

Penggunaan Model *Set Covering Problem* dalam Penentuan Lokasi dan Jumlah Pos Pemadam Kebakaran

Darsih Idayani^{1)*}, Yesi Puspitasari²⁾, Lisma Dian Kartika Sari³⁾

^{1,2,3}STKIP PGRI Situbondo – Jl. Argopuro Gg. VII, Situbondo 68322

*Penulis Korespondensi : email: darsihidayani@stkipgri-situbondo.ac.id

Diterima : 8 Desember 2020, Direvisi : 9 Desember 2020, Disetujui : 14 Desember 2020.

Abstract

Over the past five years, the incidence of fires at the Situbondo Regency has increased. For the following years, the Situbondo district government plans to add new fire stations to reach areas that have not been or are difficult to reach by fire and rescue unit personnel. In the construction plan for a new fire station, we need to construct a model that can determine where and how many new fire stations. This research aims to determine the optimal location and number of fire stations taking into account dispatch time, construction cost, and fire toll in Situbondo district using the set covering problem model. Furthermore, we find the solution of the model by using the branch and bound method compiled from the GAMS optimization software. The optimal solution of the set covering problem model which minimizes the opening cost of the fire station as the objective function is, and each equal to 1 with Z equal to 6. Based on the result, the optimal location of the fire station in Situbondo district is in the sub-districts of Banyuglugur, Mlandingan, Bungatan, Panji, Kapongan, and Arjasa, each with a type C station. Currently, Situbondo district fire stations are located in Panji (type A), Asembagus (type C), and Besuki (type C) sub-districts. The costs incurred for the construction of the three fire stations are 7. The total cost of new fire station construction in the optimization model is less than the cost issued at this time.

Keywords: set covering problem, branch and bound, fire station location, GAMS.

Abstrak

Selama lima tahun terakhir, kejadian kebakaran di Kabupaten Situbondo meningkat. Beberapa tahun kedepan, Pemerintah Kabupaten Situbondo berencana akan menambah pos baru untuk menjangkau daerah-daerah yang selama ini belum atau sulit dijangkau oleh personil UPT Pemadam Kebakaran dan Penyelamatan. Dalam rencana pembangunan pos pemadam kebakaran baru dibutuhkan metode yang tepat untuk menentukan dimana dan jumlah lokasi pos pemadam kebakaran baru yang strategis. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan lokasi dan jumlah pos pemadam kebakaran yang optimal dengan mempertimbangkan waktu tempuh, biaya pembangunan, dan rekam jejak terjadinya kebakaran di Kabupaten Situbondo menggunakan model set-covering problem. Selanjutnya, model tersebut diselesaikan menggunakan metode branch and bound dengan menggunakan software optimasi GAMS. Penyelesaian model optimasi Set Covering Problem yang meminimalkan fungsi objektif biaya pembukaan pos pemadam kebakaran adalah, dan masing-masing sama dengan 1 dengan nilai Z adalah 6. Berdasarkan hasil tersebut lokasi pos pemadam kebakaran yang optimal di Kabupaten Situbondo adalah di Kecamatan Banyuglugur, Mlandingan, Bungatan, Panji, Kapongan, dan Arjasa yang masing-masing dengan tipe pos pemadam kebakaran C. Saat ini lokasi pos pemadam kebakaran yang dimiliki oleh UPT Pemadam Kebakaran dan Penyelamatan Kabupaten Situbondo terletak di 3 lokasi, yaitu Kecamatan Panji (tipe A), Kecamatan Asembagus (tipe C), dan Kecamatan Besuki (tipe C), maka biaya yang dikeluarkan untuk pembangunan ketiga pos pemadam kebakaran tersebut adalah 7. Total biaya pembangunan pos pemadam kebakaran baru pada model optimasi lebih kecil daripada biaya yang dikeluarkan saat ini.

Kata Kunci: set covering problem, branch and bound, lokasi pos pemadam kebakaran, GAMS.

1. PENDAHULUAN

Akhir-akhir ini jumlah kejadian kebakaran di Kabupaten Situbondo meningkat seperti yang diberitakan melalui koran-koran dan berita *online*. Peristiwa tersebut telah membuat kenyamanan dan keamanan warga Situbondo terganggu. Pemerintah Kabupaten Situbondo melalui UPT Pemadam Kebakaran dan Penyelamatan memiliki tanggung jawab atas kenyamanan dan keamanan masyarakat Situbondo. UPT Pemadam Kebakaran dan Penyelamatan terletak di Jalan Madura Nomor 17 Kecamatan Panji, Jalan Raya Asembagus Nomor 79 Kecamatan Asembagus, dan Jalan Raya Situbondo Nomor 59 Kecamatan Besuki. Dengan adanya 7 unit mobil pemadam kebakaran dan 75 personil yang tersebar di 3 stasiun pemadam kebakaran (34 orang di Panji, 19 orang di Besuki, dan 22 orang Asembagus) [1], UPT Pemadam Kebakaran dan Penyelamatan Kabupaten Situbondo berusaha melayani masyarakat dengan optimal. Namun, terdapat beberapa kendala yang dapat menggagalkan proses pemadaman kebakaran. Selama ini kendala yang terjadi tidak hanya diakibatkan oleh peralatan yang kurang memadai untuk mengatasi bencana yang datang secara tiba-tiba, tetapi juga karena banyaknya waktu yang dibutuhkan untuk menempuh perjalanan ke lokasi kebakaran. Beberapa tahun ke depan Pemerintah Kabupaten Situbondo berencana akan menambah pos baru untuk menjangkau daerah-daerah yang selama ini belum atau sulit dijangkau oleh personil UPT Pemadam Kebakaran dan Penyelamatan.

Penambahan pos baru perlu dipersiapkan dengan matang agar daerah yang selama ini belum terjangkau dapat dipenuhi. Oleh karena itu, dibutuhkan metode yang tepat untuk menentukan dimana dan jumlah lokasi pos pemadam kebakaran baru yang strategis. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah pemrograman linier. Pemrograman linier adalah salah satu metode matematika yang bertujuan mengoptimalkan fungsi tujuan dengan keterbatasan yang ada yang disebut dengan konstrain. Dalam pemrograman linier terdapat model *set covering problem* yang dapat digunakan untuk memodelkan penentuan lokasi dan jumlah pos pemadam kebakaran.

Terdapat beberapa penelitian terdahulu yang membahas mengenai pemilihan lokasi stasiun pemadam kebakaran dengan pemrograman linier. Araz, dkk membahas mengenai masalah pemilihan lokasi kendaraan untuk layanan darurat yang dimodelkan menggunakan model *multi-objective maximal covering location* [2]. Chevalier, dkk mengilustrasikan alat operasional untuk menentukan lokasi, alokasi perlengkapan, penyusunan pegawai, waktu respon, dan lain sebagainya yang dapat digunakan untuk rencana pengorganisasian ulang stasiun pemadam kebakaran [3]. Jasriadi, Iriana, dan Djuniati menganalisis lokasi dan jumlah stasiun pemadam kebakaran Kota Pekanbaru menggunakan SIG (Sistem Informasi Geografis) [4].

Bahri mengkonstruksikan model stasiun pemadam kebakaran [5]. Model tersebut digunakan untuk menentukan jumlah minimal stasiun pemadam kebakaran yang ada di Padang dengan mempertimbangkan waktu tempuh dari pos pemadam kebakaran ke lokasi kejadian [5]. Namun selain waktu tempuh banyak hal yang harus dipertimbangkan dalam menentukan lokasi dan jumlah pos pemadam kebakaran.

Oleh karena itu, dalam penelitian ini ditentukan lokasi pos pemadam kebakaran yang optimal dengan mempertimbangkan waktu tempuh, biaya pembangunan, dan rekam jejak terjadinya kebakaran di Kabupaten Situbondo. Permasalahan dimodelkan menggunakan model *set covering problem* [6]. Selanjutnya, model tersebut diselesaikan menggunakan metode *branch and bound* sehingga ditemukan solusi optimal. Dalam menyelesaikan model tersebut digunakan *software* optimasi GAMS. Solusi yang diperoleh dari penelitian ini dibandingkan dengan solusi yang diperoleh tanpa menggunakan model matematika untuk melihat apakah solusi yang ditawarkan lebih baik atau tidak.

2. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini dilakukan studi literatur untuk mempelajari teori yang berkaitan dengan pemrograman linier, khususnya *set covering problem* dan aplikasinya. Selain itu juga dipelajari mengenai bagaimana penyelesaiannya menggunakan metode *branch and bound*. Pengumpulan data terkait UPT Pemadam Kebakaran dan Penyelamatan dilakukan dengan metode wawancara dan dokumentasi. Metode wawancara dilakukan secara terstruktur terhadap Kepala UPT Pemadam Kebakaran dan Penyelamatan serta Koordinator Lapangan. Teknik dokumentasi dilakukan untuk mendapatkan data-data yang mendukung penelitian ini. Data yang diperoleh berupa rekam jejak kejadian kebakaran di Kabupaten Situbondo, waktu tempuh normal dari pos pemadam kebakaran terdekat ke kecamatan-kecamatan, serta perkiraan biaya pembangunan pos baru.

Selanjutnya dibentuk model optimasi penentuan lokasi dan jumlah pos pemadam kebakaran menggunakan model *set covering problem* berdasarkan data yang diperoleh pada tahap sebelumnya. Model optimasi dalam penentuan lokasi dan jumlah pos pemadam kebakaran diselesaikan dengan menggunakan metode *branch and bound* untuk mengetahui dimana lokasi yang tepat dan jumlah pos pemadam kebakaran baru yang harus dibangun. Penyelesaian diperoleh dengan menggunakan *software* optimasi GAMS.

Jika dibandingkan dengan *software* optimasi yang lainnya, GAMS dan AMPL mempunyai pernyataan model yang sama tetapi AMPL mempunyai model dan data *input file* yang terpisah.

Sedangkan MINOS mempunyai *input file* yang lebih rumit [7]. RSM menyarankan lima belas pengaturan optimal berbeda yang validasinya cukup mahal dan memberatkan. Sedangkan GAMS menyarankan pengaturan optimal tunggal yang membuatnya lebih ekonomis terutama untuk sistem skala besar. Selain itu, pengoptimalan berbasis GAMS memberikan hasil yang lebih akurat dan andal saat divalidasi secara eksperimental dibandingkan dengan solusi berbasis RSM [8].

Model Set Covering Problem

Model *set covering problem* mempunyai tujuan untuk meminimalkan jumlah fasilitas, dimana setiap tuntutan tiap node (kecamatan) mempunyai paling tidak satu tempat fasilitas di lokasi dalam jarak atau waktu maksimum yang ditentukan [9]. Model *set covering problem* diformulasikan sebagai berikut [6].

Fungsi objektif

$$\min Z = \min \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} c_k x_{jk} \quad (1)$$

Fungsi kendala

$$\sum_{j \in N_i} \sum_{k \in K} r_k x_{jk} \geq f_i, \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$\sum_{k \in K} x_{jk} \leq 1, \quad \forall j \in J \quad (3)$$

$$x_{jk} \in \{0,1\} \quad \forall j \in J, \forall k \in K \quad (4)$$

dimana

I = himpunan kecamatan;

J = himpunan kandidat lokasi spot pemadam kebakaran (kecamatan)

K = himpunan kandidat tipe pos pemadam kebakaran, $\{A, B, C\} \in K$

c_k = biaya pembangunan pos pemadam kebakaran tipe k

r_k = kapasitas pos pemadam kebakaran tipe k per tahun

f_i = jumlah kejadian kebakaran di kecamatan i

d_{ij} = waktu yang dibutuhkan untuk menempuh kecamatan i dan j

S = waktu standar pos pemadam kebakaran di kecamatan j yang memenuhi untuk melayani kecamatan i

N_i = himpunan kecamatan j dalam waktu standar S , $N_i = \{j | d_{ij} \leq S\}$

x_{jk} = variabel keputusan biner (1 jika pos pemadam kebakaran dibuka di kecamatan j , 0 untuk yang lainnya)

Metode *Branch and Bound*

Algoritma *branch and bound* telah dikembangkan oleh A. Land dan G. Doig pada tahun 1960 untuk masalah pemrograman linier bilangan bulat campuran dan murni. Kemudian pada tahun 1965, E. Balas mengembangkan algoritma tambahan untuk menyelesaikan pemrograman linier bilangan bulat dengan variabel bilangan biner murni (0 atau 1). Komputasi algoritma tambahan sangat sederhana (sebagian besar jumlahan dan pecahan) yang awalnya diperkirakan akan menjadi terobosan dalam solusi pemrograman linier bilangan bulat umum, tetapi gagal menghasilkan manfaat komputasional yang diinginkan. Selain itu, algoritma yang pada awalnya tidak ada hubungan dengan dengan teknik *branch and bound*, menjadi kasus khusus dari algoritma Land dan Doig umum [10].

Metode *branch and bound* adalah metode untuk menentukan solusi dari masalah pemrograman linier integer (*integer linear programming*) yang salah satunya adalah *set covering problem*. Prinsip penting dalam metode ini adalah jumlah solusi himpunan yang *feasible* dapat dibagi menjadi subset dari solusi yang lebih kecil. Subset tersebut kemudian dievaluasi secara sistematis hingga solusi terbaik ditemukan.

3.HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Model Optimasi

a. Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan pada persamaan (1) berdasarkan pada tujuan untuk meminimalkan biaya yang dikeluarkan dalam membangun pos pemadam kebakaran baru. Fungsi tujuan tersebut memiliki konstanta c_k dan variabel x_{jk} .

Tabel 1 Tipe Pos Pemadam Kebakaran

Tipe	Perkiraan Biaya Pembangunan (Rp)	Jumlah Mobil Damkar	Jumlah Pos Damkar yang Sudah Ada (2020)
A	5 M	5	1
B	2 M	2	0
C	1 M	1	2

Konstanta c_k merupakan biaya pembangunan pos pemadam kebakaran tipe k . Indeks k menotasikan himpunan kandidat tipe pos pemadam kebakaran yang akan dibangun. Dalam penelitian ini ada 3 tipe pos pemadam kebakaran, tipe A , B dan tipe C , maka $k = A, B, C$. Tipe A adalah pos pemadam kebakaran pusat yang berada di Kecamatan Panji yang memiliki 5 unit mobil pemadam kebakaran. Tipe B adalah pos pemadam kebakaran pembantu dengan 2 unit mobil pemadam kebakaran. Belum ada pos pemadam kebakaran tipe B . Tipe C adalah pos

pemadam kebakaran pembantu yang berada di dua kecamatan, yaitu Kecamatan Besuki dan Asembagus. Tiap pos pemadam kebakaran pembantu mempunyai 1 unit mobil pemadam kebakaran. Biaya pembangunan pos damkar ditunjukkan dalam Tabel 1.

Variabel x_{jk} merupakan variabel keputusan biner yang bernilai 1 jika pos pemadam kebakaran dibuka di kecamatan j dan 0 untuk yang lainnya. Indeks j menotasikan himpunan kandidat kecamatan-kecamatan yang mungkin menjadi lokasi pos pemadam kebakaran yang baru. Karena ada sebanyak 17 kecamatan maka $j = 1,2,3, \dots, 17$ maka variabel x_{jk} dapat dirinci sebagai berikut.

x_{1k} = Kecamatan Sumbermalang	x_{11k} = Kecamatan Mangaran
x_{2k} = Kecamatan Jatibanteng	x_{12k} = Kecamatan Panji*
x_{3k} = Kecamatan Banyuglugur	x_{13k} = Kecamatan Kapongan
x_{4k} = Kecamatan Besuki*	x_{14k} = Kecamatan Arjasa
x_{5k} = Kecamatan Suboh	x_{15k} = Kecamatan Jangkar
x_{6k} = Kecamatan Mlandingan	x_{16k} = Kecamatan Asembagus*
x_{7k} = Kecamatan Bungatan	x_{17k} = Kecamatan Banyuputih
x_{8k} = Kecamatan Kendit	
x_{9k} = Kecamatan Panarukan	
x_{10k} = Kecamatan Situbondo	

dengan *) adalah lokasi pos pemadam kebakaran saat ini.

Sehingga fungsi tujuan (1) menjadi

$$\begin{aligned} \min Z = & 5x_{1A} + 2x_{1B} + x_{1C} + 5x_{2A} + 2x_{2B} + x_{2C} + 5x_{3A} + 2x_{3B} + x_{3C} + 5x_{4A} + 2x_{4B} \\ & + x_{4C} + 5x_{5A} + 2x_{5B} + x_{5C} + 5x_{6A} + 2x_{6B} + x_{6C} + 5x_{7A} + 2x_{7B} + x_{7C} + 5x_{8A} \\ & + 2x_{8B} + x_{8C} + 5x_{9A} + 2x_{9B} + x_{9C} + 5x_{10A} + 2x_{10B} + x_{10C} + 5x_{11A} + 2x_{11B} \\ & + x_{11C} + 5x_{12A} + 2x_{12B} + x_{12C} + 5x_{13A} + 2x_{13B} + x_{13C} + 5x_{14A} + 2x_{14B} + x_{14C} \\ & + 5x_{15A} + 2x_{15B} + x_{15C} + 5x_{16A} + 2x_{16B} + x_{16C} + 5x_{17A} + 2x_{17B} + x_{17C} \end{aligned} \quad (5)$$

b. Kendala Pertama: Jumlah Kejadian Kebakaran

Kendala (2) merepresentasikan kendala jumlah kebakaran. Sebuah pos pemadam kebakaran harus dapat menangani kejadian kebakaran lebih atau sama dengan jumlah kebakaran yang diperkirakan akan terjadi melalui peramalan. Terdapat hal lain yang diperhatikan dalam kendala ini, yaitu waktu tanggap respon dan kapasitas pos pemadam kebakaran.

Waktu tanggap respon terdiri atas waktu pengiriman pasukan dan sarana pemadam kebakaran (*dispatch time*), waktu perjalanan menuju lokasi kebakaran, dan waktu menggelar

sarana pemadam kebakaran sampai siap untuk melaksanakan pemadaman [11]. Waktu tanggap respon untuk menjangkau lokasi kejadian kebakaran berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 20/PRT/M/2009 tentang Pedoman Teknis Manajemen Proteksi Kebakaran di Perkotaan maksimal 15 menit [11]. Sedangkan menurut Standar Operasional Prosedur (SOP) Penanganan Bencana Kebakaran, waktu tanggap untuk mencapai lokasi kejadian kebakaran di Wilayah Manajemen Kebakaran (WMK) daerah Jawa Timur maksimal 15 menit untuk pemukiman (rumah) dan 20 menit untuk lahan [12]. Waktu tanggap respon dihitung berdasarkan waktu tempuh dari pos damkar ke lokasi kejadian kebakaran.

Jika waktu tempuh rata-rata lebih dari 15 menit maka pos pemadam kebakaran tidak mungkin dibuka di kecamatan j dengan kata lain kecamatan j tidak menjadi kandidat kecamatan yang akan dibuka pos pemadam kebakaran yang baru. Oleh karena itu variabel keputusan biner $x_{jk} = 0$. Jika waktu tempuh rata-rata kurang dari atau sama dengan 15 menit maka pos pemadam kebakaran baru mungkin akan dibuka di kecamatan j . Oleh karena itu variabel keputusan biner $x_{jk} = 1$. Rincian variabel keputusan biner x_{jk} terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2 Variabel keputusan biner x_{jk}

	x_{1k}	x_{2k}	x_{3k}	x_{4k}	x_{5k}	x_{6k}	x_{7k}	x_{8k}	x_{9k}	x_{10k}	x_{11k}	x_{12k}	x_{13k}	x_{14k}	x_{15k}	x_{16k}	x_{17k}
x_{1k}	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{2k}	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{3k}	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{4k}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{5k}	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{6k}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
x_{7k}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
x_{8k}	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
x_{9k}	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
x_{10k}	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
x_{11k}	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
x_{12k}	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
x_{13k}	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
x_{14k}	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
x_{15k}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
x_{16k}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
x_{17k}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1

Bagir dan Buchori menjelaskan bahwa IFCAA (*International Fire Chiefs Association of Asia*), sebuah lembaga internasional pemadam kebakaran, menyebutkan standar pelayanan sebuah pos pemadam kebakaran adalah 30.000 penduduk, sedangkan 1 unit mobil dan 25 personil pemadam kebakaran bagi 10.000 penduduk dengan waktu tanggap terhadap kejadian kebakaran (*response time*) adalah 15 menit [13]. Namun hal tersebut tidak dapat disamaratakan

karena kondisi kepadatan penduduk yang berbeda. Apalagi jika kebakaran yang terjadi tidak hanya kebakaran di pemukiman penduduk tetapi kebakaran lahan dan hutan.

Sebenarnya banyak hal yang dapat mempengaruhi berapa kapasitas pos pemadam kebakaran seperti jarak, tingkat potensi kebakaran, karakteristik penduduk, dan lain-lain [13]. Kapasitas pos pemadam kebakaran setiap tipe diperoleh dari informasi dari UPT Pemadam Kebakaran dan Pelayanan dengan memperkirakan berapa banyak kejadian yang dapat ditangani dalam 1 tahun dengan mempertimbangkan banyaknya unit mobil pemadam kebakaran dan personil. Sebuah kejadian kebakaran di Situbondo membutuhkan 1-5 unit mobil damkar. Kebutuhan mobil pemadam kebakaran tidak dapat diperkirakan secara pasti karena tergantung pada besarnya kebakaran yang terjadi. Rata-rata untuk menangani kejadian kebakaran dengan cepat membutuhkan 3 unit mobil kebakaran. Namun personil juga mempengaruhi kecepatan penanganan kejadian kebakaran. Dalam waktu 1 tahun diperkirakan mempunyai kapasitas seperti yang tertera pada Tabel 3.

Tabel 3 Kapasitas Tahunan Setiap Tipe Pos

No	Tipe	Kapasitas
1	A	200
2	B	100
3	C	50

Banyaknya kejadian kebakaran di kecamatan j pada tahun t dapat diramalkan menggunakan fungsi eksponensial [14] berikut

$$f_{jt} = f_{j0}(1 + r)^n \quad (6)$$

dengan

f_{jt} = Jumlah kejadian kebakaran di kecamatan j pada tahun t

f_{j0} = Jumlah kejadian kebakaran awal di kecamatan j

r = Tingkat perubahan kejadian kebakaran

n = Periode perubahan kejadian kebakaran (selisih tahun awal (0) dan tahun t)

Pada persamaan (13), untuk mencari nilai $r = 0,394$ diperoleh dari rata-rata tingkat perubahan kejadian kebakaran selama 4 tahun terakhir dari 2015 sampai 2019 sehingga diperoleh

$$f_{jt} = f_{j0}(1 + 0,394)^n \quad (7)$$

Dari persamaan (14) diperoleh prediksi kejadian kebakaran pada tahun 2020 dengan f_{j0} adalah kejadian kebakaran tahun 2019 sehingga $n = 2024 - 2019 = 5$. Kejadian kebakaran pada tahun 2019 dan prediksi kejadian kebakaran tahun 2024 (f_{j2024}) ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Kejadian Kebakaran Tahun 2019 dan Prediksi Tahun 2024

No	Koridor	Kecamatan	Kejadian Kebakaran 2019	Kejadian Kebakaran 2024
1		Sumbermalang	0	0
2		Jatibanteng	2	10
3		Banyuglugur	5	26
4	Barat	Besuki	20	104
5		Suboh	2	10
6		Mlandingan	0	0
7		Bungatan	7	36
8		Kendit	6	31
9		Panarukan	31	161
10	Tengah	Situbondo	25	130
11		Mangaran	13	67
12		Panji	28	145
13		Kapongan	9	47
14		Arjasa	2	10
15	Timur	Jangkar	3	16
16		Asembagus	21	109
17		Banyuputih	10	52
Total			184	954

Berdasarkan Tabel 4 terlihat bahwa kejadian kebakaran terbanyak terjadi di Kecamatan Panarukan sedangkan di Kecamatan Sumbermalang dan Mlandingan tidak terjadi kebakaran. Pada prediksi kejadian kebakaran tahun 2024 terlihat melonjak hingga lima kali lipat dibandingkan tahun 2019. Faktor yang mungkin menjadi penyebabnya adalah pertumbuhan penduduk yang semakin tinggi sehingga menyebabkan kemungkinan kejadian kebakaran meningkat. Hal itu disebabkan oleh banyaknya kejadian kebakaran yang terjadi di daerah dengan kepadatan penduduk tinggi.

Kendala jumlah kejadian kebakaran merepresentasikan kendala pertidaksamaan (2). Kendala ini ada untuk memastikan jumlah pos pemadam kebakaran yang dibuka dapat mengatasi semua kejadian kebakaran dengan mempertimbangkan kapasitas pos pemadam kebakaran. Jadi kendala (2) dapat diuraikan menjadi 17 kendala. Karena terdapat 4 kendala yang sama maka menjadi 13 kendala, yaitu

$$\begin{aligned}
 &200x_{1A} + 100x_{1B} + 50x_{1C} + 200x_{2A} + 100x_{2B} + 50x_{2C} + 200x_{3A} + 100x_{3B} + \\
 &50x_{3C} + 200x_{4A} + 100x_{4B} + 50x_{4C} + 200x_{5A} + 100x_{5B} + 50x_{5C} + 200x_{6A} + \\
 &100x_{6B} + 50x_{6C} + 200x_{7A} + 100x_{7B} + 50x_{7C} \geq 186 \quad (8) \\
 &200x_{1A} + 100x_{1B} + 50x_{1C} + 200x_{2A} + 100x_{2B} + 50x_{2C} + 200x_{3A} + 100x_{3B} +
 \end{aligned}$$

$$50x_{3C} + 200x_{4A} + 100x_{4B} + 50x_{4C} + 200x_{5A} + 100x_{5B} + 50x_{5C} + 200x_{6A} + 100x_{6B} + 50x_{6C} + 200x_{7A} + 100x_{7B} + 50x_{7C} + 200x_{8A} + 100x_{8B} + 50x_{8C} \geq 217 \quad (9)$$

$$200x_{1A} + 100x_{1B} + 50x_{1C} + 200x_{2A} + 100x_{2B} + 50x_{2C} + 200x_{3A} + 100x_{3B} + 50x_{3C} + 200x_{4A} + 100x_{4B} + 50x_{4C} + 200x_{5A} + 100x_{5B} + 50x_{5C} + 200x_{6A} + 100x_{6B} + 50x_{6C} + 200x_{7A} + 100x_{7B} + 50x_{7C} + 200x_{8A} + 100x_{8B} + 50x_{8C} + 200x_{9A} + 100x_{9B} + 50x_{9C} \geq 378 \quad (10)$$

$$200x_{1A} + 100x_{1B} + 50x_{1C} + 200x_{2A} + 100x_{2B} + 50x_{2C} + 200x_{3A} + 100x_{3B} + 50x_{3C} + 200x_{4A} + 100x_{4B} + 50x_{4C} + 200x_{5A} + 100x_{5B} + 50x_{5C} + 200x_{6A} + 100x_{6B} + 50x_{6C} + 200x_{7A} + 100x_{7B} + 50x_{7C} + 200x_{8A} + 100x_{8B} + 50x_{8C} + 200x_{9A} + 100x_{9B} + 50x_{9C} + 200x_{10A} + 100x_{10B} + 50x_{10C} + 200x_{11A} + 100x_{11B} + 50x_{11C} + 200x_{12A} + 100x_{12B} + 50x_{12C} \geq 720 \quad (11)$$

$$200x_{2A} + 100x_{2B} + 50x_{2C} + 200x_{4A} + 100x_{4B} + 50x_{4C} + 200x_{5A} + 100x_{5B} + 50x_{5C} + 200x_{6A} + 100x_{6B} + 50x_{6C} + 200x_{7A} + 100x_{7B} + 50x_{7C} + 200x_{8A} + 100x_{8B} + 50x_{8C} + 200x_{9A} + 100x_{9B} + 50x_{9C} + 200x_{10A} + 100x_{10B} + 50x_{10C} + 200x_{11A} + 100x_{11B} + 50x_{11C} + 200x_{12A} + 100x_{12B} + 50x_{12C} + 200x_{13A} + 100x_{13B} + 50x_{13C} + 200x_{14A} + 100x_{14B} + 50x_{14C} \geq 751 \quad (12)$$

$$200x_{4A} + 100x_{4B} + 50x_{4C} + 200x_{6A} + 100x_{6B} + 50x_{6C} + 200x_{7A} + 100x_{7B} + 50x_{7C} + 200x_{8A} + 100x_{8B} + 50x_{8C} + 200x_{9A} + 100x_{9B} + 50x_{9C} + 200x_{10A} + 100x_{10B} + 50x_{10C} + 200x_{11A} + 100x_{11B} + 50x_{11C} + 200x_{12A} + 100x_{12B} + 50x_{12C} + 200x_{13A} + 100x_{13B} + 50x_{13C} + 200x_{14A} + 100x_{14B} + 50x_{14C} \geq 731 \quad (13)$$

$$200x_{6A} + 100x_{6B} + 50x_{6C} + 200x_{7A} + 100x_{7B} + 50x_{7C} + 200x_{8A} + 100x_{8B} + 50x_{8C} + 200x_{9A} + 100x_{9B} + 50x_{9C} + 200x_{10A} + 100x_{10B} + 50x_{10C} + 200x_{11A} + 100x_{11B} + 50x_{11C} + 200x_{12A} + 100x_{12B} + 50x_{12C} + 200x_{13A} + 200x_{11A} + x50x_{13C} + 200x_{14A} + 100x_{14B} + 50x_{14C} + 200x_{15A} + 100x_{15B} + 50x_{15C} \geq 643 \quad (14)$$

$$200x_{6A} + 100x_{6B} + 50x_{6C} + 200x_{7A} + 100x_{7B} + 50x_{7C} + 200x_{8A} + 100x_{8B} + 50x_{8C} + 200x_{9A} + 100x_{9B} + 50x_{9C} + 200x_{10A} + 100x_{10B} + 50x_{10C} + 200x_{11A} + 100x_{11B} + 50x_{11C} + 200x_{12A} + 100x_{12B} + 50x_{12C} + 200x_{13A} + 100x_{13B} + 50x_{13C} + 200x_{14A} + 100x_{14B} + 50x_{14C} \geq 627 \quad (15)$$

$$200x_{6A} + 100x_{6B} + 50x_{6C} + 200x_{7A} + 100x_{7B} + 50x_{7C} + 200x_{8A} + 100x_{8B} + 50x_{8C} + 200x_{9A} + 100x_{9B} + 50x_{9C} + 200x_{10A} + 100x_{10B} + 50x_{10C} + 200x_{11A} + 100x_{11B} + 50x_{11C} + 200x_{12A} + 100x_{12B} + 50x_{12C} + 200x_{13A} + 100x_{13B} + 50x_{13C} + 200x_{14A} + 100x_{14B} + 50x_{14C} + 200x_{15A} + 100x_{15B} +$$

$$50x_{15C} + 200x_{16A} + 100x_{16B} + 50x_{16C} \geq 752 \quad (16)$$

$$200x_{8A} + 100x_{8B} + 50x_{8C} + 200x_{9A} + 100x_{9B} + 50x_{9C} + 200x_{10A} + 100x_{10B} + \\
 50x_{10C} + 200x_{11A} + 100x_{11B} + 50x_{11C} + 200x_{12A} + 100x_{12B} + 50x_{12C} + \\
 200x_{13A} + 100x_{13B} + 50x_{13C} + 200x_{14A} + 100x_{14B} + 50x_{14C} + 200x_{15A} + \\
 100x_{15B} + 50x_{15C} + 200x_{16A} + 100x_{16B} + 50x_{16C} \geq 716 \quad (17)$$

$$200x_{8A} + 100x_{8B} + 50x_{8C} + 200x_{9A} + 100x_{9B} + 50x_{9C} + 200x_{10A} + 100x_{10B} + \\
 50x_{10C} + 200x_{11A} + 100x_{11B} + 50x_{11C} + 200x_{12A} + 100x_{12B} + 50x_{12C} + \\
 200x_{13A} + 100x_{13B} + 50x_{13C} + 200x_{14A} + 100x_{14B} + 50x_{14C} + 200x_{15A} + \\
 100x_{15B} + 50x_{15C} + 200x_{16A} + 100x_{16B} + 50x_{16C} + 200x_{17A} + 100x_{17B} + \\
 50x_{17C} \geq 768 \quad (18)$$

$$200x_{12A} + 100x_{12B} + 50x_{12C} + 200x_{13A} + 100x_{13B} + 50x_{13C} + 200x_{14A} + \\
 100x_{14B} + 50x_{14C} + 200x_{15A} + 100x_{15B} + 50x_{15C} + 200x_{16A} + 100x_{16B} + \\
 50x_{16C} + 200x_{17A} + 100x_{17B} + 50x_{17C} \geq 379 \quad (19)$$

$$200x_{13A} + 100x_{13B} + 50x_{13C} + 200x_{14A} + 100x_{14B} + 50x_{14C} + 200x_{15A} + \\
 100x_{15B} + 50x_{15C} + 200x_{16A} + 100x_{16B} + 50x_{16C} + 200x_{17A} + 100x_{17B} + \\
 50x_{17C} \geq 234 \quad (20)$$

c. Kendala Kedua: Jumlah Pos Pemadam Kebakaran

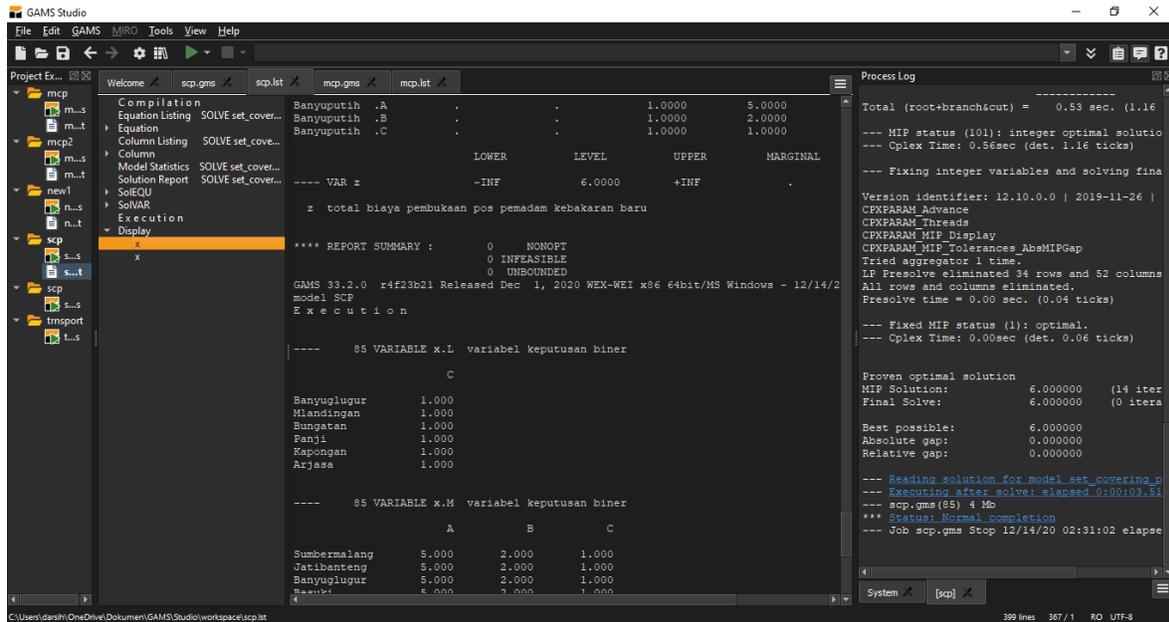
Kendala jumlah pos pemadam kebakaran merepresentasikan kendala pertidaksamaan (3). Kendala ini ada untuk memastikan jumlah pos pemadam kebakaran yang dibuka dalam satu kecamatan hanya satu tipe. Jadi kendala (3) adalah

$$x_{iA} + x_{iB} + x_{iC} \leq 1 \quad (21)$$

dengan $i = 1,2,3 \dots, 17$. Maka (21) dapat diuraikan menjadi 17 kendala.

3.2 Penyelesaian Model Optimasi

Penyelesaian model *set coverig problem* dengan metode *branch and bound* diperoleh dengan menggunakan *software* optimasi GAMS. GAMS merupakan sistem pemodelan tingkat tinggi untuk pemrograman matematika dan optimasi yang menyediakan penyusun bahasa pemrograman (*language compiler*) dan berbagai *solver* terkait [15]. Menurut Rosenthal [16], GAMS menyediakan bahasa tingkat tinggi untuk merepresentasikan model yang besar dan kompleks. Menggunakan GAMS, memungkinkan spesifikasi model dapat diubah dengan mudah dan aman, menggunakan pernyataan yang tidak ambigu dari hubungan aljabar. Selain itu pendeskripsian modelnya tidak bergantung pada algoritma solusi.



Gambar 1 Output GAMS.

Berdasarkan *output* dari GAMS (Gambar 1), penyelesaian model optimasi *set covering problem* yang meminimalkan fungsi objektif biaya pembukaan pos pemadam kebakaran (12) dengan kendala (8) - (21) adalah x_{3C} , x_{6C} , x_{7C} , x_{12C} , x_{13C} , dan x_{14A} masing-masing sama dengan 1. Nilai Z adalah 6 yang terlihat dalam *proven optimal solution* (Process Log) dengan 14 iterasi. Berdasarkan hasil tersebut lokasi pos pemadam kebakaran yang optimal di Kabupaten Situbondo adalah di Kecamatan Banyuglugur, Mlandingan, Bungatan, Panji, Kapongan, dan Arjasa yang masing-masing dengan tipe pos pemadam kebakaran C.

Saat ini lokasi pos pemadam kebakaran yang dimiliki oleh UPT Pemadam Kebakaran dan Penyelamatan Kabupaten Situbondo saat ini terletak pada 3 lokasi, yaitu Kecamatan Panji dengan tipe A, Kecamatan Asembagus dengan tipe C, dan Kecamatan Besuki dengan tipe C. Jika pada tahun 2024 tidak menambah pos pemadam kebakaran baru sedangkan jumlah penduduk terus tumbuh dan kejadian kebakaran semakin banyak, maka UPT Pemadam Kebakaran dan Penyelamatan tidak akan mampu mengatasi kejadian kebakaran tersebut dengan baik. Jika dilihat dari segi biaya pada Tabel 1, dengan 3 lokasi dan tipe pos pemadam kebakaran yang sudah ada, maka biaya (fungsi tujuan persamaan (5)) yang dikeluarkan untuk pembangunan ketiga pos pemadam kebakaran tersebut adalah 7.

Jumlah dan lokasi pos pemadam kebakaran yang ada saat ini di Kabupaten Situbondo ditentukan oleh UPT Pemadam Kebakaran dan Penyelamatan Kabupaten Situbondo dengan metode acak dimana setiap lokasi mewakili setiap koridor yang telah dibagi menjadi tiga bagian

untuk daerah Kabupaten Situbondo. Pertimbangan lain yang digunakan oleh UPT Pemadam Kebakaran Kabupaten Situbondo untuk menentukan lokasi pos pemadam kebakaran yang ada saat ini diletakkan pada kecamatan yang menjadi pusat pemerintahan pembagian tiga koridor tersebut.

Jika membandingkan solusi yang ditawarkan model optimasi pada penelitian ini dengan keputusan UPT Pemadam Kebakaran dan Penyelamatan dalam menentukan lokasi dan jumlah pos pemadam kebakaran, biaya pembangunan pos pemadam kebakaran baru pada model optimasi lebih kecil dari pada biaya yang harus dikeluarkan UPT Pemadam Kebakaran dan Penyelamatan saat ini. Maka dapat disimpulkan bahwa model optimasi yang ditawarkan optimal sehingga dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam menentukan lokasi dan jumlah pos pemadam kebakaran di Kabupaten Situbondo.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari penyelesaian model *set covering problem* adalah permasalahan penentuan lokasi dan jumlah pos pemadam kebakaran dapat diselesaikan dengan model *set covering problem* dengan biaya minimal. Lokasi dan jumlah pos pemadam kebakaran yang optimal adalah di Kecamatan Banyuglugur, Mlandingan, Bungatan, Panji, Kapongan, dan Arjasa yang masing-masing dengan tipe pos pemadam kebakaran C.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kemenristek/Badan Riset dan Inovasi Nasional atas pendanaan penelitian ini dari dana Hibah Bersaing 2020. Terima kasih juga peneliti ucapan kepada LPPM STKIP PGRI Situbondo dan UPT Pemadam Kebakaran dan Penyelamatan Kabupaten Situbondo atas dukungannya.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tim, *Data Personil UPT Pemadam Kebakaran dan Pelayanan*. Situbondo: UPT Pemadam Kebakaran dan Penyelamatan Kabupaten Situbondo, 2019.
- [2] C. Araz, H. Selim, and I. Ozkahan, "A Fuzzy Multi-Objective Covering-Based Vehicle Location Model for Emergency Services," *Comput. Oper. Res.*, vol. 34, pp. 705–726, 2007.
- [3] P. Chevalier and dkk, "Locating Fire Stations: An Integrated Approach for Belgium," *Socioecon. Plann. Sci.*, vol. 46, pp. 173–182, 2012.
- [4] Jasriadi, R. Trikomara Iriana, and S. Djuniati, "Analisis Lokasi dan Jumlah Stasiun

- Pemadam Kebakaran Kota Pekanbaru,” *Jom FTEKNIK*, vol. 2, no. 1, pp. 1–10, 2015.
- [5] S. Bahri, “0-1 Integer Linear Programming Model for Location Selection of Fire Station: A Case Study in Indonesia,” 2016.
- [6] E. Aktas and Dkk, “Optimizing Fire Station Locations for The Istanbul Metropolitan Municipality,” *Interfaces, Artic. Adv.*, 2013.
- [7] X. Chen, K. S. Rao, J. Yu, and R. W. Pike, “Comparison of GAMS, AMPL, and MINOS for Optimization,” *Chem. Eng. Educ.*, pp. 220–227, 1996.
- [8] M. K. Amosa and T. Majazi, “GAMS Supported Optimization and Predictability Study of A Multi-objective Adsorption Process with Conflicting Regions of Optimal Operating Conditions,” *Comput. Chem. Eng.*, vol. 94, pp. 354–361, 2016.
- [9] C. S. Revelle, J. C. Williams, and J. J. Boland, “Counterpart Models in Facility Location Science and Reserve Selection Science,” *Environ. Model. Assess.*, vol. 7, no. 2, pp. 71–80, 2002.
- [10] H. A Taha, *Operations Research: An Introduction, 10th Edition*. New York: Pearson Education Limited, 2017.
- [11] Tim, *Pedoman Teknis Manajemen Proteksi Kebakaran di Perkotaan*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum RI, 2009.
- [12] Tim, *SOP Penanganan Saat Terjadi Kebakaran*. Situbondo: UPT Pemadam Kebakaran dan Penyelamatan Kabupaten Situbondo, 2019.
- [13] M. Bagir and I. Buchori, “Model Optimasi Lokasi Pos Pemadam Kebakaran,” *J. Tek.*, vol. 33, no. 1, pp. 12–20, 2012.
- [14] E. Connally, D. Hughes-Hallet, and A. M. Gleason, *Functions Modeling Change: A Preparation for Calculus, 6th Edition*. New York: Wiley & Sons, 2019.
- [15] Tim, “System Overview and The GAMS Language at A Glance,” 2020. <https://www.gams.com/products/gams/gams-language/> (accessed Oct. 28, 2020).
- [16] R. E. Rosenthal, *GAMS - A User's Guide*. Washington: GAMS Development Corporation, 2010.