

## Pemilihan alternatif rute evakuasi hewan ternak berbasis *Multi Criteria Analysis* (MCA) dan pemodelan *AnyLogic Software* di kawasan rawan bencana erupsi Merapi

Faizul Chasanah<sup>1\*</sup>, Sri Aminatun<sup>1</sup>, Laziqoh Zahatul Tolab<sup>1</sup>, Imron Rosyadi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Sleman, Indonesia

<sup>2</sup> Fakultas Kedokteran Hewan, Universitas Gadjah Mada, Sleman, Indonesia

### Article Info

Available online

### Keywords:

Evacuation route  
Anylogic software  
Multi Criteria Analysis (MCA)

### Corresponding Author:

Faizul Chasanah  
faizul\_chasanah@uii.ac.id

### Abstract

*The Mount Merapi eruption has a major impact on the economic sector. One of the losses in the economic sub-sector is livestock. Road conditions, traffic, and the evacuation travel time can reduce productivity and even animal death. Therefore, mitigation and strategic efforts for the animal evacuation process are future challenges. This study aims to identify alternative safe and low-risk evacuation routes for livestock in Kepuharjo Village, Cangkringan. Primary data were obtained through stakeholder interviews and direct observation to obtain the geometry data, pavement conditions, and traffic. Meanwhile, evacuation and hazard maps, vehicle ownership data were obtained from the Sleman BPBD Merapi Eruption contingency document and Kepuharjo Village Contingency document. Evacuation time simulation using Anylogic software and the assessment of the best alternative routes using the Multi Criteria Analysis (MCA) method. Based on the analysis, there are 5 alternative livestock evacuation routes in Kepuharjo Village, Cangkringan. The results of the MCA assessment and anylogic software simulation show that routes 1 and 2 are the best with values of 3.67 and 3.71. Both routes have advantages in terms of shorter road length and travel time, wide and good pavement conditions, and lower hazard risks.*

*Copyright © 2025 Universitas Islam Indonesia  
All rights reserved*

### Pendahuluan

Bencana alam merupakan ancaman besar bagi Indonesia salah satunya adalah erupsi gunung Merapi. Letusan ini dapat berdampak pada banyak sektor seperti ekonomi, sosial, infrastruktur, dan kesehatan. Kerugian pada subsektor peternakan disebabkan oleh kematian atau berkurangnya produktivitas, serta rusaknya prasarana peternakan. Desa Kepuharjo yang terletak di bawah lereng Gunung Merapi merupakan salah satu desa yang aktif dan sigap dalam menghadapi bencana, khususnya erupsi gunung (Fatma, 2023). Keberadaan desa ini dalam Kawasan

Rawan Bencana II menunjukkan komitmen masyarakat untuk meminimalisir dampak bencana. Kondisi Gunung Merapi hingga saat ini terus naik ke level siaga dan sering meluncurkan guguran awan panas. Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kebencanaan Geologi (BPPTKG) Yogyakarta (2024) mencatat 1300 m guguran awan panas meluncur ke arah barat daya pada 18 September 2024. Kondisi demikian, tidak membuat masyarakat Desa Kepuharjo menurunkan tingkat kesiapsiagaan karena dampak dari letusan gunung berapi cukup sulit untuk diprediksi. Sejarah mencatat bahwa

letusan Gunung Merapi pada tahun 2006 dan 2010 menimbulkan kerugian besar, baik materiil maupun korban jiwa. Namun, upaya mitigasi yang dilakukan oleh masyarakat dan pemerintah setempat berhasil mengurangi dampak bencana tersebut, termasuk mengurangi jumlah korban jiwa pada manusia maupun hewan ternak yang terdampak.

Mayoritas penduduk Desa Kepuharjo adalah peternak yang berfokus pada sapi, kambing, domba, dan unggas. Dalam menghadapi ancaman erupsi yang masih mungkin terjadi maka masyarakat harus terus mengembangkan sikap kesiapsiagaan (Hidayati dan Ermawati (2022), Ketaren dkk. (2022), serta Tanipu dan Hidayat (2024)). Proses evakuasi menjadi sangat penting tidak hanya untuk manusia, tetapi juga untuk hewan ternak mereka. Kecenderungan masyarakat ketika sudah dilakukan evakuasi, masyarakat akan kembali ke tempat tinggal untuk mengevakuasi hewan ternaknya (Anggoro dkk, 2024). Kondisi demikian tentu berpotensi membahayakan nyawa manusia jika bencana belum sepenuhnya aman. Oleh karena itu, sangat penting untuk segera melakukan langkah strategis dalam proses evakuasi. Tidak hanya manusia, tetapi juga hewan ternak yang dimiliki oleh penduduk setempat harus menjadi prioritas dalam upaya penyelamatan demi mengurangi kerugian yang lebih besar.

Upaya proses evakuasi tentunya memerlukan rute yang tepat untuk mendukung kelancaran akses mobilisasi. Rute yang direncanakan dengan teliti akan meminimalkan waktu evakuasi, mengoptimalkan arus lalu lintas, dan memastikan keselamatan semua aspek yang terlibat (Sahabat dkk. (2019 dan Tanra dkk. (2023)). Petunjuk rute evakuasi saat ini tidak terlihat secara signifikan di sepanjang jalan Desa Kepuharjo menuju tempat *shelter* atau barak pengungsian. Dengan demikian, dalam penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi rute alternatif evakuasi dengan mengacu pada letusan terdahsyat pada 26 Oktober 2010 silam dengan radius aman mencapai 15 km. Identifikasi rute alternatif dilakukan dengan mempertimbangkan

berbagai macam parameter kriteria dengan basis *Multi Kriteria Analysis (MCA)*.

*MCA* menjadi salah satu basis pengambilan keputusan yang tepat digunakan bagi perencanaan dengan melibatkan berbagai kriteria penilaian, terutama untuk pemilihan rute alternatif dari proses evakuasi akibat bencana. Penggunaan *MCA* untuk proses mitigasi bencana alam sebelumnya juga sudah dilakukan oleh Asbi dan Siregar (2021) dalam penentuan rute jalur darat dan evakuasi kebakaran hutan Taman Nasional Gunung Merbabu dengan mempertimbangkan kriteria penutupan lahan, kelerengan, jarak dari jalur, jaringan daerah rawan kebakaran, dan jaringan jalan. Talaksoru dan Wahyuni (2022) menganalisis alternatif trase akibat pembangunan jembatan dengan mempertimbangkan kriteria fungsi kawasan, pemanfaatan lahan, lalu lintas, dan sosio ekonomi. Erliana dkk. (2022) melakukan pemilihan alternatif ruas jalan dengan mempertimbangkan kriteria aksesibilitas, fisik, sosial, dan lingkungan. Selain itu, penelitian lain yang menggunakan basis *MCA* dalam pengambilan keputusan seperti pada Thantawi dkk. (2020), Isya dkk. (2020), Kamila dan Ekasari (2022), Vitianingsih dkk. (2022), serta Octaviansyah dkk. (2024).

*AnyLogic Software* merupakan perangkat lunak pemodelan yang digunakan untuk simulasi multimetode, yang memungkinkan pengguna untuk menggabungkan berbagai teknik simulasi dalam satu model. Umumnya, *AnyLogic* digunakan untuk visualisasi dan analisis proses logistik, bisnis, manajemen aset, layanan kesehatan, pergerakan pejalan kaki, lalu lintas kendaraan, dan berbagai aplikasi lainnya. Chasanah dan Sakakibara (2022) telah mengembangkan model evakuasi orang rentan di KRB III gunung Merapi Kabupaten Sleman. *AnyLogic* telah terbukti sebagai alat yang efektif untuk mengembangkan, menganalisis, dan mengoptimalkan model evakuasi berbasis agen. Jumadi dkk. (2029) juga mengembangkan model untuk pengambilan keputusan evakuasi individu selama bencana erupsi Merapi. *AnyLogic* digunakan untuk

membandingkan skenario evakuasi antara skenario letusan gunung Merapi secara bersamaan dan bertahap di Kabupaten Sleman. Penelitian terdahulu lainnya yang memanfaatkan *software* tersebut dilakukan oleh Choi dkk. (2019), Feng dkk. (2020), Zou dkk. (2021), Afanasyev dkk. (2023), Abdeen dkk. (2023), Niu dkk. (2023), serta Ding dkk. (2024).

Adanya penelitian ini diharapkan dapat menjadi pertimbangan dan membantu para pengambil keputusan dalam penentuan rute evakuasi khususnya hewan di kawasan rawan bencana Merapi ketika terjadi letusan besar dalam radius lebih dari 15 km.

**Metodologi**

Penelitian ini dilakukan dengan basis *MCA* dengan bantuan *google earth* dan *anylogic software* untuk mendukung pengambilan keputusan dalam pemilihan rute alternatif evakuasi. Data primer diperoleh dengan wawancara *stakeholder* dan observasi langsung untuk mendapatkan data geometri jalan, kondisi fisik jalan, dan lalu lintas jalan. Sedangkan data peta evakuasi dan barak pengungsian, peta Kawasan Rawan Bencana, data kepemilikan kendaraan serta data sekunder lain didapatkan dari dokumen kontijensi Erupsi Merapi BPBD Sleman (BPBD, 2019) dan dokumen Kontijensi Desa Kepuharjo (BPBD, 2019). Area studi berfokus di Desa Kepuharjo, Cangkringan, Sleman, Yogyakarta dengan titik awal di pusat peternakan Kantor Desa Kepuharjo dan titik akhir di Stadion Maguwoharjo.

**Multi Criteria Analysis (MCA)**

*MCA* digunakan untuk mengevaluasi alternatif rute evakuasi hewan ternak yang berada di Desa Kepuharjo. Proses evaluasi dengan *MCA* membutuhkan parameter kriteria dan pembobotan. Kriteria penilaian dalam penentuan rute evakuasi, meliputi panjang jalan, waktu tempuh, kondisi fisik jalan, risiko *hazard*, geometri jalan, dan kondisi lalu lintas yang secara detail dapat dilihat pada Tabel 1. sampai dengan Tabel 6. Pembobotan setiap kriteria dilakukan dengan

penentuan *Rank Sum* (Roszkowska, 2013) yang sebelumnya juga telah dilakukan oleh (Hairah dan Budiman, 2019) serta (Asbi dan Siregar, 2021) melalui Pers (1).

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

dengan:  $w_j$  = bobot normal;  $n$  = jumlah kriteria;  $r_k$  = posisi ranking; dan  $\sum (n - r_k + 1)$  = jumlah total bobot.

*Panjang Jalan*

Tabel 1. Kriteria dan Skor Panjang Jalan

Kriteria	Skor
5-15 km	5
16-25 km	4
26-30 km	3
31-40 km	2
> 40 km	1

*Waktu Tempuh*

Tabel 2. Kriteria dan Skor Waktu Tempuh

Kriteria	Skor
30-60 menit	5
61-90 menit	4
91-120 menit	3
121-150 menit	2
>150 menit	1

*Kondisi Fisik Jalan*

Tabel 3. Kriteria dan Skor Kondisi Fisik Jalan

Kriteria	Skor
Jalan dalam kondisi sangat baik (misalnya, permukaan halus, bebas dari kerusakan, marka jalan jelas, drainase lancar)	5
Jalan dalam kondisi baik (sedikit kerusakan, namun masih nyaman dilalui, ada sedikit masalah dengan drainase atau tanda jalan)	4
Jalan dalam kondisi cukup baik (kerusakan kecil, ada lubang atau retak, sedikit masalah dengan drainase dan marka jalan)	3
Jalan rusak (kerusakan besar atau lubang banyak, drainase bermasalah, tanda jalan kurang jelas)	2
Jalan sangat rusak (permukaan berlubang, banyak kerusakan, drainase buruk, tanda jalan tidak ada atau rusak)	1

Risiko Hazard

Tabel 4. Kriteria dan Skor Risiko Hazard

Kriteria	Skor
Risiko sangat rendah (tidak dalam zona rawan bencana, tidak ada sungai, dan tidak ada potensi longsor)	5
Risiko rendah (zona jauh dari KRB, ada kemungkinan terdampak bencana, jauh sungai risiko banjir kecil, dan risiko longsor rendah)	4
Risiko sedang (zona KRB III, dekat dari sungai tetapi ada potensi bahaya meskipun tidak berisiko besar, dan sedikit potensi longsor).	3
Risiko tinggi (zona KRB II, dekat dengan sungai besar yang sering meluap, dan rawan longsor).	2
Risiko sangat tinggi (zona KRB I, sangat dekat dengan sungai yang sering meluap, dan rawan longsor aktif).	1

Geometri Jalan

Tabel 5. Kriteria dan Skor Geometri Jalan

Kriteria	Skor
Lebar jalan lebih dari 12 meter (cukup untuk 2 jalur kendaraan besar, seperti bus atau truk). Jalan ideal yang dapat menampung volume kendaraan tinggi.	5
Lebar jalan 8-12 meter (2 jalur mobil kecil, cukup untuk kendaraan pribadi dan sepeda motor).	4
Lebar jalan 5-8 meter (1-2 jalur kendaraan pribadi, sering terjadi kemacetan saat jam sibuk).	3
Lebar jalan 3-5 meter (sempit, hanya cukup untuk satu jalur kendaraan roda dua atau satu jalur kendaraan roda empat, sering terjadi kemacetan dan berisiko kecelakaan).	2
Lebar jalan kurang dari 3 meter (sangat sempit, hanya bisa dilalui kendaraan roda dua, sangat berisiko untuk keselamatan dan kecepatan).	1

Kondisi Lalu Lintas

Tabel 6. Kriteria dan Skor Kondisi Lalu Lintas

Kriteria	Skor
Lalu lintas sangat lancar, tidak ada kemacetan sepanjang hari. Kondisi ideal untuk berkendara dengan kecepatan yang aman.	5

Lanjutan Tabel 6. Kriteria dan Skor Kondisi Lalu Lintas

Kriteria	Skor
Lalu lintas lancar dengan sedikit kemacetan, hanya pada jam sibuk. Pengendara dapat tetap bergerak dengan relatif cepat.	4
Lalu lintas padat di beberapa jam tertentu, sering ada kemacetan ringan, tetapi masih bisa diatasi.	3
Lalu lintas padat, sering terjadi kemacetan parah terutama pada jam sibuk. Kecepatan kendaraan sangat terhambat.	2
Lalu lintas sangat padat sepanjang hari, kemacetan terjadi hampir setiap saat. Kecepatan kendaraan sangat rendah dan sering terhenti.	1

Anylogic Software

Simulasi rute evakuasi dilakukan dengan menggunakan *anylogic software*. Proses simulasi dilakukan dengan berbagai elemen dan mengatur baik jumlah agen, kecepatan, titik awal dan titik akhir, sampai waktu interval masuknya agen ke dalam rute jalan. Elemen yang digunakan untuk membantu visualisasi model sebagai berikut.

1. *Source*, berfungsi sebagai titik awal dari diagram proses sehingga dapat menghasilkan entitas yang dapat keluar.
2. *Queue*, berfungsi untuk menyimpan entitas yang datang sehingga dapat menunggu di dalam antrian pada elemen ini.
3. *MoveTo*, berfungsi untuk menggerakkan agen dari satu titik ke titik yang lain.
4. *Sink*, elemen untuk mengakhiri kegiatan pergerakan.

Penggunaan *anylogic software* pada penelitian ini dilakukan untuk pengambilan waktu dan visualisasi agen kendaraan yang mampu melintas di sepanjang rute jalan. Adapun detail agen yang divisualisasikan dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Jenis Agen

Jenis	Jumlah (Unit)
Sepeda Motor	1744
Mobil Penumpang	456
Pickup	4
Truk	73
Truk Evakuasi Ternak	1

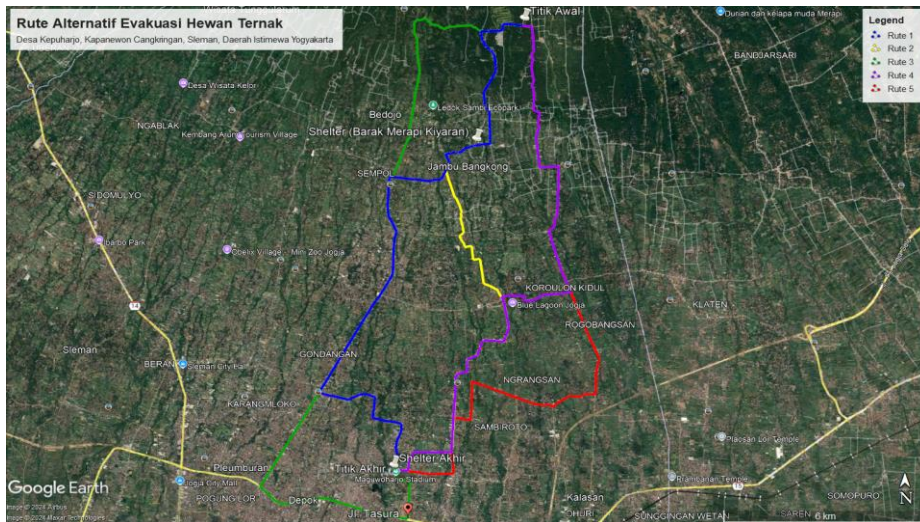
Sumber: Dokumen Rencana Kontinjensi Erupsi Merapi Desa Kepuharjo (2019)

Skenario simulasi disesuaikan dengan skenario yang ada di dokumen kontigensi desa dimana evakuasi ternak dilakukan secara mandiri dengan kendaraan masing-masing, bantuan evakuasi dari pemerintah diasumsikan 1 truk. Semua kendaraan bergerak *one-way* kebawah menuju *shelter*.

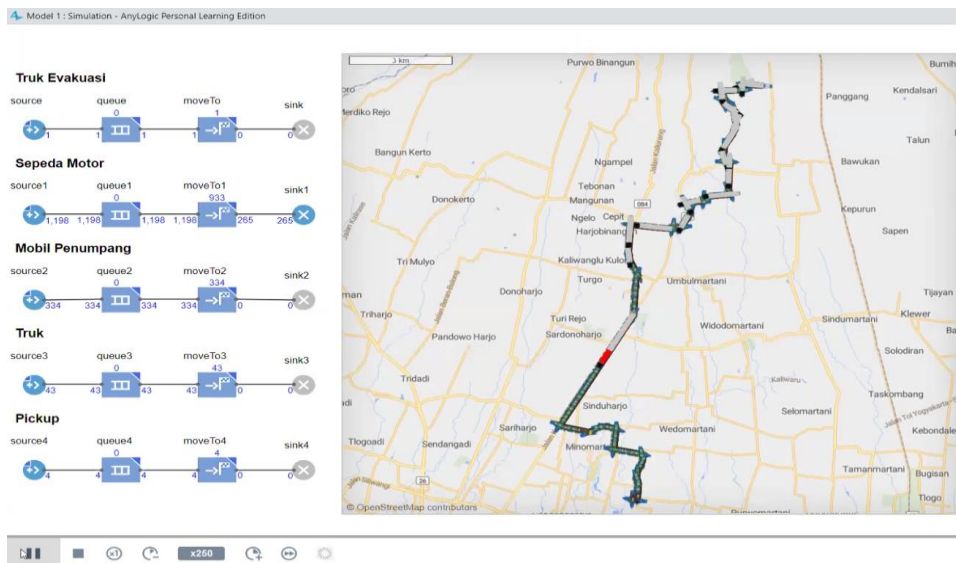
**Hasil dan Pembahasan**

Pada penelitian yang dilakukan berkaitan dengan rute evakuasi hewan ternak, khususnya domba/kambing yang dimiliki oleh

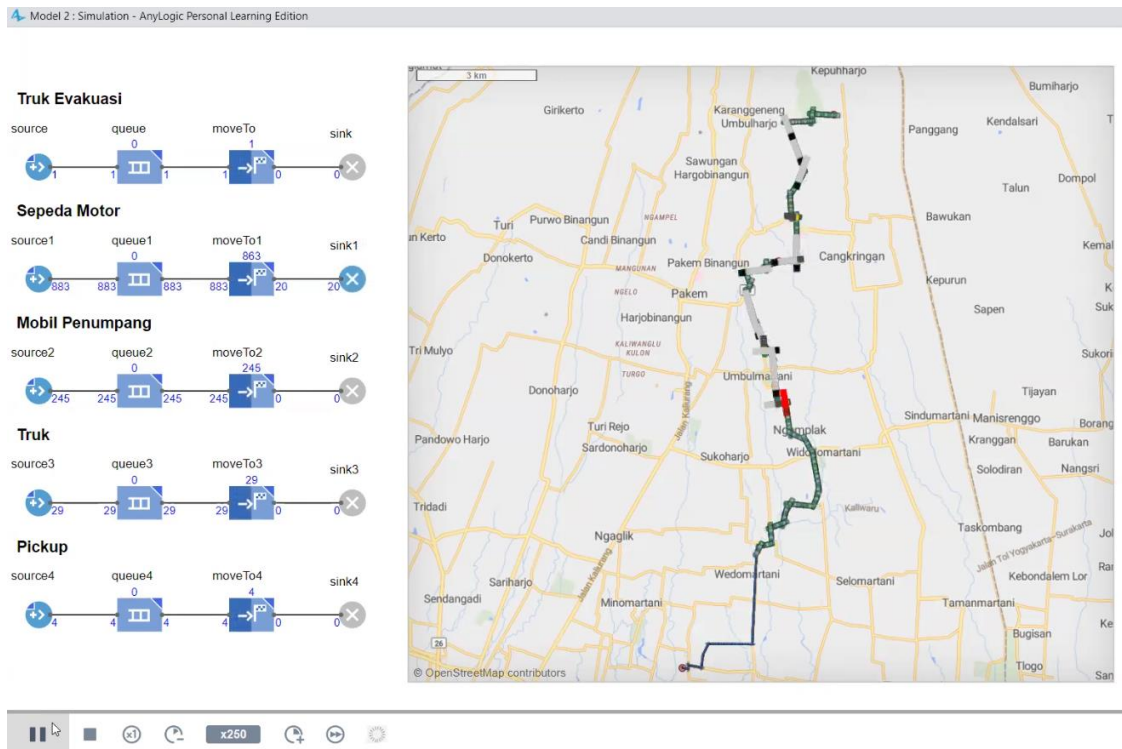
warga Desa Kepuharjo, Kapanewon Cangkringan, Sleman, Yogyakarta disajikan 5 alternatif desain. Kelima alternatif desain tersebut dilakukan dengan mempertimbangkan berbagai aspek dari *Multi Criteria Analysis (MCA)* yang sudah ditentukan sebelumnya. Selanjutnya lima alternatif tersebut dapat dilihat pada Gambar 1. Hasil visualisasi perencanaan masing-masing rute alternatif dapat dilihat pada Gambar 2 sampai Gambar 7. Rekapitulasi hasil secara detail disajikan pada Tabel 7.



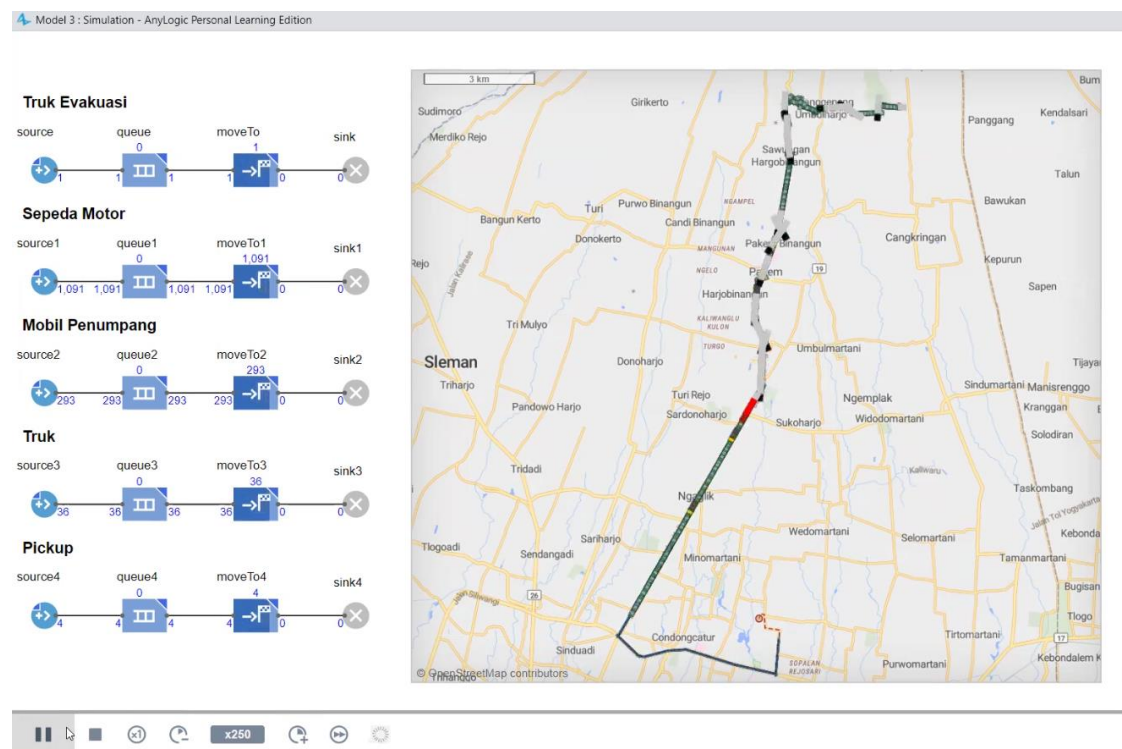
Gambar 1. Alternatif Rute Evakuasi Hewan Ternak Desa Kepuharjo, Cangkringan, Sleman, Yogyakarta



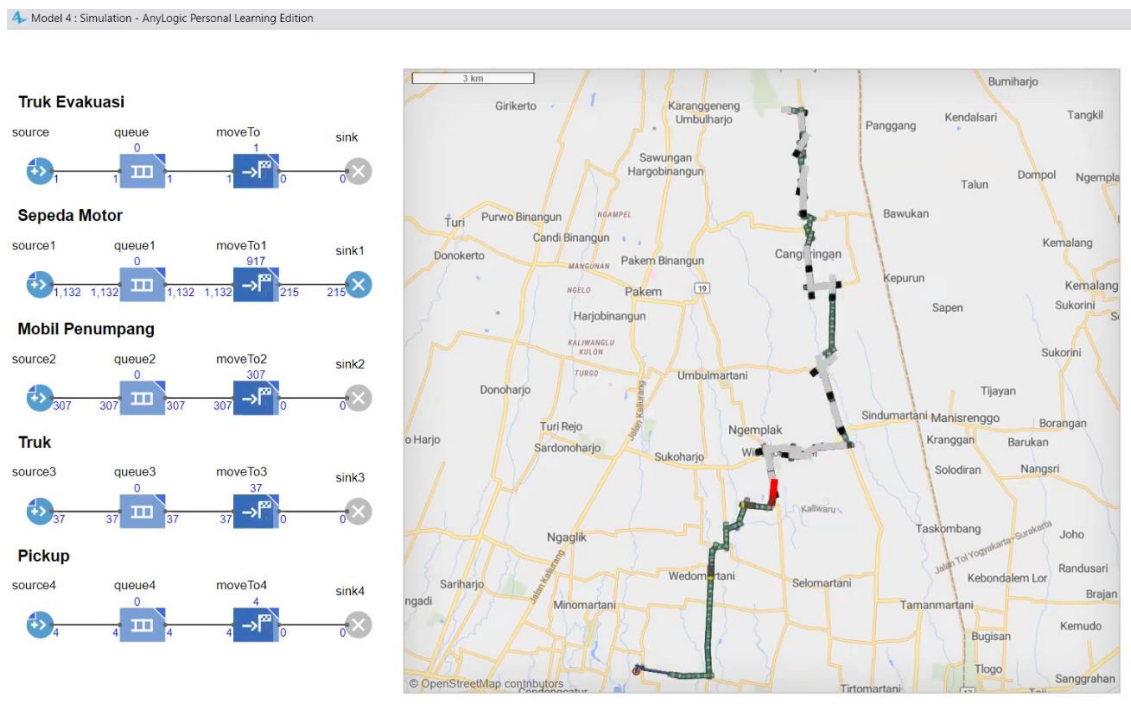
Gambar 2. Hasil Visualisasi Anylogic Software Rute Alternatif 1



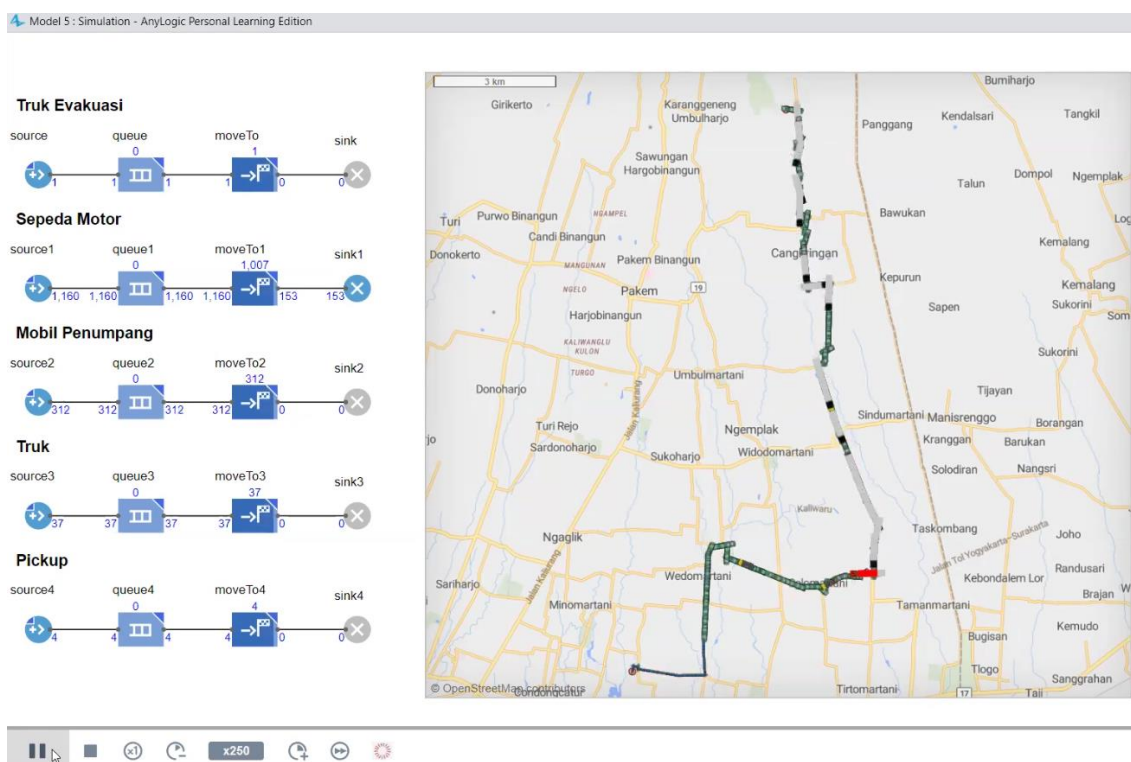
Gambar 3. Hasil Visualisasi *Anylogic Software* Rute Alternatif 2



Gambar 4. Hasil Visualisasi *Anylogic Software* Rute Alternatif 3



Gambar 5. Hasil Visualisasi *Anylogic Software* Rute Alternatif 4



Gambar 6. Hasil Visualisasi *Anylogic Software* Rute Alternatif 5

Tabel 7. Perbandingan antar Alternatif Rute Berdasarkan dari Berbagai Parameter Kriteria

Kriteria	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4	Alternatif 5
Panjang Jalan (km)	21,3	20,4	26	20,1	22,2
Waktu Tempuh (menit)	65,27	61,4	80,73	60,82	68,05
Kondisi Fisik Jalan	Baik, jalan beton dan aspal, sedikit tambalan, dan jalan baru perbaikan	Baik, jalan beton dan aspal, sedikit tambalan, dan jalan baru perbaikan	Baik, sedikit tambalan, dan baru perbaikan	Baik, cukup banyak retak, tambalan, dan sebagian marka jalan kurang jelas.	Baik, cukup banyak retak, tambalan, dan sebagian marka jalan kurang jelas.
Riziko Hazard	Melintasi jembatan Pagerjurang, KRB II	Melintasi jembatan Pagerjurang, KRB II	Melintasi jembatan Pagerjurang, KRB II	Dekat Kali Gendol, KRB II	Dekat Kali Gendol, KRB II
Geometri Jalan	Lebar 6 - 12 m	Lebar 6 - 12 m	Lebar 7 - 12 m	Lebar 4 - 9 m	Lebar 4 - 9 m
Kondisi Lalu Lintas Jalan	Sepi dan ramai	Sepi dan ramai	Mayoritas ramai	Sepi dan ramai	Mayoritas ramai dan sebagian sepi

Tabel 7 menunjukkan bahwa masing-masing alternatif rute memiliki kelebihan dan kekurangan untuk dijadikan rute evakuasi hewan ternak. Waktu tempuh dari masing-masing rute dengan titik awal Desa Kepuharjo dan titik akhir Stadion Maguwoharjo sebagai *shelter* pengungsian apabila terjadi letusan Gunung Merapi dengan jarak aman lebih dari 15 km didapatkan dari hasil *running anylogic software*. Dalam konteks bencana, waktu tempuh menjadi salah satu faktor krusial setelah risiko bencana yang akan mempengaruhi keberhasilan proses evakuasi. Chasanah dan Sakakibara (2022) dalam penelitiannya menggunakan permodelan *anylogic* untuk evakuasi orang rentan menyebutkan bahwa model gotong royong yang efektif melalui simulasi *anylogic software* dapat memberikan gambaran dan solusi yang efektif dalam proses keberhasilan evakuasi. Penggunaan perangkat lunak *anylogic software* menambah validasi data yang diperoleh dan menunjukkan bahwa keputusan diambil berdasarkan analisis yang terukur dan berbasis data. Feng dkk. (2020) juga menyebutkan bahwa pemodelan berbasis agen dengan mensimulasikan suatu perilaku dalam situasi darurat dapat membantu perencanaan jalur evakuasi yang optimal.

Simulasi dengan *anylogic software* dengan mempertimbangkan berbagai parameter kondisi, seperti kecepatan, interval waktu kedatangan, dan parameter lainnya sehingga dapat lebih efektif dalam mensimulasikan berbagai strategi evakuasi (Niu dkk. 2023).

Pengambilan keputusan pemilihan rute alternatif terbaik dapat dilakukan dengan menggunakan identifikasi *Multi Criteria Analysis (MCA)* yang hasil analisisnya dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8 Menunjukkan *Multi Criteria Analysis (MCA)* dengan kondisi bahwa semakin besar jumlah nilai yang didapatkan maka alternatif rute lebih direkomendasikan, begitu sebaliknya. Dengan demikian, dari 5 alternatif rute direkomendasikan rute 1 dan 2 dengan masing-masing poin *MCA* sebesar 3,67 dan 3,71. Penentuan tersebut didasarkan pada berbagai macam pertimbangan seperti panjang jalan, waktu tempuh, kondisi fisik, risiko *hazard*, geometri, dan kondisi lalu lintas. Keunggulan dari alternatif rute 1 adalah risiko ancaman rendah, memiliki kondisi fisik jalan yang baik dan cukup lebar. Alternatif rute 2 memiliki keunggulan risiko ancaman rendah, waktu tempuh lebih singkat, serta kondisi jalan yang minim kerusakan dan jalur yang dilewati

beberapa ruas jalan cenderung sepi dengan kondisi jalan yang cukup lebar (6-12m). Berdasarkan parameter risiko *hazard* kondisi Desa Kepuharjo yang diapit 2 sungai yaitu Sungai Gendol dan Sungai Opak menjadi tantangan yang cukup besar dan berbahaya dalam penentuan rute alternatif evakuasi. Dengan demikian, berdasarkan analisis diatas maka dipilih dua rute, yaitu alternatif 1 dan 2 yang menjadi pilihan terbaik untuk rute evakuasi hewan ternak. Penilaian rute dengan *MCA* yang telah dilakukan oleh Asbi dan

Siregar (2021) menyebutkan bahwa penggunaan *MCA* sangat berguna dan efektif dalam merencanakan jalur darurat dan evakuasi kebakaran hutan sehingga memberikan pendekatan sistematis untuk pengambilan keputusan yang dapat meningkatkan keselamatan dalam situasi darurat. Penilaian *MCA* dalam pemilihan rute mampu memberikan pendekatan sistematis untuk meningkatkan keselamatan (Kamila dan Ekasari, (2022) dan Tanra dkk. (2023)).

Tabel 8. Hasil Analisis Pemilihan Rute Terbaik berdasarkan Identifikasi *Multi Criteria Analysis (MCA)*

Rute	Kriteria							Total Poin
	Panjang Jalan	Waktu Tempuh	Kondisi Fisik	Risiko Hazard	Geometri	Kondisi Lalu Lintas		
	Bobot							
	0,19	0,24	0,14	0,29	0,10	0,05	1	
Alternatif 1	4	4	4	3	4	3	3,67	
Alternatif 2	4	4	4	3	4	4	3,71	
Alternatif 3	4	4	3	3	4	2	3,62	
Alternatif 4	4	4	3	2	3	4	3,19	
Alternatif 5	4	4	3	2	3	3	3,14	

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan analisis maka didapatkan bahwa pemilihan rute evakuasi hewan ternak perlu dilakukan dengan tepat sehingga dapat mengurangi dampak risiko bencana. Rute alternatif Desa Kepuharjo, Kapanewon Cangkringan, Sleman, Yogyakarta terdiri dari 5 rute. Dari 5 rute tersebut dipilih menggunakan *Multi Criteria Analysis (MCA)* yang dibantu dengan simulasi *anylogic software* sehingga didapatkan 2 rute terbaik, yaitu rute 1 dan 2. Hasil penilaian *Multi Criteria Analysis (MCA)* dari rute 1 dan 2 masing-masing sebesar 3,67 dan 3,71. Kedua rute tersebut juga memiliki keunggulan dari segi kriteria panjang jalan dan waktu tempuh yang lebih pendek, kondisi fisik jalan yang baik dan cukup lebar, serta risiko *hazard* yang lebih rendah.

### Daftar Pustaka

- Abdeen, M. A., Nemer, I. A., Sheltami, T. R., Ahmed, M. H., dan Elnainay, M. (2023). A Hierarchical Algorithm for In-city Parking Allocation Based on Open Street Map and AnyLogic Software. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 48(8), 9575-9595.
- Afanasyev, M., Pervukhin, D., Kotov, D., Davardoost, H., dan Smolenchuk, A. (2023). System modeling in solving mineral complex logistic problems with the anylogic software environment. *Transportation Research Procedia*, 68, 483-491.
- Anggoro, B. S., Tyas, W. P., dan Mardiansyah, F. H. (2024). Analisis Titik Kumpul Dalam Proses Evakuasi Penduduk dan Ternak Ketika Erupsi Gunung Merapi Wilayah Studi Kecamatan Cepogo, Boyolali. *TATALOKA*, 26(2), 126-142.
- Asbi, A. M., dan Siregar, D. I. (2021). Analisis Keputusan Multi Kriteria dalam Penentuan Rute Optimum sebagai Jalur Darurat dan Evakuasi Kebakaran Hutan di Taman Nasional Gunung Merbabu. *Journal of Science and Applicative Technology*, 5(2), 290-298.
- Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kebencanaan Geologi (BPPTKG) Yogyakarta.

- (2024). *Gunung Merapi Muntahkan Awan Panas 1,3 Km Sore Ini*. (Diakses: 27 Desember 2024). <https://www.detik.com/jogja/berita/d-7546258/gunung-merapi-muntahkan-awan-panas-1-3-km-sore-ini>
- BPBD. (2019) Dokumen Rencana Kontijensi Erupsi Merapi BPBD Sleman.
- BPBD. (2019). Dokumen Rencana Kontijensi Desa Kepuharjo.
- Chasanah, F. dan Sakakibara, H. (2022). Implication of Mutual Assistance Evacuation Model to Reduce the Volcanic Risk for Vulnerable Society: Insight from Mount Merapi, Indonesia. *Sustainability*, 14(8110), 1-23.
- Choi, M., dan Chi, S. (2019). Optimal route selection model for fire evacuations based on hazard prediction data. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 94, 321-333.
- Ding, Z., Xu, S., Xie, X., Zheng, K., Wang, D., Fan, J., ... dan Liao, L. (2024). A building information modeling-based fire emergency evacuation simulation system for large infrastructures. *Reliability Engineering dan System Safety*, 244, 109917.
- Erliana, H., Agustian, K., Yusra, C. L., dan Hasan, E. I. (2022). Penentuan Jalur Evakuasi Horizontal Menggunakan Analisis Skala Prioritas Pemilihan Alternatif Ruas Jalan pada Kabupaten Aceh Barat. *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil Dan Perencanaan*, 5(4), 284-297.
- Fatma, M. V. (2023). Analisis Kesiapsiagaan Masyarakat Desa Kepuharjo Kecamatan Cangkringan Kabupaten Sleman Dalam Menghadapi Ancaman Bencana Erupsi Gunung Merapi (Doctoral dissertation, Universitas Gadjah Mada).
- Feng, X., Gao, M., Zhou, Y., dan Li, J. (2020, October). Simulation and optimization of emergency evacuation in Gold Museum based on AnyLogic. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1650, No. 3, p. 032080). IOP Publishing.
- Hairah, U., dan Budiman, E. (2022). Kinerja Metode Rank Sum, Rank Reciprocal dan Rank Order Centroid Menggunakan Referensi Poin Moora (Studi Kasus: Bantuan Kuota Data Internet untuk Mahasiswa). *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (JTIIK)*, 9(6).
- Hidayat, Z., dan Ermawati, E. (2022). Urgensi Capacity Building Terhadap Resiko di Kawasan Gunung Semeru Lumajang. *Jurnal Abdi Masyarakat Indonesia*, 2(4), 1265-1270.
- Isya, M., Fadhly, N., dan Saputra, A. (2021, March). Multi Criteria Analysis of Road Handling Type at Banda Aceh–Meulaboh National Road Segment Indonesia. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1845, No. 1, p. 012058). IOP Publishing.
- Jumadi, J. Carver, S.J, dan Quincey, D.J. (2019). An Agent-Based Evaluation of Varying Evacuation Scenarios in Merapi: Simultaneous and Staged. *Geosciences*, 9(317). <https://doi.org/10.3390/geosciences9070317>.
- Kamila, F., dan Ekasari, A. M. (2022, July). Penetapan Jalur Evakuasi berdasarkan Multi-Risiko Bencana di Kecamatan Lembang. In *Bandung Conference Series: Urban dan Regional Planning* (Vol. 2, No. 2, pp. 408-416).
- Ketaren, Y. V. B., Lengkong, F., dan Londa, V. (2022). Strategi Pemulihan Pasca Bencana Erupsi Gunung Sinabung Di Kabupaten Karo Provinsi Sumatera Utara. *Jurnal Administrasi Publik*, 8(123).
- Niu, C., Wang, W., Guo, H., dan Li, K. (2023). Emergency evacuation simulation study based on improved YOLOv5s and anylogic. *Applied Sciences*, 13(9), 5812.
- Octaviansyah, D., Buchari, E., Arliansyah, J., dan Nawawi, N. (2024). Multi-criteria analysis as a method for selecting the best route of hinterland connections: Case study in South Sumatra, Indonesia. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 40(1), 22-29.
- Roszkowska, E. (2013). Rank ordering criteria weighting methods—a comparative overview. *Optimum. Studia Ekonomiczne*, 5 (65), 14-33.
- Sahabat, F., Rachmawati, T. A., dan Usman, F. (2019). Perencanaan Titik Evakuasi Dan Jalur Evakuasi Das Rejoso Kecamatan Rejoso Kabupaten Pasuruan. *Planning for Urban Region and Environment Journal (PURE)*, 8(4), 99-106.
- Talaksoru, A. S., dan Wahyuni, A. (2022). Analisa Alternatif Trase dan Lalu Lintas Pembangunan Jembatan Teluk Sawaibu. *Jurnal Ilmiah MITSU (Media Informasi Teknik Sipil Universitas Wiraraja)*, 10(2), 129-136.
- Tanipu, F., dan Hidayat, M. (2024). Perspektif Sosial dan Ekonomi dalam Penilaian Kapasitas Penanganan Darurat Masyarakat Terdampak Erupsi Gunung Merapi. *Jurnal Geosains West Science*, 2(01), 19-27.
- Tanra, A. A. Y., Mulyadi, R., dan Sir, M. M. (2023). Analisis Perencanaan Tempat Evakuasi Sementara dan Jalur Evakuasi Tsunami di Area kurang Sistem Informasi Geografi studi kasus: Kabupaten Mamuju. *Jurnal Linears*, 6(2), 87-95.
- Thantawi, T., Isya, M., dan Sugiarto, S. (2020). Prioritas penanganan jalan Kabupaten Pidie menggunakan metode Analisis Multi Kriteria (AMK). *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil Dan Perencanaan*, 3(4), 257-267.
- The Anylogic Company. *Anylogic Simulation Software*. (Diakses: 27 Desember 2024). <https://www.anylogic.com>
- Vitiansingih, A. V., Baharin, S. S. K., Othman, O., dan Suraji, A. (2022). Empirical study of a spatial analysis for prone road traffic accident classification based on MCDM method. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 13(5), 665-679.

Zou, H., Xia, H., dan Yuan, J. (2021). Anylogic-based model prediction analysis of the impact of social distance obedience behavior on the spread of epidemics. In *Proceedings of the 2nd International Symposium on Artificial Intelligence for Medicine Sciences* (pp. 545-550).