

Skenario Penyediaan Pos Pemadam Kebakaran Untuk Melayani Bangunan Tinggi di Kota Surabaya Berdasarkan Waktu Tanggap Ideal

Caesaryo Arif Wibowo dan I Dewa Made Frendika Septanaya

Departemen Perencanaan Wilayah dan Kota, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

e-mail: septanaya@its.ac.id

Abstrak—Fenomena perkembangan bangunan tinggi di Kota Surabaya mengakibatkan perlunya dukungan layanan pemadam kebakaran kota dalam waktu cepat karena karakteristik bangunan tinggi yang membutuhkan waktu evakuasi lebih panjang, akses yang sulit, maupun keamanan struktural bangunan tinggi. Meskipun demikian, faktanya layanan pos pemadam kebakaran saat ini masih belum sepenuhnya menjangkau titik bangunan tinggi (eksisting maupun rencana) dalam waktu tanggap ideal di Kota Surabaya. Penelitian ini ditujukan untuk mengevaluasi layanan pos pemadam kebakaran eksisting dan merekomendasikan lokasi pos baru agar seluruh bangunan tinggi di Kota Surabaya dapat terlayani dalam waktu tanggap ideal. Analisis *closest facility* berbasis GIS digunakan untuk mengevaluasi layanan pos pemadam eksisting dan analisis *location-allocation* digunakan untuk merekomendasikan jumlah dan sebaran penambahan pos pemadam kebakaran baru dengan mempertimbangkan hambatan dan kecepatan lalu lintas ideal yang menentukan waktu tempuh menuju ke lokasi kebakaran. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat 1.018 bangunan yang masuk dalam jangkauan layanan pos pemadam kebakaran eksisting dengan waktu tanggap ideal, sementara 452 bangunan di luar jangkauan. Oleh sebab itu, dibutuhkan 1 pos baru agar seluruh bangunan tinggi terlayani dengan skenario yang optimal. Hasil penelitian dapat menjadi bahan pertimbangan kebijakan kota untuk memasukkan ketentuan yang lebih komprehensif mengenai kebutuhan fasilitas pemadam kebakaran, mencakup penambahan pos pemadam kebakaran di lokasi-lokasi yang strategis dan padat bangunan tinggi dan dorongan terhadap penambahan unit mobil tangga dan *water supply* sebagai prasarana kebakaran yang sesuai untuk bangunan tinggi.

Kata Kunci— *Location-Allocation, Closest Facility, Multi-Skenario, Pos Pemadam Kebakaran, Bangunan Tinggi*

I. PENDAHULUAN

Kota Surabaya sebagai salah satu kota metropolitan di Indonesia dan pusat urbanisasi, memiliki bangunan tinggi yang berkembang setiap tahunnya, di mana berdasarkan data yang diperoleh pada survei primer diketahui bahwa terdapat 1.335 bangunan tinggi eksisting, serta berdasarkan sumber sekunder terdapat 28 proposal bangunan tinggi di atas 25 lantai yang masuk di Kota Surabaya [1]. Keselamatan kebakaran di bangunan tempat tinggal dan lingkungan

perkotaan terus menjadi perhatian global yang mendesak, yang menuntut strategi dinamis dan komprehensif untuk penilaian dan mitigasi risiko yang efektif [2], di mana pada kasus bangunan tinggi terdapat karakteristik khusus yang menjadi tantangan bagi tindakan keselamatan bencana kebakaran, seperti memerlukan teknik dan peralatan yang berbeda atau spesifik [3], kepadatan penduduk di dalam bangunan yang tinggi, lebih panjangnya waktu evakuasi penduduk di dalam bangunan, ketinggian bangunan yang bertingkat menyebabkan akses titik kebakaran memerlukan waktu yang lebih panjang dan tenaga fisik yang lebih banyak, pasokan air potensial untuk pemadaman yang terbatas, efek tumpukan yang signifikan terhadap temperatur dan asap, serta beragam efek dari hunian campuran yang terdapat pada bangunan tinggi [4], maupun karakteristik khusus perilaku kebakaran yang terjadi pada bangunan tinggi dan bertingkat, seperti evolusi api spesifik dan transportasi asap karena struktur bangunan yang kompleks, evakuasi manusia, keamanan struktural bangunan tinggi, serta penggunaan bahan isolasi fasad secara ekstensif yang dapat membawa masalah keselamatan kebakaran yang baru [5].

Dinas Pemadam Kebakaran dan Penyelamatan (DPKP) Kota Surabaya mengeluarkan laporan rekapitulasi yang menunjukkan jumlah kejadian bencana kebakaran bangunan pada tahun 2021 sejumlah 144 kejadian kebakaran bangunan dengan jumlah kerugian luka-luka sejumlah 16 orang dan meninggal 4 orang, di mana sebagian dari objek terbakar tersebut berada pada lantai 2 dan 3, serta memiliki rata-rata waktu respons 11-12 menit [6]. Pada konteks bangunan tinggi, secara historis terdapat kejadian kebakaran di Tunjungan Plaza 5 lantai 4, 5, dan 10, 11 yang menjalar hingga ke lantai 12, yang menyebabkan kerugian secara materiil dan arus lalu lintas yang terhambat [7]. Trianjaya, Ketua Tim Kerja Operasional Pemadam Kebakaran Kota Surabaya, menjelaskan bahwa seluruh unit sebesar 87-89 unit yang dimiliki oleh DPKP dikerahkan, termasuk 4 unit bronto skylift (komunikasi pribadi, 17 April 2024), menunjukkan bahwa penyelenggaraan sistem proteksi kebakaran yang optimal merupakan pembahasan yang penting untuk dilakukan.

Dalam optimasi layanan pos pemadam kebakaran, berbagai pendekatan telah dilakukan untuk menentukan lokasi optimal

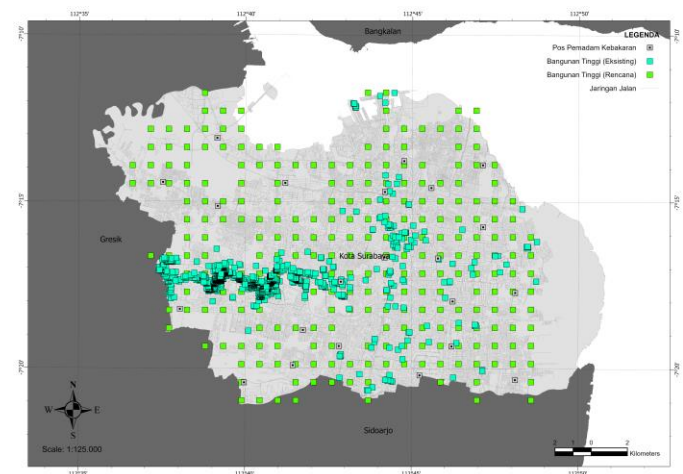
pos pemadam kebakaran, mulai dari *multi-criteria overlay* [8], [9], [10], [11], maupun menggunakan pendekatan aksesibilitas yang didasarkan bahwa dalam sebagian besar kasus sistem manajemen kebakaran permasalahan umum yang terjadi dalam penanganan kasus kebakaran adalah waktu total yang dibutuhkan untuk menanggapi panggilan darurat (waktu respons atau *response time*) dari pos pemadam kebakaran, yang tidak hanya bergantung pada sumber daya yang dialokasikan maupun kesesuaian dari segi berbagai kriteria, namun juga konfigurasi spasial permintaan dan jaringan [12]. Penelitian menggunakan pendekatan aksesibilitas dinilai lebih cocok dalam menggambarkan kondisi yang harus dipenuhi waktu tanggap (*response time*) layanan pos pemadam kebakaran (komunikasi pribadi, 17 April 2024), namun berbagai penelitian yang belum mempertimbangkan hambatan lalu lintas dan dimensi jalan yang dibutuhkan oleh mobil pemadam kebakaran. [3] menjelaskan bahwa akses mobil pemadam kebakaran seharusnya mempertimbangkan hambatan lalu lintas, seperti viaduk, cabang pohon, kemacetan, persimpangan, dan perlintasan kereta api, serta dimensi jalan, yaitu dengan standar lebar 5 meter untuk memenuhi manuver truk tangga udara dengan dimensi rata-rata panjang 12 meter, lebar 2,5 meter, dan tinggi 3,9 meter, mengingat tidak semua jalan dapat dilalui dengan mudah oleh mobil pemadam kebakaran [3]. Selain itu, penelitian lokasi-alokasi pos pemadam kebakaran masih jarang memberikan rekomendasi pos baru dengan berbasis multi-skenario, di mana pendekatan tersebut berperan dalam pengambilan keputusan dengan lebih baik dan terukur. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi layanan pos pemadam kebakaran dan merekomendasikan pos pemadam kebakaran baru agar seluruh bangunan tinggi dapat terlayani sesuai dengan waktu tanggap ideal di Kota Surabaya.

II. METODE PENELITIAN

A. Data dan Sampel

Penelitian ini menggunakan wilayah studi Kota Surabaya dengan ruang lingkup administratif yang terdiri dari 33 kecamatan. Adapun data-data yang digunakan terdiri dari data sebaran pos pemadam kebakaran eksisting di Kota Surabaya, jaringan jalan beserta hambatan yang digunakan dalam pertimbangan berupa viaduk (hambatan permanen), serta sebaran bangunan tinggi eksisting dan indikasi zona ketinggian bangunan yang ada di Kota Surabaya. Bangunan tinggi pada penelitian ini didefinisikan sesuai dengan Peraturan Walikota Surabaya Nomor 29 Tahun 2020 tentang Tata Cara Pelaksanaan, Pengawasan, dan Penyerahan Kontribusi Pembangunan Daerah Dalam Rangka Pemanfaatan Koefisien Lantai Bangunan Maksimum Untuk Bangunan Tinggi dan Penambahan Intensitas Pemanfaatan Ruang, yaitu bangunan yang memiliki jumlah lantai lebih dari 8 lantai dan/atau lebih dari 40 meter. Gambar 1 menunjukkan sebaran pos pemadam kebakaran serta bangunan tinggi (eksisting dan rencana) yang ada di Kota Surabaya.

Berdasarkan survei sekunder yang dilakukan pada instansi, diketahui bahwa terdapat 23 pos pemadam kebakaran eksisting yang tersebar di Kota Surabaya, di mana terdiri dari 5 rayon dan 18 pos pemadam, serta total 85 unit kendaraan operasional pemadam kebakaran. Kemudian, sebaran bangunan tinggi eksisting diperoleh sejumlah 1.335 bangunan yang tersebar di Kota Surabaya dengan berbagai fungsi, seperti hotel, ruko/rukan, kantor, apartemen, superblok, maupun mixed use. Selain itu, juga diperoleh data indikasi zona ketinggian bangunan yang ditetapkan berdasarkan Peraturan Daerah Kota Surabaya Nomor 8 tahun 2018 tentang Rencana Detail Tata Ruang dan Peraturan Zonasi Kota Surabaya Tahun 2018-2038, yang kemudian dibagi berdasarkan grid 1000x1000 meter untuk menunjukkan sebaran poin-poin distribusi yang merata, yang kemudian diperoleh bahwa terdapat 135 titik bangunan tinggi rencana di Kota Surabaya. Selain itu, data sekunder lain yang digunakan ialah data jaringan jalan beserta hambatannya berupa viaduk yang diperoleh dari OpenStreetMap, yang digunakan sebagai *network dataset* dalam penelitian ini.



Gambar 1. Data sebaran pos pemadam kebakaran, bangunan tinggi eksisting dan rencana, serta jaringan jalan di Kota Surabaya

B. Evaluasi Layanan Pos Pemadam Kebakaran Eksisting Berdasarkan Waktu Tanggap Ideal

Metode evaluasi layanan pos pemadam kebakaran umumnya menggunakan *service area* berbasis *network analysis*, seperti yang digunakan oleh [12], [13], [14] dapat menghasilkan area jangkauan layanan pos pemadam kebakaran, yang kemudian dibandingkan dengan sebaran titik-titik bangunan maupun area. Namun dalam konteks yang lebih spesifik, analisis *service area* dinilai tidak cukup karena tidak dapat menggambarkan berapa waktu yang diperlukan untuk mencapai masing-masing bangunan maupun lokasi dengan kecepatan ideal. Selain itu, analisis *service area* juga tidak menyediakan rute optimal untuk menjangkau masing-masing bangunan, yang sangat penting untuk peningkatan akses dan kondisi lalu lintas saat kejadian. Oleh karena itu, analisis *closest facility* menggunakan *network analysis* digunakan

untuk mengetahui fasilitas terdekat yang dapat menjangkau bangunan tinggi pada penelitian ini, di mana analisis *closest facility* tersebut dapat memberikan waktu yang diperlukan oleh masing-masing bangunan tinggi [15].

Sebagai gambaran terhadap kondisi lalu lintas eksisting dan dampaknya terhadap waktu tempuh, penelitian ini mengintegrasikan penggunaan sumber daring, yaitu Google Maps API, untuk estimasi waktu tempuh eksisting yang memiliki beberapa keunggulan, seperti tidak memerlukan persiapan dataset jaringan, menggunakan data jalan yang lebih terbaru; memperhitungkan kemacetan jalan, dan mempertimbangkan perbedaan antara jam sibuk (*peak hours*) dan luar jam sibuk (*off-peak hours*) [16]. Penggunaan Google Maps API untuk mengukur aksesibilitas juga dilakukan oleh berbagai peneliti, baik dalam *emergency response* fasilitas kesehatan [16], [17] maupun aksesibilitas *public transit* [18]. Di samping itu API dari peta daring juga memungkinkan penggunaan untuk mendapatkan data kecepatan jaringan jalan secara langsung pada waktu tertentu, dan keberhasilan API tersebut telah terbukti dalam memprediksi waktu perjalanan yang akurat antara stasiun pemadam kebakaran dan kejadian kebakaran [19].

Adapun untuk perhitungan waktu tempuh berdasarkan kecepatan ideal, satuan kecepatan yang dibutuhkan oleh unit kendaraan pemadam kebakaran diperoleh berdasarkan wawancara kepada Dinas Pemadam Kebakaran dan Penyelamatan Kota Surabaya, yaitu 40 km/jam sebagai kecepatan minimum dan 60 km/jam sebagai kecepatan maksimum [20]. Perhitungan dengan kecepatan ideal ini memberikan perbandingan antara waktu tempuh yang diperlukan apabila hanya mengandalkan lalu lintas eksisting dan apabila terdapat peningkatan efisiensi lalu lintas. Adapun waktu tempuh yang digunakan sebagai standar kesesuaian, dalam konteks kebakaran pada bangunan tinggi, standar waktu tanggap yang dibutuhkan diacu pada NFPA (The National Fire Protection Association), yaitu 240 detik atau 4 menit untuk capaian kendaraan pertama [21]. Meskipun [22] menyatakan bahwa standar 4 menit tersebut harus dipenuhi oleh minimum 1 mobil tangga dan 1 mobil *water supply*, penelitian ini mengasumsikan bahwa capaian 4 menit tersebut adalah capaian kendaraan pertama dari jenis apapun untuk dapat memberikan waktu tanggap yang paling cepat dari pos pemadam kebakaran.

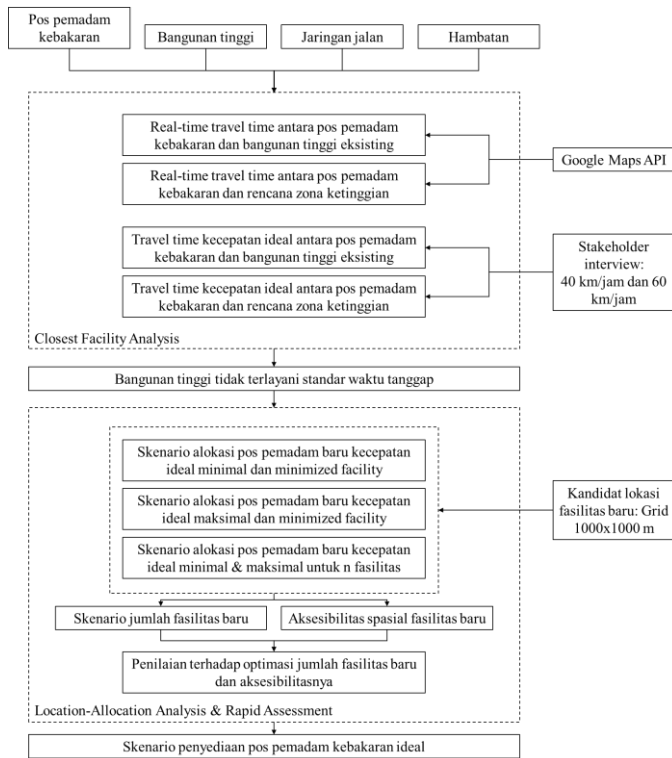
C. Rekomendasi Jumlah Dan Sebaran Pos Pemadam Kebakaran Baru Untuk Melayani Seluruh Bangunan Tinggi di Kota Surabaya

Berbagai pendekatan telah dilakukan untuk menentukan lokasi optimal pos pemadam kebakaran, di mana secara umum pendekatan tersebut terbagi menjadi penentuan berdasarkan *multi-criteria overlay* dan berbasis aksesibilitas. Pendekatan dengan *multi-criteria overlay* mengombinasikan berbagai kriteria-kriteria yang dinilai paling sesuai untuk penempatan pos pemadam kebakaran, sebagaimana yang dilakukan oleh [8], [9], [10], [11], serta menilai kesesuaian tersebut pada umumnya menggunakan *Analytical Hierarchy Process* (AHP)

ataupun *Fuzzy AHP*. Sedangkan pada pendekatan kedua berawal dari dasar literatur bahwa dalam sebagian besar kasus sistem manajemen kebakaran permasalahan umum yang terjadi dalam penanganan kasus kebakaran adalah waktu total yang dibutuhkan untuk menanggapi panggilan darurat (waktu respons atau *response time*) dari pos pemadam kebakaran, yang tidak hanya bergantung pada sumber daya yang dialokasikan maupun kesesuaian dari segi berbagai kriteria, namun juga konfigurasi spasial permintaan dan jaringan [12], atau dengan kata lain perlu mempertimbangkan adanya pertimbangan aksesibilitas menuju lokasi insiden kebakaran. Pendekatan kedua ini berusaha mengintegrasikan aksesibilitas dalam pertimbangan lokasinya, yaitu dengan menggunakan metode *location-allocation* (alokasi-lokasi) untuk meminimalisir waktu respons maupun memaksimalkan jangkauan pelayanan, seperti yang dilakukan oleh [23] melakukan penelitian terdahulu dengan mengaplikasikan model lokasi untuk menentukan pos pemadam kebakaran di Rotterdam, yang kemudian diikuti oleh [12], [24], [25], [26] dengan pendekatan *location-allocation*, kemudian [19] dengan menambahkan status lalu lintas menggunakan API lalu lintas, dan kemudian penelitian lain yang berkembang juga dengan melibatkan variabel bobot dari titik permintaan (*demand*) akan pos kebakaran, seperti oleh [27], menggunakan *travel time-based clustering* dan *maximum coverage problem* berbasis prediksi permintaan dan *service quality indexes* dan [28] dengan mempertimbangkan *potential fire risk places* (lokasi potensial risiko kebakaran) terhadap penentuan jumlah pos minimum dan jangkauan maksimum. Selain perlu mempertimbangkan jaringan jalan, penentuan lokasi pos pemadam kebakaran juga perlu untuk mempertimbangkan hambatan lalu lintas, seperti viaduk, cabang pohon, kemacetan, persimpangan, dan perlintasan kereta api, serta dimensi jalan, yaitu dengan standar lebar 5 meter untuk memenuhi manuver truk tangga udara dengan dimensi rata-rata panjang 12 meter, lebar 2,5 meter, dan tinggi 3,9 meter, sebagaimana yang dijelaskan oleh [3], namun belum pernah dilakukan pada penelitian sebelumnya.

Alokasi pos pemadam kebakaran baru pada penelitian ini didasarkan pada pertimbangan aksesibilitas dan sebaran bangunan tinggi, di mana analisis yang digunakan adalah analisis *location-allocation* dari *network analysis*. Analisis ini didefinisikan sebagai sebuah proses pemilihan satu set fasilitas yang paling sesuai dengan permintaan dari daerah sekitarnya, di mana metode ini dapat menempatkan fasilitas dan mengalokasikan poin permintaan ke fasilitas [29] dengan metode optimasi yang digunakan yaitu *Maximize Coverage and Minimize Facilities* karena metodenya yang cocok untuk penentuan lokasi optimal dalam memaksimalkan jangkauan pos pemadam kebakaran baru dengan meminimalkan fasilitas sesedikit mungkin, sekaligus memaksimalkan jangkauan yang bisa dicapai dari pos pemadam kebakaran. Selain itu, penelitian ini mempertimbangkan hambatan lalu lintas permanen, yaitu viaduk sebagaimana yang dijelaskan oleh [3]. Pendekatan multi-skenario dilakukan dengan tujuan untuk

mengevaluasi berbagai alternatif lokasi baru untuk pos pemadam kebakaran. Dengan memanfaatkan simulasi kecepatan respon optimal, hasil skenario tersebut akan dapat ditemukan solusi terbaik yang mampu meningkatkan cakupan pelayanan dan memastikan bahwa setiap bangunan tinggi berada dalam jangkauan waktu respon yang ideal guna memaksimalkan penanganan kebakaran berbasis *rapid assessment*. Pada gambar 2 disajikan diagram alir dan metode yang digunakan.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

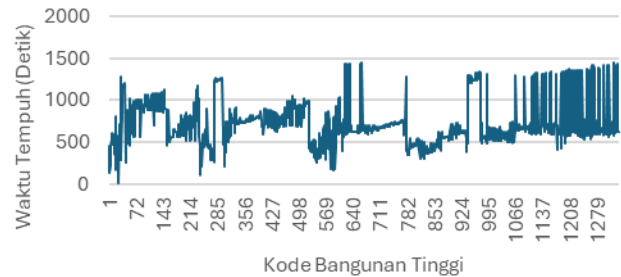
III. HASIL PENELITIAN

A. Waktu Tempuh Real-Time Pos Pemadam Kebakaran dan Bangunan Tinggi

Waktu Tempuh Real-Time Pos Pemadam Kebakaran dan Bangunan Tinggi Eksisting

Waktu tempuh yang dibutuhkan oleh pos pemadam kebakaran menuju ke bangunan tinggi sangat menentukan risiko keselamatan dari kejadian kebakaran yang fatal. Waktu tempuh secara *real-time* dihitung dengan menggunakan *Google Maps API*, yaitu *Distance Matrix API* yang diakuisisi melalui skrip VBA di *Excel Macro-Enabled Workbook* yang diamati pada jam puncak pagi, siang, dan sore di hari kerja dan hari libur. Dari perolehan data-data yang ada, kemudian dilakukan perhitungan untuk mencari rata-rata waktu tempuh yang diperlukan secara *real-time* menuju ke bangunan tinggi eksisting dan juga proporsi keterjangkauan bangunan tinggi apabila menggunakan standar waktu tempuh 4 menit, yang mana diketahui bahwa dengan mengandalkan waktu tempuh pada kondisi lalu lintas eksisting hanya dapat menjangkau 1%

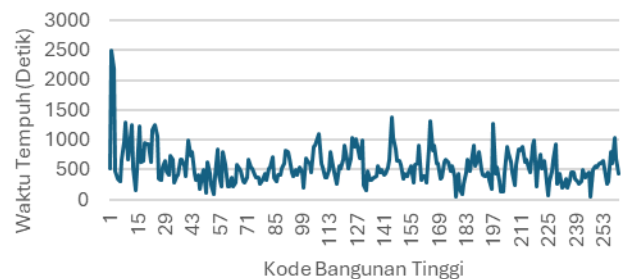
(14 bangunan) dari total 1.335 bangunan tinggi dengan standar waktu 4 menit. Pada gambar 3 ditunjukkan nilai rata-rata waktu tempuh pos pemadam kebakaran menuju bangunan tinggi eksisting.



Gambar 3. Nilai rata-rata waktu tempuh pos pemadam kebakaran menuju bangunan tinggi eksisting

Waktu Tempuh Real-Time Pos Pemadam Kebakaran dan Zona Ketinggian Bangunan (Bangunan Tinggi Rencana)

Kemudian, dilakukan perhitungan untuk mencari waktu tempuh yang dibutuhkan oleh pos pemadam kebakaran menuju ke indikasi bangunan tinggi berdasarkan zona ketinggian bangunan rencana, yang sangat penting untuk memastikan bahwa alokasi bangunan tinggi dapat dijangkau dalam waktu yang sesuai dengan standar keselamatan. Dari perolehan data-data yang ada, dilakukan juga perhitungan rata-rata waktu tempuh yang diperlukan secara *real-time* menuju ke bangunan tinggi eksisting dan juga proporsi keterjangkauan bangunan tinggi apabila menggunakan standar waktu tempuh 4 menit dengan amatan pada jam puncak pagi, siang, dan sore di hari kerja dan hari libur. Pada gambar 4 ditunjukkan nilai rata-rata waktu tempuh pos pemadam kebakaran menuju bangunan tinggi rencana.

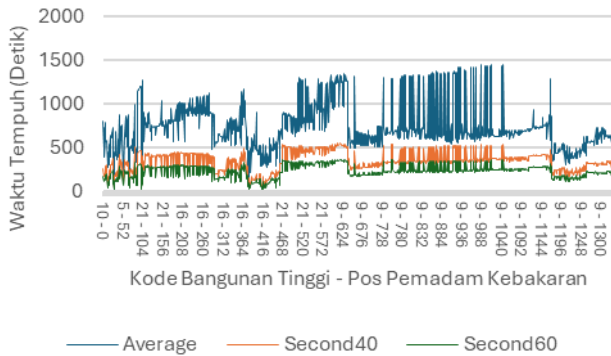


Gambar 4. Nilai rata-rata waktu tempuh pos pemadam kebakaran menuju indikasi bangunan tinggi rencana

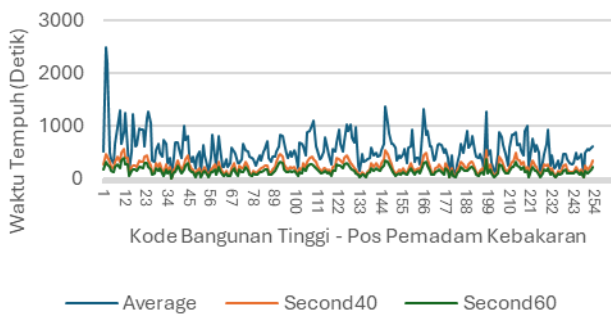
Diketahui bahwa dengan mengandalkan waktu tempuh pada kondisi lalu lintas eksisting hanya dapat menjangkau 8,75% (23 titik bangunan tinggi) dari total bangunan tinggi dengan standar waktu 4 menit. Hal ini berarti bahwa sistem respon darurat yang ada saat ini tidak cukup efektif dalam menangani keadaan darurat di sebagian besar bangunan tinggi, yang mengindikasikan adanya kebutuhan mendesak untuk perbaikan infrastruktur dan manajemen lalu lintas.

B. Waktu Tempuh Berdasarkan Kecepatan Ideal Pos Pemadam Kebakaran dan Bangunan Tinggi

Berdasarkan hasil wawancara dengan Dinas Pemadam Kebakaran dan Penyelamatan Kota Surabaya, terdapat kecepatan ideal yang perlu dipertahankan oleh mobil pemadam kebakaran agar dapat melayani dengan optimal. Kecepatan minimal yang direkomendasikan adalah 40 km/jam, sedangkan kecepatan maksimal adalah 60 km/jam. Kecepatan ini dipilih dengan mempertimbangkan beban atau tangki air yang dibawa oleh kendaraan pemadam, sehingga kendaraan tidak terbalik tetapi tetap memiliki kecepatan yang efisien. Pada penelitian ini dilakukan perhitungan waktu tempuh yang diperlukan apabila menggunakan kecepatan ideal minimal dan maksimal. Pada gambar 5 dan 6 disajikan perbandingan waktu tempuh antara penggunaan kecepatan ideal dan kecepatan *real-time*.



Gambar 5. Waktu tempuh berdasarkan kecepatan ideal menuju bangunan tinggi eksisting



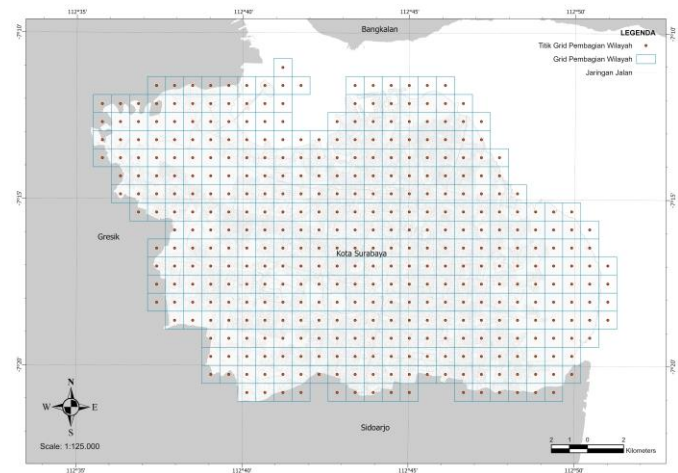
Gambar 6. Waktu tempuh berdasarkan kecepatan ideal menuju indikasi bangunan tinggi rencana

Berdasarkan hasil analisis, waktu tempuh yang dibutuhkan untuk menuju ke bangunan tinggi eksisting maupun indikasi zona ketinggian bangunan menurun drastis dan meningkatkan jumlah bangunan yang terjangkau. Untuk bangunan tinggi eksisting, jumlah bangunan terjangkau meningkat dari 1,05% (14 unit) menjadi 19,18% (256 unit) dengan kecepatan minimal, dan 59,10% (789 unit) dengan menggunakan kecepatan maksimal. Dan untuk indikasi zona ketinggian bangunan, jumlah bangunan terjangkau meningkat dari 8,75% (23 unit) menjadi 61,22% (161 unit) dengan kecepatan

minimal, dan 87,07% (229 unit) dengan menggunakan kecepatan maksimal. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan respons mobil pemadam kebakaran memiliki dampak signifikan terhadap kemampuan menjangkau bangunan tinggi dalam waktu yang ditetapkan.

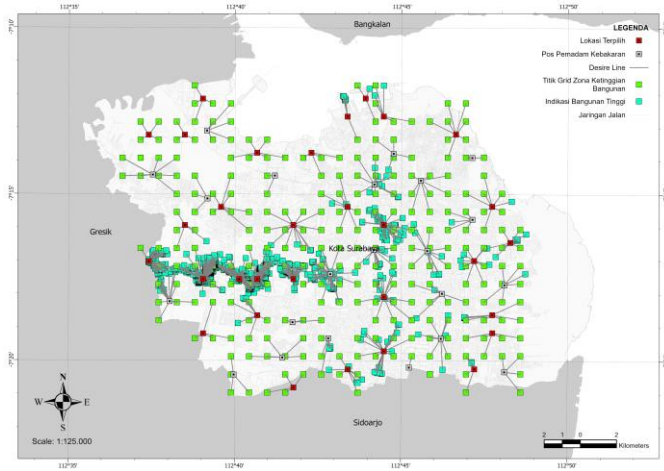
C. Multi-Skenario Alokasi Pos Pemadam Kebakaran Baru

Dalam menentukan kandidat lokasi pos pemadam baru, dilakukan pembagian wilayah ke dalam grid 1000x1000 meter. Pembagian ini bertujuan untuk memetakan area dengan lebih detail dan mengidentifikasi lokasi strategis yang dapat meningkatkan jangkauan dan kecepatan respon. Pada gambar 7 disajikan pembagian wilayah ke dalam grid sebagai kandidat lokasi pos pemadam kebakaran baru.

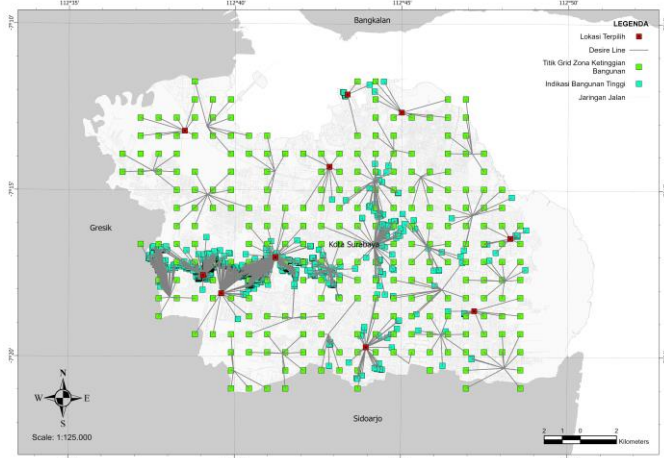


Gambar 7. Pembagian wilayah berdasarkan grid 1000x1000 meter sebagai kandidat lokasi pos pemadam kebakaran baru

Dengan mendapatkan kandidat lokasi pos pemadam kebakaran berdasarkan grid tersebut, maka dilakukan analisis untuk menghitung jumlah fasilitas yang diperlukan untuk mencapai standar waktu tempuh 4 menit terhadap bangunan tinggi eksisting dan indikasi zona ketinggian bangunan dan diperoleh perbandingan untuk tiap skenarionya. Dari hasil analisis didapatkan bahwa pada kecepatan minimal, dibutuhkan setidaknya 31 fasilitas baru untuk mencapai keseluruhan bangunan tinggi dan indikasi zona ketinggian bangunan dengan waktu tempuh 4 menit, sedangkan pada kecepatan maksimal dibutuhkan hanya 10 fasilitas baru. Berikut merupakan peta dari skenario jumlah penambahan pos pemadam kebakaran baru yang optimal yang disajikan pada gambar 8 dan 9.



Gambar 8. Alokasi fasilitas ideal pos pemadam kebakaran baru untuk kecepatan minimal (31 fasilitas baru)



Gambar 9. Alokasi fasilitas ideal pos pemadam kebakaran baru untuk kecepatan maksimal (10 fasilitas baru)

Setelah menggunakan perhitungan berdasarkan jumlah fasilitas ideal, kemudian dilakukan analisis untuk menemukan skenario alokasi fasilitas baru berdasarkan jumlah lebih kecil dari jumlah ideal. Dengan demikian diperoleh jumlah bangunan terjangkau pada standar waktu 4 menit dari simulasi kecepatan maksimum dan minimum yang disajikan pada tabel 1

Tabel 1.

Keterjangkauan bangunan tinggi berdasarkan multi-skenario kecepatan maksimum dan minimum dalam standar 4 menit

Jumlah Fasilitas Baru	Kecepatan 40 km/jam		Kecepatan 60 km/jam	
	Bangunan Tinggi Terjangkau	Presentase Keterjangkauan	Bangunan Tinggi Terjangkau	Presentase Keterjangkauan
1	1185	74,16%	1560	97,62%
2	1364	85,36%	1571	98,31%
3	1445	90,43%	1577	98,69%
4	1465	91,68%	1582	99,00%
5	1487	93,05%	1587	99,31%
6	1499	93,80%	1590	99,50%
7	1510	94,49%	1592	99,62%
8	1520	95,12%	1594	99,75%
9	1526	95,49%	1594	99,75%
10	1532	95,87%	1596	99,87%
11	1539	96,31%		

12	1545	96,68%
13	1551	97,06%
14	1556	97,37%
15	1559	97,56%
16	1565	97,93%
17	1569	98,19%
18	1572	98,37%
19	1575	98,56%
20	1578	98,75%
21	1581	98,94%
22	1583	99,06%
23	1586	99,25%
24	1588	99,37%
25	1590	99,50%
26	1591	99,56%
27	1592	99,62%
28	1593	99,69%
29	1594	99,75%
30	1595	99,81%
31	1596	99,87%

. Dari tabel tersebut, terlihat bahwa penambahan jumlah fasilitas baru secara signifikan meningkatkan persentase keterjangkauan bangunan tinggi dalam waktu standar 4 menit, baik pada kecepatan minimal 40 km/jam maupun maksimal 60 km/jam. Dengan hanya satu fasilitas baru, persentase keterjangkauan meningkat dari 74,16% (40 km/jam) menjadi 97,62% (60 km/jam). Dengan mengetahui jumlah dan persentase bangunan tinggi yang dapat terjangkau dalam waktu 4 menit oleh kendaraan pemadam kebakaran, maka perencanaan dan alokasi pos pemadam kebakaran baru dapat dilakukan dengan lebih efektif dan efisien, serta dapat memberikan gambaran yang lebih baik.

Pada penelitian ini juga dilakukan perbandingan pengambilan keputusan terkait jumlah fasilitas pos baru yang perlu diadakan secara *rapid assessment* (pendugaan cepat) dengan membandingkan biaya yang perlu dikeluarkan untuk tiap skenario untuk mengetahui skenario paling optimal dalam penyediaan pos pemadam kebakaran baru. Mengutip dari [30], biaya yang perlu dikeluarkan untuk pembangunan stasiun (pos) pemadam kebakaran berkisar antara 2 juta – 10 juta dolar atau Rp 32.570.000.000,00 – Rp 162.850.000.000,00. Dengan mengambil biaya yang paling minimal (Rp 32.570.000.000) kemudian dilakukan perbandingan kebutuhan biaya yang diperlukan untuk membangun stasiun pemadam kebakaran dan presentase keterjangkauan yang dapat diraih. Pada kecepatan 40 km/jam, fasilitas baru ke-16 memberikan keterjangkauan sebesar 97,93% dengan biaya yang sangat signifikan, yaitu Rp 521.120.000.000,00. Biaya ini mencerminkan investasi besar yang harus dikeluarkan untuk mencapai hampir 98% keterjangkauan pada kecepatan yang lebih lambat. Di sisi lain, pada kecepatan 60 km/jam, fasilitas baru ke-1 saja sudah mampu memberikan keterjangkauan yang hampir sama, yaitu 97,62%, dengan biaya yang jauh lebih rendah, hanya Rp 32.570.000.000,00. Sehingga, dengan mempertimbangkan biaya dan keterjangkauan, direkomendasikan untuk memulai dengan 1 fasilitas baru. Pada kecepatan 60 km/jam, ini sudah cukup untuk mencakup hampir 98% bangunan tinggi, dan jika perlu peningkatan lebih lanjut, fasilitas tambahan dapat dipertimbangkan. Perbedaan

yang mencolok ini menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan respon kendaraan pemadam kebakaran dapat secara signifikan mengurangi kebutuhan akan jumlah fasilitas baru dan biaya yang terkait.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Sebagai kota metropolitan yang terus mengalami perkembangan bangunan tinggi, penyediaan pos pemadam kebakaran dalam rangka mitigasi bencana kebakaran yang fatal dan dengan kasus khusus diperlukan di Kota Surabaya. Hasil penelitian ini menjelaskan bahwa dalam konteks jangkauan pos pemadam kebakaran eksisting dengan standar waktu 4 menit, kondisi lalu lintas eksisting di Kota Surabaya hanya memungkinkan terjangkau hanya 1% bangunan tinggi eksisting dan 8,75% indikasi zona bangunan tinggi rencana, yang menunjukkan tidak memadainya kondisi lalu lintas saat ini untuk memastikan respon cepat terhadap kejadian darurat di bangunan tinggi. Peningkatan kecepatan respon dari rata-rata kondisi lalu lintas eksisting ke kecepatan ideal maksimum (60 km/jam) secara signifikan meningkatkan jangkauan layanan pemadam kebakaran terhadap bangunan tinggi, menunjukkan bahwa optimasi kecepatan dan penempatan strategis pos pemadam kebakaran sangat krusial untuk meningkatkan efisiensi dan cakupan layanan darurat di kawasan dengan bangunan tinggi. Kendati dengan menggunakan kecepatan maksimum, masih terdapat bangunan yang tidak terjangkau sebesar 13% untuk indikasi zona ketinggian bangunan dan 41% untuk bangunan tinggi eksisting, menunjukkan perlunya alokasi dan penempatan strategis pos pemadam kebakaran tambahan untuk memastikan cakupan penuh dan efektivitas tanggapan darurat di seluruh area.

Dengan adanya alokasi pos pemadam kebakaran yang dilakukan pada penelitian ini menunjukkan bahwa kecepatan respons yang lebih tinggi (60 km/jam) secara signifikan meningkatkan keterjangkauan bangunan tinggi dengan jumlah fasilitas baru yang lebih sedikit dibandingkan kecepatan 40 km/jam, berarti bahwa jumlah fasilitas baru meningkatkan keterjangkauan bangunan tinggi, tetapi efisiensinya bervariasi tergantung pada kecepatan respons. Untuk mencapai keterjangkauan 100%, diperlukan 31 fasilitas baru pada kecepatan 40 km/jam, sedangkan hanya diperlukan 10 fasilitas baru pada kecepatan 60 km/jam. Selain itu, dari sisi peningkatan keterjangkauan menunjukkan tren linier dengan setiap penambahan fasilitas baru, namun laju peningkatannya mulai melambat dan mencapai plateau setelah jumlah fasilitas tertentu, menunjukkan bahwa fasilitas tambahan setelah titik ini memberikan dampak minimal. Perhitungan *rapid assessment* dengan mempertimbangkan biaya pembangunan pos pemadam kebakaran baru menunjukkan bahwa skenario yang paling optimal untuk peningkatan efisiensi dan keterjangkauan layanan pemadam kebakaran adalah dengan menambahkan 1 pos pemadam kebakaran baru dengan adanya intervensi agar dapat mempertahankan kecepatan ideal di 60 km/jam.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wikipedia, "Daftar bangunan tertinggi di Surabaya," Wikipedia. Accessed: Sep. 10, 2023. [Online]. Available: https://id.wikipedia.org/wiki/Daftar_bangunan_tertinggi_di_Surabaya#cite_note-skyscrapercity.com-25
- [2] T. M. Ferreira, "Current Advances on the Assessment and Mitigation of Fire Risk in Buildings and Urban Areas—First Edition," *Fire*, vol. 6, no. 12, p. 454, Nov. 2023, doi: 10.3390/fire6120454.
- [3] I. D. Septanaya, P. Ariastita, F. Firmansyah, and F. Rizky Ramadhana, "Selecting The Best Route for Aerial Ladder Truck to Speed Up Response Time in High-Rise Buildings Located in Unprotected and High Fire Risk Areas," *Jurnal Penataan Ruang*, vol. 16, pp. 110–118, Nov. 2021, doi: 10.12962/j2716179X.v16i2.9916.
- [4] S. Salem, *Fire Safety Measures and Design of High-rise Buildings*. 2014.
- [5] L. Hu, J. A. Milke, and B. Merzi, "Special Issue on Fire Safety of High-Rise Buildings," *Fire Technol*, vol. 53, no. 1, pp. 1–3, Jan. 2017, doi: 10.1007/s10694-016-0638-7.
- [6] DPKP, "Jumlah Kejadian Kebakaran Bangunan 2022," Surabaya, Jan. 2022.
- [7] F. Ramadani, "5 FAKTA Kebakaran Tunjungan Plaza Surabaya hingga Bakar Tulisan SOGO, Sebelumnya Terjadi Pada 2018," *surya.co.id*, Apr. 13, 2022.
- [8] P. H. Nyimbili and T. Erden, "GIS-based fuzzy multi-criteria approach for optimal site selection of fire stations in Istanbul, Turkey," *Socioecon Plann Sci*, vol. 71, p. 100860, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.seps.2020.100860.
- [9] T. Erden and M. Z. Coşkun, "Multi-criteria site selection for fire services: the interaction with analytic hierarchy process and geographic information systems," *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 10, no. 10, pp. 2127–2134, Oct. 2010, doi: 10.5194/nhess-10-2127-2010.
- [10] M. H. Vahidnia, H. Vahidi, M. G. Hassanabad, and M. Shafiei, "A Spatial Decision Support System Based on a Hybrid AHP and TOPSIS Method for Fire Station Site Selection," *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*, vol. 6, no. 2, p. 30, Dec. 2022, doi: 10.1007/s41651-022-00125-x.
- [11] W. Wang, "Site Selection of Fire Stations in Cities Based on Geographic Information System (GIS) and Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP)," *Ingénierie des systèmes d'information*, vol. 24, no. 6, pp. 619–626, Dec. 2019, doi: 10.18280/isi.240609.
- [12] S. Shahparvari, M. Fadaki, and P. Chhetri, "Spatial accessibility of fire stations for enhancing operational response in Melbourne," *Fire Saf J*, vol. 117, p. 103149, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.firesaf.2020.103149.
- [13] F. Nurzaman, M. Napitupulu, and S. Akbar, "Assessment of Fire Stations Distribution Using Geographic Information System Case Study in Jakarta Pusat," Jul. 2022.
- [14] K. KC, R. Ardianto, and S. Wang, "Examining fire service coverage and potential sites for fire station locations in Kathmandu, Nepal," *Urban Informatics*, vol. 3, Jul. 2024, doi: 10.1007/s44212-024-00050-y.
- [15] ESRI, "Closest facility analysis." Accessed: Feb. 13, 2024. [Online]. Available: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/network-analyst/closest-facility.htm>
- [16] F. Wang and Y. Xu, "Estimating O–D travel time matrix by Google Maps API: implementation, advantages, and implications," *Ann GIS*, vol. 17, no. 4, pp. 199–209, Dec. 2011, doi: 10.1080/19475683.2011.625977.
- [17] P. Macharia *et al.*, "Measuring geographic access to emergency obstetric care: a comparison of travel time estimates modelled using Google Maps Directions API and AccessMod in three Nigerian conurbations," *Geospat Health*, vol. 19, p. 1266, May 2024, doi: 10.4081/gh.2024.1266.
- [18] J. Haitao, J. Fengjun, H. Qing, Z. He, and Y. Xue, "Measuring Public Transit Accessibility Based On Google Direction API," *The Open Transportation Journal*, vol. 13, no. 1, pp. 93–108, Jul. 2019, doi: 10.2174/1874447801913010093.
- [19] Y. Chen, G. Wu, Y. Chen, and Z. Xia, "Spatial Location Optimization of Fire Stations with Traffic Status and Urban Functional Areas," *Appl Spat Anal Policy*, vol. 16, no. 2, pp. 771–788, Jun. 2023, doi: 10.1007/s12061-023-09502-5.

- [20] C. A. Wibowo, "Wawancara dengan Ketua Tim Kerja Operasional Pemadam Kebakaran Kota Surabaya," Apr. 2024.
- [21] Kristin Hazlett, "NFPA 1710 Summary," 2020. Accessed: Jul. 08, 2024. [Online]. Available: https://www.iaff.org/wp-content/uploads/English_Version_-_NFPA_1710_standards_DFSR_Summary_2022_new.pdf#:~:text=First%20engine%20arrive%20on%20scene%20%E2%89%A4%20240%20seconds,%E2%89%A4%20610%20sec%20%2810%20minutes%2C%2010%20%E2%80%A2%20seconds%29
- [22] D. Liu, Z. Xu, L. Yan, and F. Wang, "Applying Real-Time Travel Times to Estimate Fire Service Coverage Rate for High-Rise Buildings," *Applied Sciences*, vol. 10, no. 19, p. 6632, Sep. 2020, doi: 10.3390/app10196632.
- [23] J. A. M. Schreuder, "Application of a location model to fire stations in Rotterdam," *Eur J Oper Res*, vol. 6, no. 2, pp. 212–219, Feb. 1981, doi: 10.1016/0377-2217(81)90210-1.
- [24] D. Richard, H. Beguin, and D. Peeters, "The Location of Fire Stations in a Rural Environment: A Case Study," *Environment and Planning A: Economy and Space*, vol. 22, no. 1, pp. 39–52, Jan. 1990, doi: 10.1068/a220039.
- [25] J. A. Tali, D. S., and A. Nusrath, "Location–Allocation Model Applied to Urban Public Services: Spatial Analysis of Fire Stations in Mysore Urban Area Karnataka, India," *Indonesian Journal of Geography*, vol. 52, no. 2, p. 201, Sep. 2020, doi: 10.22146/ijg.25365.
- [26] S. Bolouri, A. Vafaiejad, A. Alesheikh, and H. Aghamohammadi, "The Ordered Capacitated Multi-Objective Location-Allocation Problem for Fire Stations Using Spatial Optimization," *ISPRS Int J Geoinf*, vol. 7, no. 2, p. 44, Jan. 2018, doi: 10.3390/ijgi7020044.
- [27] A. Dey, A. Heger, and D. England, "Urban fire station location planning using predicted demand and service quality index," *Int J Data Sci Anal*, vol. 15, no. 1, pp. 33–48, Jan. 2023, doi: 10.1007/s41060-022-00328-x.
- [28] M. Chen, K. Wang, Y. Yuan, and C. Yang, "A POIs Based Method for Location Optimization of Urban Fire Station: A Case Study in Zhengzhou City," *Fire*, vol. 6, no. 2, p. 58, Feb. 2023, doi: 10.3390/fire6020058.
- [29] ESRI, "ArcGIS Developers: Location-allocation." Accessed: Dec. 03, 2023. [Online]. Available: <https://developers.arcgis.com/documentation/mapping-apis-and-services/routing/location-allocation/>
- [30] J. Smith, "How Much Does a Fire Station Cost?," 2024, *Firefighter Insider*. [Online]. Available: <https://firefighterinsider.com/fire-station-cost/>