : H011201031
Program Studi : Matematika
Judul Skripsi : Penentuan Jalur Optimal pada Graf Berbobot dalam Evakuasi
Bencana Tsunami di Kelurahan Boya Kabupaten Donggala
Dengan Menggunakan Algoritma A-Star

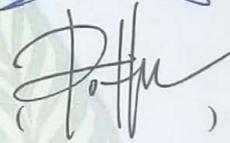
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

DEWAN PENGUJI

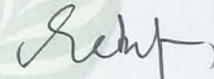
Ketua : Prof. Dr. Nurdin, S.Si., M.Si.



Sekretaris : Nur Rohmah Oktaviani P., S.Si., M.Si.



Anggota : Prof. Dr. Hasmawati, M.Si.



Anggota : Dr. Firman, S.Si., M.Si.



Ditetapkan di : Makassar

Tanggal : 23 Februari 2024

HALAMAN PENGESAHAN

**PENENTUAN JALUR OPTIMAL PADA GRAF BERBOBOT DALAM
EVAKUASI BENCANA TSUNAMI DI KELURAHAN BOYA
KABUPATEN DONGGALA DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA
A-STAR**

Disusun dan diajukan oleh

WARDAH HIDAYAH H.

H011201031

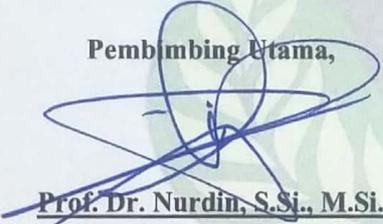
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Matematika Fakultas
Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin

Pada tanggal, 23 Februari 2024

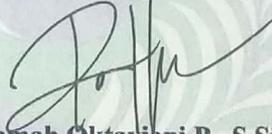
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

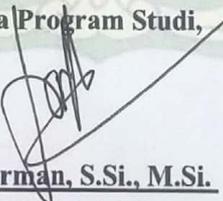
Pembimbing Utama,


Prof. Dr. Nurdin, S.Si., M.Si.
NIP. 197008072000031002

Pembimbing Pertama


Nur Rohmah Oktaviani P., S.Si., M.Si.
NIP. 199210062020016001

Ketua Program Studi,


Dr. Firman, S.Si., M.Si.
NIP.196804292002121001



KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW, sebagai Nabi yang telah menjadi suri tauladan bagi seluruh umatnya sehingga penyusunan skripsi yang berjudul “Penentuan Jalur Optimal pada Graf Berbobot dalam Evakuasi Bencana Tsunami di Kelurahan Boya Kabupaten Donggala Dengan Menggunakan Algoritma *A-Star*” ini dapat diselesaikan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) pada Program Studi Matematika Departemen Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak dapat terselesaikan tanpa adanya bantuan, dukungan, bimbingan, serta motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada kedua orang tua penulis, ayah kebanggaan penulis **Herman P., S.Pd.**, dan Ibu kesayangan penulis **Kasmawati** yang telah membesarkan dan mendidik penulis, serta senantiasa memberikan doa, dukungan, dan materi, sehingga penulis bisa sampai di titik ini. Terima kasih kepada kakak kesayangan penulis **Iwal Islamuddin H., S.Si.**, kedua adik tercinta penulis **Alham Maulana H.**, dan **Dewi Wirdah H.**, serta seluruh keluarga yang telah memberikan doa dan dukungan dalam penyelesaian skripsi ini. Pada kesempatan ini pula, dengan segala kerendahan hati penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak **Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc.**, selaku Rektor Universitas Hasanuddin beserta seluruh jajarannya, serta Bapak **Dr. Eng. Amiruddin** selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam beserta jajarannya.
2. Bapak **Dr. Firman, S.Si., M.Si.**, selaku Ketua Departemen Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin sekaligus Tim Penguji dan Dosen Penasehat Akademik penulis selama menempuh pendidikan sarjana. Terima kasih atas waktu yang telah diluangkan untuk memberikan nasihat, saran, dan dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

3. Bapak **Prof. Dr. Nurdin, S.Si., M.Si.**, dan Ibu **Nur Rohmah Oktaviani P., S.Si., M.Si.**, selaku Dosen Pembimbing yang dengan sabar, tulus, dan ikhlas banyak memberikan ilmu yang bermanfaat dan meluangkan waktu untuk membimbing dan memberi masukan serta motivasi dalam penulisan skripsi ini.
4. Ibu **Prof. Dr. Hasmawati, M.Si.**, selaku Tim Penguji, terima kasih atas waktu yang telah diluangkan untuk memberikan masukan dan kritikan yang membangun terhadap penyempurnaan penulisan skripsi ini.
5. Bapak dan Ibu Dosen Departemen Matematika yang telah memberikan banyak ilmu dan pengetahuan kepada penulis selama menjadi mahasiswi di Program Studi Matematika, serta Bapak dan Ibu Staff Departemen Matematika yang telah membantu dan memudahkan penulis dalam berbagai hal administrasi.
6. Pihak **Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Stasiun Geofisika Palu** yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang penulis perlukan.
7. Teman-teman seperjuangan **Matematika 2020** dan **HORIZONTAL** yang senantiasa memberikan bantuan dan dukungan moril kepada penulis, serta memberikan momen berharga bagi penulis selama masa studi sarjana.
8. Saudara penulis, **Rasnidar** dan **Zayyan Rihadatul Aisy** yang telah memberikan dukungan dan bantuan kepada penulis, serta telah menjadi tempat berbagi pikiran penulis selama ini.
9. Saudara penulis, “**Ketupat Lincak**”, **A. Dian Mutia, Deasy Rastiana R, Dini Putri Chesir, Meilani, dan Zahrah Izza Maulidah Darwis** yang senantiasa tulus mendukung dan menjadi tempat berbagi pikiran penulis.
10. Teman-teman seperjuangan penulis, **Febi Lestari, Nurhalima, Vira Anggraeni, Ahmadi Al Azhar, Muhammad Ahnaf Yusuf, dan Muh. Fauzan Hamdani** yang telah mewarnai dunia perkuliahan penulis, senantiasa memberikan dukungan, tidak kenal lelah peduli dan menasihati penulis selama masa studi sarjana.
11. Teman-teman seperjuangan penulis, **Adelin Mangetan, Ariqah Mumtazah, dan Alifia Nurul Khairiyah** yang senantiasa kebersamai,

menginspirasi, teman berbagi pikiran, dan memberikan dukungan kepada penulis selama masa studi sarjana.

12. Kakak **Meiliana Nurul Rahmah, S.Aktr.**, yang telah memberikan dukungan dan menjadi salah satu sumber inspirasi penulis dalam penyusunan skripsi ini.
13. Teman-teman seperjuangan penulis **TPS ME 20, Nawa Ehza Fadhila, Nur Talitha Putri Hasilawanto, Ummul Qura, dan Nuralifa Rezky Mustika** yang telah menjadi partner penulis selama tiga tahun di divisi Tim Pengelola Soal *Mathematics Event*.
14. Teman-teman seperjuangan, sobat **PSDM, Keluarga Besar UKM KPI Unhas, dan Himatika FMIPA Unhas** yang senantiasa memberikan bantuan dan dukungan moril kepada penulis, serta memberikan momen berharga bagi penulis selama masa studi sarjana.
15. Teman seperjuangan **Kuliah Kerja Nyata (KKN PS G.109 Posko KPH Kalaena Desa Bantimurung Luwu Utara)** penulis **Khurin Wardana Putri, S.T., Sriwahdana, A. Inriani Pratiwi, Muh. Arjun, S.T., Tori Andilo Lugastiro, dan Ikhsan Humaerah Fattta Basri** yang telah memberikan warna baru dalam masa perkuliahan penulis dan senantiasa mendukung penulis.
16. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebut satu persatu, terima kasih untuk segala dukungan, doa, motivasi, inspirasi, dan partisipasi yang diberikan kepada penulis.

Akhir kata, penulis berharap semoga segala bentuk kebaikan yang telah diberikan bernilai ibadah dan mendapatkan balasan dari Allah SWT. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK
KEPENTINGAN AKADEMISI**

Sebagai sivitas akademik Universitas Hasanuddin, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Wardah Hidayah H.
Nim : H011201031
Program Studi : Matematika
Departemen : Matematika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis Karya : Skripsi

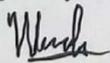
demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Hasanuddin **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya saya yang berjudul:

**Penentuan Jalur Optimal pada Graf Berbobot dalam Evakuasi
Bencana Tsunami di Kelurahan Boya Kabupaten Donggala Dengan
Menggunakan Algoritma A-Star**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Terkait dengan hal di atas, maka pihak Universitas berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya,
Dibuat di Makassar pada, 23 Februari 2024

Yang menyatakan,



Wardah Hidayah H.

ABSTRAK

Provinsi Sulawesi Tengah merupakan salah satu daerah rawan bencana gempa bumi dan tsunami di Indonesia karena terletak di pertemuan empat lempeng tektonik, yaitu lempeng Eurasia, Benua Indo-Australia, Samudera Hindia, dan Samudera Pasifik. Kelurahan Boya terletak di Kecamatan Banawa, Kabupaten Donggala, Provinsi Sulawesi Tengah yang merupakan daerah pelabuhan dengan tingkat kepadatan penduduk tinggi dan menjadi pusat aktivitas Kecamatan Banawa. Kepadatan penduduk dan banyaknya jalur di Kelurahan Boya dapat menimbulkan kesulitan apabila tidak ada jalur evakuasi bencana. Mengacu pada beberapa sumber penelitian sebelumnya, jalur evakuasi bencana dapat dimodelkan dengan menggunakan konsep Teori Graf, khususnya hubungan atau konektivitas antar objek pada graf berbobot. Persimpangan jalan direpresentasikan sebagai titik dan jalur evakuasi tsunami direpresentasikan sebagai sisi. Pencarian jalur optimal evakuasi tsunami dapat menggunakan Algoritma *A-Star* dan bahasa pemrograman *Python* dengan mempertimbangkan jarak aktual dan nilai heuristik, serta kondisi jalan. Jalur optimal untuk evakuasi bencana tsunami di Kelurahan Boya menghasilkan 15 jalur optimal dari masing-masing 15 titik asal yang berada di zona merah menuju titik tujuan (*terminal vertex*) yaitu daerah yang aman dari bencana beserta total jaraknya.

Kata Kunci: *Tsunami, jalur, optimal, Algoritma A-Star, Python*

Judul : Penentuan Jalur Optimal pada Graf Berbobot dalam Evakuasi Bencana Tsunami di Kelurahan Boya Kabupaten Donggala Dengan Menggunakan Algoritma *A-Star*

Nama : Wardah Hidayah H.

NIM : H011201031

Program Studi : Matematika

ABSTRACT

Central Sulawesi Province is one of the areas in Indonesia that is prone to earthquake and tsunami disasters. It is because Central Sulawesi Province is located at the meeting point of four tectonic plates: the Eurasian plate, the Indo-Australian Continent, the Indian Ocean and the Pacific Ocean. Boya Village is located in Banawa District, Donggala Regency, Central Sulawesi Province, a port area with a high population density and is the center of activity for Banawa District. The population density and many routes in Boya Village can cause difficulties if there is no disaster evacuation route. Referring to several previous research sources, disaster evacuation routes can be modeled using the concept of Graph Theory, especially the relationship or connectivity between objects in a weighted graph. Road intersections are points, and tsunami evacuation routes are edges. Searching for the optimal tsunami evacuation route can use the A-Star Algorithm and the Python programming language by considering the actual distance, heuristic values, and road conditions. The optimal route for tsunami evacuation in Boya Village produces 15 optimal routes from each of the 15 points of origin in the red zone to the destination point (vertex terminal), namely the area safe from disasters and the total distance.

Keywords: *Tsunami, path, optimal, A-Star Algorithm, Python*

Title : Optimal Path Determination on Weighted Graph for Tsunami Disaster Evacuation in Boya Sub-District, Donggala Regency Using A-Star Algorithm

Name : Wardah Hidayah H.

Student ID : H011201031

Study Program : Mathematics

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN KEOTENTIKAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN PEMBIMBING	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	vi
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR	ix
ABSTRAK	x
ABSTRACT.....	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Graf dan Istilah-Istilah pada Graf.....	4
2.2 Graf Berbobot.....	5
2.3 Bencana Tsunami	6
2.4 Kelurahan Boya	6
2.5 Permasalahan Lintas Terpendek (<i>Shortest Path</i>)	7
2.6 <i>Python</i>	8
2.7 Algoritma <i>A-Star</i>	8
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	14
3.1 Jenis Penelitian.....	14

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian.....	14
3.3 Metode Pengumpulan Data.....	14
3.4 Tahapan Penelitian.....	14
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	17
4.1 Deskripsi Data.....	17
4.2 Pembuatan Graf Kelurahan Boya Menggunakan <i>Google My Maps</i>	18
4.3 Pembuatan Graf Berbobot dan Penentuan Nilai Heuristik	19
4.4 Pewarnaan Jalur Evakuasi Sesuai Dengan Klasifikasi Kondisi Jalan.....	20
4.5 Penentuan Jalur Optimal Evakuasi Tsunami Menggunakan Algoritma <i>A-Star</i> dan Bahasa Pemrograman <i>Python</i>	21
BAB V PENUTUP	33
5.1 Kesimpulan	33
5.2 Saran	33
DAFTAR PUSTAKA	35
LAMPIRAN.....	37

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Keterkaitan Titik dan Bobot Jarak Graf <i>A</i>	10
Tabel 2.2. <i>Syntax</i> dan <i>Output</i> Lintasan Terpendek Graf <i>A</i>	11
Tabel 4.1. Keterkaitan Titik dan Bobot Jarak	22
Tabel 4.2. Keterkaitan Titik dan Bobot Berdasarkan Akses Jalan.....	23
Tabel 4.3. Keterkaitan Titik dan Bobot Graf	23
Tabel 4.4. Jalur Optimal dengan Menggunakan Algoritma <i>A-Star</i>	25

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Contoh Graf G 5

Gambar 2.2 Contoh Graf Berbobot G 5

Gambar 2.3 Peta Rawan Tsunami di Indonesia 6

Gambar 2.4 Peta Rawan Tsunami Kelurahan Boya..... 7

Gambar 2.5 Graf Berbobot A 9

Gambar 3 *Flowchart* Tahapan Penelitian16

Gambar 4.1 Peta Data Penelitian17

Gambar 4.2 Penempatan Titik dan Sisi untuk Pembuatan Graf18

Gambar 4.3 Penempatan Jarak pada Sisi untuk Pembuatan Graf Berbobot.....19

Gambar 4.4 Penempatan Nilai Heuristik pada Graf Berbobot.....20

Gambar 4.5 Graf Berbobot Berdasarkan Kondisi Jalan.....21

Gambar 4.6 Graf Jalur Evakuasi Keseluruhan.....24

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1: *Syntax* dan *Output* Jalur Optimal dari Titik *A* ke Titik *Y*37
Lampiran 2: *Syntax* dan *Output* Jalur Optimal dari Titik *B* ke Titik *Y*40
Lampiran 3: *Syntax* dan *Output* Jalur Optimal dari Titik *C* ke Titik *Y*43
Lampiran 4: *Syntax* dan *Output* Jalur Optimal dari Titik *D* ke Titik *Y*46
Lampiran 5: *Syntax* dan *Output* Jalur Optimal dari Titik *E* ke Titik *Y*49
Lampiran 6: *Syntax* dan *Output* Jalur Optimal dari Titik *F* ke Titik *Y*52
Lampiran 7: *Syntax* dan *Output* Jalur Optimal dari Titik *G* ke Titik *Y*55
Lampiran 8: *Syntax* dan *Output* Jalur Optimal dari Titik *H* ke Titik *Y*58
Lampiran 9: *Syntax* dan *Output* Jalur Optimal dari Titik *I* ke Titik *Y*61
Lampiran 10: *Syntax* dan *Output* Jalur Optimal dari Titik *J* ke Titik *Y*64
Lampiran 11: *Syntax* dan *Output* Jalur Optimal dari Titik *K* ke Titik *Y*67
Lampiran 12: *Syntax* dan *Output* Jalur Optimal dari Titik *L* ke Titik *Y*70
Lampiran 13: *Syntax* dan *Output* Jalur Optimal dari Titik *M* ke Titik *Y*73
Lampiran 14: *Syntax* dan *Output* Jalur Optimal dari Titik *N* ke Titik *Y*76
Lampiran 15: *Syntax* dan *Output* Jalur Optimal dari Titik *O* ke Titik *Y*79

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada tanggal 28 September 2018 peristiwa gempa bumi berkekuatan 7,4 SR diikuti dengan tsunami yang melanda pantai barat Pulau Sulawesi. Pusat gempa berada di 26 km utara Kabupaten Donggala dan 80 km barat laut Kota Palu dengan kedalaman 10 km. Gempa bumi memicu tsunami hingga ketinggian 5 meter di Kota Palu. Menurut Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), dampak bencana gempa bumi dan tsunami tercatat 2.256 orang meninggal dunia, 1.309 orang hilang, 4.612 orang luka-luka, dan 223.751 orang mengungsi. Bencana gempa bumi Palu-Donggala telah memicu bencana lainnya yaitu longsor, tsunami, dan liquifaksi di Sulawesi Tengah. Terdapat empat kabupaten/kota yang terdampak langsung oleh bencana tersebut yaitu Kota Palu, Kabupaten Donggala, Kabupaten Sigi, dan Kabupaten Parigi Moutong. Jumlah kerusakan dan korban jiwa akibat gempa bumi dan tsunami menunjukkan bahwa mitigasi bencana di Sulawesi Tengah, merupakan hal yang perlu serius untuk dikaji. Berdasarkan data-data tersebut dengan tingginya jumlah korban jiwa dan kerugian harta benda menjadi indikasi bahwa masih lemahnya manajemen bencana. (Purnama, D. I., 2019)

Pada awal tahun 2021, beberapa wilayah di Sulawesi kembali diguncang gempa bumi besar. Berdasarkan data dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), selama rentang waktu 85 tahun setidaknya terjadi 10 kali gempa besar di provinsi Sulawesi Tengah saja. Hal tersebut menarik untuk diteliti dengan menerapkan konsep teori graf dalam analisis jalur terpendek evakuasi bencana tsunami di Kelurahan Boya Kecamatan Banawa Kabupaten Donggala Provinsi Sulawesi Tengah dengan menggunakan Algoritma *A-Star* (A^*).

Dalem, I. B. G. W. A. (2018) meneliti penerapan algoritma A^* menggunakan graf untuk menghitung jarak terpendek. Harahap, M. K., & Khairina, N. (2017) meneliti pencarian jalur terpendek dengan algoritma Dijkstra. Luthfita, D., & Aripin, S. (2022) meneliti implementasi Algoritma A^* dalam

menentukan tarif minimum berdasarkan jarak terpendek rute armada taksi bandara. Mayadi, M., & Azhar, R. (2019) meneliti tentang perbandingan perhitungan manual dengan Algoritma *A-Star* dalam pencarian jalur terpendek untuk pengiriman pesanan dodol khas Lombok. Mengacu pada beberapa penelitian sebelumnya jalur evakuasi tsunami dapat dimodelkan dengan menggunakan konsep teori graf, dimana penggunaan teori graf terlebih khusus dalam menentukan konektivitas antar objek pada graf berbobot. Konsep lintasan terpendek akan diterapkan dalam pencarian jalur optimal evakuasi bencana tsunami di Kelurahan Boya Kabupaten Donggala.

Penelitian ini menggunakan graf sederhana agar dapat digunakan oleh pemerintah dalam pembuatan rambu-rambu evakuasi tsunami di setiap persimpangan jalan, sehingga saat terjadi tsunami warga hanya perlu mengikuti rambu-rambu yang ada. Objek bisa direpresentasikan oleh titik atau simpul, sedangkan konektivitasnya direpresentasikan oleh garis atau sisi. Selanjutnya, menyelesaikan permasalahan yang telah dimodelkan dan mendapatkan hasil akhir yang optimal dengan mempertimbangkan luas jalan dan hal yang mempengaruhi dalam evakuasi yang ditandai dengan warna tertentu. Dalam penelitian ini persimpangan jalan akan direpresentasikan sebagai titik, sedangkan jalur evakuasi tsunami akan direpresentasikan sebagai sisi. Persimpangan yang terletak dalam zona merah rawan tsunami akan menjadi titik awal dan persimpangan yang berada di zona aman serta akses baik akan menjadi titik tujuan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah berdasarkan latar belakang penelitian adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana implementasi konsep teori graf pada peta rawan bencana tsunami Kelurahan Boya Kabupaten Donggala.
2. Bagaimana penerapan penentuan jalur optimal menggunakan Algoritma *A-Star* pada jalur evakuasi bencana tsunami Kelurahan Boya Kabupaten Donggala.

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini tidak mencakup pembahasan yang terlalu luas dan melebar, maka masalah yang dikaji dibatasi pada graf berbobot dalam menentukan jalur evakuasi optimal peta rawan bencana tsunami di Kelurahan Boya, Kecamatan Banawa, Kabupaten Donggala, Provinsi Sulawesi Tengah.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengimplementasikan konsep teori graf pada peta rawan bencana tsunami Kelurahan Boya Kabupaten Donggala.
2. Menerapkan penentuan jalur optimal menggunakan Algoritma *A-Star* pada jalur evakuasi bencana tsunami Kelurahan Boya Kabupaten Donggala.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah dapat menambah pemahaman dan menjadi bahan sumber referensi dalam mengembangkan ilmu matematika diskrit khususnya di bidang teori graf terkait dengan penentuan jalur optimal menggunakan Algoritma *A-Star* yang dapat diterapkan dalam evakuasi bencana dan pencarian jalur optimal lainnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada Bab ini akan dibahas beberapa konsep tentang penentuan jalur optimal pada graf berbobot yang dihasilkan dari peta rawan bencana tsunami Kelurahan Boya menggunakan Algoritma *A-Star*. Dimulai dengan definisi graf, jenis graf yang digunakan, algoritma yang digunakan, hingga contoh penerapan algoritma dalam menentukan jalur optimal.

2.1 Graf dan Istilah-Istilah pada Graf

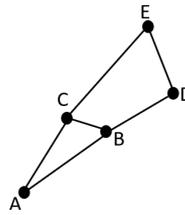
Teori graf pertama kali diperkenalkan pada tahun 1736 melalui tulisan Euler yang berisi tentang upaya pemecahan masalah jembatan *Knigsberg* di Eropa, yakni membuktikan kemungkinan untuk melewati empat daerah yang terhubung dengan tujuh jembatan tersebut dalam sekali waktu. Euler merepresentasikan masalah tersebut dalam graf dan menyatakan keempat daerah itu sebagai titik, sedangkan ketujuh jembatan sebagai sisi yang menghubungkan pasangan titik yang sesuai. (Daniel, F., & Taneo, P. N., 2019)

Definisi 2.1 Graf G adalah pasangan himpunan $(V(G), E(G))$ dengan $V(G)$ adalah himpunan diskrit yang elemen-elemennya disebut titik (*vertex*) dan $E(G)$ adalah himpunan dari pasangan elemen-elemen $V(G)$ disebut sisi (*edge*). (Hasmawati, 2020)

Definisi ini mengisyaratkan bahwa $V(G)$ tidak boleh kosong, sedangkan $E(G)$ boleh kosong. Sehingga dapat disimpulkan bahwa sebuah graf dapat saja tidak mempunyai sisi satu buah pun, akan tetapi mengharuskan adanya titik minimal satu. Graf yang hanya terdiri atas satu buah titik tanpa adanya sisi disebut dengan graf trivial. Titik pada graf dapat dinomori dengan huruf, seperti $a, b, c, d, \dots, v, w, \dots$, atau dengan bilangan asli $1, 2, 3, \dots$, atau gabungan huruf dan bilangan asli. Sedangkan sisi yang menghubungkan titik u dan titik v dapat dinyatakan dengan pasangan (u, v) atau biasa dilambangkan dengan e_1, e_2, \dots . Jadi, jika e adalah sisi yang menghubungkan titik u dan v , maka e dapat dinyatakan sebagai $e = (u, v)$. (R. Munir, 2003)

Definisi 2.2 Graf sederhana G adalah pasangan $(V(G), E(G))$ dimana $V(G)$ adalah himpunan diskrit berhingga dan tidak kosong, yang anggotanya disebut titik (*vertex*), dan $E(G)$ adalah himpunan pasangan-pasangan tak terurut dan berbeda dari anggota-anggota $V(G)$ yang disebut sisi (*edge*). (Hasmawati, 2023)

Penelitian ini menggunakan graf sederhana, berikut adalah contoh graf sederhana G .



Gambar 2.1 Contoh Graf G

Berdasarkan gambar diperoleh sebagai berikut.

$$V(G) = \{A, B, C, D, E\}$$

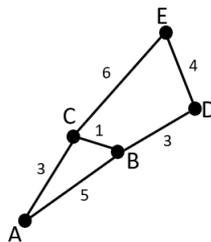
$$E(G) = \{AB, AC, BC, BD, CE, DE\}$$

2.2 Graf Berbobot

Pada sub bab ini akan dijelaskan graf yang akan digunakan dalam penelitian ini.

Definisi 2.3 Graf berbobot (*weighted graph*) adalah graf yang setiap sisinya diberi sebuah harga (bobot). (Daniel, F., & Taneo, P. N., 2019)

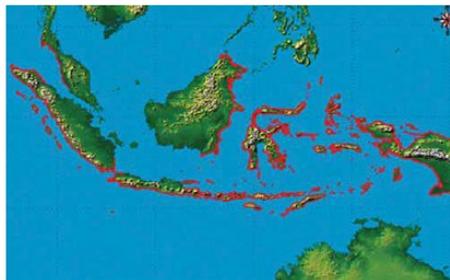
Secara umum, bobot pada sisi graf berbobot dapat mewakili hal-hal yang berbeda tergantung pada permasalahan yang dimodelkan, seperti jarak, biaya perjalanan, atau biaya produksi. (Jannah, M., dkk., 2019)



Gambar 2.2 Contoh Graf Berbobot G

2.3 Bencana Tsunami

Tsunami adalah sebuah ombak yang terjadi setelah gempa bumi, gempa laut, gunung api meletus, atau hantaman meteor di laut. Tsunami tidak terlihat saat masih berada jauh di tengah lautan, namun begitu mencapai wilayah dangkal ketika gelombang menghampiri pantai, ketinggiannya meningkat sementara kelajuannya menurun. Gelombang tersebut bergerak pada jarak yang jauh, hampir tidak dapat dirasakan efeknya oleh kapal saat melintas di laut dalam, tetapi ketinggiannya meningkat hingga mencapai 30 meter atau lebih di daerah pantai. Potensi bencana tsunami di Indonesia menempati peringkat pertama dari 265 negara di dunia yang disurvei badan PBB. Risiko ancaman tsunami di Indonesia bahkan lebih tinggi dibandingkan Jepang. Dalam hitung-hitungan UNISDR, ada 5.402.239 orang yang berpotensi terkena dampaknya. (Sarapang, dkk., 2019)

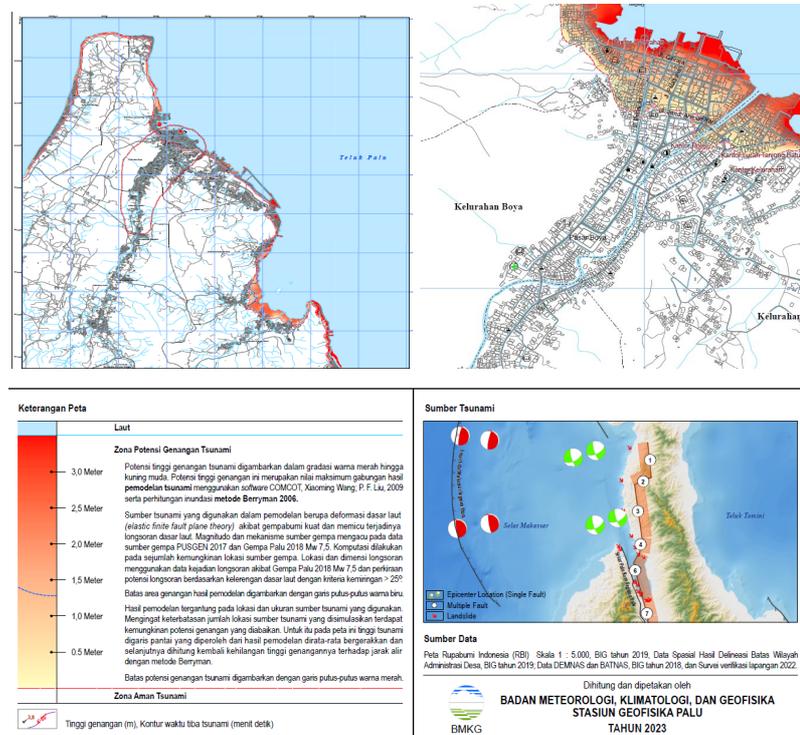


Gambar 2.3 Peta Rawan Tsunami di Indonesia

2.4 Kelurahan Boya

Kelurahan Boya adalah kelurahan yang terletak di Kecamatan Banawa, Kabupaten Donggala, Provinsi Sulawesi Tengah. Pada tanggal 28 September 2018 peristiwa gempa bumi berkekuatan 7,4 SR diikuti dengan tsunami yang melanda pantai barat Pulau Sulawesi. Pusat gempa berada di 26 km utara Kabupaten Donggala dan 80 km barat laut Kota Palu dengan kedalaman 10 km. Gempa bumi memicu tsunami hingga ketinggian 5 meter di Kota Palu. Menurut BNPB, dampak bencana gempa bumi dan tsunami tercatat 2.256 orang meninggal dunia. Kelurahan Boya merupakan kelurahan yang menjadi pusat aktivitas Kecamatan Banawa dan merupakan daerah pelabuhan dengan tingkat kepadatan penduduk tinggi. Kepadatan penduduk dan banyaknya jalur di Kelurahan Boya dapat

menimbulkan kesulitan apabila tidak ada jalur evakuasi bencana. Berikut gambar peta rawan bencana tsunami Kelurahan Boya yang diperoleh dari peta rawan bencana tsunami Kabupaten Donggala. (BNPB dan BMKG Stasiun Geofisika Palu Tahun 2023)



Gambar 2.4 Peta Rawan Tsunami Kelurahan Boya

2.5 Permasalahan Lintasan Terpendek (*Shortest Path*)

Pada sub bab ini akan dijelaskan konsep lintasan yang akan digunakan untuk menentukan jalur optimal dalam penelitian ini.

Definisi 2.4 Misalkan G adalah graf dengan himpunan titik $V(G) = \{v_1, v_2, \dots, v_k, \dots, v_n\}$, dan himpunan sisi $E(G) = \{e_i: e_i = v_i v_j \text{ untuk suatu } i, j\}$. Jalan Wl_k pada graf G dengan panjang k adalah barisan titik dan sisi:

$$v_0, e_0, v_1, e_1, v_2, e_2, \dots, e_{k-1}, v_k \text{ dengan } e_i = v_i v_{i+1}, i = 0, 1, 2, \dots, k - 1.$$

Jadi panjang suatu jalan adalah banyaknya sisi pada jalan tersebut. Jika $v_i \neq v_j$ untuk setiap $i, j \in \{1, 2, \dots, k\}$, maka W disebut lintasan. (Hasmawati, 2023)

Lintasan merupakan konsep yang paling dasar dalam cabang teori graf.

Shortest Path atau lintasan terpendek merupakan suatu upaya optimalisasi dari *path finding*. Pencarian lintasan terpendek ini telah diterapkan di berbagai bidang untuk mengoptimasi kinerja suatu sistem, baik untuk meminimalkan biaya atau mempercepat jalannya suatu proses. Salah satu aplikasi pencarian lintasan terpendek yang paling menarik untuk dibahas adalah pada masalah transportasi. Pencarian lintasan terpendek adalah usaha untuk mencari lintasan yang paling dekat dari posisi awal hingga akhir dengan beban paling ringan atau sedikit dibandingkan dengan seluruh lintasan yang ada. Terdapat banyak algoritma yang dapat digunakan dalam pencarian lintasan terpendek. Formulasi masalah dalam permasalahan lintasan atau jalur terpendek dapat dinyatakan dalam bentuk aliran minimum dimana tiap node yang dituju dianggap memiliki permintaan sebesar satu unit dan node sumber memiliki *supply* sebanyak yang diminta. (Luthfita, D., & Aripin, S., 2022)

2.6 Python

Python adalah sebuah bahasa pemrograman komputer yang dirancang khusus untuk menghasilkan *source code* yang mudah dibaca. Keunggulan dari bahasa pemrograman *Python* terletak pada ketersediaan *library* yang lengkap sehingga memudahkan para *programmer* dalam mengembangkan aplikasi sesuai dengan keinginan mereka dengan menggunakan *source code* yang tampak sederhana, *Python* dapat menciptakan aplikasi dengan lebih efisien. (Anggraeni, D. T., 2020)

2.7 Algoritma A-Star

Algoritma *A-Star* atau yang disingkat dengan *A-Star* pertama kali di perkenalkan pada 1968 oleh Peter Hart, Nils Nilsson, dan Bertram Raphael. Penggunaan fungsi heuristik yang tepat pada Algoritma *A-Star* sehingga dapat memberikan hasil yang optimal mengakibatkan algoritma ini berkembang menjadi Algoritma *A-Star*. Pada Algoritma *A-Star* asumsi pengaruh akses jalan berdasarkan kerusakan jalan belum dipertimbangkan. Algoritma *A-Star* merupakan gabungan Algoritma Dijkstra dan *Best First* untuk mengkompensasikan kelemahan-kelemahan dari masing-masing algoritma.

Algoritma Dijkstra memeriksa semua titik secara berurutan, sehingga membutuhkan waktu yang lama untuk mencari jalur terpendek pada graf yang besar. Selain itu, algoritma ini tidak efisien dalam mencari jalur terpendek jika terdapat bobot yang berbeda pada setiap sisi graf. Algoritma *Best First* hanya mempertimbangkan jarak heuristik dari titik saat memilih titik berikutnya, sehingga dapat mengabaikan titik yang lebih dekat secara aktual. Hal ini dapat menyebabkan algoritma ini tidak menemukan jalur terpendek. Algoritma *A-Star* mengatasi kelemahan-kelemahan tersebut sehingga algoritma ini dapat mencari jalur terpendek dengan lebih efisien dan akurat. (Yogaswara, G., 2013)

Perhitungan pada Algoritma *A-Star* dapat di tentukan sebagai berikut:

$$F(n) = G(n) + H(n) \tag{1}$$

Keterangan:

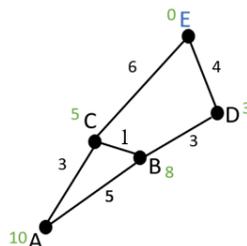
$G(n)$: Nilai pada pergerakan titik awal menuju titik berikutnya.

$H(n)$: Perkiraan nilai pergerakan titik awal menuju tujuan akhir titik.

$F(n)$: Jumlah nilai dari fungsi $G(n)$ dan $H(n)$.

Algoritma *A-Star* dinilai optimal jika $H(n)$ adalah *admissible heuristic*, yaitu jarak dengan menarik garis lurus dari titik awal menuju titik tujuan. Algoritma *A-Star* mempertimbangkan dua faktor, yaitu jarak aktual dan jarak heuristik dalam memilih titik berikutnya dengan nilai terkecil $F(n)$ adalah jalur terpendek menuju tujuan akhir. Algoritma *A-Star* adalah algoritma pencarian terbaik dalam mencari jalur terpendek dengan perhitungan terkecil pada jalur dengan titik awal menuju titik akhir. (Dalem, I. B. G. W. A., 2018)

Contoh : Penentuan jalur terpendek pada graf berbobot A dengan titik awal A dan titik tujuan E menggunakan Algoritma *A-Star*.



Gambar 2.5 Graf Berbobot A

Berdasarkan graf berbobot A , pencarian lintasan terpendek menggunakan Algoritma A -Star dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$F(n) = G(n) + H(n)$$

$$F(B) = G(B) + H(B) = 5 + 8 = 13$$

$$F(C) = G(C) + H(C) = 3 + 5 = 8$$

Karena $F(B) > F(C)$, sehingga setelah titik awal A akan dilanjutkan ke titik C .

Titik selanjutnya akan ditentukan sebagai berikut.

$$F(B) = G(B) + H(B) = 1 + 8 = 9$$

$$F(E) = G(E) + H(E) = 6 + 0 = 6$$

Diperoleh $F(B) > F(E)$, sehingga setelah titik C akan dilanjutkan ke titik E dan lintasan terpendek pada graf berbobot A adalah $A - C - E$.

Menentukan lintasan terpendek dari titik awal A menuju titik tujuan E menggunakan Algoritma A -Star dengan bahasa pemrograman *Python*. Berdasarkan graf berbobot A dapat dilihat keterkaitan antar beberapa titik sebagai berikut.

1. Jika $i = j$ (dari i titik ke i itu sendiri), diwarnai kuning.
2. Jika $i \neq j$ dan titik i terhubung dengan titik j , diwarnai putih dan dicantumkan bobot jaraknya.
3. Jika $i \neq j$ dan titik i tidak terhubung dengan titik j , diwarnai merah.

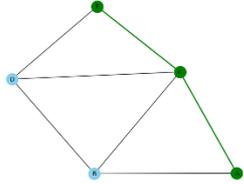
Keterkaitan titik dan bobot jarak yang telah diperoleh akan direpresentasikan ke dalam tabel berikut.

Tabel 2.1. Keterkaitan Titik dan Bobot Jarak Graf A

	A	B	C	D	E
A	0	5	3		
B	5	0	1	3	
C	3	1	0	2	6
D		3	2	0	4
E			6	4	0

Berikut *syntax* yang digunakan dan *output* yang akan dihasilkan dalam mencari lintasan terpendek dari titik awal *A* menuju titik tujuan *E*.

Tabel 2.2. *Syntax* dan *Output* Lintasan Terpendek Graf *A*

<i>Syntax</i>	<i>Output</i>
<pre>import heapq import networkx as nx import matplotlib.pyplot as plt # Inisialisasi graf terhubung graph = { 'A': {'B': 5, 'C': 3}, 'B': {'A': 5, 'C': 1, 'D': 3}, 'C': {'A': 3, 'B': 1, 'D': 2, 'E': 6}, 'D': {'B': 3, 'C': 2, 'E': 4}, 'E': {'C': 6, 'D': 4} } # Inisialisasi fungsi heuristik heuristic = { 'A': 10, 'B': 8, 'C': 5, 'D': 3, 'E': 0 } def astar(graph, start, goal, heuristic): # Inisialisasi jarak awal dan parent g = {start: 0} parent = {start: None} # Inisialisasi priority queue dengan titik # awal dan total cost queue = [(heuristic[start], start)] # Selama priority queue tidak kosong while queue: # Pop titik dengan total cost terkecil dari # priority queue _, current = heapq.heappop(queue) # Jika titik ini adalah titik tujuan, # pencarian selesai if current == goal: break # Untuk setiap tetangga dari titik saat ini for neighbor, cost in graph[current].items():</pre>	<p>Lintasan terpendek dari titik A ke titik E: ['A', 'C', 'E'] Total jarak: 9</p> 

```

# Hitung jarak baru dari titik awal ke
tetangga melalui titik saat ini
    tentative_g = g[current] + cost
# Jika jarak baru lebih pendek dari jarak
sebelumnya
    if neighbor not in g or
tentative_g < g[neighbor]:
# Perbarui jarak dan parent dari tetangga
    g[neighbor] = tentative_g
    parent[neighbor] = current
# Hitung total cost dari titik awal ke
tetangga melalui titik saat ini
    f = tentative_g +
heuristic[neighbor]
# Tambahkan tetangga ke priority queue
dengan total cost
    heapq.heappush(queue, (f,
neighbor))
# Rekonstruksi jalur dari titik awal ke
titik tujuan
    path = []
    current = goal
    while current is not None:
        path.append(current)
        current = parent[current]
    path.reverse()
    return path, g[goal]
# Memanggil fungsi A* untuk mendapatkan
jalur terpendek
start_node = 'A'
goal_node = 'E'
shortest_path, shortest_distance =
astar(graph, start_node, goal_node,
heuristic)
print(f"Lintasan optimal dari titik
{start_node} ke titik {goal_node}:")
print(shortest_path)
print(f"Total jarak: {shortest_distance}")
# Visualisasi graf
G = nx.Graph()
for node in graph:
    for neighbor, weight in
graph[node].items():
        G.add_edge(node, neighbor,
weight=weight)
pos = nx.spring_layout(G) # Menentukan

```

```
posisi node dengan spring layout
nx.draw(G, pos, with_labels=True,
node_size=400, node_color='skyblue',
font_size=10)
nx.draw_networkx_nodes(G, pos,
nodelist=shortest_path, node_color='green',
node_size=400)
nx.draw_networkx_edges(G, pos,
edgelist=[(shortest_path[i], shortest_path[i
+ 1]) for i in range(len(shortest_path) -
1)], edge_color='green', width=2)
# Menampilkan gambar graf
plt.show()
```