

ANALISIS JALUR EVAKUASI BENCANA TSUNAMI DENGAN METODE AGENT BASED MODELING

(Studi Kasus Gedung Pusat Kegiatan Mahasiswa Universitas Bengkulu)

Ramadhani Niko Saputra¹⁾, Hardiansyah¹⁾, Lindung Zalbuin Mase¹⁾

¹⁾Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Bengkulu,
Jl. W.R. Supratman, Kandang Limun, Bengkulu 38371, Telp (0736) 344087
Corresponding Author: nikosyaputra36@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini merancang pemodelan pergerakan pengguna gedung PKM Universitas Bengkulu, menggunakan Metode *Agent Based Modelling*. Survei Kendaraan parkir dilakukan untuk mendapatkan waktu puncak kendaraan parkir di Gedung PKM. Pengambilan data kuesioner dilakukan untuk mendapatkan informasi derajat kejenuhan, volume, dan kapasitas jalan. Pada penelitian terdapat beberapa ruas jalan dan jalan alternatif yang ditinjau. Untuk melihat kesesuaian permodelan dan pengamatan di lapangan, maka analisis regresi linear sederhana dilakukan pada penelitian ini. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rute alternatif evakuasi yang banyak dipilih oleh responden menunjukkan rute terpendek dan akses yang mudah ketika pengungsi menuju pintu keluar. Derajat kejenuhan yang tinggi menunjukkan perlunya pengembangan kinerja jaringan jalan lokal Universitas Bengkulu agar proses evakuasi dapat berjalan dengan baik saat terjadi bencana tsunami.

Kata kunci: gedung PKM universitas bengkulu, *agent based modelling*, derajat kejenuhan, kinerja jaringan jalan, proses evakuasi

Abstract

This study is designed to model the tendency of Gedung PKM users, Universitas Bengkulu using Agent Based Modelling Method. The vehicle survey is performed to obtain the peak-time period of parked vehicles in Gedung PKM. The questionnaire collecting is performed to obtain the information, which are later used to volume capacity ratio, volume, and road capacity. In this study, several road segments and alternative routes are observed during the evacuation. To inspect the suitability between the modelling and the observation, the simple linear regression analysis is performed. The results show that the most selected route is the shortest route with the best accessibility to reach the gateway, during the evacuation. The road saturation degree shows that there is a need to improve the local road performance in Universitas Bengkulu to ensure a faster evacuation process during tsunami.

Keywords: gedung PKM universitas bengkulu, *agent based modelling*, volume capacity ratio, local road performance, evacuation process

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Bengkulu merupakan daerah yang rawan terjadi bencana gempa bumi dan tsunami. Hal ini disebabkan karena Provinsi Bengkulu berada dekat dengan daerah pertemuan dua lempeng tektonik dunia yaitu lempeng Indo-Australia dan lempeng Eurasia. Lempeng-lempeng tersebut merupakan lempeng aktif, dimana lempeng Indo-Australia bergerak ke arah utara sedangkan lempeng Eurasia bergerak ke arah selatan dan bertumbukan sehingga membentuk zona subduksi di sepanjang pertemuan kedua lempeng tersebut. Zona subduksi inilah yang menjadi generator utama gempa-gempa tektonik di Provinsi Bengkulu. Banyaknya korban akibat bencana dikarenakan kurangnya fasilitas penunjuk jalur evakuasi dan kurang tercapainya hasil penyuluhan siap siaga bencana. Cara tanggap masyarakat terhadap jalur evakuasi berbeda pada setiap pemikiran. Pola pikir inilah yang harus dikembangkan dan diberi alur demi terciptanya keselamatan masyarakat. (Natawidjaja, 2007).

Berdasarkan kondisi di atas, maka pemerintah memberikan perhatian terhadap kemungkinan terjadinya bencana tsunami di Provinsi Bengkulu dengan memperkirakan daerah-daerah yang akan terkena tsunami berdasarkan model-model tsunami yang dapat dibuat. Salah satu daerah yang kemungkinan besar terjadi Bencana tsunami ialah Gedung Pusat Kegiatan Mahasiswa atau PKM yang berada di wilayah kampus Universitas Bengkulu. Universitas Bengkulu merupakan wilayah yang sangat dekat dengan pesisir pantai. Daerah perkuliahan ini memiliki kawasan yang padat. Jalan yang sebagai jalur evakuasi tidak sebanding dengan kapasitas

mahasiswa. Sementara Gedung PKM Universitas Bengkulu merupakan gedung yang didalamnya terdapat lokasi berbagai jenis kegiatan kemahasiswaan baik lingkup lokal, universitas, provinsi, bahkan tingkat nasional. tempat ini juga merupakan tempat sekretariat organisasi kampus UNIB. Gedung PKM tersebut memiliki daya tampung sebanyak 300 orang. Gedung tersebut juga masih minim sekali peringatan dan rambu-rambu jalur evakuasi ketika terjadi bencana, Oleh karena itu, sangat penting mengetahui bagaimana interaksi manusia terhadap lingkungan dalam kesiapan siagaan menghadapi ancaman bencana tsunami.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini membahas mengenai seberapa cepat perilaku manusia/*Agent*, dimana *agent* disini ialah individu atau orang yang berada di dalam gedung tinjauan (Mahasiswa, Dosen dll.), ketika terjadi bencana tsunami terhadap kinerja jaringan jalan antara Gedung PKM sampai keluar jalur aman (Gateway) di Universitas Bengkulu dengan membangun model jalur evakuasi sederhana dengan metode *Agent Based Modeling* (ABM), sehingga dapat digunakan sebagai Pedoman dari pihak universitas maupun pemerintah dalam mengambil keputusan pada saat pengaturan jalur evakuasi di wilayah UNIB ketika terjadi bencana tsunami.

Rumusan Masalah

- a. Bagaimana merancang model perilaku *Agent*/pengungsi saat evakuasi bencana pada Gedung PKM?
- b. Bagaimana karakteristik lingkungan dan *agent* Gedung PKM Universitas Bengkulu?
- c. Bagaimana jaringan jalan di Universitas Bengkulu yang bermasalah sehingga

- d. mempengaruhi pergerakan pengungsi saat evakuasi bencana tsunami?

Tujuan Penelitian

- a. Membangun model evakuasi bencana berdasarkan perilaku *Agent*/pengungsi pada Gedung PKM.
- b. Mengetahui karakteristik lingkungan, dan agent di kawasan Gedung PKM
- c. Menganalisis jaringan jalan di Universitas Bengkulu yang bermasalah sehingga mempengaruhi pergerakan pengungsi saat evakuasi bencana tsunami.

Manfaat Penelitian

- a. Bagi penulis, penelitian ini dapat memberikan lebih banyak pengetahuan dan pengalaman mengenai pemodelan jalur evakuasi dan tanggap darurat bencana.
- b. Bagi pembaca, penelitian ini dapat dijadikan sebagai suatu teori ilmiah yang dapat dimanfaatkan sebagai jalur evakuasi bencana saat tanggap darurat bencana tsunami diberikan.
- c. Bagi instansi, penelitian ini dapat dijadikan sumber sistem informasi dalam menanggulangi darurat bencana tsunami bagi civitas didalamnya.
- d. Bagi perkembangan ilmu pengetahuan, memberikan gambaran tentang perkembangan ilmu permodelan transportasi dengan menggunakan *Agent Based Modelling (ABM)*.

TINJAUAN PUSTAKA

Bencana Secara Umum

Bencana merupakan suatu peristiwa atau rangkaian peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat yang disebabkan oleh faktor alam dan atau faktor non alam maupun faktor manusia sehingga mengakibatkan timbulnya korban jiwa, kerusakan

lingkungan, kerugian harta benda, dan dampak psikologis (BNPB No. 02 Tahun 2012). Faktor-faktor yang dapat menyebabkan bencana antara lain:

- a. Bahaya alam (*natural hazards*) dan bahaya karena ulah tangan manusia (*man-made hazards*).
- b. Kerentanan (*vulnerability*) yang tinggi dari masyarakat, infrastruktur serta elemen-elemen di dalam kota atau kawasan yang berisiko bencana.
- c. Kapasitas yang rendah dari berbagai komponen di dalam masyarakat.
- d. Kurangnya informasi atau peringatan dini (*early warning*).

Jalur Evakuasi Bencana

Jalur evakuasi adalah lintasan yang digunakan sebagai pemindahan langsung dan cepat dari orang-orang yang akan menjauh dari ancaman atau kejadian yang dapat membahayakan bahaya Kriteria - kriteria perencanaan jalur evakuasi yang akan digunakan berdasarkan klasifikasi fungsi jalan , sebagai berikut:

- a. Jalan arteri yaitu jalan yang melayani angkutan utama dengan ciri-ciri perjalanan jarak jauh, kecepatan rata-rata tinggi, dan jumlah jalan masuk dibatasi secara efisien.
- b. Jalan kolektor yaitu jalan yang melayani angkutan pengumpul/pembagi dengan ciri-ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rata-rata sedang dan jumlah jalan masuk dibatasi.
- c. Jalan lokal yaitu jalan yang melayani angkutan setempat dengan ciri-ciri perjalanan jarak dekat, kecepatan rata-rata rendah, dan jumlah jalan masuk tidak dibatasi.

Permodelan Transportasi

Pemodelan evakuasi biasanya memiliki cakupan wilayah studi yang luas dan

melibatkan banyak tautan dan zona, sehingga cakupan pengembangan model masuk dalam kategori makroskopis. Model makroskopis dapat digunakan untuk menilai kinerja jaringan selama evakuasi darurat bencana dengan cakupan skala bidang studi yang besar (Hardiansyah dkk., 2015). Saat bencana, beberapa ruas jalan perlu melayani permintaan pengungsi yang lebih tinggi dari permintaan mereka dibangun. Ini menyebabkan kemacetan yang mengarah pada peningkatan waktu perjalanan. Manajer lalu lintas menerapkan berbagai strategi kontrol untuk mengurangi efek ini. Kontrol lalu lintas dilaksanakan ketika tujuannya adalah untuk menggunakan jaringan lalu lintas yang tersedia secara lebih efisien dengan merutekan para pengungsi (Manini dkk., 2011).

Agent Based Modelling (ABM)

Agent based modelling adalah model simulasi yang menggambarkan individu-individu (*agent*) dalam sebuah system yang kompleks dan dinamis. Beberapa nama lain dari ABM antara lain IBM (*Individual Based Modelling*), ABS (*Agent Based Simulation*), dan MAS (*Multi Agent System*) (Kiesling dkk., 2011).

Berikut ini beberapa konsep dari *agent based modelling* :

- a. *Agent based modelling* mempresentasikan sebuah sistem yang komponennya berupa individu dan perilakunya.
- b. *Agent based modelling* memodelkan agent individu bukan hanya memodelkan variabel-variabel yang mempresentasikan keseluruhan sistem.

- c. *Agent* mempunyai sifat heterogen dan otonom serta dapat berinteraksi antar agent dan lingkungannya.
- d. *Agent* mempunyai sifat adaptif dimana agent dapat menyesuaikan diri dengan kondisinya saat ini dengan *agent* yang lain, dan dengan lingkungannya.
- e. *Agent* menangani masalah yang berhubungan dengan *emergence* (system dinamis yang muncul akibat hubungan antar agent atau antara *agent* dan lingkungannya).

Kinerja Jaringan Jalan

Kapasitas jalan merupakan arus lalu lintas maksimum melalui suatu titik di jalan yang dapat dipertahankan per-satuan waktu pada kondisi yang ideal. Untuk jalan dua lajur dua arah, kapasitas ditentukan untuk arus dua arah (kombinasi dua arah), tetapi untuk jalan dengan banyak lajur, arus dipisah per-arah dan kapasitas ditentukan per-lajur. Rumus untuk menghitung kapasitas jalan perkotaan berdasarkan (Direktorat Bina Marga, 2014) adalah sebagai berikut:

$$C = C_0 \times FC_{LJ} \times FC_{PA} \times FC_{HS} \times FC_{UK} \quad (1)$$

Keterangan :

- C = kapasitas (skr/jam)
C₀ = kapasitas dasar (skr/jam)
FC_{LJ} = faktor penyesuaian kapasitas terkait lebar lajur/jalur lalu lintas
FC_{PA} = faktor penyesuaian kapasitas terkait pemisah arah, hanya pada jalan tak terbagi
FC_{HS} = faktor penyesuaian kapasitas terkait KHS pada jalan berbahu
FC_{UK} = faktor penyesuaian kapasitas terkait ukuran kota

Derajat kejenuhan (DJ) dalam PKJI 2014 didefinisikan sebagai rasio arus terhadap kapasitas. Derajat kejenuhan digunakan

sebagai faktor utama dalam penentuan tingkat kinerja simpang dan segmen jalan. Derajat kejenuhan dihitung dengan menggunakan arus dan kapasitas dinyatakan dalam smp/jam.

$$D_j = \frac{Q}{C} \quad (2)$$

Keterangan :

- D_j = Derajat Kejenuhan
- Q = Arus lalu lintas, skr/jam
- C = Kapasitas, skr/jam

Uji Analisa Regresi Linier Sederhana

Analisis regresi merupakan suatu metode yang digunakan untuk menganalisis hubungan antar variabel. Hubungan tersebut dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan yang menghubungkan variabel terikat Y dengan satu atau lebih variable bebas (Indriati, 2010). Rumus umum dari persamaan analisa regresi linier sederhana adalah :

$$Y = a + bX \quad (3)$$

Besarnya konstanta a dan b dapat ditentukan menggunakan persamaan:

$$a = \frac{(\sum Y_i)(\sum X_i^2) - (\sum X_i)(\sum X_i Y_i)}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad (4)$$

$$b = \frac{n \sum X_i Y_i - (\sum X_i)(\sum Y_i)}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad (5)$$

Keterangan :

- Y = Garis Regresi/Variabel *Response*
- a = Konstanta, berpotong sumbu vertikal
- b = Konstanta Regresi
- X = Variabel Bebas
- n = Jumlah Data

Populasi dan Sampel

Populasi adalah gabungan dari seluruh elemen yang terbentuk peristiwa, hal, atau orang yang memiliki karakteristik serupa yang menjadi pusat perhatian penelitian,

karena dipandang sebagai semesta penelitian. Sampel adalah bagian dari jumlah dan karakteristik yang dimiliki oleh populasi tersebut. Dengan demikian sampel adalah sebagian dari populasi yang karakteristiknya hendak diselidiki, dan bisa mewakili keseluruhan popilasinya sehingga jumlahnya lebih sedikit dari populasi (Ferdinand, 2006). Menentukan jumlah sampel dapat menggunakan rumus untuk menentukan besaran sampel dalam penelitian yaitu rumus Slovin sebagai berikut:

$$n = \frac{N}{1 + N(e)^2} \quad (6)$$

Keterangan:

- n = ukuran sampel atau jumlah responden
- N = ukuran populasi
- e = presentase kelonggaran ketelitian kesalahan pengambilan sampel yang masih bisa ditolerir, $e = 0,1$

Dalam rumus Slovin ada ketentuan sebagai berikut:

- Nilai $e = 0,1$ (10%) untuk populasi dalam jumlah besar
- Nilai $e = 0,2$ (20%) untuk populasi dalam jumlah kecil

Jadi rentang sampel yang dapat diambil dari teknik Solvin adalah antara 10-20 % dari populasi penelitian.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Analisis penelitian ini dilaksanakan pada Gedung PKM Universitas Bengkulu dengan meninjau pergerakan agen dari titik kumpul (*assembly point*) menuju jaringan jalan lokal UNIB. Pergerakan agen pada jaringan jalan adalah menjauhi sumber tsunami menuju 2 pintu keluar utama yaitu didamping dekanat FT dan di depan dekanat FISIP.

Data Penelitian

Data penelitian yang akan digunakan berupa data primer dan data sekunder. Data primer diambil langsung melalui survei dan pengambilan data lapangan. Data sekunder diambil melalui data dari instansi pendukung dan referensi penelitian. Data penelitian pada skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Data Primer
 - a. Data geometrik jaringan jalan Universitas Bengkulu.
 - b. Denah gedung dan kapasitas parkir gedung PKM Universitas Bengkulu.
 - c. Survei kepadatan lalu lintas kawasan Universitas Bengkulu
 - d. Kuesioner
2. Data Sekunder
 - a. Peta jaringan jalan Universitas Bengkulu dalam bentuk *shapefile*
 - b. Data mahasiswa, dosen, dan karyawan gedung PKM Universitas Bengkulu.
 - c. Referensi-referensi pendukung

Langka Pemodelan dengan Software Netlogo

- a. Pengelolaan data jaringan jalan
Data jaringan jalan yang digunakan didapat dari google maps yang di *screenshot* kemudian digambar menggunakan bantuan *software* autocad dilakukan penyesuaian skala wilayah kampus Universitas Bengkulu.
- b. Pengaturan awal model
Pertama mengatur ukuran skala *patches* pada *software* NetLogo. Pilih ukuran *patches* yang diinginkan sesuai dengan geospasial yang telah diolah dari data sebelumnya. Untuk mengatur model *patches* dapat dilakukan dengan memilih menu *settings*.
- c. Pembuatan *coding*

Penyusunan *coding* yang dimasukan pada menu *code* yang ada pada tampilan utama NetLogo. Penyusunan *coding* adalah memasukan bahasa pemrograman atau mengidentifikasi variabel yang akan digunakan variabel-variabel yang digunakan dalam pemodelan *software* NetLogo. Variabel yang di *input* telah terverifikasi, kemudian dilanjutkan dengan penyusunan *coding*.

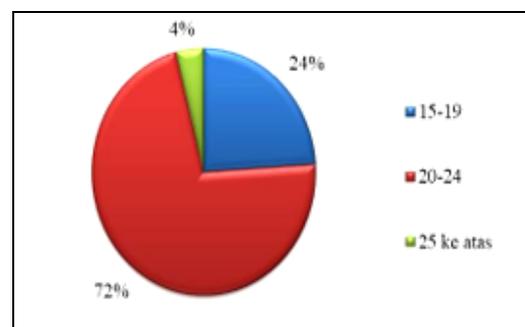
d. Simulasi

Sifat dari *Agent Based Modeling* adalah stokastik yaitu data yang dihasilkan selalu berubah-ubah ketika dilakukan *running*. Menjalankan simulasi pada NetLogo dapat menggunakan menu *Tools* kemudian klik *BehaviourSpace* atau dengan menggunakan *keyboard* "Ctrl+Shift+B".

HASIL DAN PEMBAHASAN

Jumlah Pengungsi Gedung PKM

Pengguna Gedung PKM Universitas Bengkulu meliputi mahasiswa, staf dan tamu. Pengguna gedung PKM ketika terjadi evakuasi bencana terdiri dari 171 orang laki-laki dan 129 orang perempuan dengan rentang usia 15-25 tahun. Dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Pengguna Gedung PKM

Survei Parkir

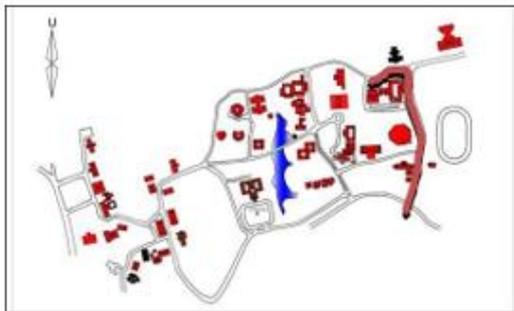
Berdasarkan hasil survei lapangan pada 1 April 2019 diperoleh bahwa waktu puncak

kendaraan pada Gedung PKM terjadi pada pukul 12.00-13.00 WIB. Waktu ini menjadi asumsi penulis dalam menentukan waktu terjadinya tsunami.

Jaringan Jalan UNIB

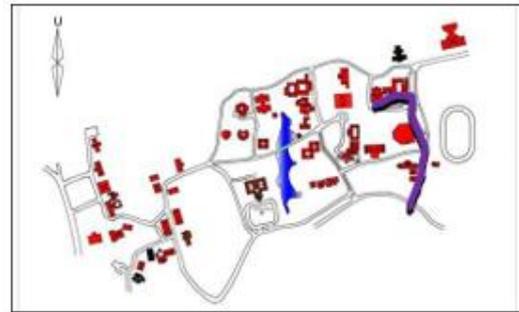
Data informasi geografis berupa jaringan jalan lokal lingkungan kampus Universitas Bengkulu. Data tersebut diolah lebih lanjut menggunakan aplikasi ArchMap dan AutoCad yang kemudian disimpan dalam bentuk format *shapefile* (.shp). Kemudian pemberian nama pada ruas jaringan jalan dilakukan pada pilihan rute alternatif yang digunakan pada penelitian ini. Ruas jalan diambil antara setiap simpang dengan nama R-1 sampai dengan R-5 dan 4 alternatif rute jalan. Ruas jalan tersebut akan menjadi tinjauan dalam menganalisis pemodelan dalam penelitian. Berikut ini alternatif rute yang ditinjau:

- a. Alternatif satu melalui beberapa ruas jalan R01(GSG) - R03 (Fakultas Teknik-Gateway) (Gambar 2).



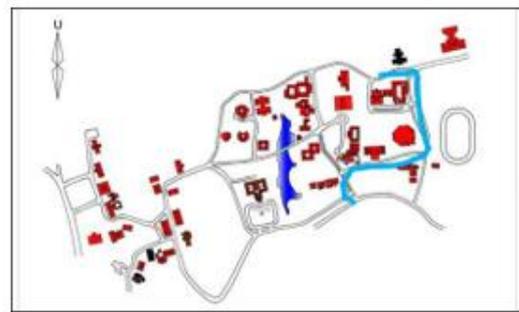
Gambar 2. Rute Alternatif Satu

- b. Alternatif dua melalui beberapa ruas jalan, R02(GB III & GB IV), - R03 (Fakultas Teknik-Gateway) (Gambar 3):



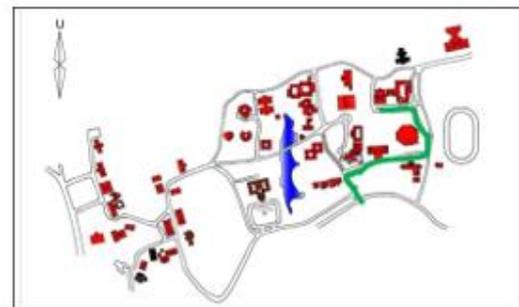
Gambar 3. Rute Alternatif Dua

- c. Alternatif tiga rute evakuasi melalui ruas jalan R01 (GSG), - R04 (LPTIK), - R05 (FISIP-Gateway), (Gambar 4):



Gambar 4. Rute Alternatif Tiga

- d. Alternatif dua melalui beberapa ruas jalan, R02(GB III & GB IV) - R04(Fakultas Teknik-Gateway) - R05(FISIP-Gateway), (Gambar 5):



Gambar 5. Rute Alternatif Empat

Hasil Percobaan

Salah satu sifat dari NetLogo adalah bahwa *output* permodelan dari *agent* yang dihasilkan bersifat stokastik, artinya hasil yang diperoleh selalu berubah setiap kali percobaan dilakukan. Percobaan dilakukan

berkali-kali menggunakan *behavior space running*. Hasil dari percobaan pengembangan NetLogo pada penelitian ini dapat ditunjukkan pada Lampiran 1. Penentuan jumlah sampel percobaan menggunakan tabel Isaac dan Michael dengan taraf kesalahan 5% diperoleh sebanyak 221 kali percobaan. Kemudian dilakukan validasi untuk melihat angka regresi. Validasi ini membandingkan volume pergerakan evakuasi saat kondisi riil dan pada saat permodelan. Angka validasi yang diperoleh sebesar 84,70%.

Analisis Kinerja Model

Dalam menghitung kapasitas ruas jalan, dibutuhkan data geometrik dari ruas jalan yang akan ditinjau. Analisis output pada NetLogo dilakukan melalui pengolahan data hasil percobaan, mengetahui kapasitas ruas jalan, derajat kejenuhan (DJ), kecepatan, dan waktu tempuh pada ruas jalan yang dilalui oleh agen. Berdasarkan hasil survei yang telah dilakukan di lapangan, Tabel 1 menunjukkan data geometrik dari ruas jalan tinjauan.

Tabel 1. Data Geometrik Ruas Jalan yang Ditinjau.

No	Kode Jalan	Tipe Jalan	Lebar Jalan (m)	Lebar Bahu (m)
1	R01	2/2TT	4,5	0,5
2	R02	2/2TT	4,5	0,5
3	R03	02-Jan	4	0.3
4	R04	2/2TT	6	0,5
5	R05	04-Feb	8	0,5

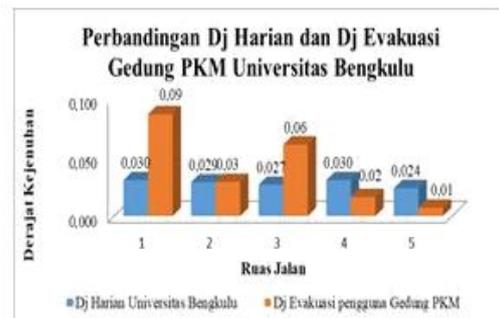
Derajat kejenuhan (DJ) dianalisis pada perjalanan harian dan permodelan pada Gedung PKM Analisis tersebut dilakukan untuk membandingkan interaksi antara harian dan model. Analisis DJ diolah menggunakan PKJI 2014.

- a. Menghitung kecepatan dan waktu

Hasil simulasi pada NetLogo dapat menunjukkan waktu dan kecepatan *agent*, waktu pada NetLogo ditunjukkan dalam satuan detik (*ticks*). Kecepatan pada NetLogo diketahui dari panjang tiap ruas dibagi dengan waktu tempuh. Berdasarkan hasil olahan NetLogo yang dilakukan, waktu tempuh yang digunakan ketika kondisi jaringan jalan yang ditinjau dari Gedung PKM Universitas Bengkulu berada diantara 1500-2000 *tick* atau 3-5 menit. Hasil pada NetLogo menunjukkan bahwa 1 detik sama dengan 4,2 tick.

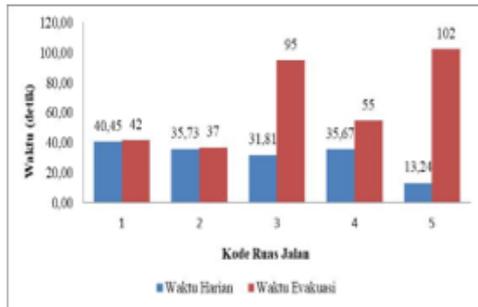
- b. Hubungan Derajat Kejenuhan Harian dan Evakuasi

Kecenderungan ruas dengan nilai Dj yang besar berada di rute masuk awal pada R01 di Gedung PKM menjadi ruas tertinggi sumbangsih nilai Dj. Kondisi tersebut karena R01 hanya digunakan pada pengungsi Gedung PKM. Titik tertinggi lainnya juga terjadi di R03 pada jaringan jalan. Pengaruh besar nilai Dj juga dipengaruhi oleh lebar jalan dan pilihan agen pada ruas jalan. Nilai Dj hal ini menunjukkan bahwa ruas jalan akibat pengaruh pengungsi Gedung PKM menunjukkan tingkat kepadatan yang tidak terlalu besar. Grafik dapat dilihat pada gambar berikut ini.



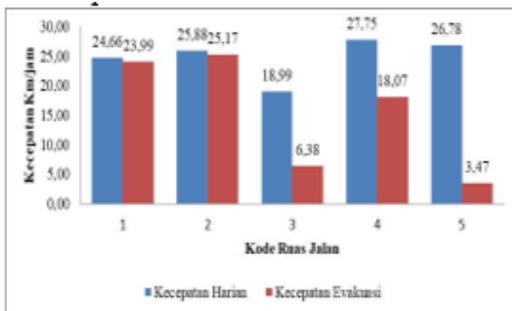
Gambar 6. Hubungan Derajat Kejenuhan Harian dan Model

Rekapitulasi waktu disetiap ruas jalan antara harian dan permodelan dari R-01 sampai dengan R-5 dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Waktu Tempuh Harian dan Permodelan

Kecepatan agen pada ruas jalan dianalisis dengan menggunakan persamaan $v = s/t$, dimana v adalah kecepatan (km/jam), s adalah jarak pada ruas jalan (km), dan t adalah waktu tempuh (jam). Perbandingan kecepatan harian dan model dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Kecepatan Harian dan Permodelan

Solusi

Kepadatan ruas jalan yang bervariasi juga disebabkan karena pilihan agen saat melakukan evakuasi bencana. Tercapainya proses evakuasi yang maksimal dapat dilakukan melalui berbagai alternatif solusi sebagai berikut:

1. Pelatihan khusus mitigasi menjadi hal penting untuk dilakukan.
2. Memberikan petunjuk arah evakuasi tsunami (*evacuation route*) agar

pengungsi tidak kebingungan saat bencana tsunami terjadi (Tabel 5).

3. Perbaikan dan pembuatan rute khusus evakuasi pejalan kaki juga harus dipertimbangkan sehingga pengungsi tidak mengganggu arus kendaraan pada ruas jalan.
4. Pentingnya pelebaran jalan akan mempengaruhi waktu tempuh pengungsi untuk dapat keluar sempurna meninggalkan kawasan kampus

Tabel 5. Rambu Peringatan Tsunami

Peringatan Zona Bahaya Tsunami	Daerah Evakuasi Tsunami	Gedung Evakuasi Tsunami

Pengembangan Model Evakuasi

Aplikasi NetLogo memiliki kelebihan yaitu gratis (*open access*) dalam pemakaiannya. Hal itulah yang menyebabkan NetLogo masih punya banyak kekurangan. Perkembangan model yang lebih baik pada aplikasi ini bisa dilakukan pada penelitian berikutnya guna memperoleh data yang lebih merepresentasikan kondisi riil evakuasi di lapangan. Hal-hal tersebut diantaranya:

1. Agen dalam model yang dibangun masih sangat sederhana yaitu pengungsi (*victims*). Agen tersebut bisa dijabarkan lagi ke dalam jenis kelamin, penggunaan moda, usia, dan lainnya.
2. Jumlah agen yang melalui ruas jalan bersifat fluktuatif, kurang menggambarkan kondisi riil.
3. Pengembangan algoritma NetLogo yang dibangun masih sangat sederhana, yaitu agen hanya

diarahkan melalui ruas jaringan jalan (*patches*) ke pintu gerbang yang menjauhi arah datangnya gelombang.

KESIMPULAN

Kesimpulan pada penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Permodelan yang dilakukan untuk evakuasi bencana mendapatkan *output* berupa volume agent melewati ruas jalan. Volume model yang didapat dari ruas R-1 sampai R-5 ialah 299, 100, 210, 56, dan 24 dalam satuan orang. Validasi regresi untuk permodelan menggunakan pendekatan matematis yang memiliki $Y = 3,9483 + 0,862X$ dan dengan nilai R^2 sebesar 0,847
2. Jumlah pengungsi keseluruhan diambil pada waktu puncak dari total data. Berdasarkan perolehan data dari anggota badan eksekutif mahasiswa (BEM) di Gedung UNIB sebanyak 150 *agent* yang meliputi mahasiswa. Sedangkan berdasarkan pengamatan langsung ke gedung diasumsikan jumlah *agent* di Gedung PKM sebanyak 300 *agent* yang meliputi Mahasiswa, Staf, Tamu dll, terhitung selama waktu puncak. Jadi total populasi *agent* di Gedung PKM UNIB adalah 300 *agent*.
3. Pemilihan rute evakuasi yang digunakan oleh pengungsi adalah alternatif rute 1 dengan ruas R-01 dan R-03 sebesar 100 orang, alternatif rute 2 dengan ruas R-02 dan R-03 sebesar 171 orang, alternatif rute 3 dengan Ruas R-01 sampai R-05 sebesar 13 orang dan alternatif 4 dengan ruas R-02 sampai R-05 sebesar 16 orang yang ditinjau dari Gedung PKM menuju pintu gerbang masih dapat menampung jumlah pengungsi yang akan melakukan

evakuasi karena nilai derajat kejenuhannya $< 0,5$.

DAFTAR PUSTAKA

- Augusty, Ferdinand. 2006. *Metode Penelitian Manajemen: Pedoman Penelitian untuk skripsi, Tesis dan Disertai Ilmu Manajemen*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB). 2017. *Tangkap Tangkas Tangguh Menghadapi Bencana*. BNPB. Jakarta.
- Bata, Julius. 2012. Simulasi Berbasis Agen-Based MODELING (ABM) Menggunakan NetLogo. ISSN: 2089-9815, *Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Komunikasi 2012 (SENTIKA 2012)*, Kupang, Lab Pengembangan Simulasi dan Game Edukasi., PAUD Dunia Beta.
- Bonabeu, E. 2006. Agent-Based Modeling: Methods and Techniques for Simulating Human System. Dalam *Proceeding of National Academy of Sciences of the United States of Amerika* (hal 7280-7287)
- Gaffar, Eddy Z. 2007. Pemetaan dan Kajian Bencana Tsunami Daerah Kota Bengkulu. ISBN: 978-979-799-255-5, *Prosiding Seminar Geoteknologi Kontribusi Ilmu Kebumihan Dalam Pembangunan Berkelanjutan*, Bandung 3 Desember 2007, Bandung, Puslit Geoteknologi – LIPI.
- Hardiansyah, Muthohar, I., Priyanto, S., dan Suprama, L.B. 2016. Konsep Pemodelan Transpotasi untuk Evakuasi Bencana. *Jurnal Transpotasi Forum Studi*

- Transportasi Antar-Perguruan Tinggi.*
Herastama, R.B.A.I., 2014. *Kajian Transportasi untuk Evakuasi Bencana Erupsi Gunung Merapi.* Skripsi. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Indriati E. *Antropometri untuk kedokteran, keperawatan, gizi dan olahraga.* Yogyakarta: PT. Citra Aji Parama; 2009.
- Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI).* 1997. Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Manini., D.J, Madireddy., Soundar, M., Kumara. 2011. Model Berbasis Agent Manajemen Lalu Lintas Evakuasi. *Prosiding Konferensi Simulasi Musim Dingin.* Jain, RR Cr easey, J. Himmelspach, KP White, dan M. Fu, eds.
- Natawidjaya, Danny Hilman. 2007. *Gempa dan Tsunami di Sumatera dan Upaya untuk Mengembangkan Lingkungan Hidup Yang Aman dari Bencana Alam.*
- Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI)* 2014. Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia. 2006. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 34 Tahun 2006 Tentang Jalan.*
- Sugiyono. 2014. *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D.* Bandung: Alfabeta.
- Wilensky, Uri. 2004. *NetLogo: Design and Implementation of a Multi-Agent Modeling Environment.* Northwestern University. Chicago.
- Wardani, P.A., Erfianto, B., dan Ciptasari, R.W. 2010. *Pemodelan Evakuasi Bencana Gempa Menggunakan Multi Agent System (MAS).* Tugas Akhir Universitas Telkom.