

**PENYELESAIAN MASALAH PENENTUAN JALUR EVAKUASI
MENGUNAKAN BUS DENGAN MENGGUNAKAN METODE
HEURISTIK BISH**

SKRIPSI

*Diajukan untuk memenuhi sebagian syarat untuk memperoleh
Gelar Sarjana Matematika*



Oleh
Muhamad Teguh Galih Pamenang
NIM 2003394

**PROGRAM STUDI MATEMATIKA
FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA
2024**

LEMBAR HAK CIPTA

**PENYELESAIAN MASALAH PENENTUAN JALUR EVAKUASI
MENGUNAKAN BUS DENGAN MENGGUNAKAN METODE
HEURISTIK BISH**

Oleh:

Muhamad Teguh Galih Pamenang
2003394

Diajukan untuk memenuhi sebagian syarat untuk memperoleh
Gelar Sarjana Matematika

© Muhamad Teguh Galih Pamenang 2024
Universitas Pendidikan Indonesia
Agustus 2024

Hak Cipta dilindungi undang-undang.
Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian dengan dicetak
ulang, difotokopi, atau cara lainnya tanpa izin penulis.


LEMBAR PENGESAHAN

MUHAMAD TEGUH GALIH PAMENANG

**PENYELESAIAN MASALAH PENENTUAN JALUR EVAKUASI
MENGUNAKAN BUS DENGAN MENGGUNAKAN METODE
HEURISTIK BISH**

Disetujui dan disahkan oleh pembimbing:

Pembimbing I

 12/08/2024

Dr. Khusnul Novianingsih, S.Si., M.Si.

NIP. 197711282008122001

Pembimbing II

 10 Agustus 2024

Imam Nugraha Albania, M.Pd., Ph.D.

NIP. 198604062010121003

Mengetahui,

Ketua Program Studi Matematika



Dr. Kartika Yulianti, S.Pd., M.Si.

NIP. 198207282005012001

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul “Penyelesaian Masalah Penentuan Jalur Evakuasi Menggunakan Bus dengan Menggunakan Metode Heuristik Bish” ini berserta seluruh isinya adalah benar-benar karya saya sendiri, dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini, saya siap menanggung resiko atau sanksi yang dijatuhkan masyarakat apabila ditemukan pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya ini, atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya saya ini.

Bandung, Agustus 2024

Yang membuat pernyataan,

Muhamad Teguh Galih Pamenang

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena dengan rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Penyelesaian Masalah Penentuan Jalur Evakuasi Menggunakan Bus dengan Menggunakan Metode Heuristik Bish” dengan lancar dan tepat waktu. Skripsi ini dibuat untuk memenuhi sebagian syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Matematika (S1) pada Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Pendidikan Indonesia.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis banyak mendapat hambatan namun dengan bantuan dari berbagai pihak, hambatan tersebut dapat teratasi. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada pihak yang sudah banyak membantu penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan pada skripsi ini, maka dari itu saran dan kritik konstruktif diharapkan untuk perbaikan di masa yang akan datang. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis sendiri maupun bagi khalayak yang membacanya.

Bandung, Agustus 2024

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji dan syukur kepada Allah SWT karena atas berkat limpahan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu, berpartisipasi dan memberi dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada:

1. Ibu Dr. Khusnul Novianingsih, S.Si., M.Si. dan Bapak Imam Nugraha Albania, M.Pd., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk membimbing, mengoreksi, memberi masukan dan mengarahkan penyusunan skripsi ini dari awal sampai akhir.
2. Ibu Dr. Kartika Yulianti, S.Pd., M.Si. selaku Ketua Program Studi Matematika Universitas Pendidikan Indonesia yang telah memberi dukungan agar penulis dapat menyelesaikan skripsi.
3. Ibu Ririn Sispiyati, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing akademik yang telah membimbing dan memberi masukan selama penulis berkuliah di Universitas Pendidikan Indonesia.
4. Segenap dosen program studi Matematika yang telah memberikan ilmu dan pendidikan kepada penulis selama berkuliah di Universitas Pendidikan Indonesia.
5. Ayahanda Petrus Wijanardi dan Ibunda Yusliani terima kasih atas doa, semangat, kasih sayang, motivasi dan segala bantuan spiritual maupun materiel sehingga penulis diberikan kelancaran dalam segala urusan perkuliahan termasuk dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Ridwan Nur yang membantu penulis dalam proses pembuatan program penyelesaian menggunakan *software Python*.
7. Serta masih banyak lagi pihak-pihak dan teman-teman penulis yang telah mendukung dan berjasa yang tidak dapat disebutkan namanya satu per satu.

Bandung, Agustus 2024

Penulis

PENYELESAIAN MASALAH PENENTUAN JALUR EVAKUASI MENGUNAKAN BUS DENGAN MENGGUNAKAN METODE HEURISTIK BISH

ABSTRAK

Indonesia rawan terhadap bencana alam seperti gempa bumi yang mengancam keselamatan jiwa penduduk. Oleh karena itu, diperlukan skenario jalur evakuasi yang optimum, yaitu jalur evakuasi yang memiliki durasi evakuasi seminimum mungkin untuk mengantisipasi kerusakan akibat bencana alam yang terjadi. Proses evakuasi dilakukan dengan menggunakan bantuan kendaraan. Bus menjadi salah satu pilihan kendaraan dalam proses evakuasi. Penentuan jalur evakuasi optimum dengan menggunakan bus dikenal dengan istilah *bus evacuation problem* (BEP). Penelitian ini menggunakan Metode Heuristik Bish untuk memperoleh jalur evakuasi yang optimum pada kasus BEP. Lebih lanjut, perpindahan mandiri oleh pengungsi dilibatkan agar diperoleh durasi evakuasi yang lebih singkat. Hasil implementasi Metode Heuristik Bish dengan perpindahan mandiri pengungsi pada kasus BEP menunjukkan bahwa metode yang dipilih berhasil menemukan jalur evakuasi di Kampung Pencut dengan durasi tercepat. Lebih jauh, pelibatan perpindahan mandiri pengungsi berhasil mengurangi durasi evakuasi. Hasil tersebut menunjukkan perpindahan mandiri pengungsi memiliki pengaruh dalam mengurangi durasi evakuasi jika dibandingkan dengan penyelesaian tanpa perpindahan mandiri pengungsi.

Kata Kunci: *Evacuation Problem*, Metode Heuristik Bish, Jalur Evakuasi, Perpindahan Mandiri Pengungsi

SOLVING BUS EVACUATION PROBLEM USING BISH HEURISTIC METHOD

ABSTRACT

Indonesia is prone to natural disasters such as earthquakes that threaten the safety of people's lives. Therefore, an optimal evacuation route scenario, which is an evacuation route with the shortest possible evacuation duration to anticipate damage from natural disasters is needed. The evacuation process is carried out using vehicles. Buses are one of the vehicle options for the evacuation process. Determining the optimal evacuation route using buses is known as the bus evacuation problem (BEP). The Bish Heuristic Method can be used to obtain the optimal evacuation route in BEP cases. Furthermore, the self-relocation of evacuees is involved in the hope of obtaining an even shorter evacuation duration. The results of implementing the Bish Heuristic Method with the self-relocation of evacuees in the BEP case shows that the chosen method successfully found the fastest evacuation route in Pencut Village. Moreover, involving the self-relocation of evacuees reduced the evacuation duration. These results indicate that the self-relocation of evacuees has an impact on reducing evacuation duration compared to solutions without evacuee self-relocation.

Keywords: *Evacuation Problem, Bish Heuristic Method, Evacuation Route, Self-Relocation of Evacuees*

DAFTAR ISI

LEMBAR HAK CIPTA	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
BAB II LANDASAN TEORI	5
2.1 Optimisasi	5
2.2 Graf	5
2.3 Graf Berarah	6
2.4 Graf Berbobot	6
2.5 Aliran dan Jaringan (<i>Flow and Network</i>)	7
2.6 <i>Vehicle Routing Problem</i> (VRP)	8
2.7 <i>Bus Evacuation Problem</i> (BEP)	8
2.8 Metode Heuristik Bish	9
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	10
3.1 Deskripsi Masalah	10
3.2 Tahapan Penelitian	10
3.3 Asumsi	12
3.4 Teknik Penyelesaian	13

3.4.1 Algoritma Heuristik Bish-Fase 1	14
3.4.2 Algoritma Heuristik Bish-Fase 2	16
3.4.3 Algoritma Heuristik Bish-Fase 2 dengan Perpindahan Mandiri Pengungsi	17
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	20
4.1 Model Optimisasi	20
4.2 Penyelesaian BEP Menggunakan Metode Heuristik Bish	23
4.3 Implementasi	45
4.3.1 Data Penelitian	46
4.3.2 Tahapan Implementasi	49
4.3.3 Validasi	53
4.3.4 Hasil Implementasi	55
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	63
5.1 Kesimpulan	63
5.2 Saran	64
DAFTAR PUSTAKA	65
LAMPIRAN	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Graf G	6
Gambar 2.2 Graf Berarah H	6
Gambar 2.3 Graf Berbobot I	7
Gambar 2.4 Contoh Suatu Jaringan	7
Gambar 2.5 Contoh Solusi VRP	8
Gambar 2.6 Contoh BEP	9
Gambar 4.1 Jaringan dari Contoh Kasus BEP dengan Bobot Busur dalam Satuan Meter	24
Gambar 4.2 Jaringan dari Contoh Kasus BEP dengan Bobot Busur dalam Satuan Detik	25
Gambar 4.3 Pemberian Label Banyaknya Perjalanan yang Dibutuhkan Setiap Simpul untuk Sampai ke Shelter	25
Gambar 4.4 Jaringan dari Rute Bus Sementara Hasil dari Algoritma Heuristik Bish-Fase 1	33
Gambar 4.5 Penukaran Keseluruhan Rute Awal Kedua Bus	34
Gambar 4.6 Penukaran Himpunan Titik Penjemputan Rute Awal Kedua Bus	35
Gambar 4.7 Penukaran Shelter Tujuan Rute Awal Kedua Bus	35
Gambar 4.8 Penugasan Rute Awal Bus <i>Bottleneck</i> untuk Dijadikan Rute Terakhir bagi Bus dengan Perjalanan Tercepat	36
Gambar 4.9 Penukaran Keseluruhan Rute Awal Bus dengan Perjalanan Tercepat dengan Keseluruhan Rute Kedua Bus <i>Bottleneck</i>	37
Gambar 4.10 Penukaran Himpunan Titik Penjemputan Rute Awal Bus dengan Perjalanan Tercepat dengan Himpunan Titik Penjemputan Rute Kedua Bus <i>Bottleneck</i>	38
Gambar 4.11 Penukaran <i>Shelter</i> Tujuan Rute Awal Bus dengan Perjalanan Tercepat dengan <i>Shelter</i> Tujuan Rute Kedua Bus <i>Bottleneck</i>	38
Gambar 4.12 Penugasan Rute Kedua Bus <i>Bottleneck</i> untuk Dijadikan Rute Terakhir bagi Bus dengan Perjalanan Tercepat	39
Gambar 4.13 Jaringan dari Solusi Akhir Contoh Kasus BEP Menggunakan Algoritma Heuristik Bish tanpa Melibatkan Perpindahan Mandiri Pengungsi	40

Gambar 4.14 Jaringan dari Rute Bus Sementara Hasil dari Perpindahan Mandiri Pengungsi P_3	42
Gambar 4.15 Jaringan dari Rute Bus Sementara Hasil dari Pembuatan Rute Baru bagi Pengungsi P_4	42
Gambar 4.16 Jaringan dari Solusi Akhir Contoh Kasus BEP Menggunakan Algoritma Heuristik Bish-Fase 2 dengan Melibatkan Perpindahan Mandiri Pengungsi	45
Gambar 4.17 Denah <i>Shelter</i> , Depot, dan Titik Penjemputan di Kampung Pencut, Kabupaten Bandung Barat	47
Gambar 4.18 Representasi Jaringan dari Kasus BEP Kampung Pencut	50
Gambar 4.19 Representasi Aliran dan Kapasitas Jaringan dari Kasus BEP Kampung Pencut untuk Perpindahan Pengungsi Secara Mandiri	51
Gambar 4.20 Solusi Fisibel Hasil Penerapan Algoritma Heuristik Bish-Fase 1 ...	54
Gambar 4.21 Solusi Akhir Hasil Penerapan Algoritma Heuristik Bish-Fase 2	54
Gambar 4.22 Solusi Akhir Hasil Penerapan Algoritma Heuristik Bish-Fase 2 dengan Perpindahan Mandiri Pengungsi	54

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 <i>Layer</i> 1 Bus 1	27
Tabel 4.2 <i>Layer</i> 1 Bus 2	29
Tabel 4.3 <i>Layer</i> 2 Bus 2	30
Tabel 4.4 <i>Layer</i> 2 Bus 1	31
Tabel 4.5 <i>Layer</i> 3 Bus 2	33
Tabel 4.6 Jumlah Penduduk pada Titik Penjemputan	48
Tabel 4.7 Perbandingan Rute dan Durasi Bus <i>Bottleneck</i> Kedua Solusi	59
Tabel 4.8 Hasil Implementasi Metode Heuristik Bish dengan Melibatkan Perpindahan Mandiri Pengungsi pada Kasus BEP di Kampung Pencut	60

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Matriks Jarak dalam Satuan Meter	68
Lampiran 2. Matriks Jarak dalam Satuan Detik untuk Perpindahan oleh Bus	69
Lampiran 3. Matriks Jarak dalam Satuan Detik untuk Perpindahan oleh Pengungsi Secara Mandiri	70
Lampiran 4. Kode Program Menentukan Rute Bus dengan Banyaknya Perjalanan Minimum	71
Lampiran 5. Kode Program Menentukan Rute Bus dengan Durasi Perjalananan Minimum	72
Lampiran 6. Kode Program Percobaan Penukaran Rute Tiga Urutan	73
Lampiran 7. Kode Program Penugasan Salah Satu Rute Bus <i>Bottleneck</i> Sebagai Rute Terakhir Bus dengan Perjalanan Tercepat	81

DAFTAR PUSTAKA

- Almohamad, H. A. & Duffuaa, S. O. (1993). A Linear Programming Approach for the Weighted Graph Matching Problem. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 15(5), 522–525. <https://doi.org/10.1109/34.211474>.
- Amideo, A. E., Scaparra, M. P., & Kotiadis, K. (2019). Optimizing the Shelter Location and Evacuation Routing Operations: The Critical Issues. *European Journal of Operational Research*, 279(2), 279–295.
- Astraisuzu, A. (2020). *NPS 75 Truk untuk Segala Kondisi*. [Online]. Tersedia di: https://astraisuzu.co.id/wp-content/uploads/2020/01/2017_Isuzu-NPS.pdf (diakses 22 Juni 2024).
- Bish, D. R. (2011). Planning for A Bus-Based Evacuation. *OR Spectrum*, 33, 629–654. <https://doi.org/10.1007/s00291-011-0256-1>.
- Cahyohartoto, F. (2019). *Penyelesaian Penentuan Jalur Evakuasi Optimal dengan Algoritma Genetika Adaptif (Studi Kasus di Kampung Pencut Lembang)*. (Tesis). Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung.
- Chavez, N. (2018). *Why Indonesia Has So Many Earthquake*. [Online]. Tersedia di: <https://edition.cnn.com/2018/09/29/asia/earthquakes-indonesia-explainer> (diakses 2 Februari 2024).
- Diestel, R. (2017). *Graph Theory* (Edisi Kelima). Heidelberg: Springer Berlin. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-53622-3>.
- Eksioglu, B., Vural, A. V., & Reisman, A. (2009). The Vehicle Routing Problem: A Taxonomic Review. *Computers & Industrial Engineering*, 57(4), 1472–1483. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2009.05.009>.
- Gemilang, M. H. (2022). *Review Truk Brimob Isuzu ELF NPS 4x4: Gagah dan Tangguh!* | *Otobuzz*. [Online]. Tersedia di: <https://www.youtube.com/watch?v=qM2ytapXmSw> (diakses 22 Juni 2024).
- Georigk, M., Grün, B., & Heßler, P. (2013). Branch and Bound Algorithms for the Bus Evacuation Problem. *Computer & Operations Research*, 40(12), 3010–3020. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2013.07.006>.

- Goerigk, M. & Grün, B. (2014). A Robust Bus Evacuation Model with Delayed Scenario Information. *OR Spectrum*, 36, 923–948. <https://doi.org/10.1007/s00291-014-0365-8>.
- Hamacher, H. W. & Tjandra, S. A. (2001). *Mathematical Modelling of Evacuation Problems: A State of Art*. Kaiserslautern: Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik.
- Hanifan, A. F. (2018). *Inilah yang Terjadi Saat Gempa Lembang Menghantam Bandung*. [Online]. Tersedia di: <https://tirto.id/inilah-yang-terjadi-saat-gempa-lembang-menghantam-bandung-cyE6> (diakses 2 Februari 2024).
- Laporte, G. & Nobert, Y. (1987). “Exact Algorithms for the Vehicle Routing Problem”. Dalam S. Martello, G. Laporte, M. Minoux, & C. Ribeiro (Penyunting), *Surveys in Combinatorial Optimization* (hlm. 147–184). Amsterdam: Elsevier Science Publishers.
- Laporte, G. (2007). What You Should Know About the Vehicle Routing Problem. *Naval Research Logistics*, 54(8), 811–819. <https://doi.org/10.1002/nav.20261>.
- Li, X., Cui, X., Jiang, R., & Jia, B. (2022). Bus Evacuation During No-Notice Disasters in Downtown Areas: A Case Study of the Zhongguancun Area, Beijing. *Journal of Safety Science and Resilience*, 3(3), 235–242. <https://doi.org/10.1016/j.jnlssr.2022.03.007>.
- Muljo, A. & Helmi, F. (2007). Sesar Lembang dan Resiko Kegempaan. *Bulletin of Scientific Contribution: Geology*, 5(2), 94–98.
- Murayama, M., Itagaki, T., & Yoshida, K. (2000). Study on Evaluation of Escape Route by Evacuation Simulation. *Journal of the Society of Naval Architects of Japan*, 188, 441–448. https://doi.org/10.2534/jjasnaoe1968.2000.188_441.
- Putratama, R. (2023). *Gempa Bumi Tektonik Bisa Diprediksi?* [Online]. Tersedia di: <https://www.bmkg.go.id/artikel/?p=gempabumi-tektonik-bisa-diprediksi&lang=ID> (diakses 14 Februari 2024).
- Still, K., Papalexli, M., Fan, Y., & Bamford, D. (2020). Place Crowd Safety, Crowd Science? Case Studies and Application. *Journal of Place Management and Development*, 13(4), 385–407. <http://dx.doi.org/10.1108/JPMD-10-2019-0090>.

- Tahmidaten, L. & Krismanto, W. (2020). Permasalahan Budaya Membaca di Indonesia (Studi Pustaka Tentang Problematika & Solusinya). *Scholaria: Jurnal Pendidikan dan Kebudayaan*, 10(1), 22–33. <https://doi.org/10.24246/j.js.2020.v10.i1.p22-33>.
- Toth, P. & Vigo, D. (2002). “An Overview of Vehicle Routing Problems”. Dalam P. Toth & D. Vigo (Penyunting), *The Vehicle Routing Problem* (hlm. 1–26). Philadelphia: SIAM Publication Library. <https://doi.org/10.1137/1.9780898718515>.
- Wang, L. & Zhao, J. (2022). “Mathematical Optimization”. Dalam L. Wang & J. Zhao (Penyunting), *Architecture of Advanced Numerical Analysis Systems* (hlm. 87–119). Berkeley: Apress. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-8853-5_4.
- Wen, L. & Eglese, R. (2015). Minimum Cost VRP with Time-dependent Speed Data and Congestion Charge. *Computers & Operation Research*, 56, 41–50. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2014.10.007>.
- Zheng, H. (2014). Optimization of Bus Routing Strategies for Evacuation. *Journal of Advanced Transportation*, 48(7), 734–749. <https://doi.org/10.1002/atr.1224>.