

KONSEP PEMODELAN TRANSPORTASI UNTUK EVAKUASI BENCANA

Hardiansyah

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan
Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada
Jln. Grafika 2, Kampus UGM Yogyakarta, 55281

Sigit Priyanto

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan
Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada
Jln. Grafika 2, Kampus UGM Yogyakarta, 55281

Imam Muthohar

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan
Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada
Jln. Grafika 2, Kampus UGM Yogyakarta, 55281

Latief Budi Suparma

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan
Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada
Jln. Grafika 2, Kampus UGM Yogyakarta, 55281

Abstract

The increase of incidence of natural disasters over the past two decades, spawned many ideas about disaster risk reduction impacts both in terms of social and engineering, including in the field of transport evacuation. The rules of scientific developments in the field of transport modeling evacuation typically rely on natural disasters as well as the movement of traffic during the evacuation process. Concept model of transportation for evacuation is divided in two parts, the first focusing on the performance of the road network and the second on the behavior of individual refugees. Based model of transportation refugee behavior has the advantage that individual refugee can be added capabilities and knowledge of the evacuation; only in this concept study is very limited area coverage. Then the concept of performance based transportation model has the advantage of the road network can capture the phenomenon of the movement of traffic as a result of the evacuation on a large scale, in which the main results of simulation in the form of evacuation time and the identification of network vulnerability, only this model require accuracy in data collection, analysis and calibration process. The application of the concept of performance-based model of the road network in the case of disaster evacuation in Indonesia is very applicable at the level set evacuation routes, where the system optimized and user optimized is part of the scenario modeling to optimize its performance.

Keywords: model of transportation, disasters, evacuation, network, refugees

Abstrak

Peningkatan kejadian bencana alam selama dua dasawarsa terakhir melahirkan banyak gagasan mengenai pengurangan dampak risiko kebencanaan baik dari sisi sosial maupun teknis, termasuk pada bidang transportasi evakuasi. Perkembangan kaidah keilmuan dalam bidang pemodelan transportasi evakuasi bergantung pada tipikal bencana alam serta pergerakan lalu lintas saat proses evakuasi. Konsep model transportasi untuk evakuasi dibagi dua bagian, pertama fokus pada kinerja jaringan jalan dan kedua pada perilaku individu pengungsi. Model transportasi berbasis perilaku pengungsi memiliki keuntungan, yaitu individu pengungsi dapat ditambahkan kemampuan dan pengetahuan akan evakuasi, hanya pada konsep ini cakupan wilayah kajiannya sangat terbatas (mikro). Kemudian konsep model transportasi berbasis kinerja jaringan jalan memiliki keuntungan dapat menangkap fenomena pergerakan lalu lintas akibat proses evakuasi dalam skala besar, di mana hasil utama simulasi berupa waktu evakuasi dan identifikasi jalur padat, hanya saja model ini memerlukan kecermatan dalam pengumpulan data, proses analisis, dan kalibrasinya. Adapun penerapan konsep model berbasis kinerja jaringan jalan untuk kasus evakuasi bencana di Indonesia sangat aplikatif pada tataran menetapkan rute evakuasi, di mana *system optimized* dan *user optimized* merupakan bagian dari skenario pemodelan untuk mengoptimalkan kinerjanya.

Kata kunci: model transportasi, bencana, evakuasi, jaringan, pengungsi

PENDAHULUAN

Meningkatnya kejadian bencana beberapa tahun belakangan akibat perubahan kondisi alam maupun perbuatan manusia, melahirkan banyak gagasan dalam upaya penyelamatan jiwa dari dampak yang ditimbulkan oleh bencana. Proses evakuasi merupakan salah satu kajian strategis dalam perencanaan transportasi dan pemodelan lalu lintas. Beberapa metode telah dikembangkan menjadi satu konsep yang dapat digunakan dalam mengoptimalkan evakuasi, termasuk mengenai pemilihan rute perjalanan, pemilihan moda, serta kesiapan infrastruktur jalan untuk memberikan pelayanan pada pelaku evakuasi agar dapat selamat sampai ke tujuan.

Ketika proses evakuasi bencana berlangsung, perencanaan model transportasi untuk evakuasi memberikan dampak besar terhadap kesuksesan upaya pengurangan risiko korban jiwa. Menurut (Saadatseresht, et al., 2009), (Mei, et al., 2013), dan (Coutinho-Rodrigues, et al., 2012), evakuasi adalah proses di mana penempatan orang dari tempat-tempat berbahaya ke tempat-tempat yang lebih aman untuk mengurangi gangguan kesehatan dan kehidupan masyarakat yang rentan terkena dampak. Penelusuran konsep mengenai model transportasi untuk evakuasi yang telah dikembangkan sejauh ini, sangat diperlukan untuk mendapatkan hasil pergerakan evakuasi pengungsi yang optimal guna memberikan alternatif pemecahan masalah kebencanaan terutama dalam meminimalkan korban jiwa. Tujuan penelitian ini adalah merumuskan konsep yang berkaitan dengan pemodelan transportasi untuk evakuasi akibat kejadian bencana sebagai salah satu instrumen penelitian keteknikan yang mendukung kebijakan penentuan upaya penanganan korban terutama pada proses evakuasi.

PERENCANAAN TRANSPORTASI

Perencanaan Transportasi untuk Evakuasi Fokus pada Pengungsi

Model dengan Pendekatan Multiobjektif

Pendekatan model multiobjektif bertujuan untuk menentukan jumlah dan lokasi dari tempat pengungsian dan jalur yang harus diambil oleh korban dari gedung menuju ke tempat pengungsian yang telah ditetapkan pada saat terjadi kasus berupa bencana yang membutuhkan evakuasi. Terjadinya bencana mungkin membuat jalur evakuasi menjadi tidak dapat dilalui, sehingga perlu dibuat jalur cadangan pada setiap bangunan. Karena adanya masalah kerumitan perhitungan lokasi, agregasi permintaan sering digunakan untuk mengurangi dimensi dan waktu (Coutinho-Rodrigues, et al., 2012). Masing-masing individu merupakan refleksi dari penduduk yang akan dievakuasi, selanjutnya pemberian agregasi permintaan (keinginan individu untuk melakukan evakuasi) salah satu indikator yang digunakan dalam simulasi. Model matematika yang dibangun menganggap seluruh rangkaian rencana individu menghasilkan *non-dominated solution*. Setiap solusi adalah bagian dari rangkaian rencana individu secara keseluruhan, di mana rencana individu yang unik dibuat pada masing-masing tahapan pemodelan.

Model dengan Pemanfaatan Jaringan Sosial untuk Efisiensi Evakuasi

Salah satu faktor penting yang mempengaruhi kinerja evakuasi adalah waktu keberangkatan yang dipilih oleh pengungsi. Keberangkatan pengungsi yang simultan dapat mengakibatkan penuhnya jaringan jalan yang menyebabkan kemacetan. Pada beberapa kasus ketika pengungsi terkena sedikit atau tidak ada sama sekali dampak paparan evakuasi (juga dikenal sebagai evakuasi bayangan) dengan pengungsi yang terkena risiko tinggi dari ancaman merupakan sesuatu yang menarik untuk dikembangkan. Salah satu alasannya, keberangkatan pengungsi yang saling berkorelasi dirasakan memiliki risiko ancaman yang menyebar melalui kontak sosial lebih tinggi. Sebuah pengembangan skenario evakuasi pada sebuah wilayah dengan risiko tinggi dan area sekitar dengan risiko yang rendah terhadap paparan bencana menjadi bahasan yang menarik untuk dikembangkan dalam bentuk model (Madireddy, et al., 2015).

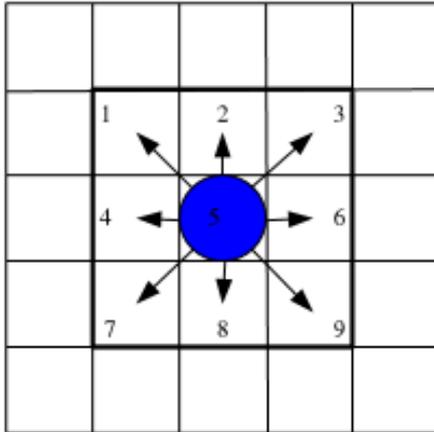
Model Berbasis Multiagen

Model evakuasi berbasis multiagen merupakan penggabungan perilaku panik setiap individu pengungsi di tempat-tempat umum dengan skala besar (Wang, et al., 2015). Dalam proses evakuasi normal, semua individu yang akan melakukan evakuasi atau dikenal dengan agen hanya perlu untuk tiba di pintu keluar secepat mungkin dan tidak ada yang saling mendahului. Dalam proses evakuasi kondisi kemacetan, beberapa agen ingin menuju ke pintu keluar secepat mungkin mendahului kerumunan agen lainnya. Pada keadaan di bawah tekanan yang intens, orang-orang mencoba untuk bergerak lebih cepat daripada kondisi biasanya, menyalip dan biasanya fenomena korban akan muncul. Dalam beberapa literatur yang ada, kegiatan evakuasi dianggap dalam kondisi normal sedangkan beberapa literatur mempertimbangkan kemacetan dan fenomena terjadinya korban. Pemodelan berbasis agen sering dilakukan dengan simulasi evakuasi pejalan kaki di dalam bangunan publik dengan banyak pintu keluar dan penghalang, mirip dengan model *Cellular Automaton*, misalnya ruangan dibagi menjadi beberapa segiempat yang seragam ukuran untuk setiap selnya, tipikal permukaan, seperti pada Gambar 1 dan Gambar 2.

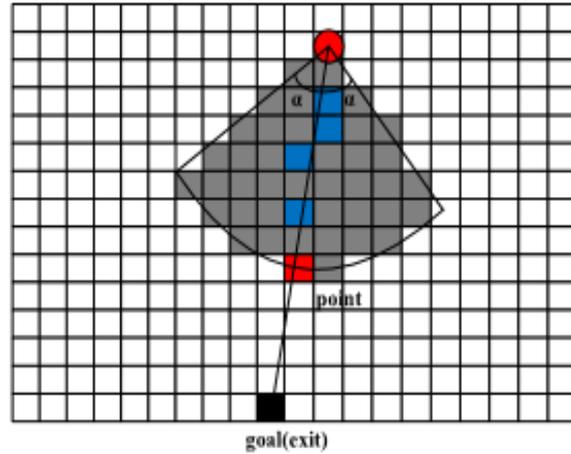
Perencanaan Transportasi untuk Evakuasi Fokus pada Kinerja Jaringan Jalan

Model dengan Penggunaan User Equilibrium (UE)

Pengembangan model proses evakuasi dengan memanfaatkan algoritma cepat untuk mensimulasikan pergerakan lalu lintas selama evakuasi dengan program komputer evakuasi massa MASSVAC versi 3.0 dan versi 4.0 (Hobeika dan Kim, 1998). *UE assignment* didasarkan pada konsep bahwa untuk setiap Pasangan OD (asal-tujuan), waktu perjalanan pada semua jalur yang digunakan adalah sama dan lebih singkat dari waktu perjalanan yang akan dialami oleh kendaraan pada setiap jalur yang tidak terpakai. Ini juga mengasumsikan bahwa pengendara akan mencoba untuk meminimalkan waktu perjalanan mereka di setiap kemungkinan rute. Selain itu, diasumsikan bahwa pengendara secara konsisten membuat keputusan yang benar mengenai pilihan rute dan bahwa semua individu identik dalam perilaku mereka.



Gambar 1 Kemungkinan Sembilan Arah Tindakan (Wang, et al., 2015)



Gambar 2 Pandangan Agen terhadap Pintu Keluar (Wang, et al., 2015)

Model dengan Penjadwalan Waktu Evakuasi dan Pengaturan Lalulintas

Mengevakuasi populasi dalam skala besar merupakan pekerjaan yang sangat rumit dan sulit, sangat bergantung pada pemanfaatan sistem transportasi secara efisien, dan skema evakuasi yang efektif. Dalam rangka untuk mengembangkan kemampuan pemodelan evakuasi darurat, yang memerlukan integrasi dari waktu evakuasi dan model pilihan rute yang hati-hati dan optimal, serta model simulasi lalulintas (Chiu, 2004). Meningkatkan praktek evakuasi darurat yang ada sekarang memerlukan terobosan fundamental dalam teknik pemodelan. Ada dua tantangan teoritis: Pertama, memerlukan pembuatan model optimasi. Model ini meminimalkan korban, paparan atau langkah-langkah lainnya yang relevan dengan menentukan jadwal evakuasi yang optimal pada zona berbeda di daerah tersebut dan menentukan rute optimal dalam hubungannya dengan jadwal evakuasi. Kedua, membutuhkan estimasi kondisi lalulintas yang akurat berdasarkan beban lalulintas yang dihasilkan dari berbagai waktu evakuasi dan skenario rute.

Pengukuran Kerentanan Jaringan Jalan dengan Mempertimbangkan Jalur Kritis

1) Kajian kerentanan jalan.

Analisis kerentanan jaringan jalan dianggap sebagai metodologi yang menggunakan aspek yang berbeda dari studi keandalan transportasi. Untuk memberikan gagasan struktur kerentanan yang lebih koheren, gagasan baru tersebut dibangun dengan cara mendiskusikan sejumlah definisi dari beberapa konsep terkait, dan meninjau beberapa konsep yang dapat diandalkan sebagai sebuah pendekatan teoritis yang *feasible*. Kerentanan dari sistem transportasi jalan dianggap bukan dari sudut pandang keamanan, tetapi lebih sebagai masalah aksesibilitas berkurang yang terjadi karena berbagai alasan. Penekanannya pada fungsi sistem dan bukan jaringan fisik, meskipun beberapa alasan yang menyebabkan diskontinuitas jaringan jalan memang disebabkan oleh kerusakan fisik (Berdica, 2002).

- 2) Pengukuran kerentanan jaringan mempertimbangkan peningkatan kemampuan pelayanan *link* penting.

Sebagian besar indeks yang dirancang selama ini digunakan untuk mengukur kerentanan aksesibilitas lebar jalan di jaringan regional dengan mempertimbangkan tingkat kemampuan pelayanan jalur yang penting dalam jaringan jalan perkotaan yang padat. Sejumlah indeks kerentanan dari beberapa literatur, digunakan untuk mengukur jaringan perkotaan yang terganggu akibat bencana banjir. Pengembangan indeks kerentanan baru dengan mempertimbangkan kemampuan pelayanan dari ruas jalan dan menggambarkan perhitungannya dilakukan pada jaringan jalan perkotaan yang terganggu tersebut (Balijepalli dan Oppong, 2014). Indeks kerentanan yang dimaksud dinotasikan dengan Indeks Kerentanan Jaringan (NVI) yang memperhitungkan pelayanan dan pentingnya setiap ruas jalan pada jaringan selanjutnya didefinisikan sebagai berikut:

$$NVI = \sum_{i=1}^{|A|} \left[\left(\frac{x_i^{before}}{r_i^{before}} t_i^{before} \right) \right] - \sum_{i=1}^{|A|} \left[\left(\frac{x_i^{after}}{r_i^{after}} t_i^{after} \right) \right] \quad (1)$$

dengan:

r_i = Kemampuan pelayanan dari *link* i , yang merupakan kapasitas total yang mungkin dari *link* i /standar kapasitas *link* per jam per *lane* untuk tipe jalan yang ada.

$|A|$ = Jumlah elemen dalam set A, contoh jumlah *link* pada jaringan.

- 3) Penilaian strategis untuk kerentanan jalan.

Pengembangan metodologi untuk analisis kerentanan jaringan jalan, berdasarkan pertimbangan dampak sosial-ekonomi degradasi jaringan dan pencarian untuk menentukan lokasi yang paling penting sebagai akibat dari kegagalan jaringan. Penilaian kerentanan dalam hal proses perencanaan sistem di mana kinerja komponen jaringan diuji terhadap kriteria kinerja yang ditetapkan (Taylor, et al., 2006). Sebuah pertanyaan yang muncul adalah bagaimana kemudian cara mengidentifikasi lokasi penting dalam jaringan. Misalnya, jaringan jalan besar, luas, dan beragam di lapangan. Apakah ada lokasi atau fasilitas tertentu dalam jaringan yang mana kerugian atau kerusakan bagian jalan tertentu (*link*) akan memiliki dampak yang signifikan? Bagaimana seharusnya dampak tersebut dinilai? Jadi, terdapat kebutuhan untuk mengembangkan metode untuk menilai risiko dan kerentanan jaringan transportasi.

- 4) Ukuran efisiensi jaringan transportasi untuk menilai performa.

Sebuah ukuran efisiensi jaringan transportasi yang dapat digunakan untuk menilai performa sebuah jaringan transportasi dan di mana hasil ini berbeda dengan usulan ukuran lainnya, termasuk ukuran jaringan kompleks, yang di dalamnya terdapat arus, biaya, dan informasi perilaku perjalanan, sepanjang topologi yang ada. Pengukuran

efisiensi jaringan transportasi yang baru memungkinkan satu cara untuk menentukan kekritisannya sejumlah *node* (sebaik seperti *link*) melalui definisi sebuah komponen jaringan penting, yang mana telah didefinisikan dengan baik meski jika jaringan menjadi terputus (Nagurney dan Qiang, 2007).

- 5) Konsep jalur penting dan paparannya pada analisis jaringan jalan.
Keandalan dan kerentanan infrastruktur penting telah menarik banyak perhatian. Langkah-langkah operasional diperlukan dalam rangka menilai masalah ini secara kuantitatif. Langkah-langkah tersebut juga dapat digunakan sebagai pedoman untuk administrasi jalan pada prioritas pemeliharaan dan perbaikan jalan-jalan tersebut, serta untuk menghindari penyebab gangguan yang tidak perlu dalam perencanaan perbaikan jalan. Konsep jalur penting dan paparan suatu tempat diperkenalkan. Beberapa indeks pentingnya jalur dan indeks letak paparan dibangun berdasarkan peningkatan biaya perjalanan umum ketika jalur ditutup. Langkah-langkah ini dibagi menjadi dua kelompok: satu menggambarkan sebuah “perspektif kesempatan yang sama”, dan yang lainnya “perspektif efisiensi sosial” (Jenelius, et al., 2006).
- 6) Indeks kekokohan jaringan.
Perubahan mendasar dalam filosofi desain jaringan jalan sangat diperlukan. Jaringan transportasi seharusnya tidak hanya memenuhi permintaan asal-tujuan (OD), tetapi harus menyediakan konektivitas yang cukup sehingga tidak terlalu rentan terhadap gangguan pada segmen tertentu dalam sistem. Hal ini secara langsung mendukung pentingnya konsep fleksibilitas dan kehandalan transportasi. Ukuran baru yang dibangun untuk mengidentifikasi jalur jaringan penting dan mengevaluasi kinerja jaringan yang menganggap tidak hanya arus lalu lintas dan kapasitas, tetapi juga konektivitas jaringan. Menguji seberapa baik ukuran perbandingan kinerja dengan rasio tradisional V/C dengan menggunakan tiga jaringan hipotetis, yang masing-masing ditandai dengan tingkat yang berbeda dari konektivitas. Pendekatan ini akhirnya dikenal sebagai Indeks Ketahanan Jaringan, hasil yang berbeda untuk solusi perencanaan rasio V/C. Selain itu, solusi ini menghasilkan manfaat sistem yang jauh lebih luas, yang diukur dengan penghematan waktu perjalanan, daripada solusi diidentifikasi dengan rasio V/C (Scott, 2006).

ANALISIS AWAL

Keuntungan dan Kekurangan Konsep Model

Penerapan model transportasi untuk evakuasi berbasis pengungsi mempunyai beberapa keuntungan dan kekurangan. Keuntungannya adalah setiap individu pengungsi dapat disimulasikan dengan menambahkan tingkat kemampuan intelektual dan pengetahuan akan evakuasi (*self evacuation*). Pelaku pengungsian yang selanjutnya disebut agen dapat dibagi menjadi empat klasifikasi, yaitu: 1) laki-laki muda, 2) wanita muda, 3) laki-

laki tua, dan 4) wanita tua. Setiap agen dapat pula diasumsikan memperoleh informasi lokal terkait sekitar lokasi pandangan mereka, serta *update* posisi pada setiap waktu yang didasarkan pada dua arah tindakan, yakni pada langkah terakhir (posisi terakhir) dan arah optimal atau suboptimal saat aksi dilakukan. Pembaruan aturan untuk setiap agen terkait dengan kemampuan kompetitif, jarak ke pintu keluar, serta jumlah dan kepadatan penghuni dalam area pandang agen setiap saat dapat dilakukan tergantung pada kebutuhan simulasi. Dalam model ini, diasumsikan jika setiap agen memiliki arah pergerakan dengan kemungkinan yang sama, dan agen juga dapat berpindah ke semua arah yang diberikan. Adapun kekurangan konsep model ini adalah cakupan wilayah kajian yang terbatas (mikro) seperti gedung pusat perbelanjaan, stadion, dan fasilitas umum lainnya, sehingga fenomena transportasi evakuasi pada cakupan yang besar tidak dapat dikaji secara komprehensif dalam model ini.

Konsep pada model transportasi evakuasi berbasis kinerja jaringan jalan dalam penerapannya memiliki keuntungan, yaitu dapat menganalisis kinerja lalu lintas untuk proses evakuasi dalam skala yang besar. Beberapa hasil utama dari simulasi yang dapat diketengahkan antara lain berupa waktu evakuasi dan identifikasi jalur yang padat. Selain itu, aplikasi metode ini dapat juga menganalisis ukuran kerentanan jaringan yang telah dikembangkan dalam bentuk indeks.

Beberapa literatur memperkenalkan konsep melalui pendekatan yang baru dan komprehensif untuk mengidentifikasi jalur yang penting dan mengevaluasi kinerja jaringan dengan mempertimbangkan arus jaringan, kapasitas jalur, dan topologi jaringan yang dikenal dengan indeks kekokohan jaringan. Indeks ini menghasilkan solusi perencanaan jalan yang berbeda dari rasio V/C yang lazim digunakan. Selain itu, solusi ini menghasilkan manfaat yang jauh lebih besar, yang diukur dengan penghematan perjalanan waktu daripada solusi yang diidentifikasi dengan rasio V/C .

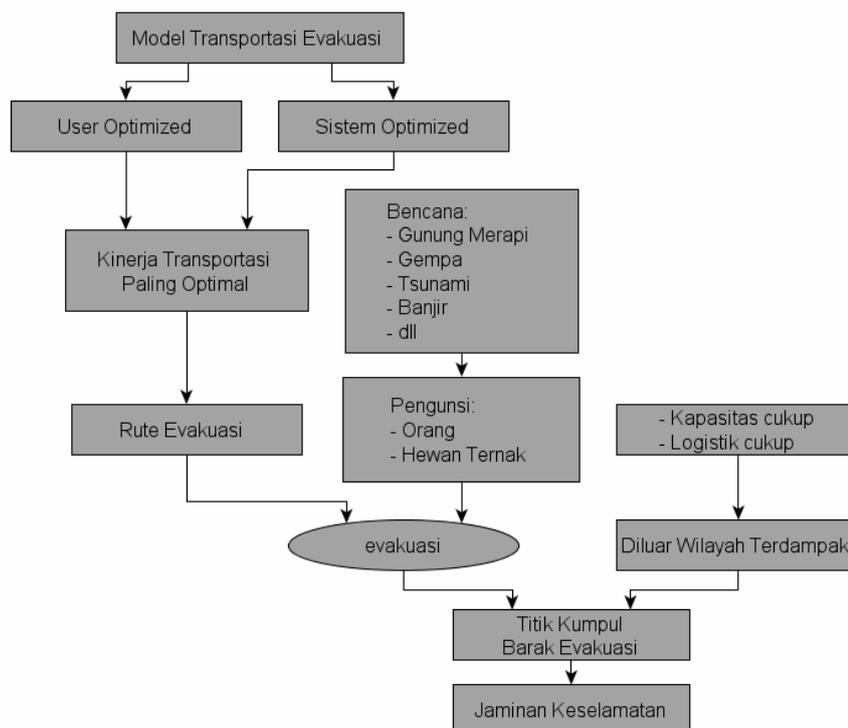
Kekurangan dari konsep ini adalah penggunaan sumber daya yang cukup besar, mengingat luasnya wilayah cakupan dalam model (makro), sehingga sangat diperlukan kecermatan dalam mendapatkan data, proses analisis, dan kalibrasi model. Namun demikian, penerapan konsep-konsep yang telah dijelaskan sebelumnya sangat tergantung pada tujuan yang hendak dicapai, apakah lebih pada perilaku pengungsi atau fenomena transportasi evakuasi saat dan pasca terjadi bencana.

Penerapan Konsep Model Transportasi untuk Evakuasi

Gangguan bencana seperti banjir, gempa bumi, letusan gunung, dan lainnya akan mempengaruhi perjalanan pada jaringan. Biasanya, pemodelan kinerja jaringan dalam kondisi terdegradasi difokuskan pada pengaturan rute lalu lintas daripada pergeseran moda dan pilihan tujuan atau pendekatan dengan pengaturan lalu lintas yang melibatkan pemilihan rute pengemudi, sehingga perilaku pemilihan rute dari pengemudi dalam situasi tertentu mengikuti beragam keseimbangan. Namun untuk kasus evakuasi bencana, pemilihan rute oleh pengemudi biasanya mengikuti keseimbangan pengguna yang dalam

pemodelan dikenal dengan *user optimized* serta keseimbangan sistem yang dikenal dengan *system optimized*.

Ketika bencana melanda, semua orang yang berada pada wilayah terdampak akan melakukan pergerakan seketika dan bersamaan dalam kepanikan yang tinggi, sehingga jaringan jalan seringkali tak mampu memberikan pelayanan maksimal, kondisi inilah pada akhirnya banyak menimbulkan korban jiwa. Penerapan model transportasi evakuasi berbasis kinerja jaringan jalan sangat dibutuhkan untuk mengoptimalkan peran rute evakuasi dalam melayani pengungsi. Bagaimana peran tersebut dalam proses evakuasi selengkapnya ditampilkan pada Gambar 3. Pada Gambar 3 terlihat bahwa model transportasi berperan sangat penting untuk mengoptimalkan kinerja rute yang dilewati pengungsi ketika evakuasi. Jaringan jalan dengan kinerja paling optimal dapat ditetapkan sebagai rute evakuasi yang tangguh untuk menghadapi bencana di masa-masa mendatang, tentunya dengan regulasi dan aturan yang jelas pada tingkat pengoperasiannya.



Gambar 3 Peran Pemodelan Transportasi dalam Proses Evakuasi

Merujuk pada berbagai kasus bencana di Indonesia, misalnya bencana tsunami Aceh dan gunung merapi Yogyakarta yang terjadi beberapa waktu lalu. Ada banyak langkah yang telah dilakukan pemerintah untuk mengurangi dampak, seperti penetapan rute evakuasi dengan memanfaatkan jaringan jalan yang ada. Kesesuaian model dalam perencanaan transportasi evakuasi pada beberapa kasus bencana di Indonesia tidak terlepas dari karakteristik bencana itu sendiri serta kombinasi terhadap beberapa kearifan lokal seperti budaya kepatuhan masyarakat terhadap pemimpin. Menariknya, kondisi

tersebut sangat menguntungkan terutama bagi pemerintah, karena dalam proses evakuasi pengungsi dapat dengan mudah diarahkan menuju titik berkumpul tertentu.

Dalam model transportasi fenomena semacam ini disebut *system optimized*, yaitu setiap pengungsi diarahkan melewati rute tertentu. Namun terkadang, pada situasi dengan kepanikan yang tinggi, pengungsi seringkali mengambil inisiatif sendiri untuk melakukan pergerakan tanpa memperdulikan adanya arahan atau perintah evakuasi. Kondisi demikian dalam pemodelan transportasi disebut sebagai *user optimized* atau dapat diartikan bahwa pengungsi memilih rute sendiri yang dianggap lebih cepat menuju tempat penampungan. Dengan demikian, *system optimized* dan *user optimized* merupakan bagian dari skenario dalam pemodelan transportasi evakuasi untuk memilih rute paling optimal dari sisi kinerja dalam melayani pengungsi pada berbagai kasus kebencanaan di Indonesia.

KESIMPULAN

Dari analisis awal yang telah diuraikan, dapat dirumuskan kesimpulan untuk tindak lanjut penelitian, yaitu:

- 1) Pemodelan transportasi untuk evakuasi yang berbasis perilaku pengungsi memiliki keuntungan, yaitu setiap individu pengungsi dalam model dapat ditambahkan kemampuan intelektual dan pengetahuan akan evakuasi, hanya konsep ini cakupan wilayah kajiannya sangat terbatas (mikro).
- 2) Konsep model transportasi evakuasi berbasis kinerja jaringan jalan memiliki keuntungan, yaitu dapat memodelkan pergerakan lalu lintas akibat proses evakuasi dalam skala yang besar. Hasil utama dari simulasi adalah waktu evakuasi dan identifikasi jalur yang padat (rentan). Hanya saja model ini memerlukan kecermatan dalam mendapatkan data, proses analisis, dan kalibrasinya sehubungan dengan luasnya wilayah kajian (makro).
- 3) Penerapan konsep model transportasi berbasis kinerja jaringan jalan pada kasus evakuasi bencana di Indonesia sangat aplikatif sebagai metode penetapan rute evakuasi, di mana untuk mengoptimalkan kinerjanya *system optimized* dan *user optimized* menjadi bagian skenario dalam pemodelan.
- 4) Untuk wilayah dengan variasi bencana alam yang beragam serta wilayah terdampak yang luas, konsep model transportasi berbasis kinerja jaringan jalan dapat diterapkan sebagai metode dalam mengoptimalkan kinerja rute evakuasi.

DAFTAR PUSTAKA

Balijepalli, C. dan Oppong, O. 2014. *Measuring Vulnerability of Road Network Considering the Extent of Serviceability of Critical Road Links in Urban Areas*. Journal of Transport Geography, 39 Elsevier Ltd: 145-155.

- Berdica, K. 2002. *An Introduction to Road Vulnerability: What has been Done, is Done and Should be Done*. *Transport Policy*, 9 (2): 117-27.
- Chiu, Y.C. 2004. *Traffic Scheduling Simulation and Assignment for Area-Wide Evacuation*. *Proceedings The 7th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (IEEE Cat. No.04TH8749)*, 537-42.
- Coutinho-Rodrigues, J., Lino, T., dan Alçada-Almeida, L. 2012. *Solving a Location-Routing Problem with a Multiobjective Approach: The Design of Urban Evacuation Plans*. *Journal of Transport Geography*, 22: 206-18.
- Hobeika, A.G. dan Kim, C. 1998. *Comparison of Traffic Assignments in Evacuation Modeling*. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 45 (2): 192-198.
- Jenelius, E., Petersen, T., dan Lars-Göran, M. 2006. *Importance and Exposure in Road Network Vulnerability Analysis*. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 40 (7): 537-60.
- Madireddy, M., Kumara, S., Medeiros, D.J., dan Shankar, VN. 2015. *Leveraging Social Networks for Efficient Hurricane Evacuation*. *Transportation Research Part B: Methodological*, 77 Elsevier Ltd: 199-212.
- Mei, E.T.W., Lavigne, F., Picquout, A., Bélizal, E., Brunstein, D., Grancher, D., Sartohadi, J., Cholik, N., dan Vidal, C. 2013. *Lessons Learned from The 2010 Evacuations at Merapi Volcano*. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 261 Elsevier B.V.: 348-65.
- Nagurney, A., dan Qiang, Q. 2007. *A Transportation Network Efficiency Measure That Captures Flow, Behavior and Cost with Applications to Network Component Importance Identification and Vulnerability*. *Proceeding of the POMS 18th Annual Conference*, 83 (2): 447-78.
- Saadatseresht, M., Mansourian, A., dan Taleai, M. 2009. *Evacuation Planning Using Multiobjective Evolutionary Optimization Approach*. *European Journal of Operational Research*, 198 (1) Elsevier B.V.: 305-14.
- Scott, D.M., Novak, D.C., Aultman-Hall, L., dan Guo, F. 2006. *Network Robustness Index: A New Method for Identifying Critical Links and Evaluating The Performance of Transportation Networks*. *Journal of Transport Geography*, 14 (3): 215-27.
- Taylor, M.P., Sekhar, S.V.C., dan D'Este, G.M. 2006. *Application of Accessibility Based Methods for Vulnerability Analysis of Strategic Road Networks*. *Networks and Spatial Economics*, 6 (3-4): 267-91.
- Wang, J., Zhang, L., Shi, Q., Yang, P., dan Hu, X. 2015. *Modeling and Simulating for Congestion Pedestrian Evacuation with Panic*. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 428. Elsevier B.V: 396-409.