

Simulasi Evakuasi Bencana Kebakaran Pemukiman Pesisir Berbasis *Agent Based Model*

Aprilla Warlisia Sandana

Teknik Informatika, STMIK PPKIA Tarakanita, Alamat, Tarakan, 77111, Indonesia

up.real81@gmail.com

Abstrak. Penataan pemukiman wilayah pesisir yang kurang baik memiliki resiko yang sangat tinggi akan bahaya kebakaran. Keterbatasan akses menyebabkan kesulitan evakuasi masyarakat (agen) ketika terjadi bahaya kebakaran. Masyarakat sebagai agen memiliki aktivitas interaksi kelompok terhadap lingkungan yang memiliki jalur evakuasi dan sistem pendukung lainnya untuk mencari jalan keluar tercepat. Penelitian ini merancang suatu pemodelan simulasi pergerakan masyarakat saat terjadi bencana kebakaran di pemukiman pesisir. Studi kasus penelitian ini adalah pada wilayah pesisir padat penduduk Pasar Batu Tarakan Kalimantan Utara. Simulasi evakuasi masyarakat menggunakan *Agent Based Modeling (ABM)* dengan memanfaatkan piranti lunak *NetLogo*. Survey dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi jalan sebagai akses keluar masuk agen. Pemodelan dilakukan dengan membuat 3 skenario simulasi berdasarkan jumlah agen meninggalkan lokasi kebakaran. Regresi linier berganda digunakan untuk menganalisis korelasi antara variabel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa skenario 3 memiliki jumlah orang terbanyak yang melalui exit point. Pemilihan lintasan berdasarkan pertimbangan jarak tempuh dan lebar jalan terhadap jumlah orang yang dievakuasi memiliki korelasi yang sangat signifikan ($R^2 = 98,34\%$).

Kata kunci: *ABM, Api, Bahaya, NetLogo, Pesisir*

Abstract. [The Evacuation Simulation for Fires Mitigation in Coastal Settlement Based on Agent Based Model]. The poor setting out of coastal settlements had very high vulnerability of the fire hazard. The limited access caused the difficulties in community (agents) evacuation when fire was accured. The communities as agents in a group interaction environment had routes and other support systems of evacuation to reach the fastest way out. This research had designed a simulation model of community movement during a fire disaster in the coastal settlement. The case study of this research had been defined in the dense coastal settlement area of Pasar Batu Tarakan, North Kalimantan. The community evacuation simulation were based on the Agent Based Modelling (ABM) by utilizing the NetLogo software. The survey had been conducted by considering the condition of main route that can be accessed. The modeling had 3 simulation scenarios that were based on the number of agents movement who left the fire site. The double linear regression had been utilized to analyze the variable correlation. The results showed a scenario 3 had the largest people number who passed out the exit way. The selection of the route based on the distance and width parameters for the number of people save. They had very significant correlation ($R^2 = 98,34\%$).

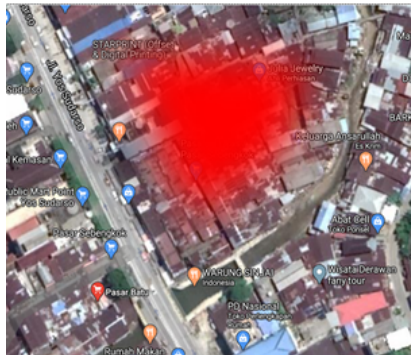
Keywords: *ABM, Coastal, Fire, Hazard, NetLogo*

I. Pendahuluan

Bencana kebakaran sudah sering terjadi di daerah-daerah seperti pemukiman padat. Pemukiman padat yang biasanya terdapat di permukiman pesisir Indonesia, kota Tarakan adalah salah satunya. Secara geografis Kota Tarakan terletak pada $3^{\circ}14'23''$ - $3^{\circ}26'37''$ LU dan $117^{\circ}30'50''$ - $117^{\circ}40'12''$ BT. Ini adalah pulau kecil dengan luas 677,53 km² dan 241.464 penduduk. Jumlah ini meningkat karena pertumbuhan penduduk yang disebabkan oleh angka kelahiran dan migrasi. Dampak penambahan penduduk membuat pemukiman padat semakin berkembang, karena di kawasan tersebut terdapat fasilitas umum, seperti pasar tradisional, Pasar batu, Tarakan salah satunya. Kebakaran besar terjadi di pasar tradisional, Pasar Batu, Tarakan pada Senin, 20 Januari 2020. Lokasi kebakaran berada di Desa

Sebengkok, Kecamatan Tarakan Tengah, Kota Tarakan, Kalimantan Utara (Gambar 1). Kebakaran terjadi selama 5 jam dengan 300 bangunan hilang. Hampir bahan bangunannya terbuat dari kayu dan bahan lain yang memiliki kerentanan tinggi terhadap serangan api. Angin kencang menjadi salah satu faktor penyebab kebakaran dapat dikendalikan. Evakuasi sempat mengalami kesulitan karena titik keluar lokasi kebakaran terlalu jauh dan penuh rintangan. Akses jalan sebagai jalur evakuasi tidak sebanding dengan daya tampung penduduk. Pemukiman Pasar Batu terdiri dari rumah-rumah dan pasar tradisional. Situasi ini menyebabkan exit point belum cukup untuk dicapai dengan mudah. Terlalu banyak kendala yang harus diperhatikan seperti orang, toko, bahkan kendaraan yang mengancam proses evakuasi. Pemukiman yang padat juga sangat minim rambu peringatan atau jalur evakuasi saat

kebakaran terjadi. Oleh karena itu, sangat penting untuk mengetahui bagaimana interaksi antara manusia dan lingkungan dalam kesiapsiagaan terhadap ancaman bencana kebakaran yang sering terjadi di pemukiman padat.



Gambar 1. Lokasi kebakaran

Amanda et. al (2016) telah melakukan penelitian tentang jalur keluar yang aman untuk siswa asrama sekolah menengah di Santa Fe Indian School (SFIS). Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui jalur tercepat dan teraman dari seluruh penghuni asrama yang memanfaatkan program NetLogo. Penentuan jalur evakuasi teraman tergantung pada jarak dari titik keluar dan kemacetan di jalur keluar tertentu. Nugraheni dkk. (2019) telah mengevaluasi tingkat pemahaman dan penerapan pendidikan mitigasi di Kecamatan Kelumbayan Kabupaten Tanggamus Propinsi Lampung secara geospasial. Metode survey dan wawancara telah dilakukan terhadap perwakilan siswa dan siswi SMAN 1 Kecamatan Kelumbayan. Analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah deskriptif dengan pendekatan geospasial. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat pengetahuan masyarakat Kecamatan Kelumbayan tentang mitigasi bencana masih rendah.

Dai dan Zhang (2013) telah melakukan penelitian dengan menggunakan model berbasis agen untuk mensimulasikan penyebaran api di suatu komunitas. Model simulasi mempertimbangkan empat faktor: titik pengapian, laju pembuangan panas, kepadatan jalan, dan efek angin. Daerah penelitian telah berlokasi di Kota Avondale di Georgia, Amerika Serikat, dengan ukuran perkiraan 0,8 km². Hasilnya memberikan informasi tentang jumlah korban, daerah berisiko tinggi, pilihan rute pelarian, dan waktu evakuasi. Berdasarkan Hardiansyah, et. al (2016) pemodelan evakuasi memiliki cakupan wilayah studi yang luas dan melibatkan banyak link dan zona, sehingga ruang lingkup pengembangan model termasuk dalam kategori makroskopik. Model makroskopik dapat digunakan untuk menilai kinerja jaringan selama evakuasi darurat dengan cakupan skala besar bidang studi. Manini, et. al (2011) Saat terjadi bencana, beberapa jalan harus melayani permintaan pengunjung yang lebih tinggi dari kebutuhan mereka untuk dibangun. Hal ini menyebabkan kemacetan yang menyebabkan

bertambahnya waktu tempuh. Manajer lalu lintas menerapkan berbagai strategi pengendalian untuk mengurangi efek ini. Kontrol lalu lintas telah dilakukan ketika tujuannya adalah untuk menggunakan jaringan lalu lintas yang tersedia secara efisien dengan mengarahkan para pengunjung. Mia et. al (2017) telah melakukan identifikasi tingkat risiko kebakaran di Kawasan Segiempat Tunjungan Surabaya. Analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah risiko bencana kebakaran dengan memperhitungkan variabel bahaya, kerentanan dan kapasitas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat 21 RT (Rukun Tetangga) dengan tingkat risiko kebakaran tinggi, 9 RT dengan tingkat risiko kebakaran sedang dan 3 RT memiliki tingkat risiko kebakaran.

Tumewu (2016) juga pernah melakukan penelitian tentang upaya keamanan yang tepat dan mampu mengurangi dampak bahaya yang terjadi ketika bencana terjadi pada kerumunan manusia di lapangan *indoor* Gelanggang Olah Raga (GOR) X. Penelitian ini menyajikan model komputasi yang mensimulasikan evakuasi bencana, dimana manusia sebagai *agent* mempunyai aktivitas interaksi secara otonom atau berkelompok terhadap lingkungan yang mempunyai jalur evakuasi, susunan tempat duduk, dan sistem pendukung keputusan untuk mencari jalan keluar terdekat. Tujuan prototipe simulasi ini adalah mendapatkan persentase jumlah kapasitas penonton lapangan *indoor* GOR X. Skenario simulasi telah ditentukan berdasarkan 2 faktor yang dimiliki *agent* berturut-turut *Number of Agent* dan *Number Scared of Agent*. Hasil penelitian menunjukkan skenario dengan waktu evakuasi terbaik terdapat pada skala 60-80% dengan hasil setelahnya waktu yang dibutuhkan cenderung konstan. Model simulasi ini

Fitria et. al (2020) telah melakukan penelitian tentang pemodelan pergerakan pengguna gedung dalam melakukan evakuasi tsunami. Pemodelan menggunakan pemodelan berbasis *Agent*. Penelitian ini menggunakan metode survei kendaraan parkir dan penyebaran kuesioner. Parameter yang digunakan adalah derajat kejenuhan, volume, dan kapasitas jalur evakuasi. Penelitian ini juga mempertimbangkan beberapa ruas jalan dan rute alternatif. Hasil penelitian menunjukkan kondisi ruas jalan yang ditinjau dari hasil pemodelan konsisten dengan hasil pengamatan langsung di lapangan. Jalur alternatif evakuasi yang sering dipilih responden adalah jalur yang sering dilalui pada waktu harian dan akses yang mudah ketika proses evakuasi. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa nilai derajat kejenuhan pada R01 (0,1598) serta kapasitas R07 dan R08 yang tinggi sebesar 2039,59 skr/jam. Hal tersebut mengindikasikan bahwa perlu adanya pengembangan kinerja jaringan jalan local sehingga dapat memudahkan proses evakuasi tsunami.

Chan (2017) telah melakukan penelitian tentang pengaruh sosial menggunakan simulasi dan regresi berbasis agen model. Setiap agen dimodelkan dengan model regresi linier. Agen berinteraksi dengan

tetangga dengan bertukar keyakinan sosial. Hasil penelitian menunjukkan bahwa apabila keyakinan individu linier dalam keyakinan tetangga, keyakinan tingkat sistem dan keyakinan tetangga juga dapat dijelaskan dengan model regresi linier.

Persamaan analisis regresi linier berganda (Persamaan (1)) untuk menganalisis korelasi antar model. Korelasi dapat dikuantifikasi dalam persamaan hubungan antara variabel bebas (Y) dan beberapa variabel bebas variabel (X_1, X_2, \dots, X_n).

$$Y = a + b_0X_1 + \dots + b_{n-1}X_n \quad (1)$$

a dan b dapat dihitung dengan Persamaan (2).

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

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

dengan:

$Y =$ Variabel Response

$a =$ Coefficient, cross the vertical axis

$b =$ Koefisien regresi

$X =$ Variabel tak bebas

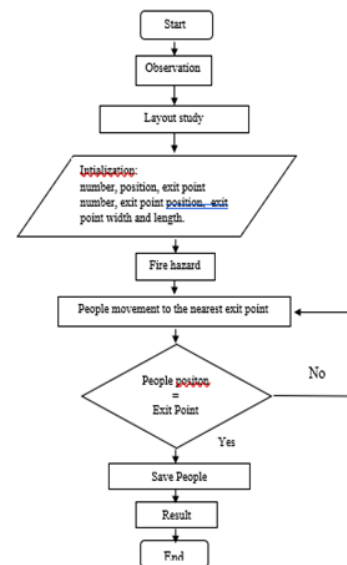
$n =$ Jumlah populasi atau sampel data

II. Bahan dan Metode

Penelitian ini dilakukan di kawasan pasca bencana kebakaran yaitu Pasar Batu, Tarakan, Kalimantan Utara. Penekanan penelitian ini adalah pergerakan agen dari titik api terdekat ke jaringan jalan umum yang digunakan warga. Pergerakan agen di jaringan jalan jauh dari sumber titik api menuju 3 exit, jalur belakang Hotel Harmonis, pintu masuk Pasar Batu sebelah ruko muslim dan jembatan kecil di sebelah kiri lokasi Pasar Batu (Gambar 1). Selanjutnya untuk merepresentasikan model penelitian ini dalam bentuk simulasi, terlebih dahulu digunakan protokol Agent Based Simulation yaitu pembuatan ODD (*Overview, Design Concept dan Detail*) untuk menggambarkan suatu sistem berbasis agen sehingga mudah untuk dipahami.

Overview

Model simulasi berbasis agen ini telah memodelkan evakuasi bahaya kebakaran yang terkonsentrasi pada pemukiman padat, sebagai sistem pendukung keputusan. Analisis yang dilakukan, beberapa skenario bencana telah dilakukan. Entitas: orang dan situs telah didefinisikan dalam variabel keadaan: orang yang diposisikan secara acak berdasarkan kepadatan area perumahan, cara orang itu berjalan yang termasuk tahapan dan cara bergerak saat menemukan titik keluar terdekat. Entitas; Simulasi ini memprediksi jumlah waktu untuk semua orang di area kebakaran per menit. Tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 2



Gambar 2. Bagan alir penelitian

Design Concept

Design Concept : Konsep umum dalam simulasi ini adalah mengetahui waktu evakuasi penduduk yang padat di pemukiman padat mengikuti jalan yang tersedia menuju exit point dan hubungan antara lebar dan panjang jalan yang digunakan oleh masyarakat pada saat evakuasi yang dapat mempengaruhi laju pergerakan untuk dievakuasi. Kapasitas jalan yang tersedia dapat mempengaruhi kepadatan jalur evakuasi dimana setiap keputusan yang diambil seseorang untuk memilih titik keluar terdekat.

Emergence: Hasil dari model simulasi ini dibandingkan dengan waktu tersingkat yang dibutuhkan oleh masyarakat untuk mencapai beberapa *exit point* yang tersedia di evakuasi dan dihitung kecepatan evakuasi masyarakat ke titik aman (*exit point*).

Adaptation: Perilaku agen

Tabel 1. Karakteristik agen

Agen	Karakteristik
Masyarakat	1. People were in random positions and go out looked for exit points. 2. People choosed the nearest exit point randomly.
Exit point	1. The exit point had been defined as one of the ways for people to get out of the burning point.

Interaction : - Orang dan Titik Keluar:

Orang mencari titik keluar terdekat secara acak.

- Orang dan lintasan:

Masyarakat akan menempatkan diri secara acak berdasarkan *patch* hitam, yang mempertimbangkan posisi mereka ketika kebakaran terjadi.

Masyarakat telah diarahkan ke titik keluar *patch* menghindari lokasi kebakaran.

Detail

Penelitian ini telah dikelompokkan menjadi 3 skenario, masing-masing Skenario 1, Skenario 2, dan Skenario 3. Skenario 1 memodelkan ruas jalan sempit dengan panjang lintasan menuju exit point sangat dekat. Lebar jalan yang telah ditentukan adalah 0,90 m dengan jarak ke *exit point* 71,0 m (Gambar 3). Jalur evakuasi alternatif ini mengambil jalur dari pemukiman penduduk menuju titik keluar dengan rintangan tinggi.



Gambar 3. Exit point 1 rute alternatif

Skenario 2 memodelkan ruas jalan yang lebar dengan panjang lintasan menuju *exit point* yang terlalu jauh. Lebar jalan yang telah ditentukan adalah 2,00 m dengan jarak ke *exit point* 140,0 m (Gambar 4). Jalur evakuasi alternatif ini mengambil jalur dari pemukiman penduduk menuju titik keluar tanpa hambatan.



Gambar 4. Exit point 2 rute alternatif

Skenario 3 memodelkan lebar ruas jalan yang relatif sedang dengan panjang jalur menuju *exit point* tidak terlalu jauh. Lebar jalan yang telah ditentukan 1,50 m dengan jarak ke *exit point* 87,0 m (Gambar 5). Jalur evakuasi alternatif ini mengambil jalur dari pemukiman penduduk menuju *exit point* dengan hambatan sedang.



Gambar 5. Exit point 3 rute alternatif

Analisis regresi linier berganda telah dilakukan dalam penelitian ini. Jarak jalur ke titik keluar dan lebar jalan telah diukur sebagai variabel bebas (Tabel 1). Waktu evakuasi telah ditentukan sebagai variabel terikat selama 360 menit (6 jam).

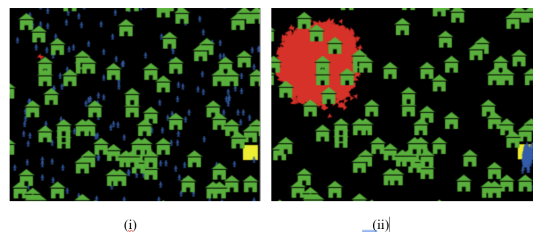
III. Hasil dan Pembahasan

Hasil simulasi evakuasi bencana dengan memanfaatkan NetLogo memiliki 3 skenario yang didasarkan pada kondisi jalan sebagai titik keluar dan menghasilkan data yang berubah setiap running karena sifat *Agent Based Modeling* adalah stokastik. Namun data yang diperoleh bervariasi menunjukkan tren kurva yang relatif sama dan waktu yang dibutuhkan untuk evakuasi hingga semua agen berada pada posisi aman juga bervariasi namun jarak tempuhnya tidak terlalu jauh. Perbedaannya adalah jumlah orang yang keluar melalui tiga titik keluar.

Skenario 1

Gambar 6 menunjukkan pergerakan agen di awal simulasi dan akhir simulasi, dimana agen berada pada posisi acak dan bergerak menuju exit point 1. Posisi exit point 1 berada di radius posisi agen dengan luasan dibuat lebih kecil dikarenakan kondisi eksisting jalan yang tidak lebar.

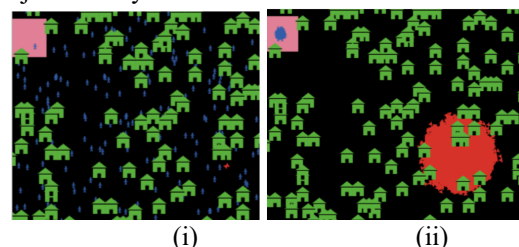
Pengujian skenario 1 telah menggambarkan kondisi jalan yang relatif lebih dekat dengan *exit point*, namun jalurnya sempit. Setelah berjalan lima kali jumlah agen di *exit point* 1 atau jumlah orang yang bergerak yang bergerak menggunakan rute ini



Gambar 6. Model skenario 1

Skenario 2

Pengujian skenario 2 telah menggambarkan kondisi jalan yang terlalu jauh menuju *exit point* dan dengan sedikit hambatan. Setelah berjalan lima kali mengakibatkan jumlah agen di *exit point* 2 atau jumlah orang yang bergerak menggunakan jalur ini sebanyak 199, 209, 190, 185 dan 194. Jadi sekitar 40% dari total penduduk yang tinggal di wilayah terdampak kebakaran daerah. Sisanya menggunakan dua jalur lainnya.

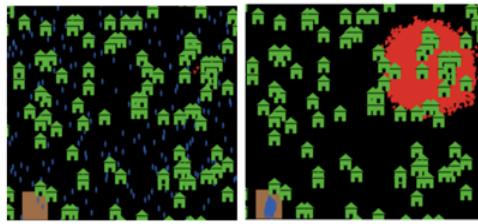


Gambar 7. Model skenario 2

Gambar 7 menunjukkan pergerakan agen di awal simulasi dan akhir simulasi, dimana agen berada pada posisi acak dan bergerak menuju *exit point 2*. Posisi *exit point 2* berada di radius posisi agen dengan luasan yang besar karena kondisi lebar jalan yang relatif paling besar dari dua ruas jalan lainnya.

Skenario 3

Pengujian pada skenario 3 telah menggambarkan kondisi jalan yang tidak terlalu jauh dengan *exit point*, dengan hambatan sedang.



(i) (ii)
Gambar 8. Model skenario 3

Setelah berjalan lima kali hasilnya menunjukkan jumlah agen di *exit point 3* atau jumlah orang yang bergerak menggunakan jalur ini sebanyak 257, 250, 262, 269 dan 265. Jadi sekitar 50% dari total penduduk yang tinggal di wilayah terdampak kebakaran daerah. Sisanya menggunakan dua jalur lainnya.

Gambar 8 juga menunjukkan pergerakan agen di awal simulasi dan akhir simulasi, dimana agen berada pada posisi acak dan bergerak menuju *exit point 3*. Posisi *exit point 3* berada di radius posisi agen dengan luasan yang tidak terlalu besar karena kondisi lebar jalan yang tidak terlalu besar.

Perbandingan Skenario

Salah satu karakteristik NetLogo memiliki model keluaran agen stokastik, hal ini dimaksudkan bahwa hasil yang diperoleh selalu berubah pada setiap percobaan yang dilakukan. Eksperimen yang telah dilakukan berkali-kali menggunakan perilaku pergerakan agen menuju *exit point*. Hasil eksperimen dengan simulasi NetLogo dalam penelitian ini dapat ditunjukkan pada gambar skenario 1, 2 dan 3. Eksperimen ini dilakukan dengan lima kali percobaan dan menunjukkan hasil bahwa jumlah agen (orang) yang melewati jalan pada skenario 1 adalah 44, 41, 48, 46 dan 41 atau sekitar 10% dari total jumlah agen. Skenario 2 jumlah agen 199, 209, 190, 185 dan 194 atau sekitar 40%. Skenario 3 jumlah agennya 257, 250, 262, 269 dan 265 atau sekitar 50%. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa skenario 3 lebih banyak dilalui agen, Sebesar 50% masyarakat menggunakan ruas jalan ini. Hasil tersebut telah divalidasi dengan analisis regresi berganda. Validasi ini membandingkan volume agen (orang) yang berada pada *exit point* terhadap panjang jalan pada kondisi nyata dan pemodelan. Nilai validasi diperoleh sebesar 98,34%.

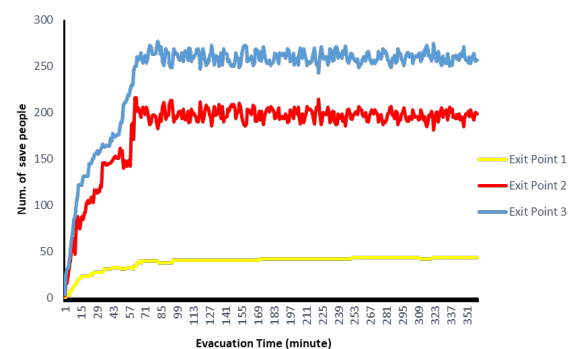
Analisis keluaran NetLogo dilakukan melalui pengolahan data eksperimen, dengan mengetahui kapasitas jalan dan waktu tempuh pada ruas jalan yang dilalui oleh agen. Tabel 2 menunjukkan data geometrik (karakteristik jalan) dari ruas jalan yang ditinjau.

Tabel 2. Karakteristik jalan

<i>Exit Point</i>	Lebar (m)	Jarak (m)
1	0,90	71
2	1,50	140
3	2,00	87

Waktu pergerakan agen sampai berada di *exit point* ditunjukkan dalam menit (*ticks*). Berdasarkan hasil pengolahan NetLogo, waktu tempuh yang digunakan saat kondisi jaringan jalan di kawasan Pasar Batu terkena kebakaran antara 300-360 menit (5-6 jam). Rekapitulasi waktu tempuh agen untuk setiap *exit point* pada setiap ruas jalan dapat dilihat pada Gambar 9.

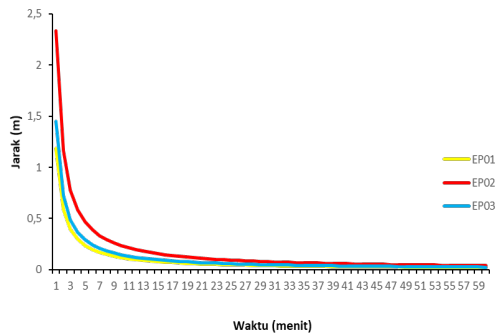
Gambar 9 menunjukkan kurva pergerakan agen menuju ketiga *exit point*. Jumlah agen yang menuju *exit point 3* paling banyak daripada kedua *exit point* lainnya karena ruas jalan yang bias dilalui beberapa orang dan jaraknya dekat menuju titik aman. *Exit point 1* paling sedikit dilalui agent dikarenakan ruas jalan yang relatif sangat sempit yang hanya dapat dilalui oleh satu orang. Pergerakan kurva berfruktusi dikarenakan agen bergerak secara acak 180° sehingga apabila belum berada tepat di titik yang dituju dianggap agen masih di luar *exit point*. Pada menit ke-60 kurva cenderung bergerak horizontal karena pada menit tersebut, seluruh agen sudah berada di radius titik aman atau radius *exit point* masing-masing.



Gambar 9. Waktu tempuh 3 rute

Kecepatan agen (v) menuju *exit point* dari posisi awal dinyatakan dalam m/menit dan dianalisis dengan membagi jarak (s) yang dinyatakan dalam meter dan waktu tempuh (t) yang dinyatakan dalam menit.

Gambar 10 menunjukkan kurva kecepatan agen menuju *exit point*. *Exit point 2* memerlukan waktu yang lama dibandingkan dengan *exit point 1* dan 3 karena jarak tempuh yang terlalu panjang pada ruas jalan tersebut.



Gambar 10. Kecepatan agen

Validasi Model

Hasil analisis regresi linear berganda digunakan sebagai validasi model dalam penelitian ini. Persamaan regresi linier berganda diperoleh persamaan regresi sebagai mana yang ditunjukkan oleh Persamaan (3).

$$Y = 3,538 - 5,397X_1 + 513,3X_2 \tag{3}$$

dengan:

Y = jumlah orang melintasi exit point dalam 1 jam

X₁ = Jarak rute

X₂ = Lebar rute

dengan koefisien korelasi (R²) diperoleh sebesar 98,34%.

IV. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan dan analisis, diperoleh beberapa poin sebagai berikut:

1. Pemodelan yang dilakukan untuk evakuasi bencana ini menggunakan *Agent Based Modeling* (ABM) dengan memanfaatkan aplikasi *software* NetLogo yang dideskripsikan dalam 3 skenario yang didasarkan pada kondisi jalan sebagai jalur evakuasi dan menghasilkan *output* berupa jumlah agen yang melewati ketiga jalan tersebut.
2. Hasil *running* lima kali menunjukkan bahwa jumlah agen (orang) yang melewati jalan pada skenario 1 adalah 44, 41, 48, 46 dan 41 atau sekitar 10% dari total jumlah agen. Skenario sebanyak 199, 209, 190, 185 dan 194 atau sekitar 40% dari total jumlah agen. Skenario 3 memiliki 257, 250, 262, 269 dan 265 atau sekitar 50% dari total jumlah agen.
3. Jumlah agen (orang) yang melewati jalan pada skenario 3 lebih banyak dari dua rute lainnya. Sebesar 50% masyarakat menggunakan ruas jalan ini.
4. Validasi regresi berganda untuk pemodelan menggunakan pendekatan statistik yang memiliki $Y = 3,538 - 5,937 X_1 + 513,3 X_2$ dan dengan nilai $R^2 = 0,9834$.

Daftar Pustaka

Amanda, E.M., & Fahrig, L. (2016). Reconciling contradictory relationships between mobility and extinction risk in human-altered landscapes. *Journal of Functional Ecology*, Vol. 30, No. 3, hal. 1558–1567.

Almeida, J.E., Rosetti, R.J.F., & Kokkinogenis, Z. (2012). NetLogo Implementation of an Evacuation Scenario. *Proceedings of the 7th Iberian Conf. on Information Systems and Technologies*, hal. 306-317. (Madrid, 20 Juni 2012).

Mia, U.J., Turniningtyas, A.R., & Heru, S. (2017). Analisa Risiko Bencana Kebakaran Kawasan Segiempat Tunjungan Surabaya. *Jurnal Pengembangan Kota*, Vol. 5, No. 2, hal. 149–158.

Dai, D., & Zhang, Y. (2013). Simulating fire spread in a community using an agent-based model. *Proceedings of The 12th International Conference on GeoComputation*, hal. 130-136. (Wuhan, 23 Juli 2013).

Nugraheni, I.L., Suwarni, N., Miswar, D., & Amalia, A.B. (2019). Kajian Geospasial Berbasis Pendidikan Mitigasi di Kecamatan Kelumbayan Kabupaten Tanggamus. *UNM Geographic Journal*, Vol. 2, No. 2, hal. 139–150.

Tumewu, T.W. (2016). Simulasi Berbasis Agen untuk Evakuasi Bencana Kerumunan Lapangan Indoor GOR X. *Jurnal Ilmiah Widya Teknik*, Vol. 15, No. 1, hal. 41–45.

Hardiansyah, I., Muthohar, S., Priyanto, L.B., & Suprama, S.N. (2016). Konsep pemodelan Transportasi untuk Evakuasi Bencana. *Journal Transportasi Forum Studi*, Vol. 16, No. 3, hal. 231–240.

Manini, D.J., Madireddy, Soundar & Kumara, M. (2011). Model Berbasis Agent Manajemen Lalu Lintas Evakuasi. *Proceedings of Simulasi Musim Dingin*, hal. 306-317. (Madrid, 20 Juni 2011).

Chan, W.K.V. (2017). Agent-Based and Regression Models of Social Influence. *Proceedings of the 2017 Winter Simulation Conf.*, hal. 1395-1406. (Nevada, 3 Desember 2017).

Fitria, N., Hardiansyah, & Mase, L.Z. (2020). Analisis Numeris Menggunakan Agent Based Modelling untuk Evakuasi Bencana Tsunami Gedung I Universitas Bengkulu, Indonesia. *Jurnal Potensi*, Vol. 22, No. 1, hal. 21–32.