

PENENTUAN LOKASI OPTIMAL LAYANAN EMERGENSI BERBASIS RESIKO KECELAKAAN DI KOTA MALANG

Jamaliatul Badriyah^{1*}, Wina Evita Maharani², Rangga Wardhana³, Lilik Muzdalifah⁴,
Moch. Khoridatul Huda⁵

^{1,2,3}Departemen Matematika, FMIPA, Universitas Negeri Malang
Jl. Semarang No. 5, Malang, Indonesia

⁴Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jenderal Soedirman
Banyumas, Indonesia

⁵PGMI, Universitas Islam Raden Rahmat
Malang, Indonesia

Email Penulis Korespondensi: *jamailatul.badriyah.mat@um.ac.id

ABSTRAK

Riwayat Artikel:

Tanggal Masuk 03-03-2025

Revisi 20-03-2025

Diterima 27-03-2025

Kata Kunci:

Optimasi;
Layanan Emergensi;
Penentuan Lokasi;
Bi-objective;
Lexicographic.

Penentuan Lokasi Optimal Layanan Emergensi dilakukan untuk menentukan calon-calon lokasi penempatan layanan emergensi sehingga dapat membantu penanganan kasus emergensi dengan efektif dan efisien. Dalam penentuan lokasi optimal layanan emergensi, terdapat dua tujuan utama, yaitu meningkatkan jangkauan layanan emergensi dan mempercepat waktu respon keadaan darurat. Dalam penelitian ini, kedua tujuan tersebut menjadi fokus utama. Oleh karena itu penelitian ini mengajukan model bi-objective untuk menyelesaikan kedua model secara simultan. Model tersebut kemudian diselesaikan dengan menggunakan teknik lexicographic. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil dari model bi-objective memberikan desain lokasi fasilitas pelayanan yang mampu melayani demand dalam waktu yang lebih singkat dibandingkan dengan hasil dari model dengan fungsi objektif tunggal. Selain itu, pengintegrasian variabel tingkat kecelakaan pada model memberikan hasil yang memprioritaskan daerah rawan kecelakaan sebagai calon lokasi fasilitas dalam upaya untuk mempercepat waktu respon.




Artikel ini adalah artikel akses terbuka yang didistribusikan berdasarkan syarat dan ketentuan [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).


Cara mengutip artikel ini:

Badriyah dkk., "PENENTUAN LOKASI OPTIMAL LAYANAN EMERGENSI BERBASIS RESIKO KECELAKAAN DI KOTA MALANG," *MathVision: Jurnal Matematika*, vol. 07, iss. 01, pp. 62-72, 2025.

KONTAK:

Penulis Korespondensi (Primary Contact),  jamailatul.badriyah.mat@um.ac.id

 Universitas Negeri Malang

 Artikelnya dapat diakses di sini. <https://doi.org/10.55719/mv.v7i1.1677>

1. PENDAHULUAN

Kecelakaan lalu lintas merupakan penyebab utama kematian pada penduduk berusia antara 5-20 tahun. Statistik juga menunjukkan bahwa resiko kematian akibat kecelakaan di negara berpenghasilan menengah kebawah, termasuk Indonesia, sebesar 3 kali lipat dibandingkan dengan negara berpenghasilan tinggi. Asia Tenggara merupakan daerah dengan resiko kematian akibat kecelakaan tertinggi dengan rata-rata 20,7 kematian per 100.000 populasi [1]. Di Indonesia sendiri, angka kecelakaan terus meningkat setiap tahunnya. Menurut data, angka kecelakaan pada tahun 2024 meningkat hampir 8 kali lipat dibandingkan dengan kejadian di tahun 2023 [2].

Layanan kegawatdaruratan prarumah sakit berperan penting dalam mengurangi resiko kematian akibat kecelakaan tersebut. Respon cepat terhadap kecelakaan dapat mengurangi resiko cedera berat dan bahkan kematian pada korban kecelakaan [3]. Oleh karena itu Pelayanan Gawat Darurat yang efisien sangat krusial dalam rangka mengurangi resiko tersebut. Pelayanan Gawat Darurat merupakan layanan kesehatan yang diberikan kepada pasien dengan kondisi darurat seperti kondisi yang mengancam nyawa ataupun yang memerlukan penanganan secepatnya [4].

Pelayanan Gawat darurat yang efektif dan efisien bergantung pada berbagai macam faktor seperti waktu respon, ketersediaan fasilitas yang memadai, serta koordinasi antar unit dalam suatu rumah sakit [4]. Waktu respon merupakan kemampuan sistem layanan kesehatan dalam memberikan penanganan kesehatan pada pasien. Waktu respon yang cepat sangat penting dalam penanganan pasien gawat darurat, dimana penanganan yang cepat dapat menjadi faktor penentu keselamatan pasien. Pada kasus gawat darurat, percepatan 1 menit pelayanan saja dapat meningkatkan *survival rate* sebesar 24% [5]. Percepatan pelayanan kegawatdaruratan ini dapat dioptimalkan dengan menempatkan layanan gawat darurat yang efisien. Terdapat dua tipe penentuan yang biasanya digunakan dalam penempatan layanan emergensi, yaitu penempatan lokasi layanan kegawatdaruratan yang optimal yang mampu meminimalkan waktu respon, dan penentuan jumlah lokasi layanan emergensi minimum yang mampu mengoptimalkan jangkauan layanan sehingga semua pasien dalam wilayah cakupan dapat dilayani dengan optimal dan dalam jangka waktu layanan yang telah ditentukan [6].

Dalam kasus emergensi, penentuan lokasi fasilitas layanan memainkan peran yang signifikan. Oleh karena itu, masalah penentuan lokasi optimal pada layanan kesehatan sudah banyak dilakukan. Indah, dkk, memodelkan penentuan lokasi optimal untuk stasiun pemadam kebakaran di kota Manado dengan PILP dan MIQP [7]. Selain itu, Faisi, dkk juga melakukan penelitian untuk menentukan lokasi optimal untuk penempatan pos pemadaman kebakar di Kabupaten Situbondo[8]. Untuk penentuan lokasi ini, Faisi, dkk menggunakan model program linier dengan tujuan untuk menentukan jumlah minimum lokasi pemadam kebakaran yang dibutuhkan. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa dengan pemodelan yang dilakukannya, dapat diketahui berapa jumlah minimum lokasi pemadam kebakaran yang dibutuhkan sehingga mampu menekan biaya operasional akan tetapi tetap mampu melayani jika ada keadaan darurat. Shetab-Boushehri, dkk juga melakukan penelitian dalam memodelkan penentuan lokasi optimal untuk layanan gawat darurat [9]. Penelitian tersebut dilakukan dengan tujuan untuk memaksimalkan jangkauan dari layanan gawat darurat. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan pemilihan lokasi layanan emergensi berdasarkan hasil pemodelan yang dilakukan oleh Shetab-Boushehri, dkk mampu menaikkan jangkauan layanan. Dari ketiga hasil penelitian tersebut, dapat ditunjukkan bahwa pemodelan Matematika mampu membantu untuk memperbaiki manajemen layanan gawat darurat. Oleh karena itu, penelitian ini mengangkat tema pemodelan Matematika untuk penentuan lokasi layanan gawat darurat, dengan harapan hasil dari penelitian ini akan bisa diterapkan untuk meningkatkan layanan kesehatan terutama dalam kasus emergensi.

Badriyah, dkk [10] mempelajari mengenai penentuan lokasi ambulan yang optimal di Kecamatan Rengasdengklok. Pada penelitian tersebut digunakan model P-Median untuk menentukan lokasi yang meminimumkan waktu layanan dari calon lokasi fasilitas ke masing-masing titik permintaan. Hasilnya menunjukkan bahwa lokasi ambulan saat ini kurang optimal dan penelitian tersebut merekomendasikan lokasi ambulan baru yang lebih optimal yang mampu menjangkau seluruh titik deman dalam rentang waktu 15 menit. Gupta juga melakukan studi mengenai alokasi ambulan di Delhi Selatan [11]. Penelitian tersebut bertujuan untuk meningkatkan waktu layanan dan hasilnya menunjukkan bahwa waktu layanan tersebut dapat dikurangi sebesar 11,61%. Umam, dkk juga melakukan studi mengenai penentuan jumlah ambulan minimal yang dibutuhkan untuk melayani semua permintaan. Hasil penelitian tersebut mengindikasikan adanya kebutuhan untuk penambahan ambulan[12].

Akan tetapi, penelitian-penelitian tersebut di atas belum mengintegrasikan tingkat emergensinya pada modelnya, seperti kecelakaan lalu lintas. Padahal, dalam hal kecelakaan lalu lintas, lokasi fasilitas emergensi sangat mempengaruhi hasil akhir pasien. Intervensi pra-rumah sakit yang tepat dan dalam waktu yang cepat dapat mencegah kematian akibat kecelakaan lalu lintas [13]. Lamanya waktu respon berbanding lurus dengan resiko kematian pada korban kecelakaan [14]. Oleh karena itu, dalam usaha penentuan lokasi fasilitas pelayanan dalam rangka peningkatan waktu respon, sangat penting memperhitungkan faktor kecelakaan. Sehingga dalam penelitian ini akan dimodelkan pengintegrasian faktor kecelakaan dalam model penentuan lokasi fasilitas layanan yang optimal. Hal ini diharapkan agar penentuan lokasi optimal mempertimbangkan kerawanan daerah kecelakaan sehingga mampu mengurangi faktor resiko kecelakaan. Pada penelitian ini, model penentuan lokasi optimal layanan emergensi akan dimodelkan dengan model *bi-objective* yang meminimumkan jumlah fasilitas layanan yang harus dibuka serta meminimalkan total waktu layanan emergensi ke setiap titik permintaan layanan dengan mempertimbangkan faktor resiko kecelakaan lalu lintas.

2. METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

2.1 Deskripsi Masalah

Pada deskripsi masalah, peneliti mendeskripsikan masalah yang akan diteliti. Dalam hal ini, penelitian dilakukan untuk menentukan lokasi penempatan layanan kegawatdaruratan yang optimal di Kota Malang dengan mempertimbangkan faktor resiko kecelakaan. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menentukan banyak lokasi layanan kegawatdaruratan yang paling minimum namun dapat menjangkau seluruh permintaan di Kota Malang serta menentukan titik-titik lokasi layanan tersebut yang mampu meminimalkan waktu respon dan mempertimbangkan titik-titik rawan kecelakaan.

2.2 Pemodelan Single Objektif

Pada tahap pemodelan, peneliti mengubah deskripsi masalah yang didapatkan pada tahap sebelumnya menjadi model matematis. Berdasarkan tujuannya, ada 2 objektif yang akan diselesaikan dalam penelitian ini, yaitu menentukan jumlah lokasi minimum yang mampu menjangkau seluruh permintaan, serta menentukan titik lokasi optimal yang mampu meminimalkan waktu respon.

Untuk menyelesaikan objektif yang pertama dapat digunakan model *Location Set Covering Problem* (LSCP). Model LSCP ini pertama kali diperkenalkan oleh Toregas, dkk yang tujuan utamanya untuk menentukan jumlah titik minimum yang diperlukan untuk mengcover suatu area sehingga seluruh permintaan layanan gawat darurat di daerah tersebut dapat terpenuhi dalam jangka waktu yang sudah ditentukan [15]. Model ini dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$\min z = \sum_{j \in J} x_j \quad (1)$$

$$s. t \sum_{j \in N_i} x_j \geq 1, \quad \forall i \in I \quad (2)$$

Dimana:

I = merupakan himpunan titik-titik permintaan;

J = merupakan himpunan titik-titik calon lokasi fasilitas;

$N_i = \{j \in J | t_{ij} \leq r\}$ = himpunan lokasi fasilitas yang dapat menjangkau permintaan di titik i pada rentang waktu layanan yang sudah ditentukan;

t_{ij} = waktu respon layanan dari fasilitas j ke titik permintaan i ;

r = maksimum respon time yang ditargetkan;

$x_j = \begin{cases} 1, & \text{jika suatu fasilitas dibangun di titik } j \\ 0, & \text{sebaliknya} \end{cases}$

Fungsi objektif pada persamaan (1) bertujuan untuk meminimalkan jumlah fasilitas yang harus dibuka dengan memastika kendala pada persamaan (2) terpenuhi. Kendala pada persamaan (2) menunjukkan bahwa setiap titik permintaan harus dilayani oleh setidaknya 1 fasilitas layanan.

Tujuan kedua pada permasalahan, yaitu menentukan lokasi penempatan fasilitas sehingga meminimalkan waktu respon dari titik fasilitas yang terbangun ke titik permintaan. Masalah ini dapat dimodelkan dengan P-Median model. P-Median model ini pertama kali diperkenalkan oleh Hakimi seperti berikut [16]:

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} d_i t_{ij} y_{ij} \quad (3)$$

$$\text{s. t. } \sum_{j \in J} y_{ij} \geq 1, \forall i \in I \quad (4)$$

$$\sum_{j \in J} x_j \leq z \quad (5)$$

$$y_{ij} - x_j \leq 0 \quad (6)$$

$$t_{ij} y_{ij} \leq r \quad (7)$$

Dimana:

d_i = jumlah permintaan pada titik permintaan i ;

z = jumlah maksimal fasilitas layanan yang harus dibuka;

$y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{jika permintaan } i \text{ dilayani oleh fasilitas } j \\ 0, & \text{sebaliknya} \end{cases}$

Fungsi objektif (3) bertujuan untuk meminimalkan total waktu respon dari fasilitas j ke titik permintaan d . Kendala (4) memastikan bahwa setidaknya ada 1 fasilitas yang melayani setiap titik permintaan. Sedangkan kendala (5) membatasi jumlah maksimal fasilitas yang dibuka. Kendala (6) memastikan bahwa titik permintaan dilayani oleh fasilitas yang dibuka, dan kendala (7) memastikan bahwa waktu layanan ke titik permintaan i dari fasilitas j yang ditugaskan harus berada dalam rentang waktu layanan yang ditargetkan.

2.3 Pengambilan Data

Data yang dibutuhkan untuk penelitian ini meliputi data permintaan layanan emergensi yang didapatkan dari data permintaan ambulans di PSC 119 Kota Malang. Selain itu, dibutuhkan juga data kecelakaan yang terjadi di kota Malang. Data ini diambil dari Polresta Kota Malang yang mencakup data kecelakaan di Kota Malang antara tahun 2022-2023. Dibutuhkan juga data waktu tempuh lokasi fasilitas yang akan dibuka ke titik layanan, titik koordinat calon lokasi fasilitas, serta titik koordinat lokasi permintaan. Ketiga data ini didapatkan dari Google Maps.

2.4 Perhitungan Numerik dan Analisis Hasil

Perhitungan numerik dilakukan dengan menggunakan Python 3.11.4 dan Gurobi 11.0.3.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Model

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menentukan jumlah minimum lokasi layanan fasilitas emergensi yang dibutuhkan yang dapat menjangkau seluruh titik permintaan dalam rentang waktu tertentu serta menentukan lokasi penempatan fasilitas layanan emergensi yang optimal. Kedua objektif tersebut dapat dimodelkan dengan LSCP dan P-Median yang dibahas pada subbab Metode di atas. Akan tetapi, kedua model di atas belum bisa menggambarkan kekrusialan penempatan lokasi layanan di daerah rawan kecelakaan. Pada konteks emergensi seperti kecelakaan lalu lintas, waktu respon dan kondisi pasien sangat berkaitan erat sehingga dibutuhkan model yang dapat menggambarkan kekrusialan tersebut dalam perencanaan layanan emergensi. Selain itu, Byrne, dkk menunjukkan bahwa percepatan dalam waktu respon dapat mengurangi fatalitas korban kecelakaan [9].

Oleh karena itu, pemodelan dalam perencanaan layanan kegawatdaruratan yang memasukkan faktor rawan kecelakaan sangat diperlukan. Fungsi objektif pada persamaan (3) mencoba meminimalkan total waktu tempuh dari lokasi layanan emergensi yang ditugaskan ke titik permintaan. Variabel keputusan di model P-Median (3)-(7) adalah menentukan fasilitas-fasilitas yang akan dibuka dengan didasarkan didasarkan pada jumlah permintaan di suatu titik. Semakin banyak permintaan pada suatu titik, maka akan diprioritaskan untuk membuka fasilitas layanan emergensi di dekat titik tersebut. Akan tetapi, faktor kerawanan kecelakaan masih belum tergambarkan dalam model. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, fungsi objektif (3) akan dimodifikasi sehingga memasukkan faktor kerawanan kecelakaan dalam pemilihan fasilitas layanan yang akan dibuka. Sehingga fungsi objektifnya menjadi:

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} A_i t_{ij} y_{ij} \quad (8)$$

dimana A_i menunjukkan tingkat kecelakaan pada titik i . Model lengkap dari P-Median dengan mengintegrasikan tingkat kecelakaan adalah sebagai berikut.

3.1.1 Model P-Median dengan Mengintegrasikan Tingkat Kecelakaan

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} A_i t_{ij} y_{ij} \quad (9)$$

$$\text{s. t } \sum_{j \in J} y_{ij} \geq 1, \forall i \in I \quad (10)$$

$$\sum_{j \in J} x_j \leq z \quad (11)$$

$$y_{ij} - x_j \leq 0 \quad (12)$$

$$t_{ij} y_{ij} \leq r \quad (13)$$

Fungsi objektif yang sudah direvisi pada persamaan (9) ini, bertujuan untuk meminimalkan total waktu respon yang diboboti oleh tingkat kecelakaan. Sehingga pemilihan fasilitas layanan darurat yang akan dibuka akan diprioritaskan untuk mendekati titik rawan kecelakaan. Kendala (10) dan (12) secara bersamaan memastikan bahwa setiap titik permintaan dilayani oleh setidaknya 1 fasilitas darurat aktif. Kendala (11) memastikan bahwa jumlah fasilitas layanan darurat yang dibuka tidak melebihi z , dan kendala (13) membatasi waktu respon dari fasilitas j yang ditugaskan ke titik permintaan I tidak melebihi waktu layanan yang ditargetkan.

3.1.2 Model *bi-objective* untuk Desain Penempatan Layanan Darurat

Model asli untuk penentuan lokasi optimal ambulans, pada dasarnya adalah model dengan fungsi objektif tunggal seperti yang dibahas sebelumnya. Pada model tersebut, dilakukan perhitungan dua kali untuk menentukan jumlah minimal lokasi layanan yang dibutuhkan serta pengalokasian fasilitas dan area yang dilayaninya. Pada penelitian ini, diusulkan model *bi-objective* untuk menyelesaikan kedua masalah tersebut secara simultan sebagai berikut:

$$\min z \quad (9)$$

$$\min \sum_{i \in I} \frac{1}{A_i} \sum_{j \in J} t_{ij} y_{ij} \quad (10)$$

$$\text{s. t } \sum_{j \in N_i} x_j \geq 1, \forall i \in I \quad (11)$$

$$\sum_{j \in J} y_{ij} \geq 1, \forall i \in I \quad (12)$$

$$y_{ij} - x_j \leq 0 \quad (13)$$

$$\sum_{j \in J} x_j \leq z, \forall i \in I \quad (14)$$

$$t_{ij} y_{ij} \leq r \quad (15)$$

Pada kasus model dengan dua fungsi objektif yang linear yang mana dapat diselesaikan, maka kita akan selalu dapat mengkombinasikannya dengan *weighted sum scalarization*. Teknik ini mengkombinasikan dua fungsi objektif dengan memberikannya parameter bobot ke setiap fungsi objektif berdasarkan tingkat kepentingannya. Fungsi objektif tersebut dikombinasikan menjadi suatu kombinasi *convex* dari fungsi objektif $C(x)$ dan $Z(x)$:

$$\min \lambda C(x) + (1 - \lambda) Z(x) \quad (16)$$

yang mana $\lambda \in [0,1]$ merupakan bobot yang menunjukkan tingkat kepentingan dari $C(x)$ relative terhadap $Z(x)$ [17].

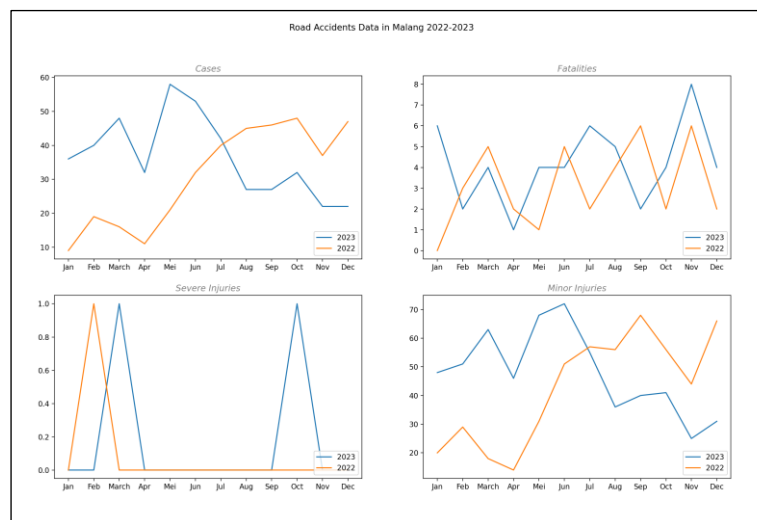
Solusi yang didapatkan dari hasil pengkombinasian tersebut, terkadang merupakan solusi yang efisien lemah (*weakly efficient*). Dimana solusi efisien lemah berarti tidak ada solusi lain yang lebih baik untuk semua fungsi tujuan secara bersamaan, akan tetapi mungkin ada solusi lain yang lebih baik untuk salah

satu fungsi tujuan tanpa memperburuk fungsi tujuan yang lain. Solusi efisien lemah ini dapat diselesaikan dengan menggunakan teknik *lexicographic* dimana pada teknik ini dilakukan optimasi pada satu objective yang kemudian menambahkan nilai objektif yang didapat sebagai kendala dan mengoptimasikannya atas satu objektif yang lain [17]. Sehingga model fungsi objektif menjadi:

$$\begin{aligned} \min \lambda z + (1 - \lambda) \sum_{i \in I} \frac{1}{A_i} \sum_{j \in J} t_{ij} y_{ij} \\ \text{s. t. (11) - (15)} \end{aligned} \quad (17)$$

3.2. Pembahasan

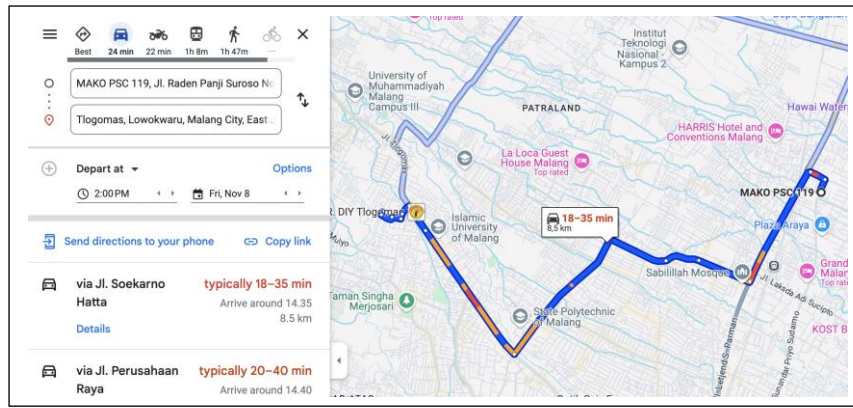
Data yang didapatkan dari Polresta Malang menunjukkan bahwa jumlah kecelakaan di Malang menunjukkan tren yang meningkat dari tahun 2022 ke tahun 2023 yang meningkat sekitar 18,3%. Selain itu, Gambar 1 juga menunjukkan kenaikan yang signifikan pada jumlah korban fatal, dari 38 di tahun 2022 menjadi 50 di tahun 2023. Peningkatan-peningkatan ini menunjukkan adanya kebutuhan untuk manajemen layanan emergensi yang lebih baik yang mampu mengurangi faktor resiko kecelakaan lalu lintas.



Gambar 1. Data Kecelakaan di Malang pada 2022-2023 (Sumber Data: Polresta Kota Malang)

Byrne, dkk menunjukkan bahwa terdapat hubungan erat antara waktu layanan gawat darurat dan kematian akibat kecelakaan yang mengindikasikan penundaan dalam respon layanan dapat mempengaruhi hasil pasien secara signifikan [14]. Hasil ini menggarisbawahi pentingnya optimasi layanan gawat darurat untuk memastikan intervensi yang tepat waktu dalam situasi emergensi. Lebih jauh lagi, Yunus, dk. Juga menunjukkan bahwa menempatkan layanan emergensi di dekat daerah rawan kecelakaan dapat waktu respon darurat yang pada akhirnya akan menyelamatkan lebih banyak jiwa [3].

Di Kota Malang, kecelakaan lalu lintas merupakan salah satu masalah utama dalam layanan prarumah sakit [18]. Kota Malang sendiri mempunyai layanan gawat darurat yang dinamakan PSC 119 yang didirikan pada tahun 2016. PSC 119 kota Malang mempunyai total 6 armada ambulan yang terdiri dari 2 ambulan emergensi, 2 ambulan transportasi, dan 2 ambulan jenazah. Semua armada ambulan ini ditempatkan di kantor PSC 119 kota Malang dan dimaksudkan untuk melayani seluruh permintaan layanan gawat darurat di Kota Malang. Penempatan ambulan yang terpusat di satu tempat memberikan resiko yang cukup signifikan terutama dalam hal ketepatan waktu pelayanan, terutama untuk kejadian yang jauh dari lokasi penempatan ambulan. Sebagai contoh, jika terjadi kecelakaan di Tlogomas dan layanan emergensi ambulan hanya berlokasi di kantor PSC yang berada sekitar 8,5 km dari tempat kejadian, maka berdasarkan data dari Google Maps di Gambar 2, dibutuhkan waktu sekitar 18-35 menit sampai korban mendapatkan layanan emergensi, yang mana waktu ini terlalu lama untuk respon emergensi yang setiap menitnya berharga. Oleh karena itu, desentralisasi lokasi penempatan layanan emergensi/ambulan dapat mengurangi waktu respon dan meningkatkan efisiensi dalam pelayanan kegawatdaruratan di Kota Malang.



Gambar 2. PSC Kota Malang – Tlogomas (Sumber: Google Maps)

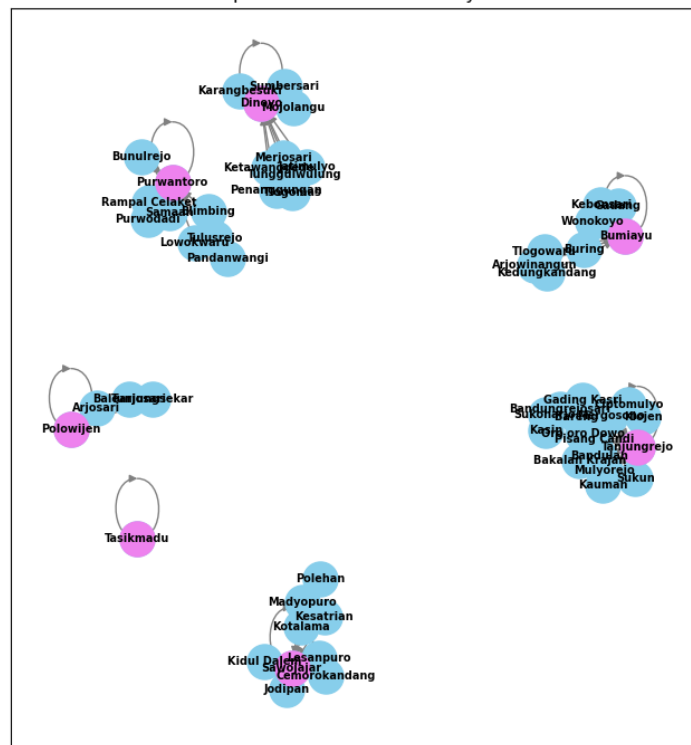
Keterlambatan waktu pelayanan yang diakibatkan penempatan ambulans secara terpusat, menunjukkan kebutuhan untuk mendesain lokasi penempatan ambulans yang terdesentralisasi untuk meningkatkan waktu respon terutama dalam kasus emergensi seperti kecelakaan lalu lintas. Oleh karena itu dibutuhkan penggunaan model Matematika untuk menentukan lokasi optimal layanan emergensi sehingga dapat meningkatkan layanan kesehatan terutama dalam keadaan gawat darurat.

3.2.1 Hasil dengan Menggunakan Single Objektif

Untuk memulai pembahasan, di sini akan dipaparkan hasil simulasi penentuan lokasi optimal dengan single objektif model LSCP (1)-(2) dan model P-Median (3)-(7). Karena model tersebut merupakan model dengan single objektif atau hanya satu fungsi tujuan dalam setiap model, maka simulasi dilakukan satu persatu. Yang pertama, akan dilakukan simulasi untuk model LSCP. Tujuan model LSCP adalah untuk menentukan jumlah lokasi layanan emergensi minimal yang dibutuhkan tetapi tetap mampu menjangkau seluruh area, dalam hal ini Kota Malang. Hasil dari pemodelan LSCP menunjukkan bahwa dibutuhkan minimal 7 lokasi layanan emergensi untuk menjangkau semua permintaan di seluruh area di Kota Malang dalam waktu 15 menit.

Setelah hasil LSCP didapatkan, maka hasil tersebut akan digunakan untuk perhitungan model P-Median (3)-(7). Hasil dari model LSCP digunakan untuk menggantikan variabel z pada model P-Median. Grafik jaringan pada Gambar 3 menunjukkan jaringan antara fasilitas yang dibangun serta area demand yang dilayaninya. Dari gambar tersebut, dapat dilihat bahwa calon lokasi yang diusulkan yaitu Dinoyo, Purwantoro, Bumiayu, Polowijen, Tanjungrejo, Tasikmadu, dan Sawojajar.

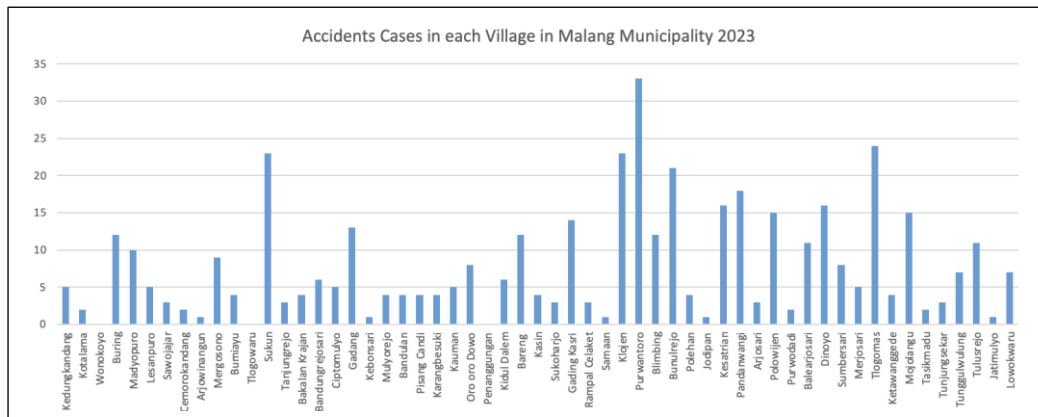
Network Graph of Demand and Facility Connections



Gambar3. Jaringan Lokasi Fasilitas dan Area yang dilayaninya

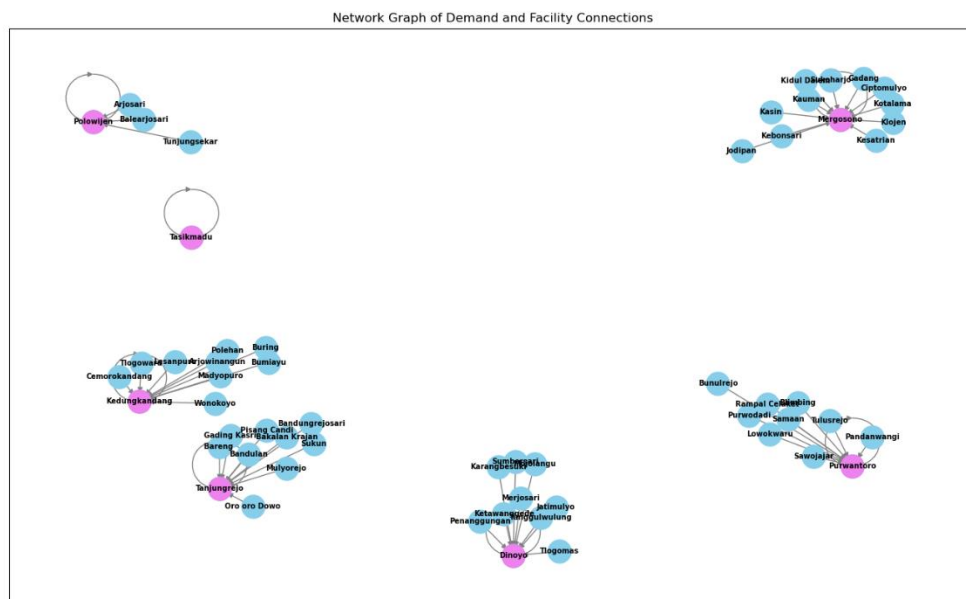
3.2.2 Hasil Perhitungan dengan Menggunakan Model *Bi-Objective* dengan Mempertimbangkan Kasus Kecelakaan

Pada penelitian ini diusulkan model *bi-objective* (17) untuk memodelkan desain alokasi ambulan yang mempertimbangkan tingkat kecelakaan. Model *bi-objective* Model tersebut didesain untuk dapat menjangkau seluruh area di Kota Malang dalam kurang dari 15 menit, yang merupakan target waktu respon.



Gambar 4. Kasus Kecelakaan di Tiap Kelurahan di Kota Malang pada 2023

Gambar 4 merupakan data kasus kecelakaan yang terjadi di setiap kelurahan di Kota Malang pada tahun 2023. Dari data tersebut, terlihat bahwa Purwantoro merupakan kelurahan dengan kasus kecelakaan lalu lintas tertinggi yang mencapai 33 kasus pada tahun 2023. Terlihat pada gambar tersebut bahwa sebaran kasus kecelakaan di setiap kelurahan tidak merata. Ada beberapa kelurahan dengan tingkat kecelakaan yang sangat tinggi dan ada kelurahan dengan tingkat kecelakaan 0 seperti di kelurahan Wonokoyo. Data kecelakaan ini yang akan diintegrasikan pada model *bi-objective* untuk menentukan lokasi penempatan fasilitas layanan darurat yang memperhatikan tingkat kerawanan kecelakaan di setiap daerah. Hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada Gambar 5 di bawah.



Gambar 5. Graf Jaringan antara Fasilitas dan Titik Permintaan yang dicover

Titik merah muda pada Gambar 5 di atas menunjukkan fasilitas yang dibuka dan titik-titik biru yang terhubung dengan titik muda menunjukkan titik permintaan yang dilayani oleh fasilitas tersebut. Dari gambar tersebut, dapat dilihat bahwa setidaknya 7 lokasi fasilitas harus dibuka agar mampu menjangkau seluruh area di Kota Malang dalam waktu kurang dari 15 menit yang merupakan target waktu respon. 7 lokasi fasilitas tersebut adalah Polowijen, Tasikmadu, Kedungkandang, Tanjungejo, Dinoyo, Purwantoro, dan Mergosono. Melihat data pada Gambar 4 dan Gambar 5, dapat dilihat bahwa kelurahan Purwantoro yang merupakan kelurahan dengan tingkat kecelakaan tertinggi dipilih untuk menjadi lokasi penempatan fasilitas darurat. Sehingga terlihat bahwa pada model ini tingkat kerawanan kecelakaan merupakan faktor penentu untuk penempatan layanan kesehatan.

3.2.3 Perbandingan hasil dari Model Bi-Objektif yang Diusulkan dan Model Single Objektif

Dari hasil simulasi yang sudah dibahas di atas, dapat dilihat bahwa kedua model (model bi-objective dan model single objective) memberikan jumlah minimum lokasi layanan yang harus disediakan sama, yaitu 7 lokasi. Detail ketujuh lokasi layanan dari kedua model tersebut dapat dilihat pada table 1.

Tabel 1. Perbandingan Kelurahan Calon Lokasi Layanan dari Kedua Model

Model <i>Bi-objective</i>	Model <i>Single-Objective</i>
Kedungkandang	Bumiayu
Mergosono	Sawojajar
Purwantoro	Purwantoro
Tanjungrejo	Tanjungrejo
Dinoyo	Dinoyo
Polowijen	Polowijen
Tasikmadu	Tasikmadu

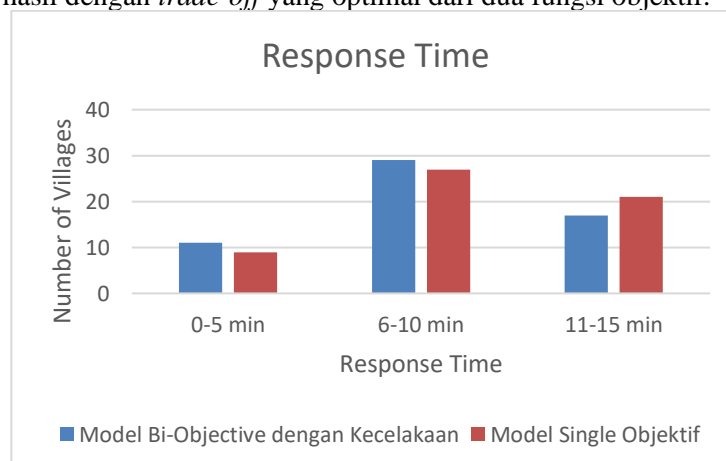
Dari table 1, dapat dilihat bahwa ada 2 lokasi layanan yang berbeda. Jika dikaitkan dengan data kecelakaan yang dapat dilihat pada tabel 2, maka dapat dilihat, hasil pada model *bi-objective* lebih memprioritaskan untuk menempatkan fasilitas di lokasi rawan kecelakaan. Pemrioritasan ini digambarkan oleh variabel A_i yang disematkan pada model.

Tabel 2. Data Jumlah Kecelakaan

Kelurahan	Jumlah Kecelakaan
Kedungkandang	5
Mergosono	9
Bumiayu	4
Sawojajar	3

Selain itu, perbandingan kedua model tersebut, juga dapat dilihat pada sebaran waktu respon di tiap area permintaan. Hasil ini dapat dilihat pada gambar 6. Dari gambar tersebut, dapat dilihat bahwa hasil model *bi-objective* menunjukkan bahwa ada 11 area demand yang dapat dilayani dalam waktu kurang 5 menit. Ini lebih banyak dari pada hasil dari model *single objective* yang hanya mampu melayani 9 area dalam waktu kurang dari 5 menit. Lebih jauh lagi, hasil dari model *bi-objective* juga mampu melayani 29 area dalam waktu 6-10 menit, yang mana ini juga lebih baik dari hasil model *single objective* yang hanya mampu melayani 27 area pada kurun waktu yang sama. Sedangkan pada kurun waktu yang lebih lama, yaitu antara 11 sampai 15 menit, ada lebih banyak area yang dihasilkan dari model *single objective* membutuhkan waktu respon yang lama dibandingkan dengan hasil dari model *bi-objective*. Hal tersebut menunjukkan bahwa, hasil dari model *bi-objective* mampu mendesain untuk menempatkan layanan yang bisa memberikan waktu respon lebih cepat untuk lebih banyak area.

Lebih jauh lagi, teknik *lexicographic* yang digunakan terbukti mampu mengatasi masalah efisien lemah dari hasil optimasi. Ini dapat dilihat dari meskipun hasil fungsi objektif untuk jumlah minimal lokasi yang dibutuhkan sama, akan tetapi, ternyata hasil untuk fungsi objektif kedua mengenai waktu respon dapat ditingkatkan seperti pada uraian pada paragraf di atas. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Koenen, dkk yang menunjukkan bahwa model *bi-objective* dengan teknik *lexicographic* dapat memberikan hasil dengan *trade-off* yang optimal dari dua fungsi objektif.



Gambar 6. Perbandingan Waktu Respon dari Hasil Kedua Model

4. KESIMPULAN

Penelitian ini mempresentasikan suatu model optimasi untuk desain penempatan lokasi layanan gawat darurat dengan mengintegrasikan tingkat kecelakaan. Pengintegrasian ini dilakukan untuk meningkatkan waktu respon terutama dalam hal kecelakaan lalu lintas. Model ini bertujuan untuk menentukan lokasi penempatan emergensi yang minimal tetapi optimal serta memprioritaskan daerah dengan tingkat kecelakaan yang tinggi. Hasil penyelesaian dari model tersebut memperlihatkan bahwa daerah dengan tingkat kecelakaan yang tinggi diprioritaskan untuk dibuka fasilitas layanan emergensi pada daerah tersebut. Selain itu, model yang diusulkan menunjukkan bahwa hasil yang didapatkannya mampu menempatkan fasilitas untuk dapat melayani banyak area dalam waktu yang lebih singkat dibandingkan dengan hasil dari model dengan fungsi objektif tunggal.

Model yang diusulkan menggaris bawahi potensi mengkombinasikan jumlah permintaan layanan emergensi dan faktor resiko dalam desain penentuan lokasi penempatan layanan yang optimal. Rekomendasi untuk penelitian selanjutnya dapat mengeksplorasi model dengan menintegrasikan faktor tambahan seperti kondisi lalu lintas, variasi waktu tempuh, dan tren musiman untuk lebih mengoptimalkan model dan meningkatkan penerapannya dalam dunia nyata.

REFERENSI

- [1] OECD/WHO. "Health at a Glance: Asia/Pacific 2020: Measuring Progress Towards Universal Health Coverage". OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/26b007cd-en>, 2020.
- [2] Mardianti, Dede Leni. "Korlantas Rilis Data Kecelakaan Lalu Lintas 2024: Naik Nyaris 8 Kali Lipat, Korban Jiwa 27 Ribu". Tempo (<https://www.tempo.co/hukum/korlantas-rilis-data-kecelakaan-lalu-lintas-2024-naik-nyaris-8-kali-lipat-korban-jiwa-27-ribu-1181721>) diakses pada 20 Maret 2025.
- [3] Yunus, S., & Abdulkarim, I.A. "Road Traffic Crashes and Emergency Response Optimization: A Geospatial Analysis Using Closest Facility and Location-Allocation Methods", *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 13(1), 1535-1555, <https://doi.org/10.1080/19475705.2022.2086829>, 2022.
- [4] Purwato, A., Isowro, S., Rachmani, S., "Strategi Manajemen Rumah Sakit dalam Meningkatkan Responsivitas Pelayanan Gawat Darurat untuk Korban Kecelakaan Lalu Lintas", *Jurnal Ners*, vo. 9, no. 2, hal. 2226-2232, 2025.
- [5] O'Keefe C, Nicholl J, Turner J, Goodacre S. Role of ambulance response times in the survival of patients with out-of-hospital cardiac arrest. *Emerg Med J*. 2011 Aug;28(8):703-6. doi: 10.1136/emj.2009.086363. Epub 2010 Aug 25. PMID: 20798090.
- [6] Carvalho, A.S., Captivo, M.E., Marques, I., "Integrating the Ambulance Dispatching and Relocation Problems to Maximize System's Preparedness", *European Journal of Operational Research*, vo. 283, Issue 3, 2020.
- [7] Kairupan, I., Y., Opit, P. F., "Penentuan Lokasi Pos Stasiun Pemadam Kebakaran di Kota Manado", *Jurnal Ilmiah Realtech*, Vo. 20, No. 2, 2024.
- [8] Faisi, A., Idayani, D., Puspitasari, Y., "Optimasi Lokasi Pos Pemadam Kebakaran di Kabupaten Situbondi Menggunakan Pemrograman Linier", *Jurnal Matematika, Sains, dan Teknologi*, Vo. 22, No. 1, 2021.
- [9] Shetab-Boushehri, S., Rajabi, P., Mahmoudi, R., "Modeling Location-Allocation of Emergency Medical Service Stations and Ambulance Routing Problems Considering the Variability of Events and Recurrent Traffic Congestion: A real Case Study", *Healthcare Analytics*, Vo. 2, 2022.
- [10] Badriyah, J., Smith, H., Nurtsaltsiyah, M., "Finding an Optimal Location for the Public Health Service Ambulance in Rengasdengklok", *AIP Conf. Proc.* 3235, 020028, 2024.
- [11] Gupta, H., Zaheeruddin, "Optimized Ambulance Allocation using Hybrid PSO GA for Improving the Ambulance Service", *IETE Journal of Research*, 2022.
- [12] Umam, M.I.H, Santosa, B., Siswanto, N., "A Simulation for Location and Allocation of Emergency Medical Services", *International Journal of Online and Biomedical Engineering* 18(11), 2022.
- [13] Sanjana, I. W. E, Wihastuti, T. A., Muslihah, N. (2021). The Ambulance Location Can Influence Emergency Medical Service Response Time: A Literature Review. *Research Journal of Life Science*, 8(3), 166-172.
- [14] Byrne, J.P., Mann, N.C., Dai, M., Mason, S.A., Karanicolas, P., Rizoli, S., Nathens, A.B., "Association Between Emergency Medical Service Response Time and Motor Vehicle Crash Mortality in the United States", *JAMA Surg*, Apr 1;154(4):286-293. doi: 10.1001/jamasurg.2018.5097. PMID: 30725080; PMCID: PMC6484802, 2019.

- [15] Toregas, C., Swain, R., Ravelle, C., Bergman, L., "The Location of Emergency Service Facilities", *Operations Research* 19(6):1363-1373, 1971.
- [16] Hakimi, S.L. (1965). "Optimum Locations of Switching Centers and the Absolute Centers and Medians of a Graph". *Operations Research*, 13(3), 418-425.
- [17] Koenen, M. F., Balvert, M., Fleuren, H., "Bi-objective Goal Programming for Balancing Costs vs. Nutritional Adequacy", *Frontier in Nutrition*, Vo. 9, 2022.
- [18] Suryanto, S., Boyle, M., Plummer, V., "The Pre-Hospital and Healthcare System in Malang, Indonesia", *Australasian Journal of Paramedicine*, 14:1-9. doi:10.33151/ajp.14.2.554, 2017.