

Perilaku Evakuasi Bencana dengan Pendekatan Simulasi: Studi Literatur

Behavioural Evacuation for Catastrophe Using Simulation Approach: Literature Review

Mohamad Jihan Shofa^{1*}, Sahrupi²

^{1,2}Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Serang Raya
Jl. Serang-Cilegon Km. 5, Serang, Banten, , 42162
Email: m.j.shofa@gmail.com

ABSTRAK

Salah satu isu penting dalam kesiapsiagaan bencana adalah pada perencanaan evakuasi yang tepat. Evakuasi menjadi faktor penting dalam mengurangi risiko bencana. Adapun pendekatan yang sering dilakukan untuk menjelaskan perilaku evakuasi adalah dengan menggunakan pendekatan simulasi. Namun dari studi literatur ditemukan masih minim pembahasan mengenai simulasi pada perilaku evakuasi bencana secara vertikal maupun horizontal dan moda transportasi yang tepat. Tujuan dari penelitian ini adalah memaparkan literatur evakuasi bencana dengan pendekatan simulasi dan berbagai moda transportasi yang menjadi pilihan. Metode yang digunakan pada penelitian adalah studi literatur secara sistematis pada naskah jurnal terindeks *googlescholar*, *Scopus*, *Web of Science* yang dipublikasikan dari tahun 2015 sampai dengan 2021 (publikasi di tahun 2021 tidak terhitung secara keseluruhan), dengan kata kunci *behavioural*, *evacuation*, *simulation* dan *modelling*. Hasil dari penelitian ini adalah berbagai pendekatan simulasi dipilih dalam mengevaluasi perilaku evakuasi karena dinilai sebagai metode pendekatan yang sesuai. Sedangkan moda transportasi yang sesuai dapat berdampak pada efektivitas evakuasi. Adapun metode evakuasi dapat berupa evakuasi horizontal maupun vertikal.

Kata Kunci: Bencana, Perilaku evakuasi, Simulasi,

ABSTRACT

*Readiness in catastrophe is the one of critical issues in evacuation planning. The evacuation becomes success factor in reducing the number of victims. The simulation is frequently applied to interpret behavioural evacuation and to evaluate the evacuation effectiveness. Nevertheless, only few literatures discuss about how simulation approach in behavioural vertical or horizontal evacuation, and transportation mode. The objective of this paper is to review literature that discuss about simulation approach in behavioural evacuation and also choosing the transportation modes. Systematic literature review is applied method and it is done for manuscripts published in 2015-2021 (publication for the year 2021 was not fully accounted) indexed by *Googlescholar*, *Scopus*, and *Web of Science*. The key words are *behavioural*, *evacuation*, *simulation* and *modelling*. The result is simulation approach is appropriate method for analysing behavioural evacuation in various natural disasters. Furthermore, the choosing of transportation modes might effect on evacuation effectiveness. And also there are two evacuation methods; horizontal and vertical evacuation.*

Kata Kunci: *Behavioural evacuation, Catastrophe, Simulation*

Pendahuluan

Bencana alam memberikan dampak kerugian yang luar biasa dan hampir tidak dapat dihindari. Kejadian bencana tersebut bahkan memberikan kerugian yang lebih serius bagi kehidupan manusia dan kerusakan yang parah pada infrastruktur (Wei et al. 2020). Ditambah lagi, pada beberapa tahun terakhir kejadian bencana alam mengalami tren kenaikan yang signifikan, di mana Asia termasuk

Indonesia adalah wilayah yang mengalami dampak kerugian tertinggi. Untuk Indonesia, bencana alam mengalami tren kenaikan dari tahun 2005-2015. Pada tahun 2005 bencana alam yang terjadi 615 kasus dan pada tahun 2015 adalah 1700 kasus (Amri et al. 2016).

Salah satu upaya yang dilakukan untuk mengurangi risiko adalah dengan manajemen bencana yang matang dan terstruktur. Manajemen bencana tersebut fokus pada empat hal yaitu mitigasi, kesiapsiagaan, respond dan

pemulihan (Aydin 2020). Pada tahapan mitigasi ini fokusnya adalah pada penghilangan risiko atau pengurangan dampak kerugian bencana. Tahapan kesiapsiagaan dilakukan untuk meningkatkan peluang keselamatan bagi masyarakat yang berisiko bencana baik dengan tanggap darurat yang tepat. Tahapan respon adalah sebagai aksi agar dampak bencana yang terjadi dapat dikurangi. Sedangkan untuk pemulihan akan fokus pada bagaimana masyarakat dapat kembali hidup normal sebagaimana sebelum terjadinya bencana.

Berkaitan dengan kesiapsiagaan, salah satu isu utama adalah perencanaan evakuasi. Hal ini karena evakuasi adalah salah satu faktor yang efektif untuk mengurangi risiko (Shuto 2015). Berbagai literatur tentang perencanaan evakuasi sudah dilakukan untuk mengetahui perilaku evakuasi dan hubungannya dengan komponen lain seperti perilaku agen, perilaku kelompok, penggunaan IT dan lain sebagainya. Meechang et al. (2020) mengaitkan bagaimana sejarah penggunaan teknologi informasi dalam mitigasi bencana. Lovreglio (2020) lebih spesifik menjelaskan bagaimana penggunaan teknologi dalam mitigasi bencana. Begitu juga penggunaan pendekatan simulasi menjadi pilihan dalam menentukan metode evakuasi yang tepat pada berbagai bencana seperti gempa (G.P Cimellaro et al. 2017; Lu et al. 2019), gempa dan tsunami (Takabatake et al. 2020), ledakan (Gian Paolo Cimellaro, Mahin, and Domaneschi 2019), kebakaran (Adam and Gaudou 2017; Kasereka et al. 2018; Mehmood, Ahmed, and Kristensen 2019), gunung berapi (Jumadi, Carver, and Quincey 2016), banjir (Bernardini et al. 2020; Nakanishi, Black, and Suenaga 2019; Shirvani, Kesserwani, and Richmond 2021) dan badai (Hong and Frias-Martinez 2020; J. Lee and Kockelman 2021; S. Lee et al. 2021; Robinson et al. 2018; Sadri et al. 2015; Ukkusuri et al. 2017; H. Yang et al. 2016; K. Yang et al. 2019; Zhu et al. 2018).

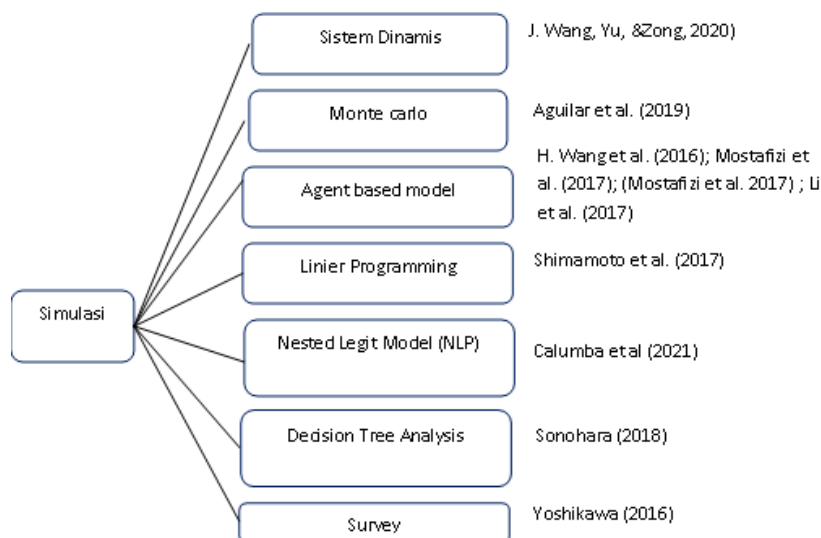
Berbagai literatur terkait dengan kajian simulasi pada bencana dengan evakuasi baik secara horizontal maupun vertikal tersebut masih minim dan belum menjelaskan secara lengkap pendekatan simulasi yang dilakukan dan juga moda transportasi apa yang menjadi pilihan. Oleh karena itu pada kajian literatur ini akan mengisi celah tersebut dengan menjelaskan berbagai simulasi yang digunakan dan moda apa yang menjadi kajian.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi literatur dari berbagai artikel jurnal terindeks *googlescholar*, *Scopus*, *Web of Science* yang dipublikasikan dari tahun 2015 sampai dengan 2021 (publikasi di tahun 2021 tidak terhitung secara keseluruhan), dengan kata kunci *behavioural*, *evacuation*, *simulation* dan *modeling*. Hasil dari pencarian tersebut diperoleh sebanyak 253 artikel yang terkait dan jumlah tersebut kemudian dilakukan penyaringan berdasarkan abstraks dan pembahasan (isi) yang sesuai dengan kajian simulasi untuk evakuasi pejalan kaki dan moda transportasi publik maupun pribadi, sehingga diperoleh hasil akhir sejumlah 30 artikel.

Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan pada hasil review literatur didapatkan bahwa metode pendekatan perilaku evakuasi dapat menggunakan berbagai teknik simulasi yaitu sistem dinamis (*system dynamics*), simulasi *Monte carlo*, *agent based model* (ABM), *linier programming*, *nested legit model* (NLP), *decision tree analysis*, dan *survey* (Gambar. 1).



Gambar 1. Berbagai pendekatan simulasi pada perilaku evakuasi bencana

Sedangkan tujuan dari simulasi secara umum adalah untuk mengetahui perilaku evakuasi masyarakat, kemudian membuat scenario evaluasi yang efektif dalam manajemen perencanaan bencana sebagai upaaya mengurangi jumlah korban dan meningkatkan jumlah korban selamat. Untuk lebih jelas dapat sebagaimana pada Tabel 1.

Selain itu, berbagai literatur yang didapatkan menjelaskan bahwa moda transportasi juga menjadi pertimbangan dalam menghasilkan evakuasi yang efektif. Moda Transportasi yang digunakan seperti angkutan publik (Mostafizi et al. 2019), kendaraan pribadi- roda dua atau roda empat- (Aguilar et al. 2019; Calumba, Rith, and Fillone 2021; Li et al. 2017; Mostafizi et al. 2017, 2019; Shimamoto et al. 2017; H. Wang et al. 2016; Yoshikawa 2015) maupun dengan berjalan kaki (Aguilar et al. 2019; Sonohara et al. 2018; J. Wang, Yu, and Zong 2020; Yao and Lu 2020).

Tabel 1. Review literatur terkait dengan tujuan dan moda evakuasi.

Tujuan	Moda evakuasi	Referensi
Untuk mengevaluasi APM (average probability of mortality) pada kasus evakuasi kecelakaan pabrik kimia	Berjalan kaki	(J. Wang, Yu, and Zong 2020)
Untuk mengetahui perilaku evakuasi anak kecil pada gerakan vertical terkait dengan kecepatan perpindahan	Berjalan kaki	(Yao and Lu 2020)
Untuk memodelkan evakuasi dengan multi moda dan beberapa scenario	Berjalan kaki dan mobil	(Aguilar et al. 2019)
Untuk memodelkan evakuasi tsunami dengan beberapa scenario yaitu kecepatan berjalan, waktu keputusan evakuasi, populasi, dan penggunaan mobil	Berjalan kaki dan mobil	(H. Wang et al. 2016)
Untuk melakukan penilaian bahaya dengan mempertimbangkan faktor ketersediaan jaringan (jembatan) antar area	Berjalan kaki dan dengan mobil	(Mostafizi et al. 2017)
Untuk mengusulkan	Dengan jalan kaki dan	(Shimamoto et al. 2017)

skenario evakuasi Memodelkan evakuasi vertikal dan lokasi shelter	dengan mobil Berjalan kaki dan modal transportasi publik dan pribadi	(Mostafizi et al. 2017)
Membuat manajemen perencanaan evakuasi	Berjalan kaki, moda transportasi roda dua atau empat, lainnya	(Calumba, Rith, and Fillone 2021)
Membuat model evakuasi tempat wisata	Berjalan kaki	(Sonohara et al. 2018)
Membuat model evakuasi tempat wisata	Berjalan kaki dan dengan kendaraan	(Li et al. 2017)
Manajemen perencanaan bencana	Dengan menggunakan mobil	(Yoshikawa 2015)

Hasil simulasi menunjukkan bahwa pemilihan moda transportasi yang tidak tepat akan membuat kepadatan saat evakuasi. Moda transportasi yang efektif dalam evakuasi bencana adalah dengan berjalan kaki karena dapat mengurangi terjadinya kepadatan sehingga dapat meningkatkan kecepatan evakuasi (Usman et al. 2017). Namun, moda transportasi mobil dapat dijadikan sebagai pilihan untuk memperbanyak jumlah masyarakat yang dapat dievakuasi (Aguilar et al. 2019) dengan memperhatikan pada kondisi di mana jarak shelter jauh (Shimamoto et al. 2017), atau saat terjadinya bencana ekstrim (Li et al. 2017).

Lebih lanjut, dalam literatur dijelaskan bahwa selain metode evakuasi horizontal, evaluasi vertikal dapat digunakan sebagai alternatif (Mostafizi et al. 2017). Evaluasi vertikal dapat memanfaatkan bangunan atau gedung dengan ketinggian tertentu dan konstruksi yang kuat dengan kapasitas tertentu sebagai tempat evakuasi.

Kesimpulan

Berdasarkan pada studi literatur didapatkan bahwa simulasi menjadi pendekatan yang dipilih dalam mengevaluasi perilaku evakuasi karena dinilai sebagai metode pendekatan yang sesuai. Lebih lanjut penggunaan moda transportasi menjadi faktor yang dilihat karena akan berdampak pada kecepatan evakuasi. Adapun metode evakuasi dapat berupa evakuasi horizontal maupun vertikal.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini mendapat dukunga pendanaan penuh dari Kementrian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi sesuai dengan Kontrak Penelitian



Tahun Anggaran 2021 dengan nomor kontrak: 065/SP2H/LT/DRPM/2021 tertanggal 18 Maret 2021.

Daftar Pustaka

- Adam, Carole, and Benoit Gaudou. 2017. "Modelling Human Behaviours in Disasters from Interviews: Application to Melbourne Bushfires." *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 20(3): 1–17.
- Aguilar, Leonel et al. 2019. "Mass Evacuation Simulation Considering Detailed Models: Behavioral Profiles, Environmental Effects, and Mixed-Mode Evacuation." *Asia Pacific Management Review* 24(2): 114–23. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2019.05.001>.
- Amri, M.R et al. 2016. Direktort Pengurangan Resiko Bencana Deputy Bidang Pencegahan dan Kesiapsiagaan *Risiko Bencana Indonesia*. Jakarta.
- Aydin, Nezir. 2020. "Designing Reverse Logistics Network of End-of-Life-Buildings as Preparedness to Disasters under Uncertainty." *Journal of Cleaner Production* 256: 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120341>.
- Bernardini, Gabriele, Enrico Quagliarini, Marco D'Orazio, and Maurizio Brocchini. 2020. "Towards the Simulation of Flood Evacuation in Urban Scenarios: Experiments to Estimate Human Motion Speed in Floodwaters." *Safety Science* 123(April 2019): 104563. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.104563>.
- Calumba, Sherwin Roy, Monorom Rith, and Alexis M. Fillone. 2021. "Earthquake Evacuation Choice and Management in a Developing Archipelagic Country—a Case Study of Surigao City, Philippines." *Sustainability (Switzerland)* 13(11): 2–24.
- Cimellaro, G.P et al. 2017. "Simulating Earthquake Evacuation Using Human Behavioral Models." *Earthquake Engineering & Structural Dynamics* 2. [http://www.stanford.edu/~bakerjw/Publications/Baker \(2007\) Record scaling, 8PCEE.pdf%5Cnpapers2://publication/uuid/1498A307-A88B-4AAF-B3F7-E6B4B14F87C2](http://www.stanford.edu/~bakerjw/Publications/Baker%20(2007)%20Record%20scaling%208PCEE.pdf%5Cnpapers2://publication/uuid/1498A307-A88B-4AAF-B3F7-E6B4B14F87C2).
- Cimellaro, Gian Paolo, Stephen Mahin, and Marco Domaneschi. 2019. "Integrating a Human Behavior Model within an Agent-Based Approach for Blasting Evacuation." 34: 3–20.
- Hong, Lingzi, and Vanessa Frias-Martinez. 2020. "Modeling and Predicting Evacuation Flows during Hurricane Irma." *EPJ Data Science* 9(1). <http://dx.doi.org/10.1140/epjds/s13688-020-00247-6>.
- Jumadi, Steve Carver, and Duncan Quincey. 2016. "A Conceptual Framework of Volcanic Evacuation Simulation of Merapi Using Agent-Based Model and GIS." In *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, The Author(s), 402–9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.06.092>.
- Kasereka, Selain et al. 2018. "Agent-Based Modelling and Simulation for Evacuation of People from a Building in Case of Fire." *Procedia Computer Science* 130: 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.006>.
- Lee, Jooyong, and Kara M. Kockelman. 2021. "Strategic Evacuation for Hurricanes and Regional Events with and without Autonomous Vehicles." *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*: 036119812110074.
- Lee, Seunghan, Saurabh Jain, Keeli Ginsbach, and Young Jun Son. 2021. "Dynamic-Data-Driven Agent-Based Modeling for the Prediction of Evacuation Behavior during Hurricanes." *Simulation Modelling Practice and Theory* 106(August 2020): 102193. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2020.102193>.
- Li, Lei et al. 2017. "Agent-Based Simulation of Evacuation Considering Extreme Weather in Tourist Areas." In *Proceedings - 13th International Conference on Computational Intelligence and Security, CIS 2017*, , 431–34.
- Lovreglio, Ruggiero. 2020. "Virtual and Augmented Reality for Human Behaviour in Disasters: A Review Emergency Evacuation." In *Fire Evacuation Modeling Technical Conference (FEMTC)*, , 1–14. <https://www.researchgate.net/publication/343809101>.
- Lu, Xinzhen, Zhebiao Yang, Gian Paol Cimellaro, and Zhen Xu. 2019. "Pedestrian Evacuation Simulation under the Scenario with Earthquake- Induced Falling Debris." *Safety Science* 114(October 2018): 61–71. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.12.028>.
- Meechang, Kunruthai et al. 2020. "The Acceptance of Using Information Technology for Disaster Risk Management: A Systematic Review." *Engineering Journal* 24(4): 111–32.

- Mehmood, Saqib, Shakeel Ahmed, and Anders Schmidt Kristensen. 2019. "Application of Integrated Model of Evacuation Psychology in an Agent-Based Simulation." In *ACM International Conference Proceeding Series*, , 70–74.
- Mostafizi, Alireza et al. 2017. "Agent-Based Tsunami Evacuation Modeling of Unplanned Network Disruptions for Evidence-Driven Resource Allocation and Retrofitting Strategies." *Natural Hazards* 88(3): 1347–72.
- Mostafizi, Alireza, Haizhong Wang, Dan Cox, and Shangjia Dong. 2019. "An Agent-Based Vertical Evacuation Model for a near-Field Tsunami: Choice Behavior, Logical Shelter Locations, and Life Safety." *International Journal of Disaster Risk Reduction* 34(August 2018): 467–79.
- Nakanishi, Hitomi, John Black, and Yoshihiro Suenaga. 2019. "Investigating the Flood Evacuation Behaviour of Older People: A Case Study of a Rural Town in Japan." *Research in Transportation Business and Management* 30(February): 100376. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2019.100376>.
- Robinson, R. Michael et al. 2018. "Modeling the Impact of Traffic Incidents during Hurricane Evacuations Using a Large Scale Microsimulation." *International Journal of Disaster Risk Reduction* 31(September): 1159–65. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijdr.2017.09.013>.
- Sadri, Arif Mohaimin, Satish V. Ukkusuri, Pamela Murray-Tuite, and Hugh Gladwin. 2015. "Hurricane Evacuation Route Choice of Major Bridges in Miami Beach, Florida." *Transportation Research Record* 2532: 164–73.
- Shimamoto, Hiroshi et al. 2017. "Evaluation of Tsunami Evacuation Planning Considering Vehicle Usage and Start Timing of Evacuation." *Transportmetrica A: Transport Science* 14: 1–16.
- Shirvani, Mohammad, Georges Kesserwani, and Paul Richmond. 2021. "Agent-Based Simulator of Dynamic Flood-People Interactions." *Journal of Flood Risk Management* 14(2): 1–17.
- Shuto, N. 2015. "Tsunamis: Their Coastal Effects and De- Fense Works." In *Scientific Forum on Tsunami, Its Impact and Recovery, 1-12*, Thailand: Asian Institute of Technology, 1–12.
- Sonohara, Makoto, Kohei Sakai, Masakazu Takahshi, and Toshiyuki Kaneda. 2018. "A Study on Agent Modeling of Tourist Evacuation Behaviors in an Earthquake: A Case Study of an Evacuation Simulation of Himeji Castle." In *Innovative Approaches in Agent-Based Modelling and Business Intelligence*, , 189–204.
- Takabatake, Tomoyuki, Kota Fujisawa, Miguel Esteban, and Tomoya Shibayama. 2020. "Simulated Effectiveness of a Car Evacuation from a Tsunami." *International Journal of Disaster Risk Reduction*. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101532>.
- Ukkusuri, Satish V. et al. 2017. "A-RESCUE: An Agent Based Regional Evacuation Simulator Coupled with User Enriched Behavior." *Networks and Spatial Economics* 17(1): 197–223. <http://dx.doi.org/10.1007/s11067-016-9323-0>.
- Usman, Fadly, Keisuke Murakami, Agus Dwi Wicaksono, and Eko Setiawan. 2017. "Application of Agent-Based Model Simulation for Tsunami Evacuation in Pacitan, Indonesia." In *MATEC Web of Conferences*, , 2–16.
- Wang, Haizhong et al. 2016. "An Agent-Based Model of A Multimodal Near-Field Tsunami Evacuation: Decision-Making and Life Safety." *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 64: 86–100. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trc.2015.11.010>.
- Wang, Jiyun, Xiaoyang Yu, and Ruowen Zong. 2020. "A Dynamic Approach for Evaluating the Consequences of Toxic Gas Dispersion in the Chemical Plants Using CFD and Evacuation Modelling." *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 65(May): 104–56. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2020.104156>.
- Wei, Xiaowen et al. 2020. "An Integrated Location-Routing Problem with Post-Disaster Relief Distribution." *Computers and Industrial Engineering* 147: 106–632. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106632>.
- Yang, Hong, Ender Faruk Morgul, Kaan Ozbay, and Kun Xie. 2016. "Modeling Evacuation Behavior Under Hurricane Conditions." *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2599(1): 63–69.
- Yang, Kun et al. 2019. "Incorporating Inland Flooding into Hurricane Evacuation Decision Support Modeling." *Natural Hazards* 96(2): 857–78. <https://doi.org/10.1007/s11069-019-03573-9>.
- Yao, Yishu, and Wei Lu. 2020. "Research on Kindergarten Children Evacuation: Analysis of Characteristics of the

- Movement Behaviours on Stairway.” *International Journal of Disaster Risk Reduction* 50(November 2019): 101–718. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101718>.
- Yoshikawa, Tadahiro. 2015. “Research on Planning Process of Community Disaster Management Plan at Tsunami-Hit Area.” *Journal of Disaster Research* 10: 736–54.
- Zhu, Yuan, Kun Xie, Kaan Ozbay, and Hong Yang. 2018. “Hurricane Evacuation Modeling Using Behavior Models and Scenario-Driven Agent-Based Simulations.” *Procedia Computer Science* 130: 836–43. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.074>.