



Analisis Kinerja Jaringan Jalan Di Kawasan Pelabuhan Pulau Baai Kota Bengkulu Untuk Rencana Jalur Mitigasi Bencana Tsunami

Maha Deta Winusi*, Hardiansyah, Lindung Zalbuin Mase, Rena Misliniyati, Fepy Supriani

Program Studi Teknik Sipil
Universitas Bengkulu
Jl. WR. Supratman, Kandang
Limun, Kec. Muara Bangka Hulu,
Sumatra, Bengkulu 38371
rektorat@unib.ac.id

ABSTRAK

Pelabuhan Pulau Baai Kota Bengkulu merupakan kawasan padat aktivitas yang berisiko tinggi terkena dampak jika terjadi bencana tsunami. Penelitian ini bertujuan memodelkan jaringan jalan dan menganalisis kinerjanya saat evakuasi dengan menggunakan metode *Four Step Model*. Survei penelitian dilakukan untuk mengetahui kondisi eksisting, membangun model skenario pergerakan saat evakuasi dan penambahan kapasitas jalan. Hasil penelitian menunjukkan $R^2 = 0,8502$ yang menandakan hasil pemodelan itu valid dengan kondisi *real* dilapangan. Pemodelan evakuasi menghasilkan nilai derajat kejenuhan tertinggi di beberapa ruas jalan yaitu (0,91), (0,75), dan (0,70) yang berpotensi terjadinya kemacetan saat evakuasi. Penambahan kapasitas jalan terbukti efektif mengurangi kepadatan lalu lintas tersebut dengan terjadinya penurunan derajat kejenuhan menjadi (0,78), (0,69), dan (0,54), sehingga dapat menjadi solusi dalam perencanaan jalur evakuasi yang lebih baik.

Kata kunci: Evakuasi; *Four Step Model*; Pemodelan; Kota Bengkulu

ABSTRACT

Pulau Baai Port in Bengkulu City is a densely active area with a high risk of being affected by a tsunami disaster. This study aims to model the road network and analyze its performance during evacuation using the Four Step Model method. Surveys were conducted to assess existing conditions, build evacuation movement scenarios, and model the effect of road capacity improvements. The results show an R^2 value of 0.8502, indicating that the modeling is valid compared to real field conditions. The evacuation modeling produced the highest degree of saturation on several road segments, reaching 0.91, 0.75, and 0.70, indicating a high risk of congestion during evacuation. Increasing road capacity proved effective in reducing traffic density, lowering the degree of saturation to 0.78, 0.69, and 0.54. Therefore, road widening can serve as an effective solution for planning better evacuation routes.

Keywords: Evacuation; *Four Step Model*; Modeling; Bengkulu City.

1. PENDAHULUAN

Indonesia berada di titik pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yaitu Lempeng Eurasia, Indo-Australia, dan Pasifik [5]. Kondisi geografis kepulauan Indonesia ini sangat rentan terhadap bencana seperti gempa bumi, tsunami, dan letusan gunung berapi [3]. Pergeseran lempeng-lempeng tersebut sering kali menyebabkan gempa tektonik, yang dapat memicu tsunami, serta letusan gunung berapi. Sebagai bagian dari Cincin Api Pasifik, Indonesia mengalami aktivitas seismik yang cukup tinggi, sehingga risiko bencana alam di wilayah ini terus-menerus mengancam [6]. Dalam beberapa waktu terakhir, frekuensi terjadinya bencana alam menunjukkan peningkatan, khususnya di kawasan Asia-Pasifik. Wilayah Asia mencatat sekitar 40% dari seluruh kejadian bencana alam di dunia, dan lebih dari 80% korban bencana tersebut berasal dari kawasan ini [10].

Corresponding Author:
✉ Maha Deta Winusi
Accepted on: 2025-06-16

Provinsi Bengkulu merupakan salah satu wilayah di Indonesia yang berpotensi terkena tsunami. Provinsi ini berada pada koordinat $5^{\circ}40' - 2^{\circ}0'$ LS dan $40' - 104^{\circ}0'$ BT, dengan luas wilayah mencapai 19.788,70 km². Salah satu wilayah di Provinsi Bengkulu yang memiliki potensi tinggi sebagai area rawan bencana tsunami yaitu Kota Bengkulu [1]. Secara geologis, perairan di sekitar Kota Bengkulu merupakan zona subduksi antara lempeng Indo-Australia dan lempeng Eurasia, dengan tingkat pergeseran mencapai 4-6 cm per tahun. Kondisi ini menjadikan Kota Bengkulu sangat rentan terhadap gempa bumi bermagnitudo di atas 6 SR, yang dapat memicu terjadinya tsunami [14]. Gempa bumi yang cukup besar juga tercatat Pada tanggal 12 September 2007, dimana wilayah Bengkulu diguncang oleh gempa bumi dengan pusat di zona subduksi yang memiliki kekuatan 7,9 SR gempa tersebut juga memicu tsunami yang menerjang daratan Bengkulu [2].

Daerah di Kota Bengkulu yang kemungkinan besar terkena dampak apabila terjadi bencana tsunami yaitu kawasan Pelabuhan Pulau Baai Kota Bengkulu yang merupakan salah satu kawasan pantai yang cukup ramai penduduk dan aktivitas yang terjadi dipelabuhan, sehingga mungkin akan terkena dampak pertama apabila terjadinya tsunami di Kota Bengkulu. Kawasan ini bisa dikatakan ramai akan pengunjung lokal maupun internasional, maka harus dibangunnya jalur evakuasi yang layak pada daerah kawasan Pulau Baai Kota Bengkulu guna meminimalisir korban jiwa akibat terjadinya bencana tsunami.

Evakuasi dapat dilakukan dengan dua metode, yaitu evakuasi vertikal dan evakuasi horizontal. Evakuasi vertikal yaitu naik ke bangunan yang lebih tinggi dari ketinggian gelombang. Sementara itu, evakuasi horizontal dilakukan dengan mempertimbangkan apakah masyarakat harus berjalan kaki atau menggunakan kendaraan untuk evakuasi [12]. Evakuasi populasi dalam jumlah besar adalah tugas yang sangat kompleks dan menantang, yang sangat bergantung pada penggunaan sistem transportasi secara efisien serta skema evakuasi yang efektif. Salah satu faktor penting yang mempengaruhi keberhasilan evakuasi adalah waktu keberangkatan yang dipilih oleh pengunjung. Jika pengunjung berangkat secara bersamaan, hal ini dapat menyebabkan kepadatan jalan dan kemacetan [13]. Penerapan model transportasi evakuasi berbasis kinerja jaringan jalan sangat penting untuk mengoptimalkan fungsi rute evakuasi dalam melayani pengunjung [8]. Oleh karena itu perlu pemodelan evakuasi yang mencakup wilayah studi yang sangat luas masuk dalam kategori konsep makroskopis. Pemodelan ini dapat digunakan untuk mengevaluasi kinerja jaringan jalan selama kondisi darurat bencana dengan skala studi yang luas [7]. Alat bantu pemodelan makro dirancang untuk memperkirakan bagaimana sistem akan berperilaku terhadap perubahan yang mungkin terjadi [9].

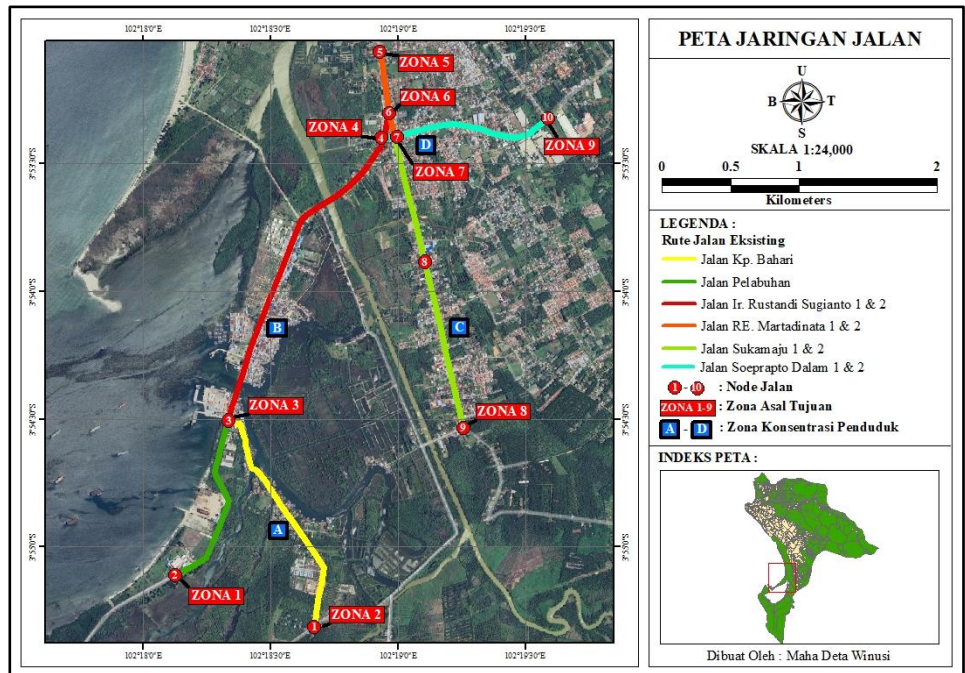
Berdasarkan hal tersebut, dilakukan survei penelitian di kawasan Pelabuhan Pulau Baai Kota Bengkulu. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis apakah lebar serta kondisi jalan yang ada sudah memenuhi standar sebagai sarana evakuasi dalam kondisi darurat. Tingginya volume pengguna jalan saat proses evakuasi bencana menjadi permasalahan serius yang berpotensi besar menghambat kelancaran evakuasi dan mengancam keselamatan masyarakat. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi mendalam terhadap kapasitas dan kinerja jalan. Penelitian ini menggunakan pendekatan matriks yang dilengkapi dengan data survei lalu lintas aktual. Data tersebut kemudian diolah menggunakan metode *Four Step Model* yang sangat membantu dalam memodelkan dan menganalisis kondisi transportasi di lapangan berdasarkan berbagai skenario simulasi. Hasil simulasi ini dikonversi menjadi bentuk data kuantitatif untuk mendukung analisis.

2. MATERIAL DAN METODE

2.1 Lokasi Penelitian

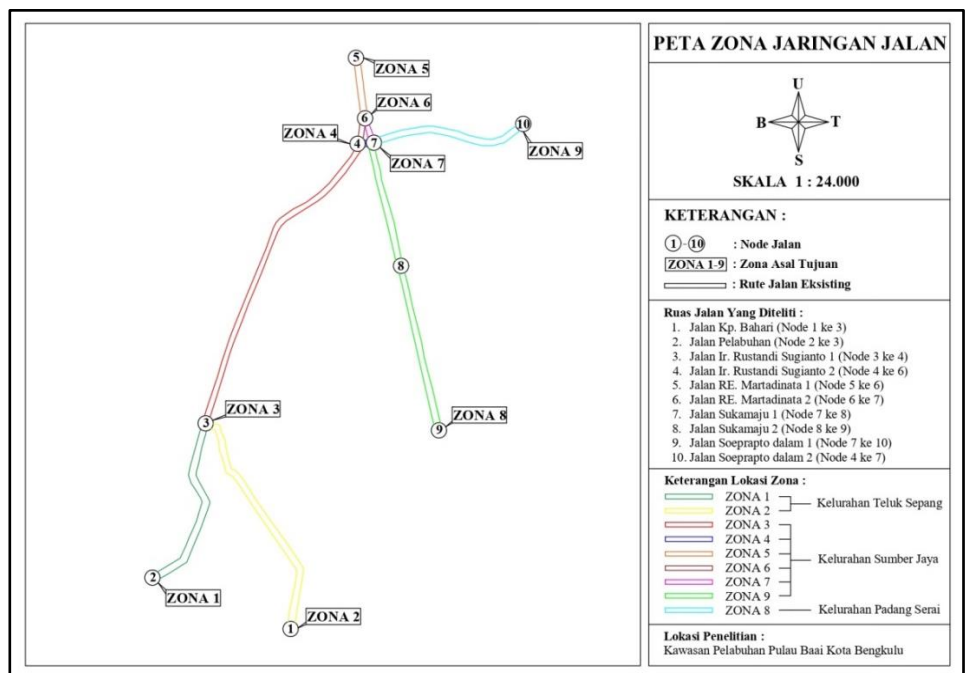
Penelitian ini akan dilakukan di Kawasan Pelabuhan Pulau Baai Kota Bengkulu. Penelitian ini menggunakan peta jaringan jalan evakuasi sebagai format dasar peta pemodelannya yang bersumber dari Badan Penanggulangan

Bencana Daerah (BPBD) Kota Bengkulu. Peta jaringan jalan ini nantinya akan dibuat skenario-skenario pemodelan jaringan jalan menggunakan pendekatan *Four Step Model*. Peta gambaran lokasi pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Peta Lokasi Penelitian

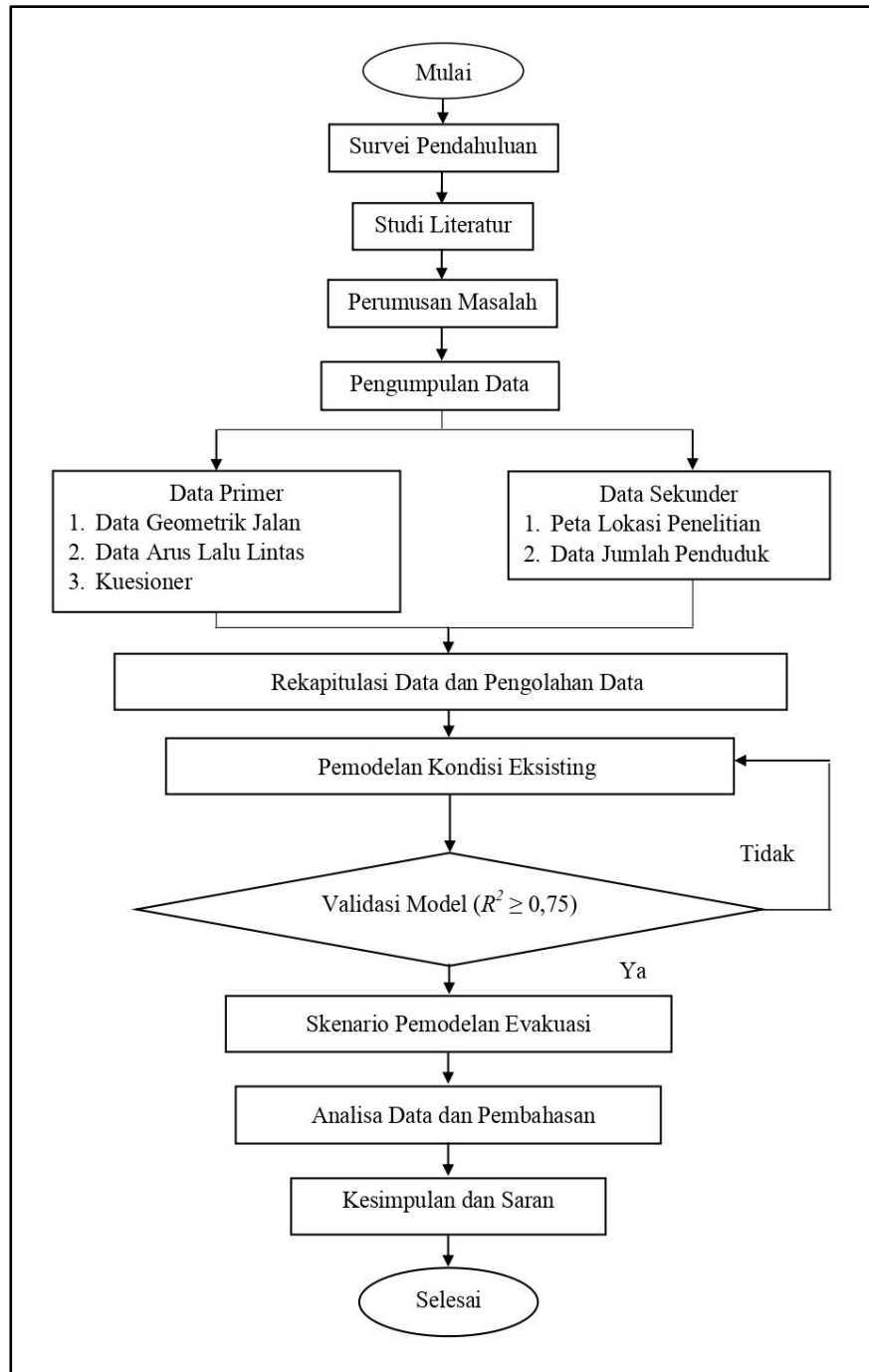
Berdasarkan peta lokasi penelitian Gambar 2.1 tersebut dapat dilihat ada beberapa ruas jalan yang diteliti seperti Jalan Kp. Bahari (1-3), Jalan Pelabuhan (2-3), Jalan Ir. Rustandi Sugianto I (3-4), Jalan Ir. Rustandi Sugianto II (4-6), Jalan RE. Martadinata I (5-6), Jalan RE. Martadinata II (6-7), Jalan Sukamaju I (7-8), Jalan Sukamaju II (8-9), Jalan Suprpto Dalam I (7-10) dan Jalan Suprpto Dalam II (4-7). Lokasi penelitian ini terdiri dari 10 *node* jalan dan terdapat 9 zona asal tujuan. Zona konsentrasi penduduknya ada 4 yaitu zona A di Kelurahan Teluk Sepang, zona C di Kelurahan Padang Serai, zona B dan D di Kelurahan Sumber Jaya. Peta zona jaringan jalan dapat juga dilihat pada Gambar 2.2 sebagai berikut.



Gambar 2.2 Peta Zona Jaringan Jalan

2.2 Tahap Penelitian

Tahapan dalam penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir penelitian yang mencakup tahap perencanaan, pengumpulan data, analisis pemodelan, dan penyusunan kesimpulan. Tahapan penelitian ini dapat dilihat pada struktur diagram alir yang ditampilkan dalam Gambar 2.3 berikut.



Gambar 2.3 Diagram Alir Penelitian

3.2 Model Analisis

[15] Perkembangan perencanaan transportasi dari masa ke masa telah menghasilkan berbagai pendekatan, salah satunya yang paling terkenal adalah Model Perencanaan Transportasi Empat Tahap (*Four Step Model*). Model ini mencakup empat tahapan utama sebagai berikut.

1. Model Bangkitan Perjalanan (*Trip Generation Model*)

Model ini sangat berguna dalam mengukur dan memperkirakan jumlah perjalanan yang masuk dan keluar dari suatu wilayah atau zona dalam periode waktu tertentu.

2. Model Sebaran Perjalanan (*Trip Distribution Model*)

Model simulasi ini dapat menunjukkan distribusi perjalanan dari suatu zona asal ke berbagai zona tujuan, atau kuantitas pergerakan dari zona asal ke zona tujuan, yang merupakan pendekatan penting dalam pemodelan transportasi.

3. Model Pemilihan Moda Transportasi (*Mode Choice Model*)

Model ini menggambarkan pergerakan yang dimulai dari suatu wilayah asal menuju berbagai wilayah tujuan yang dipilih, atau sebaliknya, di mana banyak pergerakan menuju wilayah yang dipilih berasal dari suatu wilayah asal.

4. Model Pemilihan Rute (*Trip Assignment Model*)

Model ini memperkirakan pilihan rute dan lalu lintas yang diambil oleh para pelaku perjalanan. Model ini memberikan estimasi mengenai jumlah perjalanan yang menggunakan setiap rute dan moda transportasi, yang berguna untuk perencanaan kapasitas dan manajemen lalu lintas.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Kinerja jaringan jalan Kondisi Eksisting

[11] Kinerja jaringan jalan dapat dinilai dengan mengalokasikan setiap pergerakan antar zona ke berbagai rute yang sering digunakan oleh individu yang berpindah dari zona asal ke zona tujuan. Analisis kinerja jalan ini menggunakan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (2023), dengan parameter utama berupa nilai derajat kejenuhan. Kondisi ideal untuk ruas jalan tercapai ketika nilai derajat kejenuhan berada di bawah atau sama dengan 0,75. Derajat kejenuhan merupakan perbandingan antara arus lalu lintas dan kapasitas pada suatu bagian jalan tertentu, yang digunakan sebagai indikator utama dalam menilai kinerja simpang maupun segmen jalan. Nilai derajat kejenuhan dipengaruhi oleh volume dan kapasitas jalan [4].

Tabel 3.1 Data Tingkat Pelayanan Kondisi Eksisting

| Nama Jalan | Arus Lalu Lintas (SMP/jam) | Kapasitas (SMP/jam) | Derajat Kejenuhan (SMP/jam) | Kecepatan (Km/jam) | Tingkat Pelayanan |
|-----------------------------|----------------------------|---------------------|-----------------------------|--------------------|-------------------|
| Jl. Ir. Rustandi Sugianto 1 | 1407,70 | 3252,66 | 0,43 | 52,00 | B |
| Jl. Ir. Rustandi Sugianto 2 | 794,85 | 3252,66 | 0,24 | 25,33 | B |
| Jl. RE. Martadinata 1 | 2049,85 | 2836,28 | 0,72 | 50,00 | C |
| Jl. RE. Martadinata 2 | 1302,10 | 2032,11 | 0,64 | 25,50 | C |
| Jl. Sukamaju 1 | 891,50 | 2555,58 | 0,35 | 39,42 | B |
| Jl. Sukamaju 2 | 891,50 | 2777,80 | 0,32 | 44,57 | B |
| Jl. Soeprapto Dalam 1 | 2375,85 | 2690,08 | 0,88 | 44,07 | E |
| Jl. Soeprapto Dalam 2 | 1099,60 | 2690,08 | 0,41 | 23,40 | B |
| Jl. Pelabuhan | 333,50 | 2074,01 | 0,16 | 30,00 | A |
| Jl. Kp. Bahari | 272,50 | 1294,54 | 0,21 | 29,75 | B |

Berdasarkan hasil perhitungan arus lalu lintas saat kondisi eksisting, tingkat pelayanan jalan menunjukkan variasi yang berbeda seperti Jalan Soeprapto Dalam 1 memiliki tingkat pelayanan E dengan arus tidak stabil dan kecepatan terhenti. Beberapa jalan lain seperti, Jalan RE. Martadinata 1, RE. Martadinata 2, Jalan Ir. Rustandi Sugianto 1, dan lainnya memiliki tingkat pelayanan C, B, dan A, dengan kondisi arus yang lebih stabil dan kecepatan yang lebih terkendali, tergantung pada volume lalu lintas.

3.2 Pemodelan Eksisting

Pemodelan jaringan jalan pada kondisi eksisting dilakukan dengan menyesuaikan jaringan jalan berdasarkan kondisi ruas jalan di lokasi penelitian. Model ini dibuat untuk keperluan validasi guna mengevaluasi sejauh mana perbedaan antara kondisi nyata di lapangan dengan hasil pemodelan. Dalam proses pemodelan, data yang dimasukkan mencakup volume arus lalu lintas, kapasitas ruas jalan, serta Matriks Asal-Tujuan.

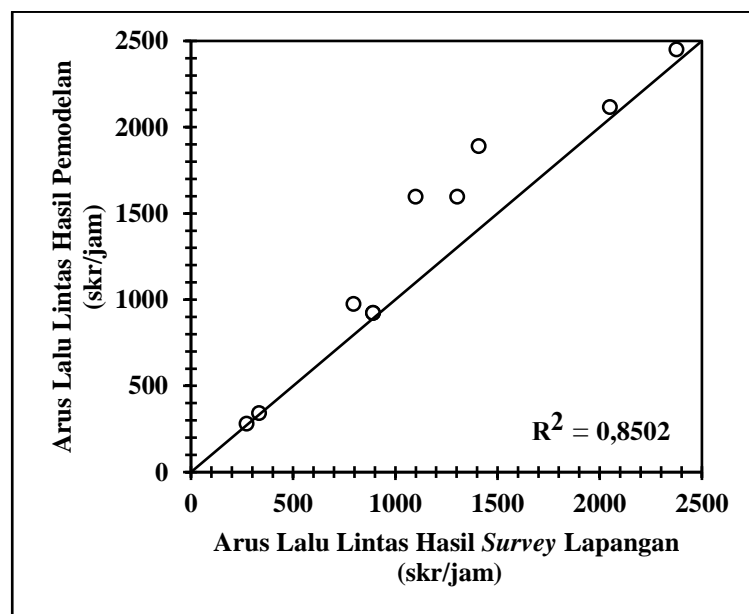
Tabel 3.2 Arus Lalu Lintas Hasil Model Eksisting

| Nama Jalan | Arus Lalu Lintas Hasil Pemodelan (SMP/jam) |
|-----------------------------|--|
| Jl. Ir. Rustandi Sugianto 1 | 1890,34 |
| Jl. Ir. Rustandi Sugianto 2 | 976,27 |
| Jl. RE. Martadinata 1 | 2117,12 |
| Jl. RE. Martadinata 2 | 1597,98 |
| Jl. Sukamaju 1 | 923,24 |
| Jl. Sukamaju 2 | 923,24 |
| Jl. Soeprapto Dalam 1 | 2450,90 |
| Jl. Soeprapto Dalam 2 | 1598,29 |
| Jl. Pelabuhan | 342,35 |
| Jl. Kp. Bahari | 281,10 |

Tabel 3.2 tersebut memperlihatkan data arus lalu lintas hasil dari pemodelan eksisting menggunakan metode pendekatan *Four Step Model* yang nantinya perlu dilakukan validasi untuk melihat seberapa valid antara arus lalu lintas kendaraan saat *real time* dan hasil pemodelan eksisting semakin mendekati 1 nilai R^2 atau koefisien determinasinya maka semakin valid data tersebut.

3.3 Validasi Model

Hasil pemodelan menunjukkan bahwa penyebaran arus lalu lintas yang dihasilkan memiliki kemiripan dengan arus lalu lintas berdasarkan hasil survei di lapangan. Validasi pemodelan menunjukkan nilai R^2 sebesar 0,8502, yang berarti 85,02% volume kendaraan pada ruas jalan yang diteliti sesuai dengan kondisi eksisting di lapangan. Karena nilai $R^2 \geq 0,75$, pemodelan ini dinyatakan valid dan dapat digunakan sebagai alat analisis lalu lintas yang akurat. Dengan demikian, model ini dapat membantu dalam evaluasi kondisi lalu lintas serta perencanaan dan pengambilan keputusan terkait sistem transportasi yang lebih baik di masa mendatang.



Gambar 3.1 Validasi Model Arus Lalu Lintas

3.4 Hasil Model Skenario saat Evakuasi (Skenario 1)

Pemodelan jalan saat evakuasi tsunami dilakukan untuk memahami bagaimana pergerakan kendaraan tersebar di seluruh jaringan jalan selama proses evakuasi, serta untuk mengevaluasi kinerja jaringan jalan dalam menangani arus lalu lintas yang tinggi. Model ini bertujuan untuk menggambarkan sejauh mana jalan-jalan yang ada dapat mengakomodasi kendaraan yang terlibat dalam evakuasi, terutama ketika semua kendaraan bergerak menuju satu titik evakuasi. Hal ini penting untuk memastikan kelancaran proses evakuasi dan mengidentifikasi potensi kemacetan yang mungkin terjadi. Hasil pemodelan pada skenario ini dapat dilihat pada Tabel 3.3 data tingkat pelayanan berikut.

Tabel 3.3 Data Tingkat Pelayanan Hasil Pemodelan Skenario 1

| Nama Jalan | Penentuan Tingkat Pelayanan | | | |
|-----------------------------|----------------------------------|---------------------|-------------------|-------------------|
| | Arus Lalu Lintas Model (SMP/jam) | Kapasitas (SMP/jam) | Derajat Kejenuhan | Tingkat Pelayanan |
| Jl. Ir. Rustandi Sugianto 1 | 1508,54 | 3252,66 | 0,46 | C |
| Jl. Ir. Rustandi Sugianto 2 | 918,96 | 3252,66 | 0,28 | B |
| Jl. RE. Martadinata 1 | 2127,42 | 2836,28 | 0,75 | D |
| Jl. RE. Martadinata 2 | 1426,21 | 2032,11 | 0,70 | C |
| Jl. Sukamaju 1 | 1369,95 | 2555,58 | 0,54 | C |
| Jl. Sukamaju 2 | 1369,95 | 2777,80 | 0,49 | C |
| Jl. Soeprapto Dalam 1 | 2453,59 | 2690,08 | 0,91 | E |
| Jl. Soeprapto Dalam 2 | 1223,71 | 2690,08 | 0,45 | C |
| Jl. Pelabuhan | 396,88 | 2074,01 | 0,19 | A |
| Jl. Kp. Bahari | 335,88 | 1294,54 | 0,26 | B |

Berdasarkan hasil simulasi arus lalu lintas saat evakuasi tsunami tanpa perubahan geometrik jalan, tingkat pelayanan jalan menunjukkan variasi yang signifikan. Jalan Soeprapto Dalam 1 memiliki tingkat pelayanan E dengan arus tidak stabil dan kecepatan terhenti. Jalan RE. Martadinata 1 berada di tingkat pelayanan D dengan arus hampir tidak stabil. Beberapa jalan lain seperti Jalan Ir. Rustandi Sugianto 1, RE. Martadinata 2, dan lainnya memiliki tingkat pelayanan C, B, dan A, dengan kondisi arus yang lebih stabil dan kecepatan yang lebih terkendali, tergantung pada volume lalu lintas.

3.5 Pemodelan dengan Penambahan Kapasitas Jalan (Skenario 2)

Pemodelan ini bertujuan untuk menganalisis distribusi kendaraan yang memenuhi ruas jalan akibat pergerakan selama evakuasi dan digunakan untuk mengevaluasi kinerja jaringan jalan, khususnya berdasarkan derajat kejenuhan setiap ruas jalan dalam kondisi evakuasi. Pada skenario pertama, diasumsikan seluruh kendaraan evakuasi bergerak menuju Jalan Soeprapto Dalam 1. Sebagai perbedaan, skenario ini mencakup modifikasi berupa peningkatan kapasitas ruas Jalan Soeprapto Dalam 1, Jalan RE. Martadinata 1, dan Jalan RE. Martadinata 2. Hasil pemodelan dapat dilihat pada Tabel 3.4 data tingkat pelayanan berikut.

Tabel 3.4 Data Tingkat Pelayanan Hasil Pemodelan Skenario 2

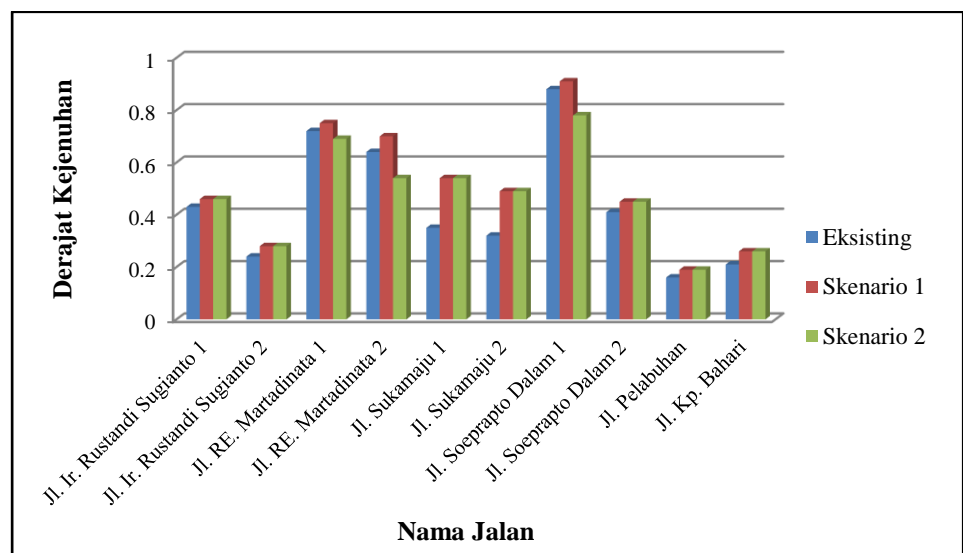
| Nama Jalan | Penentuan Tingkat Pelayanan | | | |
|-----------------------------|----------------------------------|---------------------|-------------------|-------------------|
| | Arus Lalu Lintas Model (SMP/jam) | Kapasitas (SMP/jam) | Derajat Kejenuhan | Tingkat Pelayanan |
| Jl. Ir. Rustandi Sugianto 1 | 1508,54 | 3252,66 | 0,46 | C |
| Jl. Ir. Rustandi Sugianto 2 | 918,96 | 3252,66 | 0,28 | B |
| Jl. RE. Martadinata 1 | 2127,42 | 3063,18 | 0,69 | C |
| Jl. RE. Martadinata 2 | 1426,21 | 2662,77 | 0,54 | C |
| Jl. Sukamaju 1 | 1369,95 | 2555,58 | 0,54 | C |
| Jl. Sukamaju 2 | 1369,95 | 2777,80 | 0,49 | C |
| Jl. Soeprapto Dalam 1 | 2453,59 | 3157,92 | 0,78 | D |
| Jl. Soeprapto Dalam 2 | 1223,71 | 2690,08 | 0,45 | C |
| Jl. Pelabuhan | 396,88 | 2074,01 | 0,19 | A |
| Jl. Kp. Bahari | 335,88 | 1294,54 | 0,26 | B |

Hasil simulasi dengan modifikasi geometrik jalan menunjukkan peningkatan kapasitas pada beberapa ruas jalan, termasuk Jalan Soeprpto Dalam 1, Jalan RE. Martadinata 1, dan Jalan RE. Martadinata 2. Pada skenario ini, Jalan Soeprpto Dalam 1 mengalami peningkatan tingkat pelayanan menjadi D, dengan arus yang hampir stabil dan kecepatan yang dapat dikendalikan. Jalan lainnya, seperti Jalan Ir. Rustandi Sugianto 1 dan lainnya, mengalami tingkat pelayanan C hingga A, dengan arus yang lebih stabil dan kecepatan yang terkendali sesuai dengan kapasitas jalan yang telah dimodifikasi.

3.6 Analisis Perbandingan Skenario Model

Pemodelan jaringan jalan dalam penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbandingan tingkat pelayanan pada setiap skenario yang telah dibuat. Analisis dilakukan dengan membandingkan hasil pemodelan dari berbagai skenario terhadap kondisi eksisting yang diperoleh dari survei lapangan. Dalam proses ini, tingkat pelayanan jalan menjadi parameter utama yang digunakan untuk mengevaluasi efektivitas setiap skenario. Penentuan tingkat pelayanan jalan didasarkan pada nilai derajat kejenuhan, yang dihitung menggunakan perbandingan antara volume arus lalu lintas dan kapasitas jalan pada setiap ruas yang dianalisis. Dengan demikian, pemodelan ini dapat memberikan gambaran mengenai dampak dari setiap skenario terhadap kondisi lalu lintas, baik dalam hal kelancaran arus maupun potensi kemacetan yang terjadi.

Hasil pemodelan menunjukkan adanya variasi nilai derajat kejenuhan dan tingkat pelayanan jalan pada kondisi eksisting serta skenario yang diuji. Pada kondisi eksisting, nilai derajat kejenuhan cenderung lebih rendah dibandingkan dengan skenario pemodelan, yang mengindikasikan adanya permasalahan kapasitas jalan. Skenario yang dibuat bertujuan untuk mengoptimalkan kinerja jaringan jalan dengan harapan dapat meningkatkan tingkat pelayanan serta mengurangi waktu tempuh pengguna jalan. Hasil analisis pemodelan untuk kondisi eksisting, skenario 1, dan skenario 2 dapat dilihat pada Gambar 3.2, yang menunjukkan perbandingan antara masing-masing skenario terhadap kondisi awal. Dengan adanya perbandingan ini, dapat diketahui skenario mana yang memberikan peningkatan paling signifikan terhadap derajat kejenuhan jalan yang mengindikasikan terjadinya kemacetan, sehingga dapat menjadi rekomendasi dalam perencanaan dan pengelolaan lalu lintas di masa mendatang.



Gambar 3.2 Perbandingan Derajat Kejenuhan Eksisting, Skenario 1 dan Skenario 2

Perbandingan skenario model berdasarkan derajat kejenuhan pada berbagai skenario, di mana setelah dilakukan penambahan kapasitas jalan, kinerja jaringan jalan mengalami peningkatan dibandingkan dengan kondisi eksisting dan skenario 1 saat evakuasi. Peningkatan ini menunjukkan bahwa upaya perbaikan infrastruktur jalan dapat memberikan dampak positif terhadap kelancaran arus

lalu lintas. Pada gambar tersebut, warna merah menandakan bahwa derajat kejenuhan pada skenario 1 saat evakuasi lebih tinggi dibandingkan dengan skenario 2 saat adanya penambahan kapasitas jalan, yang berarti masih terjadi kepadatan lalu lintas yang cukup signifikan. Perbedaan ini dikarenakan adanya modifikasi geometrik pada beberapa ruas jalan utama, yaitu Jalan Soeprato Dalam 1, Jalan RE. Martadinata 1, dan Jalan RE. Martadinata 2. Peningkatan kapasitas jalan ini terbukti efektif dalam mengurangi kepadatan lalu lintas, yang berdampak pada penurunan waktu tempuh. Dengan demikian, proses evakuasi dalam kondisi darurat dapat dilakukan dengan lebih singkat dan efisien, serta mengurangi risiko kemacetan yang dapat menghambat pergerakan kendaraan di kawasan tersebut.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pemodelan eksisting penyebaran arus lalu lintas dengan perbandingan terhadap arus lalu lintas hasil survei di lapangan memiliki kemiripan dengan nilai validasi sebesar $= 0,8502$. Hasil tersebut menunjukkan 85,02% jumlah volume kendaraan pada ruas jalan yang diteliti berdasarkan kondisi eksisting di lapangan dan permodelan eksisting dinyatakan valid, karena nilai ($R^2 \geq 0,75$). Hasil Skenario pemodelan simulasi arus lalu lintas saat evakuasi tsunami mengalami peningkatan volume arus lalu lintas pada setiap ruas jalan dibandingkan pada kondisi eksisting. Dibuatlah skenario pemodelan penambahan kapasitas jalan untuk mengurangi kepadatan kendaraan sehingga terjadi penurunan volume lalu lintas di ruas jalan yang diteliti.

Hasil perbandingan derajat kejenuhan dari berbagai skenario pergerakan dan kondisi eksisting dapat disimpulkan bahwa penambahan kapasitas jalan mampu meningkatkan kinerja jaringan jalan secara signifikan dibandingkan dengan kondisi eksisting dan skenario evakuasi tanpa modifikasi. Analisis data menunjukkan bahwa skenario 2, yang mencakup perubahan geometrik pada beberapa ruas jalan utama, memiliki derajat kejenuhan lebih rendah dibandingkan skenario 1. Hal ini membuktikan bahwa peningkatan kapasitas jalan dapat mengurangi kepadatan lalu lintas, sehingga durasi perjalanan saat evakuasi menjadi lebih singkat dan lebih efisien. Dengan demikian, optimalisasi kapasitas jalan dapat menjadi salah satu strategi yang efektif dalam mendukung kelancaran proses evakuasi di situasi darurat.

UCAPAN TERIMAKASIH

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Swt. Atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga jurnal ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulis juga mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak/Ibu Dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta masukan berharga selama proses penyusunan jurnal ini.
2. Orang tua dan keluarga yang selalu memberikan dukungan moral, semangat, serta doa yang tiada henti.
3. Teman-teman seperjuangan yang telah membantu, berbagi ilmu, serta memberikan motivasi selama penelitian berlangsung.
4. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang turut membantu dalam penyusunan jurnal ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Akbar, F. S., Vira, B. A., Doni, L. R., Putra, H. E., & Efriyanti, A. (2020). Aplikasi Metode Weighted Overlay untuk Pemetaan Zona Keterpaparan Permukiman Akibat Tsunami (Studi Kasus: Kota Bengkulu dan Kabupaten Bengkulu Tengah). *Jurnal Geosains Dan Remote Sensing*, 1(1), 43–51.
- [2] Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. (2019). Katalog Tsunami Indonesia Tahun 416-2018. In *Pusat Gempa Bumi dan Tsunami Kedeputian Bidang Geofisika*.

- [3] Badan Penanggulangan Bencana Daerah. (2019). Rencana Strategis (Renstra) Badan Penanggulangan Bencana Daerah Tahun 2019-2023. *BPBD Kota Bengkulu*, 1–86.
- [4] Direktorat Jenderal Bina Marga. (2023). *Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI)*.
- [5] Fachri, H. T., Malik, Y., & Murtianto, H. (2022). Pemetaan Tingkat Bahaya Bencana Tsunami Menggunakan Sistem Informasi Geografis Di Pesisir Kota Bengkulu. *Jurnal Pendidikan Geografi Undiksha*, 10(2), 166-178.
- [6] Febriyanto, A., Rachmawati, T. A., & Usman, F. (2016). Studi Risiko Bencana Tsunami di Kawasan Pantai Panjang Kota Bengkulu. *Doctoral Dissertation, Universitas Brawijaya*, 5(3).
- [7] Hardiansyah, Muthohar, I., Balijepalli, C., & Priyanto, S. (2020). Analysing vulnerability of road network and guiding evacuees to sheltered areas: Case study of Mt Merapi, Central Java, Indonesia. *Case Studies on Transport Policy*, 8(4), 1329–1340.
- [8] Hardiansyah, Priyanto, S., Muthohar, I., & Suparma, L. B. (2016). Konsep Pemodelan Transportasi untuk Evakuasi Bencana. *Jurnal Transportasi*, 16(3), 231–240.
- [9] Irawan, Z. M. (2019). *Buku Petunjuk Penggunaan Zin Macrosimulation*.
- [10] Lestari, A. W., & Husna, C. (2017). Sistem Peringatan Bencana dan Mobilisasi Sumber Daya dalam Menghadapi Bencana Gempa Bumi dan Tsunami. *Idea Nursing Journal*, 8(2), 23-29.
- [11] Magfirona, A., Hidayati, N., & Sunarjono, S. (2020). Evaluasi Kinerja Jaringan Jalan Menggunakan Metode Comparative Route Factor. *Dinamika Teknik Sipil*, 13(1), 19–25.
- [12] Nabila, F., Hardiansyah, & Mase, L. Z. (2020). Analisis Numeris Menggunakan Agent Based Modelling untuk Evakuasi Bencana Tsunami Gedung I Universitas Bengkulu, Indonesia. *Potensi : Jurnal Sipil Politeknik*, 22(1), 21–32.
- [13] Sahroli, A., & Hardiansyah. (2019). Analisis Evakuasi Bencana Tsunami di Gedung Kuliah Bersama V Universitas Bengkulu Dengan Metode Agent Based Modelling. *Inersia, Jurnal Teknik Sipil*, 11(2), 25–33.
- [14] Santius, S. H. (2015). Modelling Of Tsunami Disaster Risk In The Settlement of Bengkulu City Using Geographic Information System. *Jurnal Pemukiman*, 10(2), 92–105.
- [15] Supit, R. M., Rompis, S. Y. R., & Lefrandt, L. I. R. (2018). Model Pemilihan Moda Transportasi Online di Kota Manado. *Jurnal Sipil Statik*, 7(1), 35–47.