

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas deskripsi masalah, tahapan penelitian, representasi jaringan, asumsi, dan teknik penyelesaian dengan mengaplikasikan penyelesaian *bidirectional multilane conflict-eliminating cell transmission model* dan *split delivery vehicle routing* menggunakan algoritma genetika.

3.1 Dekripsi Masalah

Penelitian ini membahas masalah penentuan jalur evakuasi pengungsi menggunakan kendaraan. Pengungsi berada pada titik kumpul yang akan dijemput menggunakan kendaraan menuju lokasi berlindung. Setiap kendaraan memiliki batasan kapasitas. Oleh karena itu, perlu untuk menentukan rute penjemputan pengungsi bagi kendaraan agar seluruh pengungsi dapat terangkut. Pada penelitian ini, penentuan rute kendaraan akan mempertimbangkan kepadatan lalu lintas dan konflik arus lalu lintas di persimpangan secara dinamis. Dengan demikian rute penjemputan oleh kendaraan yang dihasilkan diharapkan merupakan rute tercepat menuju lokasi berlindung.

Lebih jauh, peneliti ini akan meneliti perencanaan jalur evakuasi menggunakan kendaraan di Pantai Pangandaran. Penelitian terkait perencanaan jalur evakuasi sangat penting untuk meminimumkan korban pada saat terjadinya tsunami akibat dari gempa bumi. Penelitian ini akan mengaplikasikan *bidirectional multilane conflict-eliminating cell transmission model* (BCECTM) untuk mensimulasikan kepadatan kendaraan pada jalur evakuasi dan *split delivery vehicle routing problem* (SDVRP) untuk mengoptimalkan rute kendaraan menuju lokasi berlindung. Model optimisasi akan diselesaikan menggunakan Algoritma Genetika.

3.2 Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah denah Pantai Pangandaran yang terdiri dari titik kumpul kendaraan bermotor, yang terdiri dari truk evakuasi dan

kendaraan bermotor pribadi, beberapa titik kumpul pengungsi, dan satu tempat berlidung yang merupakan titik aman evakuasi. Dalam penelitian ini, data truk evakuasi dan kendaraan bermotor pribadi diperoleh dari data BPS di Pantai Pangandaran. Dari data yang diperoleh, akan dihitung waktu total minimum yang dibutuhkan pengungsi dan pengendara kendaraan bermotor pribadi untuk melakukan evakuasi serta tingkat kemacetan lalu lintas selama proses evakuasi.

3.3 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tahapan-tahapan berikut.

1. Studi Pustaka

Studi literatur dilakukan dengan menggali informasi dari buku dan artikel ilmiah yang relevan guna memahami permasalahan yang diteliti dan cara penyelesaiannya (Tahmidaten & Krismanto, 2020). Studi yang dilakukan meliputi teori optimasi, representasi aliran dan jaringan, serta penelitian-penelitian terdahulu dalam menyelesaikan simulasi evakuasi pada lalu lintas, khususnya dengan menggunakan BCECTM dan SDVRP.

2. Pengumpulan Data

Data-data penelitian yang diperlukan merupakan data sekunder yang diperoleh dari penelitian yang dilakukan oleh Parikesit (2021) di Pantai Pangandaran. Data-data penelitian ini berkaitan dengan titik kumpul serta titik evakuasi yang aman dari bencana Tsunami. Lalu, banyaknya kendaraan bermotor di kabupaten pangandaran merujuk dari data Badan Pusat Statistik Jawa Barat (2023).

3. Representasi Jaringan

Representasi jaringan jalan dilakukan dengan pendekatan *bidirectional multilane conflict-eliminating cell transmission model* (BCECTM) yang dikembangkan dari model Cell Transmission Model (CTM) dengan tahapan-tahapannya sebagai berikut.

- a. Membagi setiap ruas jalan menjadi sub-segmen, di mana masing-masing sub-segmen terdiri dari dua jenis sel, yaitu sel maju (*forward cell*) dan sel mundur (*backward cell*).
 - b. Menentukan kapasitas maksimal kendaraan yang dapat ditampung pada setiap sel dalam jaringan.
 - c. Mengidentifikasi titik penting dalam jaringan, seperti sel awal truk evakuasi, sel tujuan, sel tempat berkumpulnya kendaraan pribadi, dan sel titik kumpul pengungsi.
 - d. Merepresentasi konektor dan arah pergerakan antara dua sel yang berdekatan. Setiap konektor menyatakan kemungkinan pergerakan kendaraan dari sel i ke j .
 - e. Menvisualisasi jaringan BCECTM sebagai kombinasi antara sel dan konektor.
4. Pembangunan Model Optimasi
Model optimasi evakuasi dinamis akan dibangun berbasis CTM dua arah dan SDVRP dengan terlebih dahulu mendefinisikan asumsi-asumsi, parameter, dan variabel keputusan.
 5. Penyelesaian Model Optimasi
Pada tahapan ini, model optimasi evakuasi dinamis akan diselesaikan dengan menggunakan algoritma genetika yang merujuk pada Zeng dkk. (2021).
 6. Validasi
Model dan teknik penyelesaian divalidasi dengan memeriksa perbandingan antara perhitungan manual dan komputasi pada contoh kasus. Apabila hasilnya belum valid, maka tahapan akan kembali ke proses pemodelan. Apabila hasilnya valid, maka proses selanjutnya akan dilanjutkan ke tahapan implementasi.
 7. Implementasi

Model optimasi dan teknik penyelesaian yang telah valid akan diimplementasikan pada masalah evakuasi dinamis pada lalu lintas di Pantai Pangandaran.

8. Penarikan Kesimpulan

Dalam menyimpulkan, peneliti akan mengkompilasi hasil dari penelitian yang telah dilaksanakan. Hasil dari penelitian ini mencakup sejauh mana ketepatan dengan rumusan masalah yang diajukan serta implementasi dari optimasi evakuasi dinamis pada Pantai Pangandaran. Semua temuan ini didasarkan pada data yang telah dikumpulkan dan dianalisis selama proses penelitian.

3.4 Elemen Evakuasi

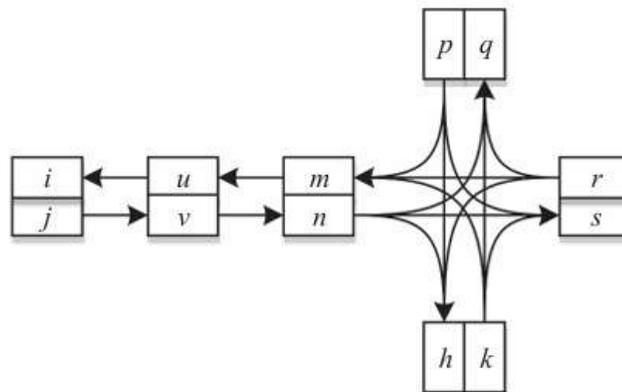
Elemen-elemen yang terlibat dalam proses evakuasi terdiri dari titik kumpul, lokasi berlindung, pengungsi, truk, kendaraan pribadi, dan rute perjalanan. Berikut penjelasan dari elemen tersebut:

1. Titik kumpul merupakan tempat berkumpul sementara bagi para pengungsi yang menjadi tempat penjemputan oleh kendaraan untuk selanjutnya diantar ke lokasi berlindung.
2. Lokasi berlindung merupakan tempat berlindung sementara bagi para pengungsi serta diasumsikan cukup besar sehingga dapat menampung semua kendaraan pribadi dan semua orang yang dievakuasi.
3. Pengungsi merupakan sekelompok orang yang dievakuasi dari area berbahaya. Dalam penelitian ini pengungsi terbagi menjadi dua jenis, yaitu
 - a. Pengungsi yang tidak memiliki kendaraan pribadi. Pengungsi ini akan dievakuasi menggunakan truk evakuasi.
 - b. Pengungsi yang memiliki kendaraan pribadi. Pengungsi ini akan mengevakuasi dirinya dengan mobil pribadi atau sepeda motor.
4. Rute perjalanan yang dilalui truk dimulai dari titik kumpul menuju lokasi berlindung. Selama proses evakuasi, truk akan kembali ke titik kumpul pengungsi setelah selesai mengantar pengungsi ke lokasi berlindung.

5. Rute perjalanan yang dilalui mobil pribadi atau sepeda motor dimulai dari lokasi kendaraan menuju lokasi berlindung. Setelah sampai ke lokasi berlindung, mobil pribadi dan sepeda motor tidak akan kembali ke titik kumpul.

3.5 Representasi Jaringan pada CTM

Tahapan pertama pemodelan adalah merepresentasikan jaringan jalan dan arus kendaraan menggunakan model transmisi sel dua arah. Setiap ruas jalan dibagi menjadi beberapa sub-segmen, di mana setiap sub-segmen terdiri dari sebuah sel maju dan sebuah sel mundur yang memiliki panjang yang disebut *bidirectional*. Sel maju dan sel mundur pada ruas jalan yang sama memiliki panjang yang identik yang tidak bergantung pada kecepatan arus lalu lintas pada jaringan jalan. Sel-sel ini tidak memiliki panjang. Penjumlahan dari banyaknya jalur pada sel maju dan mundur pada suatu ruas jalan menyatakan banyaknya jalur pada ruas jalan tersebut. Arus lalu lintas pada sel maju dan sel mundur tidak diperbolehkan untuk saling bertukar. Khusus untuk sel yang berada pada persimpangan jalan, arah kiri, kanan, dan maju ditambahkan untuk menghitung konflik arus lalu lintas yang mungkin terjadi pada persimpangan tersebut. Khusus untuk sel yang merepresentasikan titik kumpul atau lokasi berlindung tidak memiliki panjang. Gambar 3.1 adalah representasi jaringan sel pada sebuah persimpangan.



Gambar 3. 1 Representasi Jaringan BCECTM pada Sebuah Persimpangan

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

Misalkan $n_i(t)$ adalah banyaknya jalur di sel i pada saat t dan $n_{uv}(t)$ adalah banyaknya jalur pada sel u dan v selama proses evakuasi, maka

$$n_{uv} = n_u(t) + n_v(t).$$

Pada setiap arah, banyaknya jalur pada sel i pada saat t harus identik. Jadi,

$$n_i(t) = n_u(t) = n_m(t) \in [0, n_{uv}],$$

dan

$$n_j(t) = n_v(t) = n_n(t) \in [0, n_{uv}]$$

untuk $u, m, j, v, n \in C \cup R$ di mana R adalah himpunan titik kumpul dan C adalah himpunan sel maju dan sel mundur.

Selanjutnya menentukan kapasitas maksimal kendaraan yang dapat ditampung pada setiap sel dalam jaringan. Kapasitas dari sel i pada saat waktu t dinyatakan sebagai:

$$N_i(t) = k_{jam} \cdot L_i \cdot n_i(t)$$

di mana k_{jam} menyatakan kepadatan lalu lintas, L_i menyatakan panjang dari sel i , dan $n_i(t)$ menyatakan banyaknya jalur di sel i pada saat t . Panjang dari sel i dihitung menggunakan rumus:

$$L_i = v_i \cdot \Delta t / 3600$$

dengan v_i adalah kecepatan aliran bebas pada sel I dan Δt adalah panjangnya selang waktu t .

Merujuk pada hasil penelitian Zeng dkk. (2021), banyaknya pengungsi yang akan dievakuasi menggunakan truk evakuasi akan menunggu di titik kumpul dan jumlahnya mengalami perubahan setiap waktu. Misalkan V_1, V_2, V_3 masing-masing adalah himpunan truk evakuasi, mobil pribadi, dan sepeda motor. Misalkan R_1 adalah himpunan sel tempat truk menjemput pengungsi, R_2 adalah himpunan sel tempat parkir mobil pribadi, dan R_3 adalah himpunan sel tempat parkir sepeda motor. Sebuah truk evakuasi akan menuju titik kumpul untuk mengangkut pengungsi sebanyak-banyaknya selama tidak melebihi kapasitas truk, sehingga banyaknya pengungsi yang

diangkut menggunakan truk pada sel i pada waktu t dihitung menggunakan persamaan:

$$d_i^b(t) = z_i^b(t) \cdot \min\{\beta_1 - w^b(t-1), d_i(t)\}, b \in V_1, i \in R_1$$

dengan

- $d_i^b(t)$: Banyaknya pengungsi yang dijemput truk b di sel $i \in R$ pada waktu t .
- $z_i^b(t)$: Parameter dummy yang nilai z_i^b bernilai 1 jika pada saat t , truk evakuasi berada di sel i , dan bernilai 0 jika sebaliknya.
- β_1 : kapasitas maksimum truk
- $w^b(t-1)$: Banyaknya pengungsi pada truk di waktu sebelumnya.
- $d_i(t)$: Banyaknya pengungsi di sel titik kumpul $i \subset R$ dalam waktu t .
- R : Himpunan sel tempat berkumpulnya kendaraan, $R_1 \cup R_2 \cup R_3$, dengan R_1 adalah himpunan sel truk, R_2 adalah himpunan sel mobil pribadi, dan R_3 adalah himpunan sel motor.

Akibatnya, banyaknya pengungsi yang berada pada suatu truk pada waktu t adalah

$$w^b(t) = w^b(t-1) + \sum_{i \in R_1} d_i^b(t), b \in V_1.$$

Banyaknya pengungsi yang menunggu truk evakuasi di sel R_1 pada waktu setelah t adalah

$$d_i(t+1) = d_i(t) + a_i(t) - \sum_{b \in V_1} d_i^b(t), \quad i \in R_1 \quad (3.1)$$

dengan $d_i(t) \geq 0, i \in R_1$. Dengan demikian, $d_i^b(t)$ menyatakan banyaknya pengungsi yang meninggalkan sel i pada waktu t . Banyaknya pengungsi yang berada di di sel R_2 setelah waktu t adalah

$$d_i(t+1) = d_i(t) + a_i(t) - \sum_{j \in \Gamma^{-1}(i)} \beta_2 \cdot y_{ij2}(t), \quad i \in R_2$$

dan banyaknya pengungsi yang berada di di sel R_3 setelah waktu t adalah

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

$$d_i(t+1) = d_i(t) + a_i(t) - \sum_{j \in \Gamma^{-1}(i)} \beta_3 \cdot y_{ij3}(t), \quad i \in R_3$$

dengan $d_i(t) \geq 0$. Parameter β_2 dan β_3 masing-masing menyatakan kapasitas maksimum mobil pribadi dan sepeda motor.

Dengan

- β_2, β_3 : Kapasitas mobil dan motor.
- $y_{ijl}(t)$: Volume kendaraan tipe l pada konektor (i, j) dalam waktu t .
- $\Gamma^{-1}(i)$: Himpunan sel keluar yang berdekatan dengan i .

3.6 Model Optimasi

Masalah yang dibahas pada penelitian ini adalah bagaimana menentukan jalur evakuasi bagi kendaraan untuk mengangkut pengungsi ke lokasi berlindung agar jumlah pengungsi yang berhasil dievakuasi semaksimal mungkin dalam durasi evakuasi yang diberikan. Model optimisasi untuk menentukan jalur evakuasi bagi kendaraan dibangun menggunakan pendekatan BCECTM dan SDVRP. Model evakuasi dinamis dibangun dengan mengambil asumsi berikut:

1. Kendaraan yang digunakan untuk evakuasi adalah truk evakuasi, mobil pribadi, dan sepeda motor.
2. Setiap truk evakuasi yang terlibat dalam proses evakuasi merupakan truk yang identik, yaitu truk yang memiliki kecepatan dan kapasitas yang sama.
3. Pengungsi tersebar di semua titik kumpul yang ada dan tidak ada titik kumpul yang tidak memuat pengungsi.
4. Atribut pengungsi seperti usia, jenis kelamin, penyakit, dan lain-lain diabaikan.
5. Kendaraan pribadi dan sepeda motor yang digunakan untuk mengevakuasi tersebar di titik yang telah ditentukan di area bencana.

Berikut pendefinisian himpunan dan parameter model.

a. Himpunan

V : Kendaraan dengan $V = V_1 \cup V_2 \cup V_3$

V_1 : Himpunan truk evakuasi.

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

V_2 : Himpunan mobil pribadi.

V_3 : Himpunan motor

L : Himpunan tipe kendaraan.

C : Himpunan sel maju dan sel mundur.

S : Himpunan sel tujuan evakuasi.

R : Himpunan sel titik kumpul kendaraan dengan $R = R_1 \cup R_2 \cup R_3$.

$\Gamma(i)$: Himpunan sel masuk yang bertetangga dengan sel i .

$\Gamma^{-1}(i)$: Himpunan sel keluar yang bertetangga dengan sel i .

A : Himpunan konektor, di mana konektor didefinisikan sebagai koneksi dua sel yang berdekatan.

A_l : Himpunan konektor di persimpangan $A_l \subset A$.

A_l^S, A_l^L : $A_l^S \subset A_l$ adalah himpunan semua konektor lurus pada persimpangan, dan $A_l^L \subset A_l$ himpunan semua konektor belok kiri di persimpangan.

b. Parameter

T : Lamanya waktu evakuasi yang diberikan.

α : Koefisien konversi truk evakuasi ke jumlah penumpang mobil pribadi, dengan asumsi mobil pribadi setara dengan 1 pcu.

β_l : Kapasitas kendaraan jenis l , di mana $l = 1$ untuk truk evakuasi, $l = 2$ untuk mobil pribadi, dan $l = 3$ untuk motor.

Berikut adalah pendefinisian variabel model:

$x_{il}(t)$: Banyaknya kendaraan tipe l pada sel i pada waktu t .

$y_{ijl}(t)$: Banyaknya kendaraan tipe l pada konektor (i, j) pada waktu t .

$$z_{ij}(t) = \begin{cases} 1, & \sum_l y_{ijl}(t) \neq 0 \\ 0, & \sum_l y_{ijl}(t) = 0 \end{cases}, \forall (i, j) \in A$$

Sebagai nilai awal, diasumsikan bahwa $x_{il}(0) = 0$ dan $y_{ijl}(0) = 0$.

Fungsi tujuan dari model optimisasi didefinisikan untuk meminimumkan total waktu evakuasi dengan cara memaksimalkan banyaknya pengungsi yang dievakuasi selama waktu evakuasi yang diberikan. Fungsi ini merupakan penjumlahan dari total pengungsi yang diangkut menggunakan kendaraan termasuk total pengungsi yang berada pada titik kumpul. Fungsi tujuan ini diekspresikan sebagai berikut:

Meminimumkan:

$$Z = \sum_{t=1}^T \sum_{b \in V_1} w^b(t) + \sum_{t=1}^T \sum_{i \in C} \beta_2 \cdot x_{i2}(t) + \sum_{t=1}^T \sum_{i \in C} \beta_3 \cdot x_{i3}(t) + \sum_{t=1}^T \sum_{i \in R} d_i(t)$$

Adapun fungsi kendala dari model optimisasi adalah sebagai berikut.

1. Kendala persamaan konservasi aliran kendaraan. Kendala ini menjamin bahwa banyaknya kendaraan pada sel sama dengan jumlah kendaraan yang masuk dan keluar pada konektor (i, j) . Kendala ini direpresentasikan dengan persamaan:

$$x_{il}(t+1) = x_{il}(t) + \sum_{k \in \Gamma^+(i)} y_{kil}(t) - \sum_{j \in \Gamma^{-1}(i)} y_{ijl}(t)$$

$$i \in C \cup R \cup S, l \in L, t < T$$

2. Kendala arus pada lalu lintas, yaitu kendala kapasitas atau hambatan terhadap lalu lintas, di mana α ditetapkan sebesar 2.0, yaitu 1 truk evakuasi dianggap sebesar 2 mobil pribadi.

Kendala ini direpresentasikan dengan persamaan berikut:

$$\sum_{k \in \Gamma^+(i)} [a \cdot y_{ki1}(t) + y_{ki2}(t)] \leq N_i(t) - [a \cdot x_{i1}(t) + x_{i2}(t)]$$

$$i \in C \cup R \cup S, (k, i) \in A$$

dan

$$\sum_{j \in \Gamma^{-1}(i)} y_{ijl}(t) \leq x_{il}(t)$$

$$i \in C \cup R \cup S, l \in L, t \in T, (i, j) \in A$$

Yasmien Syaqqinah, 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

3. Kendala yang menjamin bahwa setelah tiba di lokasi berlandung, kendaraan pribadi (mobil dan motor) tidak akan kembali lagi ke titik kumpul.

Kendala ini dinyatakan sebagai:

$$\sum_{j \in \bar{f}^{-1}(i)} (y_{ij2}(t) + y_{ij3}(t)) = 0, i \in S$$

4. Kendala untuk mengeliminasi konflik kendaraan di jalur yang sama. Kendala ini dirancang agar kendaraan tidak saling bertabrakan, bertumpuk, atau mengganggu satu sama lain ketika menggunakan jalur yang sama.

Kendala ini direpresentasikan dengan persamaan:

$$z_{rm}(t) + z_{ph}(t) \leq 1, (r, m), (p, h) \in A_I^S$$

$$Z_{ph}(t) + Z_{nq}(t) + Z_{km}(t) \leq 1,$$

$$\{(n, q), (k, m), (p, h) \in A_I^S \text{ atau } A_I^L\} \cap A_I^L \neq \emptyset$$

5. Kendala Persamaan konservasi aliran kendaraan. Kendala ini direpresentasikan dengan persamaan:

$$z_i^v(t+1) = z_i^v(t) + \sum_{k \in \bar{f}(i)} z_{ki}^v(t) - \sum_{j \in \bar{f}^{-1}(i)} z_{ij}^v(t)$$

$$v \in V_1 \cup V_2 \cup V_3, i \in C \cup R \cup S, t < T$$

6. Kendala yang menjamin bahwa setiap kendaraan hanya dapat ditugaskan ke satu sel pada satu waktu. Kendala ini dituliskan dengan persamaan:

$$\sum_i z_i^v(t) = 1$$

$$v \in V_1 \cup V_2 \cup V_3, i \in C \cup R \cup S, \forall t$$

7. Kendala yang menjamin bahwa setiap kendaraan hanya dapat melewati paling banyak satu konektor. Kendala ini dinyatakan dengan persamaan:

$$\sum_i \sum_j z_{ij}^v(t) \leq 1$$

$$v \in V_1 \cup V_2 \cup V_3, \in A, t \in T$$

8. Kendala kapasitas truk. Setiap truk evakuasi yang telah tiba di lokasi berlindung dapat kembali ke titik kumpul untuk menjemput pengungsi. Setelah truk tiba di lokasi berlindung, maka truk akan kosong. Truk evakuasi tidak boleh mengangkut pengungsi lebih dari kapasitasnya selama truk belum tiba di tujuan evakuasi. Kendala ini direpresentasikan dengan persamaan berikut:

$$w^b(t) \leq \left[1 - \sum_{i \in S} z_i^b(t) \right] \beta_i, b \in V_1$$

Batasan variabel model menjamin bahwa seluruh variabel model bernilai non negatif. Batasan ini dituliskan sebagai berikut:

$$x_{il}(t), y_{ijl}(t), w^b(t) \geq 0, i \in C \cup R \cup S, (i, j) \in A, b \in V_1, l \in L, t \in T.$$

3.7 Teknik Penyelesaian

Model optimisasi perencanaan jalur evakuasi termasuk dalam kategori NP-*hard problem*, yaitu model optimisasi kombinatorial yang tidak efisien jika diselesaikan menggunakan metode eksak. Pada penelitian ini, masalah penentuan jalur evakuasi bagi kendaraan akan diselesaikan dengan menggunakan Algoritma Genetika (GA) merujuk pada teknik yang dikembangkan oleh Zeng dkk. (2021). Tujuan penyelesaian model adalah untuk menentukan jalur evakuasi yang efektif dan volume aliran truk evakuasi dan kendaraan pribadi pada setiap jalur yang dilewati sedemikian sehingga dapat meminimalkan waktu evakuasi dan meminimalkan kemacetan selama proses evakuasi. Berikut adalah tahapan GA dalam perencanaan jalur evakuasi:

1. Representasi Kromosom

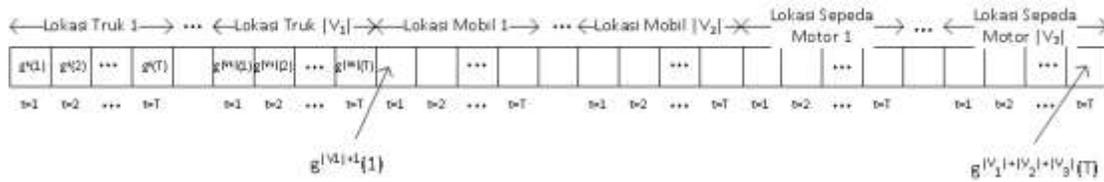
Sebuah kromosom merepresentasikan rute yang dilalui oleh kendaraan, yaitu berupa barisan sel yang dilalui setiap kendaraan selama selang waktu $[0, T]$. Pada penelitian ini, kromosom direpresentasikan menggunakan skema pengkodean posisi. Panjang sebuah kromosom adalah $(|V_1| + |V_2| + |V_3|)T$. Elemen sebuah gen mewakili sel mana yang dikunjungi oleh kendaraan pada waktu tertentu.

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

Struktur kromosom yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.1, di mana $g^v(t) = i$ menyatakan kendaraan v berada pada sel i pada waktu t .



Gambar 3. 2 Struktur Kromosom yang digunakan

Metode rekursif digunakan untuk memperbarui posisi kendaraan. Misalkan $g^v(t) = i$, maka pilih posisi selanjutnya untuk kendaraan v sesuai dengan aturan berikut:

- Jika semua himpunan sel $\Gamma^{-1}(i)$ tidak memiliki kapasitas tersisa atau memiliki konflik, maka $g^v(t+1) = i$.
- Jika terdapat himpunan sel $\Gamma^{-1}(i)$ memiliki kapasitas tersisa dan tidak memiliki konflik, maka $g^v(t+1) = j$, di mana j dipilih secara acak dari $\Gamma^{-1}(i)$.

Berikut penjelasan secara rinci:

- Jika kendaraan v berada di sel i pada langkah waktu t , kendaraan v dapat memilih untuk melaju ke sel keluar j yang berdekatan dari sel i bergantung pada asumsi bahwa sel j akan memiliki kapasitas sisa pada langkah waktu $t+1$ berikutnya dan tidak memicu konflik persimpangan apapun.
- Jika semua himpunan sel $\Gamma^{-1}(i)$ telah mencapai kapasitasnya atau setidaknya satu konflik persimpangan akan terjadi ketika kendaraan v berada di persimpangan pada waktu $t+1$, kendaraan v hanya dapat bertahan di sel i .

Setelah posisi berikutnya dari semua kendaraan diidentifikasi, informasi jaringan segera diperbarui untuk memastikan bahwa kendala terpenuhi.

2. Penentuan Parameter Algoritma Genetika.

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

Algoritma genetika bekerja bergantung dari beberapa nilai parameter yang harus ditetapkan diawal proses. Parameter-parameter tersebut adalah sebagai berikut.

a. Ukuran populasi (*pop size*)

Parameter ini mengatur banyaknya kromosom yang akan diproses dalam setiap iterasi.

b. Maksimum generasi (iterasi)

Parameter maksimum generasi menentukan banyaknya iterasi yang akan dijalankan GA. Satu generasi GA terdiri dari tahap seleksi, *crossover*, dan mutasi.

3. Pembangkitan Populasi Awal pada BCECTM dan SDVRP.

Proses membangkitkan populasi awal dilakukan secara acak dengan ketentuan berikut:

- 1) Jika kendaraan v berada di sel i pada langkah waktu t , kendaraan v dapat memilih untuk melaju ke sel $\Gamma^{-1}(j)$ yang berdekatan dari sel i bergantung pada asumsi bahwa sel j akan memiliki kapasitas sisa pada langkah waktu $t + 1$ dan tidak memicu konflik persimpangan apapun.
- 2) Jika semua himpunan sel $\Gamma^{-1}(i)$ telah mencapai kapasitasnya atau setidaknya satu konflik persimpangan akan terjadi ketika kendaraan v berada di persimpangan pada waktu $t + 1$, kendaraan v hanya dapat bertahan di sel i .

Setelah posisi berikutnya dari semua kendaraan diidentifikasi, informasi jaringan segera diperbarui untuk memastikan bahwa kendala terpenuhi.

4. Perhitungan Jumlah Pengungsi Terangkut pada Waktu t .

Proses pemindahan pengungsi dari titik kumpul menuju tempat aman dilakukan secara bertahap dan tergantung pada kapasitas kendaraan serta kedatangan pengungsi secara dinamis. Untuk menghitung jumlah pengungsi yang terangkut oleh truk evakuasi pada waktu ke- t , dilakukan dengan mengambil nilai minimum antara sisa kapasitas truk evakuasi dan jumlah pengungsi yang tersedia.

Setelah proses pengangkutan, jumlah penumpang dalam truk evakuasi diperbarui dengan menggunakan Persamaan 3.1.

5. Menghitung Nilai Fitness.

Selanjutnya yang perlu dilakukan adalah pemilihan individu untuk menghasilkan keturunan berikutnya. Pemilihan ini berdasarkan nilai kesesuaian atau yang biasa dikenal dengan nilai *fitness*. Kualitas suatu individu dalam proses optimasi evakuasi ditentukan oleh nilai *fitness* yang dihasilkannya. Nilai *fitness* yang dihasilkan dari suatu individu menunjukkan seberapa optimal solusi yang diperoleh. Nilai *fitness* pada masalah BCECTM dan SDVRP diperoleh berdasarkan waktu tempuh, tingkat kemacetan dalam jaringan sel pada lalu lintas serta jarak tempuh evakuasi. Nilai *fitness* untuk masalah optimasi evakuasi di Pantai Pangandaran dirumuskan sebagai berikut:

$$fitness(c_n) = \frac{1}{Z(c_n) + pc \cdot penalty(c_n)} \quad (3.2)$$

di mana, $Z(c_n)$ adalah fungsi tujuan model optimisasi untuk kromosom c_n , pc adalah koefisien penalti. Fungsi *penalty* dirumuskan sebagai berikut:

$$penalty(c_n) = \sum_{t=1}^T \sum_{i \in CUSUR} \max\{0, \sum_{k \in \Gamma(i)} [\alpha \cdot y_{ki1}(t) + y_{ki2}(t)] + \alpha \cdot x_{i1}(t) + x_{i2}(t) - N_i(t)\} + \sum_{t=1}^T \sum_l \sum_{i \in CUSUR} \max\{0, \sum_{j \in \Gamma^{-1}(i)} y_{ijl}(t) - x_{il}(t)\}$$

Fungsi *penalty* bertujuan untuk menghilangkan individu ilegal, yaitu individu yang melanggar fungsi kendala model yang mungkin muncul pada saat *crossover*. Berdasarkan fungsi *fitness* tersebut, semakin tinggi nilai *fitness* yang diperoleh, semakin baik kualitas solusi yang dihasilkan. Sebaliknya, semakin rendah nilai *fitness* yang diperoleh, semakin buruk kualitas solusinya.

6. Seleksi Parents.

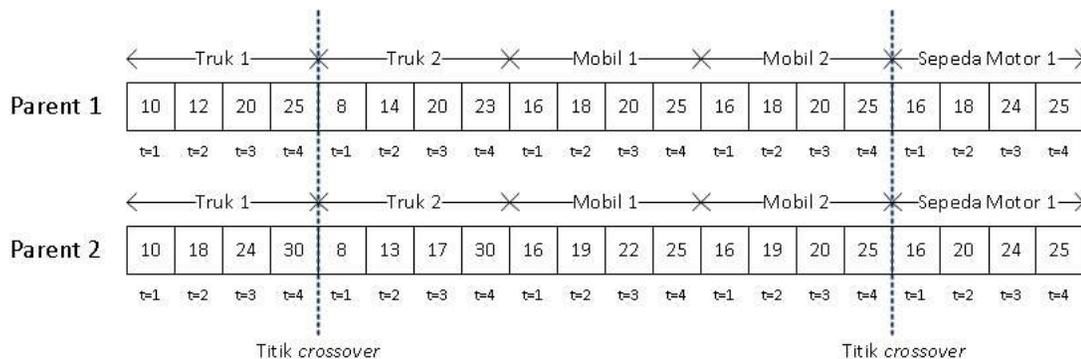
Proses seleksi bertujuan untuk mendapatkan calon induk yang baik untuk dilanjutkan pada proses selanjutnya yakni proses *crossover* atau perkawinan silang. Penelitian ini menggunakan seleksi dengan *Roulette Wheel*.

7. *Crossover* (Perkawinan Silang).

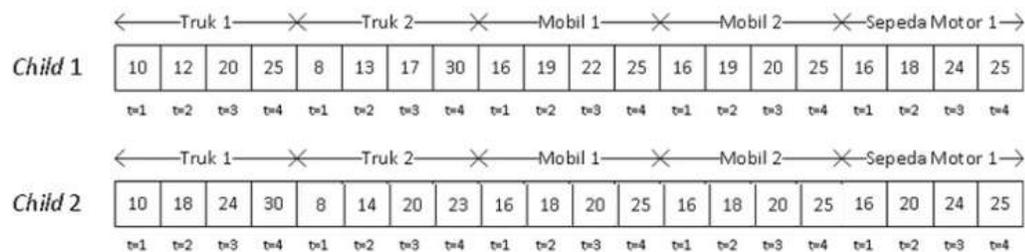
Crossover adalah suatu tahapan untuk menghasilkan 2 individu baru. *Crossover* dilakukan dengan langkah berikut:

- 1) Pilih sebuah kendaraan pada masing-masing *parent* secara acak.
- 2) Gunakan gen terakhir dari kendaraan terpilih pada Langkah 1 sebagai titik *crossover*.
- 3) Pertukarkan gen segmen dari kedua kromosom berdasarkan titik *crossover* untuk menghasilkan 2 anak.

Tahapan *crossover* dapat dilihat pada gambar berikut. Misal terpilih Truk 1 pada *Parent 1* dan Mobil 2 pada *Parent 2*. Maka diperoleh titik *crossover* seperti pada Gambar 3.2. Anak yang dihasilkan sebagai hasil *crossover* dua titik dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Pembentukan Titik Crossover.



Yasmien Syaqqinah, 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

Gambar 3. 4 Pembentukan *child* hasil *crossover*.

8. Mutasi.

Setelah melalui tahap *crossover*, anak yang dihasilkan dari proses *crossover* akan melalui tahap mutasi. Tahap ini juga berguna menggantikan gen yang hilang dari populasi akibat proses seleksi. Mutasi dilakukan dengan cara memilih sebuah kendaraan secara acak pada setiap anak, lalu bangkitkan kembali rute yang baru pada kendaraan terpilih.

Setelah proses mutasi selesai, satu generasi atau iterasi dianggap selesai, dan dihasilkan kromosom baru dari hasil seleksi, *crossover*, dan mutasi. Dengan adanya kromosom baru ini, jumlah populasi menjadi dua kali lipat. Setiap kromosom akan dihitung nilai *fitness*-nya kembali untuk menentukan kromosom mana yang akan dipilih sebagai populasi untuk generasi berikutnya.

9. Evaluasi Algoritma Genetika.

Evaluasi pada individu dilakukan untuk menentukan individu mana saja yang akan dilibatkan pada generasi berikutnya. Pada penelitian ini, evaluasi dilakukan berdasarkan nilai *fitness* tertinggi dan dipilih individu terbaik sebanyak populasi awal. Algoritma Genetika bekerja secara iteratif sampai kondisi berhenti dipenuhi, yaitu maksimum generasi. Jika belum terpenuhi, maka Langkah 6 dan 9 akan diulang sampai jumlah generasi maksimum belum tercapai.