

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas model optimisasi penentuan jalur evakuasi menggunakan bus menggunakan Metode Heuristik Bish dengan melibatkan perpindahan mandiri pengungsi. Model optimisasi diimplementasikan pada kasus bencana gempa bumi yang terjadi di Kampung Pencut.

3.1 Deskripsi Masalah

Penelitian ini membahas optimisasi penentuan jalur evakuasi menggunakan bus atau dikenal dengan istilah *bus evacuation problem* (BEP). Penentuan jalur evakuasi juga dilakukan dengan memperhatikan kemampuan evakuasi mandiri pengungsi, yaitu kemampuan pengungsi untuk berpindah tempat tanpa bantuan alat transportasi. Bus ditugaskan dari depot untuk menjemput pengungsi yang berada di titik penjemputan sehingga semua pengungsi dapat dibawa ke *shelter*. Bus yang ditugaskan merupakan bus yang identik, yaitu bus dengan kapasitas dan kecepatan yang sama. Selain bus, setiap *shelter* memiliki kapasitas terbatas yang lokasinya bisa sama atau berbeda dengan lokasi depot. Oleh karena itu, diperlukan jalur evakuasi yang optimal, yaitu jalur evakuasi yang meminimumkan total durasi evakuasi dengan memperhatikan kapasitas bus dan *shelter* yang terbatas. Pada penelitian ini, BEP akan diselesaikan dengan menggunakan Metode Heuristik Bish dengan melibatkan perpindahan mandiri pengungsi.

3.2 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui 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 optimisasi, representasi aliran dan jaringan, serta penelitian oleh peneliti-peneliti terdahulu dalam menyelesaikan BEP.

2. Pengumpulan data

Data-data penelitian yang diperlukan diperoleh dari penelitian yang dilakukan oleh Cahyohartoto (2019) di Kampung Pencut, Kabupaten Bandung Barat. Data-data penelitian ini berkaitan dengan jumlah depot, jumlah titik penjemputan, jumlah dan kapasitas *shelter*, banyaknya pengungsi di setiap titik penjemputan, kapasitas kendaraan yang digunakan, serta jarak antar lokasi.

3. Pembangunan Model Optimisasi

Model optimisasi BEP dibangun dengan terlebih dahulu mendefinisikan asumsi-asumsi, parameter, dan variabel keputusan

4. Penyelesaian Model Optimisasi

Model optimisasi BEP diselesaikan dengan menggunakan Metode Heuristik Bish dengan melibatkan perpindahan mandiri pengungsi.

5. Validasi

Model dan teknik penyelesaian divalidasi dengan cara membandingkan hasil dari penyelesaian optimisasi dengan menggunakan Metode Heuristik Bish dengan dan tanpa melibatkan perpindahan mandiri pengungsi pada contoh kasus sederhana. Jika hasilnya belum valid, maka tahapan penelitian diulangi dari pembangunan model optimisasi. Jika hasilnya valid, maka dilanjutkan ke tahapan implementasi.

6. Implementasi

Model optimisasi dan teknik penyelesaian yang telah valid diimplementasikan pada masalah evakuasi penduduk di Kampung Pencut, Kabupaten Bandung Barat.

7. Penarikan Kesimpulan

Pada tahap penelitian ini ditarik kesimpulan berdasarkan analisis hasil implementasi.

3.3 Asumsi

Masalah yang dibahas pada penelitian ini adalah bagaimana menentukan jalur evakuasi yang optimal bagi kendaraan bus untuk mengangkut semua pengungsi agar semua pengungsi tersebut berhasil dievakuasi dalam durasi yang sesingkat mungkin. Elemen-elemen yang terlibat dalam BEP terdiri dari depot, titik penjemputan, *shelter*, pengungsi, bus, dan rute perjalanan. Berikut penjelasan dari kelima elemen tersebut:

1. Depot merupakan tempat awal keberangkatan bus untuk menjemput pengungsi yang terdapat di tiap titik pengungsian sehingga selanjutnya dapat diantar menuju *shelter*.
2. Titik penjemputan merupakan tempat berkumpul sementara bagi para pengungsi yang menjadi tempat penjemputan untuk selanjutnya diantar menuju *shelter* oleh bus.
3. *Shelter* merupakan tempat evakuasi akhir dengan kapasitas tertentu. Depot dapat juga berperan sebagai *shelter* itu sendiri.
4. Pengungsi merupakan sekelompok orang yang dievakuasi dari area berbahaya. Dalam penelitian ini, diasumsikan bahwa pengungsi memiliki kemampuan untuk berpindah secara mandiri sehingga pengungsi dapat berpindah dari satu titik penjemputan menuju titik penjemputan lain atau berpindah dari satu titik penjemputan menuju *shelter* tanpa bantuan bus.
5. Bus merupakan kendaraan yang digunakan sebagai moda transportasi untuk mengevakuasi para pengungsi agar dapat diselamatkan dengan melakukan penjemputan dari titik penjemputan, kemudian dilanjutkan dengan mengantarkan pengungsi menuju *shelter*.
6. Rute perjalanan adalah jalur yang dilalui oleh bus dimulai dari suatu depot atau *shelter* menuju sejumlah titik penjemputan hingga perjalanan tersebut berakhir di suatu *shelter*. Sebuah bus dapat ditugaskan untuk melakukan beberapa rute perjalanan.

Model optimisasi BEP dibangun dengan merujuk pada model Bish (2011) dengan mengambil asumsi berikut:

1. Setiap bus yang terlibat dalam proses evakuasi merupakan bus yang identik, yaitu bus yang memiliki kecepatan dan kapasitas yang sama.

Muhamad Teguh Galih Pamenang, 2024

PENYELESAIAN MASALAH PENENTUAN JALUR EVAKUASI MENGGUNAKAN BUS DENGAN MENGGUNAKAN METODE HEURISTIK BISH

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

2. Setiap pengungsi memiliki kecepatan berjalan yang sama.
3. Pengungsi tersebar di setiap titik penjemputan yang ada dan tidak terdapat titik penjemputan yang tidak memuat pengungsi.
4. Atribut pengungsi seperti usia, jenis kelamin, penyakit, dan lain-lain diabaikan.
5. Setiap pengungsi dan pengemudi bus mengenal dengan baik jalan di wilayah tersebut.
6. Proses evakuasi tidak mengalami gangguan selama terjadinya bencana sehingga kecepatan dan kapasitas bus, kecepatan pengungsi, kapasitas *shelter*, serta durasi perjalanan konstan.
7. Kapasitas titik penjemputan tidak dibatasi.
8. Jalur evakuasi yang digunakan oleh perpindahan mandiri pengungsi dan jalur evakuasi yang digunakan oleh kendaraan bus adalah jalur yang sama, sehingga jarak perjalanan untuk bus dan pengungsi dari satu lokasi ke lokasi lainnya bernilai sama.
9. Kapasitas jalan yang dapat dilalui pengungsi secara mandiri dalam satu kali perjalanan dihitung sebagai berikut (Hamacher & Tjandra, 2001):

$$\text{kapasitas jalan (orang)} = \left\lfloor \frac{\text{jarak jalan (m)} \times \text{lebar bus (m)}}{\text{ruang yang dibutuhkan pengungsi (m}^2/\text{orang)}} \right\rfloor$$
10. Setiap pengungsi memerlukan ruang sebesar $0,4 \text{ m}^2$ untuk dapat bergerak secara aman dan leluasa selama proses evakuasi mandiri (Still, dkk., 2020).
11. Kecepatan berjalan pengungsi selama proses evakuasi mandiri adalah $1,25 \text{ m/s}$ (Murayama, dkk., 2000).

3.4 Teknik Penyelesaian

Bus evacuation problem (BEP) diteliti oleh Bish pada tahun 2011. BEP berangkat dari permasalahan evakuasi bencana puting beliung dengan memanfaatkan kendaraan bus sebagai alat transportasi (Bish, 2011). Bus-bus yang berada di depot ditugaskan untuk melakukan penjemputan terhadap pengungsi yang tersebar di titik-titik penjemputan untuk selanjutnya dibawa menuju *shelter* untuk berlindung. BEP bertujuan meminimumkan total durasi evakuasi untuk

Muhamad Teguh Galih Pamenang, 2024

PENYELESAIAN MASALAH PENENTUAN JALUR EVAKUASI MENGGUNAKAN BUS DENGAN MENGGUNAKAN METODE HEURISTIK BISH

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

meminimalisir korban jiwa. Selain itu, BEP yang sistematis diperlukan untuk mencegah terjadinya hal yang tidak diinginkan selama proses evakuasi.

Pada penelitian ini, BEP diselesaikan dengan menggunakan Metode Heuristik Bish. Metode ini terbagi menjadi dua fase. Fase 1 digunakan untuk membangkitkan solusi fisibel, dan Fase 2 digunakan untuk memperbaiki solusi melalui penukaran dan penugasan kembali rute agar diperoleh solusi yang optimum. Berikut tahapan algoritma heuristik yang dibangun oleh Bish (2011) untuk menyelesaikan BEP.

3.4.1 Algoritma Heuristik Bish-Fase 1

Algoritma Heuristik Bish-Fase 1 membangkitkan solusi fisibel bagi BEP. Berikut tahapan algoritma heuristik yang dibangun oleh Bish (2011) untuk menyelesaikan BEP pada Fase 1:

Langkah 0 Beri label banyaknya perjalanan yang dibutuhkan setiap simpul untuk sampai ke *shelter* dengan langkah-langkah yaitu:

- 1) Dimulai dari *shelter*.
- 2) Cari semua tetangga dari *shelter*. Beri label "1 perjalanan" untuk semua tetangga dari *shelter* tersebut.
- 3) Untuk setiap simpul yang telah diberi label, cari semua tetangga dari simpul tersebut. Beri label "2 perjalanan" untuk semua tetangga yang belum memiliki label dari simpul tersebut. Jika tetangga memuat depot, maka lanjutkan ke langkah 4). Jika tetangga tidak memuat depot, maka ulangi langkah ini dengan menambah banyaknya perjalanan menjadi "3 perjalanan", "4 perjalanan", dan seterusnya hingga titik penjemputan bertetangga dengan depot.
- 4) Ulangi dari langkah 1) untuk semua *shelter* yang berada di jaringan.

Langkah 1 Cari sebuah rute perjalanan bagi setiap bus dengan banyaknya perjalanan seminimum mungkin. Rute bagi setiap bus tersebut dicari dengan langkah-langkah yaitu:

- 1) Rute setiap bus selalu dimulai dari depot.

Muhamad Teguh Galih Pamenang, 2024

PENYELESAIAN MASALAH PENENTUAN JALUR EVAKUASI MENGGUNAKAN BUS DENGAN MENGGUNAKAN METODE HEURISTIK BISH

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

- 2) Cari semua tetangga dari depot. Pilih titik penjemputan dengan label banyaknya perjalanan paling sedikit yang telah diperoleh di Langkah 0 sebelumnya. Jika tetangga memuat *shelter*, bus hanya boleh langsung menuju *shelter* dengan syarat semua pengungsi telah berhasil dievakuasi.
- 3) Setelah sampai di suatu titik penjemputan, cari semua tetangga dari titik penjemputan ini. Jika tetangga tersebut memuat *shelter*, pilih *shelter*. Jika tetangga tersebut tidak memuat *shelter*, pilih titik penjemputan dengan label banyaknya perjalanan paling sedikit yang telah diperoleh di Langkah 0 sebelumnya.
- 4) Ulangi langkah 3) hingga semua bus sampai di *shelter*.

Langkah 2 Urutkan bus dalam urutan *nondecreasing* berdasarkan banyaknya perjalanan yang telah diperoleh dari langkah 1. Jika terdapat lebih dari satu bus yang menempati urutan pertama, urutkan kembali berdasarkan total durasi perjalanan bus. Pilih secara acak jika total durasi perjalanan terendah bernilai sama. Banyaknya perjalanan dan total durasi perjalanan untuk setiap bus dimulai dari nol.

Langkah 3 Tugaskan bus untuk menyelesaikan sebuah *layer*. *Layer* dapat berupa pergerakan bus menuju himpunan titik penjemputan dari suatu *shelter* atau depot, atau dapat berupa pergerakan bus menuju *shelter* dari titik penjemputan. *Layer* tersebut dicari dengan langkah-langkah yaitu:

- 1) Notasikan bus pertama dalam daftar sebagai Bus i .
- 2) Jika Bus i berada di suatu titik penjemputan, tugaskan bus tersebut menuju *shelter* terdekat. Jika Bus i berada di suatu depot atau *shelter*, tugaskan bus tersebut menuju titik penjemputan terdekat yang masih berpengungsi.
- 3) Jika bus sampai di *shelter*, turunkan pengungsi di *shelter* tersebut sebanyak mungkin sesuai dengan kapasitas *shelter*. Jika bus sampai di titik penjemputan, angkut pengungsi

sebanyak mungkin sesuai dengan banyaknya kapasitas bus.

- 4) Jika bus bertugas menurunkan pengungsi dan masih membawa pengungsi, pergi ke *shelter* terdekat yang kapasitasnya belum penuh sampai bus kosong. Jika bus bertugas menjemput pengungsi dan kapasitas bus masih tersedia, pergi ke titik penjemputan terdekat yang masih berpengungsi dan ulangi sampai kapasitas bus penuh.
- 5) Simpan *layer* ini sebagai rute sementara bus i .

Langkah 4 Ulangi dari Langkah 1 hingga semua pengungsi berhasil dievakuasi ke *shelter*.

Setelah memperoleh solusi fisibel dari penerapan Algoritma Heuristik Bish-Fase 1, selanjutnya dicari solusi yang optimal dengan menerapkan Algoritma Heuristik Bish-Fase 2.

3.4.2 Algoritma Heuristik Bish-Fase 2

Algoritma Heuristik Bish-Fase 2 memperbaiki solusi fisibel melalui penukaran dan penugasan kembali rute agar diperoleh solusi yang optimum. Berikut tahapan algoritma heuristik yang dibangun oleh Bish (2011) untuk menyelesaikan BEP pada Fase 2:

- Langkah 1 Pilih bus *bottleneck* yaitu bus dengan durasi perjalanan terlama. Selanjutnya, pilih bus dengan durasi perjalanan tercepat. Akan dilakukan percobaan penukaran antara rute awal bus *bottleneck* dengan rute awal bus dengan perjalanan tercepat tersebut.
- Langkah 2 Lakukan salah satu penukaran dengan urutan yaitu:
 - (a) keseluruhan rute, (b) himpunan titik penjemputan, dan (c) *shelter* tujuan. Cek apakah salah satu dari tiga penukaran tersebut menyebabkan penurunan nilai T_{evac} dengan tetap mempertahankan fisibelitas. Jika ya, lakukan penukaran. Perbarui solusi dan kembali ke Langkah 1. Jika tidak, lakukan Langkah 3.
- Langkah 3 Cek apakah bus dengan perjalanan tercepat tersebut memiliki rute perjalanan selanjutnya. Jika rute tersebut ada, pilih rute

tersebut sebagai rute yang akan dipertukarkan dengan rute awal bus *bottleneck*. Kemudian kembali ke Langkah 2. Jika tidak, lakukan Langkah 4.

- Langkah 4 Cek apakah rute awal bus *bottleneck* dapat dijadikan sebagai rute terakhir bus dengan perjalanan tercepat tersebut untuk mengurangi nilai T_{evac} . Jika ya, lakukan penugasan ulang rute, perbarui solusi, dan kembali ke Langkah 1, jika tidak, lakukan Langkah 5.
- Langkah 5 Misalkan bus dengan durasi perjalanan tercepat selanjutnya dijadikan sebagai bus yang rutenya akan dipertukarkan. Akan dilakukan percobaan penukaran antara rute awal bus *bottleneck* dengan rute awal bus tersebut. Jika bus tersebut ada, kembali ke Langkah 2, jika tidak, lakukan Langkah 6.
- Langkah 6 Cek apakah bus *bottleneck* memiliki rute perjalanan selanjutnya. Jika rute tersebut ada, pilih rute tersebut sebagai rute yang akan dipertukarkan menggantikan rute awal bus *bottleneck* untuk setiap percobaan penukaran. Selanjutnya, kembali ke Langkah 2. Jika tidak ada, berhenti.

3.4.3 Algoritma Heuristik Bish-Fase 2 dengan Perpindahan Mandiri Pengungsi

Algoritma Heuristik Bish-Fase 2 dengan Perpindahan Mandiri Pengungsi memperbaiki solusi fisibel melalui penukaran dan penugasan kembali rute serta melibatkan perpindahan mandiri pengungsi sehingga diperoleh hasil yang optimum. Berikut tahapan algoritma heuristik yang dibangun untuk menyelesaikan BEP pada Fase 2 dengan melibatkan perpindahan mandiri pengungsi:

- Langkah 1 Aplikasikan Algoritma Heuristik Bish-Fase 2 terhadap solusi fisibel awal yang diperoleh dari penyelesaian BEP dengan menggunakan Algoritma Heuristik Bish-Fase 1.
- Langkah 2 Dengan melihat jaringan, buat daftar perjalanan dari setiap titik penjemputan yang memuat pengungsi menuju titik penjemputan

Muhamad Teguh Galih Pamenang, 2024

PENYELESAIAN MASALAH PENENTUAN JALUR EVAKUASI MENGGUNAKAN BUS DENGAN MENGGUNAKAN METODE HEURISTIK BISH

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

selanjutnya yang lebih dekat ke *shelter* atau dari titik penjemputan langsung menuju *shelter*. Kemudian urutkan daftar perjalanan tersebut dalam urutan *nondecreasing* berdasarkan durasi perjalanan mandiri pengungsi ($\tau_{ij}^{pengungsi}, \forall (i, j) \in A$).

Langkah 3 Berdasarkan pengurutan pada Langkah 2, pilih perpindahan mandiri dengan nilai durasi perjalanan terkecil. Kemudian berdasarkan solusi yang telah diperoleh dari Langkah 1, hitung berapa total durasi yang dibutuhkan oleh bus untuk membawa semua pengungsi dari suatu titik penjemputan menuju simpul tujuan berikutnya. Bandingkan kedua nilai tersebut. Jika nilai durasi perjalanan lebih kecil, maka lakukan perpindahan mandiri pengungsi dengan memperhatikan kapasitas busur yang dapat dilalui oleh pengungsi. Jika terdapat bus dengan durasi perjalanan yang lebih kecil dari nilai $\tau_{ij}^{pengungsi}$ tersebut, maka biarkan bus tersebut untuk tetap menjemput sebagian pengungsi dari titik penjemputan yang berkorespondensi. Selanjutnya, perbarui solusi dan dilanjutkan ke Langkah 4. Jika durasi perjalanan lebih dari atau sama dengan total durasi yang dibutuhkan bus untuk membawa semua pengungsi dari titik penjemputan tersebut menuju simpul tujuan berikutnya, maka percobaan perpindahan mandiri pengungsi gagal. Selanjutnya pilih perpindahan mandiri yang berada pada peringkat berikutnya. Ulangi perbandingan hingga perpindahan mandiri pengungsi berhasil dilakukan. Jika masih gagal, algoritma berhenti.

Langkah 4 Berdasarkan solusi yang diperoleh di Langkah 3, lakukan pengecekan apakah terdapat bus dengan rute yang terputus, yaitu terhentinya bus di suatu simpul akibat perpindahan mandiri yang terjadi di Langkah 3. Terhentinya bus ini disebabkan karena pengungsi yang melakukan perpindahan mandiri merupakan target evakuasi dari bus tersebut. Jika terdapat rute yang

terputus, maka lakukan penugasan ulang terhadap bus yang terdampak. Hal ini bertujuan agar bus tersebut dapat melanjutkan perjalanan ke simpul tujuan selanjutnya sesuai dengan solusi awal. Ulangi hingga semua bus tidak memiliki rute yang terputus. Kemudian perbarui solusi dan lakukan Langkah 5. Jika tidak ada rute yang terputus, lakukan Langkah 5.

Langkah 5 Lakukan kembali dari Langkah 2 untuk memperoleh perpindahan mandiri pengungsi selanjutnya. Jika perpindahan mandiri pengungsi tidak ada, maka algoritma berhenti.