

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang mendapatkan julukan “*Ring of Fire*”. Julukan ini merujuk pada kondisi geologis Indonesia yang berada di kawasan cincin api Pasifik, yaitu zona pertemuan antara lempeng Pasifik dengan beberapa lempeng tektonik lainnya seperti lempeng Eurasia, Indo-Australia, dan Filipina. Di kawasan ini terdapat setidaknya 450 gunung berapi, baik yang aktif maupun tidak aktif. Gunung-gunung berapi di Indonesia termasuk yang paling aktif dalam jajaran gunung api di zona ini (Rismawati, 2019). Beberapa daerah yang termasuk dalam ring of fire di Indonesia meliputi Sumatra bagian barat, Pulau Jawa, Bali (Gunung Agung), Nusa Tenggara (termasuk Pulau Sumbawa dan Flores), Maluku, dan Papua. Khususnya, Pulau Jawa dikenal sebagai salah satu pulau dengan gunung berapi aktif paling banyak, seperti Gunung Merapi dan Semeru.

Selain berada dalam kawasan *ring of fire*, Indonesia juga merupakan negara kepulauan terbesar di dunia, yang terdiri dari lebih dari 17.000 pulau dan memiliki garis pantai terpanjang kedua setelah Kanada. Letak geografis ini membuat Indonesia sangat rentan terhadap bencana laut, terutama tsunami. Tsunami dapat terjadi akibat aktivitas tektonik di dasar laut, seperti gempa bumi bawah laut, letusan gunung api laut, dan longsor bawah laut. Aktivitas ini memicu pergerakan massa air laut secara mendadak dan menghasilkan gelombang besar yang dapat menghantam daratan.

Menurut Susanto dkk. dalam Hasan dan Setyani (2024), di selatan Pulau Jawa terdapat suatu celah seismik aktif yang terletak di sepanjang batas dua lempeng tektonik aktif, yang belum mengalami gempa besar selama lebih dari tiga dekade. Celah seismik ini berpotensi menjadi sumber gempa megathrust di masa depan. Dalam skenario terburuk, jika kedua lempeng tersebut bertabrakan, dapat terjadi gempa bumi berkekuatan besar yang berpotensi memicu tsunami. Gelombang

tsunami yang ditimbulkan bisa mencapai 6 meter untuk gempa bermagnitudo Mw 8.9, bahkan hingga 20 meter untuk gempa Mw 9.1. Ancaman ini sangat berbahaya mengingat banyaknya wilayah pesisir yang padat penduduk di Pulau Jawa dan sekitarnya.

Megathrust adalah jenis gempa yang terjadi di zona subduksi, di mana satu lempeng tektonik bergerak di bawah lempeng lainnya. Ketika gempa ini terjadi, dampaknya sangat luas, mencakup kerusakan infrastruktur, hilangnya nyawa, dan dislokasi penduduk. Oleh karena itu, pengembangan model evakuasi yang efisien sangat penting untuk mengurangi risiko dan dampak bencana tersebut (Gonzalez dkk., 2020). Bencana tersebut dapat terjadi secara tiba-tiba dan hampir tidak mungkin dapat diperkirakan secara akurat. Oleh karena itu diperlukan mitigasi bencana sebagai langkah proaktif untuk melindungi kehidupan dan meminimalkan dampak negatif dari bencana.

Mitigasi bencana adalah serangkaian upaya untuk mengurangi resiko bencana, baik melalui pembangunan fisik maupun penyadaran dan peningkatan kemampuan menghadapi ancaman bencana (BPBD, 2022). Proses evakuasi adalah suatu tindakan memindahkan manusia secara tidak langsung dan cepat dari satu lokasi ke lokasi yang aman agar menjauh dari ancaman atau kejadian yang dianggap berbahaya atau berpotensi mengancam nyawa manusia atau makhluk hidup lainnya.

Untuk keadaan darurat seperti kebakaran dan tsunami, penelitian mengenai evakuasi lalu lintas telah menarik perhatian yang luas. Namun, hal ini dibatasi oleh banyak faktor praktis seperti infrastruktur jaringan jalan, konflik persimpangan, permintaan yang datang secara dinamis, dan lalu lintas yang dinamis. Dalam kondisi ini mengatur kendaraan bermotor secara dinamis yang beredar di antara area *event*, tempat penampungan untuk menjemput, mengantarkan pengungsi serta mengevakuasi kendaraan bermotor dengan efisiensi tinggi merupakan masalah yang kompleks, maka investigasi intensif terhadap hal tersebut sangatlah penting (Zeng dkk., 2021).

Permasalahan terkait jalur evakuasi seringkali dipandang sebagai masalah riset operasi yang diselesaikan secara matematis dengan merancang model matematika untuk meminimalkan dampak bencana. Proses evakuasi dibagi menjadi 2 kategori, yaitu model makroskopis dan model mikroskopis. Model makroskopis fokus kepada manusia dan bangunan sebagai suatu kesatuan, sedangkan mikroskopis mempelajari perilaku pribadi dan interaksi antar individu dalam keramaian (Wu dkk., 2018). *Regression models, route choice models, queuing models, dan gas-kinetics models* termasuk dalam model makroskopis (Pelechano & Malkawi, 2008). Menurut Helbing dkk. dalam Helmy (2024), model mikroskopis antara lain *social forces (partical system)*, *rule based*, *cell transmission model (CTM)* dan *cellular automata models (CA)*.

Menurut Liz dan Obey (2015) dalam Bayram (2016) teknik yang paling sering digunakan dalam mensimulasi proses evakuasi dengan model mikroskopis adalah *social forces* dan *cellular automata (CA)*. Di antara kelas model simulasi mikroskopis, *cell transmission model (CTM)* adalah salah satu model yang paling umum. Daganzo (1994) dalam Zeng dkk. (2021) mengusulkan model transmisi sel, di mana jalur jalan dibagi menjadi sel-sel isometrik kendaraan yang berjalan, dan arus kendaraan dibatasi oleh kondisi lalu lintas hulu dan hilir. Serta persamaan konservasi CTM yang terkenal telah diterapkan dalam simulasi evakuasi lalu lintas menggunakan model berbasis sel untuk mempelajari perencanaan evakuasi dengan degradasi jaringan transportasi endogen.

Dalam CTM, jalan dua arah biasanya dipandang sebagai dua sel independen dalam arah yang berlawanan memperluas model transmisi sel satu jalur menjadi beberapa jalur dalam arah yang sama (Carey dkk., 2015), dengan asumsi bahwa jalurnya yang berubah arah dapat dibalik dalam interval jalur kecil dalam ruang-waktu, penyajian formulasi model transmisi sel untuk pembalikan jalur dinamis (Levin & Boyles, 2016). Namun dalam literatur, CTM tidak dapat menghindari konflik di persimpangan dan hanya bisa mengevaluasi secara kasar volume lalu lintas

pergerakan belok kiri, belok kanan, dan lurus dalam kaitannya dengan rasio belok pada suatu persimpangan. Oleh karena itu, pada saat lalu lintas mengalir keluar suatu ruas jalan menuju persimpangan yang berdekatan, ketiganya berbeda arah belok kiri, belok kanan, dan lurus dapat dipertimbangkan berdasarkan volume lalu lintas dan potensi konfliknya dengan lalu lintas dari arah lain. Penghindaran konflik di persimpangan diperkenalkan untuk memodelkan interaksi antar arah yang berbeda, dan volume lalu lintas arus keluar dari tiga arah berbeda dihitung secara akurat. Dengan demikian, CTM diperluas ke *bidirectional multilane conflict-eliminating cell transmission model* (BCECTM).

Menurut Zeng dkk. (2021) berdasarkan penelitian sebelumnya, model optimasi dengan CTM masing-masing memiliki kelemahan. Pertama, mekanisme transmisi arus lalu lintas tidak ditangani dengan baik dalam model optimasi, terlebih lagi pengorganisasian arus bus terbalik dan penanganan situasi konflik di suatu persimpangan menyulitkan CTM. Kedua, pengiriman pengungsi menggunakan mobil tidak digambarkan oleh model optimasi seperti model berbasis jalur. Untuk mengatasi kekurangan ini, metode yang layak adalah dengan menggunakan CTM dan VRP untuk meningkatkan model optimasi.

Pada saat evakuasi, transportasi seperti kendaraan bermotor berguna untuk memindahkan pengungsi dengan cepat. Bagi pengungsi, mereka yang tidak memiliki kendaraan bermotor atau tidak menggunakannya akan menunggu di lokasi evakuasi hingga kendaraan bermotor menjemputnya. Pengungsi dalam jumlah besar yang berkumpul di titik kumpul kendaraan bermotor harus diantar dengan beberapa kendaraan. Pendekatan *split delivery vehicle routing problem* (SDVRP) dapat digunakan untuk menyelesaikan perencanaan jalur kendaraan untuk evakuasi yang bertujuan untuk mendapatkan solusi optimasi untuk meningkatkan efisiensi pemuatan kendaraan dan mengurangi biaya jalur (Archetti dkk., 2006). Dengan demikian BCECTM dan dikombinasikan dengan SDVRP untuk menentukan rute evakuasi menggunakan kendaraan.

Sejauh ini, penelitian yang melibatkan kombinasi BCECTM dan SDVRP jumlahnya sangat sedikit. Aziz dan Ukkusuri (2013) menyelesaikan masalah penentuan rute kendaraan berkapasitas (CVRP) menggunakan CTM untuk memperbarui waktu perjalanan. Zeng dkk. (2021) menggabungkan model BCECTM dan SDVRP diintegrasikan untuk mengoptimalkan rute evakuasi menggunakan bus dan mobil dengan menggambarkan keputusan penjemputan dan pemilihan rute bus. Rute yang dihasilkan memanfaatkan sepenuhnya kapasitas bus untuk memenuhi kebutuhan evakuasi di lokasi berkumpul pengungsi dan menjamin penyelesaian evakuasi dalam waktu sesingkat mungkin.

Untuk memperoleh rute evakuasi dengan waktu minimum dan dapat mengevakuasi pengungsi semaksimal mungkin, maka diperlukan metode optimasi yang dapat menyelesaikan model evakuasi yang telah dibangun. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah algoritma genetika. Algoritma Genetika atau *Genetic Algorithm* (GA) merupakan metode metaheuristik berdasarkan prinsi-prinsip genetika dan seleksi alam (Santosa, 2017). GA bekerja dengan cara membangkitkan populasi awal yang selanjutnya dilakukan proses seleksi terhadap populasi yang telah dibangkitkan. Setelah proses seleksi dilakukan proses *crosscover* untuk menghasilkan individu baru. Setelah itu dilakukan proses mutasi sampai tercapai nilai yang paling optimal. Sejauh ini, GA telah terbukti mampu menyelesaikan berbagai masalah optimisasi yang kompleks dengan ruang pencarian yang sangat luas.

Penelitian ini mengusulkan metode yang dapat digunakan untuk merencanakan rute evakuasi pengungsi dari titik berkumpul pengungsi ke lokasi berlindung. Secara khusus, penelitian ini akan membangun model perencanaan rute evakuasi pengungsi menggunakan kendaraan berbasis SDVRP. Penggunaan model SDVRP memungkinkan pengangkutan pengungsi di suatu lokasi menggunakan beberapa kendaraan. Hal ini dilakukan untuk memaksimalkan banyaknya pengungsi yang diangkut oleh kendaraan. Pemilihan rute evakuasi akan mempertimbangkan kemungkinan terjadinya kepadatan kendaraan yang disebabkan oleh pertemuan arus

lalu lintas dengan cara membuat simulasi dinamis arus lalu lintas menggunakan BCECTM sehingga pergerakan kendaraan setiap waktu dapat terpantau. BCECTM akan melibatkan interaksi antar arah arus lalu lintas yang berbeda agar pertemuan arus lalu lintas dipersimpangan dapat diperhitungkan. GA akan digunakan untuk mengoptimalkan rute evakuasi bagi kendaraan agar dapat mengoptimalkan waktu evakuasi. Model optimisasi perencanaan jalur evakuasi selanjutnya akan diimplementasikan pada perencanaan rute evakuasi di pantai Pangandaran. Wilayah Pangandaran terletak di zona *megathrust* yang rentan terhadap gempa bumi besar. Sejauh ini belum ada penelitian terkait model dan rancangan simulasi rute evakuasi dinamis di pantai Pangandaran. Hasil penelitian ini diharapkan dapat dimanfaatkan oleh pihak pengambil keputusan untuk membantu merencanakan jalur evakuasi yang efektif dan efisien. Sampai saat ini, manajemen penanganan bencana di Indonesia belum baik. Hal ini dibuktikan dengan masih banyaknya korban jiwa yang ditimbulkan oleh bencana alam. Perencanaan jalur evakuasi adalah penting untuk meminimumkan banyaknya korban dengan cara mempercepat proses evakuasi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan tersebut, masalah yang akan dijawab peneliti sebagai berikut.

1. Bagaimana model optimisasi evakuasi dinamis berbasis BCECTM dan SDVRP?
2. Bagaimana menyelesaikan model optimisasi perencanaan jalur evakuasi menggunakan GA?
3. Bagaimana hasil implementasi model optimisasi dinamis perencanaan rute evakuasi berbasis BCECTM dan SDVRP di Pantai Pangandaran?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji model optimisasi penentuan rute evakuasi dinamis berbasis BCECTM dan SDVRP dan menyelesaikannya menggunakan GA serta mengimplementasikannya pada perencanaan rute evakuasi pengungsi menggunakan kendaraan di Pantai Pangandaran.

Yasmien Syaquinah, 2025

MODEL OPTIMISASI EVAKUASI DINAMIS BERBASIS *BIDIRECTIONAL MULTILANE CONFLICT-ELIMINATING CELL TRANSMISSION MODEL* DAN *SPLIT DELIVERY VEHICLE ROUTING PROBLEM* DENGAN ALGORITMA GENETIKA

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

1.4 Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini sebagai berikut.

1. Menambah bahan kajian sebagai sumber informasi seputar pemodelan optimisasi evakuasi dinamis berdasarkan *bidirectional multilane conflict-eliminating cell transmission model* dan *split delivery vehicle routing problem*.
2. Memberikan rujukan terkait perencanaan rute yang optimal di pantai Pangandaran agar dapat meminimumkan korban akibat bencana yang akan datang.