
PENENTUAN RUTE TERPENDEK ARMADA PEMADAM KEBAKARAN MENGUNAKAN PENGEMBANGAN ALGORITMA FLOYD WARSHALL

Rio Ferdiani Harahap¹⁾, Eliasta Ketaren²⁾, Victor Tarigan³⁾
Program Studi Matematika¹⁾, Sistem Informasi²⁾, Teknik Informatika³⁾
Universitas Sam Ratulangi^{1,2,3)}

Jl.Kampus Unsrat Bahu-Manado, Sulawesi Utara 95115.

e-mail: rioharahap@unsrat.ac.id¹⁾, eliasketaren@unsrat.ac.id²⁾, victortarigan@unsrat.ac.id³⁾

Abstrak

Peristiwa kebakaran yang terjadi di Kota Manado sebanyak 139 peristiwa sepanjang tahun 2024, sedangkan periode 1 Januari 2025 hingga 31 Juli 2025 sebanyak 76 peristiwa kebakaran. Waktu rata-rata respon time Dinas Pemadam Kebakaran Kota Manado adalah 5 menit 15 detik. Penentuan jalur terpendek merupakan aspek penting dalam meningkatkan responsibilitas armada pemadam kebakaran, karena reduksi waktu tempuh langsung berdampak pada penyelamatan nyawa dan pengurangan kerugian materil. Penelitian ini mengusulkan pengembangan algoritma Floyd–Warshall untuk optimasi penentuan rute pada jaringan jalan berbobot. Representasi jaringan menggunakan graf terhubung berbobot yang mengintegrasikan parameter jarak dan estimasi waktu perjalanan. Modifikasi algoritma difokuskan pada peningkatan efisiensi komputasi sehingga mampu menghasilkan solusi rute terpendek ke seluruh simpul. Hasil penelitian ini menunjukkan pengembangan algoritma Floyd Warshall mampu memberikan solusi jalur terpendek dari pos pemadam kebakaran ke lokasi rawan kebakaran Kota Manado dan mempersingkat respon time sebesar 46.67%.

Kata kunci : Floyd Warshall; Kejadian Kebakaran; Riset Operasi; Rute terpendek

1. Pendahuluan

Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kota Manado merekap data bencana sepanjang tahun 2024 bahwa bencana kebakaran masuk dalam katagori bencana paling sering terjadi. Sebanyak 139 titik bencana yang dilaporkan oleh masyarakat terdiri dari 18 kelurahan dalam 8 kecamatan dari total 11 kecamatan yang ada di Kota Manado sepanjang tahun 2024. Dari 139 laporan tersebut 89 diantaranya merupakan kebakaran gedung dan 50 diantaranya kebakaran bukan Gedung [1]. Angka tersebut menunjukkan tingginya kejadian bencana kebakaran dan tingginya dampak kerusakan berat yang ditimbulkan oleh bencana tersebut di Kota Manado. Untuk meminimalisir kerugian akibat bencana kebakaran, salah satu faktor penting adalah memperhatikan rute terpendek yang dapat ditempuh oleh armada pemadam kebakaran.

Standar Pelayanan Minimal (SPM) sub urusan kebakaran yang diatur dalam SOP di Kota Manado, waktu tanggap maksimal (*respon time*) petugas pemadam kebakaran adalah 15 menit sejak informasi pertama kali diterima hingga petugas dan armada pemadam siap melakukan operasi di lokasi kebakaran. Armada pemadam kebakaran harus mampu mencapai kecepatan minimal adalah 56km/jam setelah 25 detik setelah mesin armada pertama kali melaju [2]. Saat ini *respon time* rata-rata Dinas Pemadam Kebakaran Kota Manado adalah 5 menit 15 detik.

GPS merupakan teknologi yang memuat informasi berupa informasi kecepatan, dan waktu secara akurat. Implementasi GPS ke dalam *mobile phone* yaitu memberikan informasi letak posisi pengguna secara *realtime* pada suatu area tertentu pada *mobile application* [3]. Tetapi dari hasil review tingkat kepuasan pengguna yang dilakukan pada aplikasi playstore range waktu bulan Agustus hingga September 2022 terdapat 60 data ulasan menunjukkan ketidakpuasan pengguna dikarenakan ketidaktepatan titik pada map, nama tempat pada map tidak sesuai dengan real-nya sehingga ketidaktepatan titik lokasi tujuan [4]. Hal ini semakin memperlambat durasi waktu armada pemadam kebakaran sampai dari pos pemadam kebakaran ke lokasi kebakaran.

Salah satu upaya untuk meminimalisir dampak bencana kebakaran adalah dengan memperpendek waktu perjalanan armada pemadam kebakaran sehingga petugas pemadam kebakaran dapat tiba lebih cepat menuju lokasi kebakaran. Untuk memperpendek waktu perjalanan, maka harus ditentukan rute terpendeknya [5]. Setiap daerah perlu memiliki rute prioritas. Rute-rute ini harus menghubungkan titik-titik rawan kebakaran, seperti kawasan pemukiman padat, pasar, atau daerah pertokoan. Informasi ini akan membantu petugas pemadam kebakaran dalam mengambil keputusan lebih cepat sehingga meminimalisir dampak kerugian akibat bencana kebakaran.

Berangkat dari permasalahan tersebut, penulis melakukan penelitian penentuan rute terpendek menggunakan algoritma Floyd Warshall. Lokasi rawan bencana akan direpresentasikan sebagai *vertex* dan jalan yang dapat dilalui oleh armada pemadam kebakaran direpresentasikan sebagai *edge* pada graf berbobot. Keutamaan algoritma Floyd Warshall dibanding algoritma penentu jalur terpendek lainnya adalah mampu menemukan jalur terpendek dari semua pasangan *vertex* pada graf [6]. Sebelum melakukan penelitian ini, sebagai bahan pertimbangan sebelumnya telah dilakukan penelitian terkait Algoritma Floyd Warshall yaitu Analisa perbandingan algoritma Floyd warshall dan algoritma Dijkstra untuk penentuan rute terdekat [7], Analisis perbandingan algoritma Floyd Warshall dan A star (A*) dalam penentuan lintasan terpendek [8], Penggunaan algoritma Floyd Warshall untuk menentukan rute terpendek menuju air terjun Waimarang [9]. Dengan melihat tiga penelitian sebelumnya telah berhasil menggunakan algoritma Floyd Warshall, maka dengan melakukan penelitian ini diharapkan dapat menjadi landasan terkait pengembangan penelitian selanjutnya sebagai

tindakan untuk menentukan rute terpendek yang dapat digunakan oleh Dinas Pemadam Kebakaran untuk mengurangi resiko dampak bencana kebakaran. Selain itu yang menjadi perbedaan penelitian ini dengan penelitian lainnya adalah peneliti akan menggunakan software matematika yaitu GNU Octave untuk membuktikan algoritma tersebut berhasil menemukan rute terpendek.

2. Landasan Teori

Bencana Kebakaran

Bencana kebakaran adalah bencana antropogenik yang kerap terjadi di daerah permukiman. Kebakaran merupakan api yang tidak dapat dikendalikan oleh kemampuan dan keinginan manusia sehingga menjadi bencana yang kerap terjadi pada masyarakat khususnya di kawasan pemukiman, pasar, perkotaan, perkantoran dan dapat menyebabkan kerugian besar seperti korban jiwa, cedera juga kerugian materil. Api terjadi karena ada proses pembakaran antara tiga unsur yang bersatu dimana jika salah satu unsur tidak ada maka proses pembakaran tidak akan terjadi. Unsur-unsur tersebut dikenal dengan istilah segitiga api (fire triangle) yaitu bahan bakar, oksigen, dan panas [10].

Graf

Graf merupakan representasi matematis yang digunakan untuk menggambarkan hubungan antara berbagai titik (*vertex*) dan sisi yang menghubungkannya (*edge*). Dalam permasalahan rute terpendek, graf digunakan untuk memodelkan jalur atau rute yang bisa ditempuh oleh kendaraan antara dua titik [11]. Dalam sebuah graf, terdapat tiga elemen utama, yaitu simpul, sisi dan derajat. (a) Simpul (*Vertex*) adalah elemen dasar dalam graf yang mewakili entitas atau objek. Vertex dapat mewakili lokasi-lokasi seperti persimpangan jalan, stasiun pemadam kebakaran, atau titik kebakaran. Notasi simpul seringkali dilambangkan dengan huruf atau angka, misalnya v_1, v_2, v_3 , atau hanya A, B, C. (b) Sisi (*edge*) adalah garis atau jalan penghubung antara dua simpul. Sisi menggambarkan jalur yang menghubungkan dua simpul dalam graf. Sisi dinotasikan dengan pasangan simpul yang dihubungkannya, misalnya (V_1, V_2) untuk sisi yang menghubungkan simpul V_1 dengan V_2 . Bobot (*Weight*) pada graf adalah representasi dari jarak, waktu, atau biaya yang dibutuhkan untuk melewati sisi tersebut. (c) Derajat (*degree*) adalah jumlah sisi yang terhubung ke simpul tersebut.

Permasalahan Jalur Terpendek (*Shortest Path*)

Permasalahan menentukan rute terpendek (*shortest path*) dalam sebuah graf merupakan salah satu persoalan optimasi. Graf yang digunakan untuk menentukan jalur terpendek adalah graf berbobot (*weighted graph*), yaitu graf yang setiap sisinya diberikan suatu nilai atau bobot [12]. Bobot pada sebuah graf dapat menyatakan jarak antar tempat atau kota, waktu pengiriman pesanan, biaya operasional, dan sebagainya. Asumsi yang digunakan adalah semua bobot bernilai positif [13]. Berdasarkan teori Graf, persoalan rute terpendek dapat diartikan sebagai sebuah persoalan dalam menemukan lintasan antar dua buah simpul pada graf berbobot yang mempunyai gabungan nilai dari jumlah bobot pada sisi graf yang dilalui dengan jumlah paling minimum [14].

Beberapa algoritma yang dapat digunakan untuk menentukan rute terpendek yaitu Algoritma Nearest Neighbor, Algoritma Dijkstra, Algoritma A Star (A^*), Algoritma Bellman-Ford dan Algoritma FloydWarshall.

Algoritma Floyd Warshall

Algoritma Floyd Warshall dikembangkan oleh Robert Floyd dan Stephen Warshall pada tahun 1962. Algoritma ini digunakan untuk mencari jalur terpendek antara semua pasang simpul (node) dalam sebuah graf berbobot. Keutamaan dari algoritma Floyd Warshall dibandingkan algoritma Dijkstra yang menerapkan prinsip Greedy yang tidak selalu berhasil dalam menentukan *shortest path* karena algoritma tersebut berfokus pada bobot minimum setiap langkah tanpa memikirkan resiko di depan adalah algoritma Floyd Warshall mampu menentukan rute dari satu atau seluruh vertex ke seluruh vertex lainnya sehingga permasalahan dengan titik tujuan lebih dari satu dapat terselesaikan lebih efisien [15]. Algoritma Floyd Warshall dengan melibatkan rute terpendeknya adalah ssebagai berikut [16]:

Misalkan Graf memiliki n simpul, matriks jarak awal:

$$D^{(0)} = [d_{ij}] \quad (1)$$

Algoritma Floyd Warshall dinyatakan dalam model matematis:

$$D_{ij}^{(k)} = \min(D_{ij}^{(k-1)}, D_{ik}^{(k-1)} + D_{kj}^{(k-1)}) \quad (2)$$

Algoritma Floyd-Warshall menggunakan prinsip program dinamis untuk menghitung jarak terpendek antara semua pasangan vertex dengan memanfaatkan informasi jarak terpendek yang telah dihitung sebelumnya.

GNU Octave

GNU Octave adalah perangkat lunak open-source yang digunakan untuk komputasi numerik dan visualisasi data Octave merupakan bahasa pemrograman ilmiah yang dapat digunakan untuk memecahkan masalah linear dan non linear [17]. Octave adalah perangkat lunak bebas dan open-source, yang berarti dapat digunakan, dimodifikasi, dan didistribusikan secara gratis. GNU Octave mudah dipelajari karena memiliki sintaks yang mirip dengan MATLAB.

3. Metode Penelitian

Bahan penelitian

Penelitian ini dilakukan di Kantor Pemadam Kebakaran Kota Manado, ruangan kerja dosen di Jurusan Matematika Fakultas MIPA Universitas Sam Ratulangi dan jalan Kota Manado yang menghubungkan Pos Pemadam Kebakaran Kota Manado dan lokasi rawan kebakaran. Bencana kebakaran adalah bencana antropogenik yang kerap terjadi di daerah permukiman. Kebakaran merupakan api yang tidak dapat dikendalikan oleh kemampuan dan keinginan manusia sehingga menjadi bencana yang kerap terjadi pada masyarakat khususnya di kawasan pemukiman, pasar, perkotaan, perkantoran dan dapat menyebabkan kerugian besar seperti korban jiwa, cedera juga kerugian materil. Api terjadi karena ada proses pembakaran antara tiga unsur yang bersatu dimana jika salah satu unsur tidak ada maka proses pembakaran tidak akan terjadi. Unsur-unsur tersebut dikenal dengan istilah segitiga api (fire triangle) yaitu bahan bakar, oksigen, dan panas [10] Alat dan Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah meteran jalan untuk mengukur lebar jalan, laptop dengan spesifikasi *core i7* generasi 13, mesin print merk Canon dengan tipe E410, data internet dan perangkat lunak Graphviz dan GNU-Octave.

Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan dua cara, primer dan sekunder. Data primer dikumpulkan melalui pengukuran badan jalan Kota Manado yang akan dilalui oleh armada pemadam kebakaran serta diverifikasi oleh aplikasi *Google Earth*. Lebar ideal badan jalan yang dilalui armada pemadam kebakaran minimal 4.5 meter. Data sekunder dikumpulkan dari Kantor Dinas Pemadam Kebakaran Kota Manado berupa data intensitas kebakaran yang terjadi dalam kurun waktu 1 Januari 2025 sampai 31 Juli 2025 dan *website* Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Manado berupa data jumlah penduduk menurut kecamatan di Kota Manado dan data kepadatan penduduk berdasarkan kecamatan di Kota Manado.

Penerapan Algoritma Floyd Warshall dan GNU Octave

Permasalahan menentukan rute terpendek (*shortest path*) dalam sebuah graf merupakan salah satu persoalan optimalisasi. Graf yang digunakan untuk menentukan jalur terpendek adalah graf berbobot (*weighted graph*), yaitu graf yang setiap sisinya diberikan suatu nilai atau bobot [12]. Bobot pada sebuah graf dapat menyatakan jarak antar tempat atau kota, waktu pengiriman pesanan, biaya operasional, dan sebagainya. Asumsi yang digunakan adalah semua bobot bernilai positif [13]. Berdasarkan teori Graf, persoalan rute terpendek dapat diartikan sebagai sebuah persoalan dalam menemukan lintasan antar dua buah simpul pada graf berbobot yang mempunyai gabungan nilai dari jumlah bobot pada sisi graf yang dilalui dengan jumlah paling minimum [14]. Algoritma ini digunakan untuk mencari jalur terpendek antara semua pasang simpul dalam sebuah graf berbobot. Keutamaan dari algoritma Floyd Warshall dibandingkan algoritma Dijkstra yang menerapkan prinsip Greedy yang tidak selalu berhasil dalam menentukan *shortest path* karena algoritma tersebut berfokus pada bobot minimum setiap langkah tanpa memikirkan resiko di depan adalah algoritma Floyd Warshall mampu menentukan rute dari satu atau seluruh simpul ke seluruh simpul lainnya sehingga permasalahan dengan titik tujuan lebih dari satu dapat terselesaikan lebih efisien [15].

Algoritma Floyd Warshall dengan melibatkan rute terpendeknya adalah sebagai berikut [16]:

$$W = W^{(0)}; Z = Z^{(0)} \quad (3)$$

Untuk $k=1$ hingga n , lakukan : {pengujian jarak lewat titik v_k }

Untuk $i=1$ hingga n , lakukan :

Untuk $j=1$ hingga n , lakukan :

$$\text{Jika } W_{i,j} > W_{i,k} + W_{k,j} \text{ maka} \quad (4)$$

tukar $W_{i,j}$ dengan $W_{i,k} + W_{k,j}$

ganti $Z_{i,j}$ dengan $Z_{i,k}$

$$W^* = W \quad (5)$$

4. Hasil Penelitian

Penentuan Lokasi Rawan Kebakaran

Jumlah penduduk Kota Manado berdasarkan kecamatan tahun 2023 disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Jumlah penduduk Kota Manado berdasarkan kecamatan

Kecamatan	Jumlah Penduduk (Ribu Jiwa)	Persentase Penduduk	Kepadatan Penduduk per km persegi (km ²)
Malalayang	63.6	13.72	3.715
Sario	21.2	4.58	12.133
Wanea	60.2	12.99	7.672
Wenang	32.9	7.11	9.050
Tikala	31.2	6.73	4.394
Paal Dua	44.3	9.56	5.525

Mapanget	67.3	14.51	1.352
Singkil	54.0	11.65	11.540
Tuminting	54.9	11.84	12.735
Bunaken Darat	27.6	5.95	762
Bunaken Kepulauan	6.4	1.38	379

Berdasarkan **Tabel 1**, jumlah penduduk terbanyak yaitu Kecamatan Mapanget dengan jumlah penduduk 67.3 ribu jiwa. Urutan kedua terpadat adalah Kecamatan Malalayang dengan jumlah penduduk 63.6 jiwa. Urutan ketiga terpadat adalah Kecamatan Wanea dengan jumlah penduduk 60.2 ribu jiwa. Urutan keempat dan kelima ditempati oleh Kecamatan Tuminting dan Singkil masing-masing memiliki jumlah penduduk sebesar 54.9 ribu jiwa dan 54 ribu jiwa. Sedangkan kecamatan terpadat adalah Kecamatan Tuminting menjadi kecamatan yang paling padat dengan jumlah penduduk per km² sebanyak 12.735 jiwa/km² diikuti Sario sebanyak 12.133 jiwa/km² dan Kecamatan Singkil sebanyak 11.540 jiwa/km².

Peristiwa kebakaran gedung di Kota Manado periode 1 Januari 2025 hingga 31 Juli 2025 adalah sebanyak 76 peristiwa. Rincian peristiwa kebakaran di Kota Manado disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rincian peristiwa kebakaran periode 1 Januari 2025 hingga 31 Juli 2025

Kecamatan	Jumlah Kejadian Kebakaran
Malalayang	10
Sario	5
Wanea	8
Wenang	5
Tikala	7
Paal Dua	9
Mapanget	14
Singkil	8
Tuminting	8
Bunaken Darat	2
Bunaken Kepulauan	0

Lokasi rawan kebakaran dipilih berdasarkan jumlah penduduk, kepadatan dan jumlah kejadian kebakaran. Tabel 3 memperlihatkan peringkat kecamatan berdasarkan jumlah penduduk, kepadatan dan jumlah kejadian kebakaran di Kota Manado.

Tabel 3. Peringkat kecamatan berdasarkan jumlah penduduk, kepadatan dan jumlah kejadian kebakaran

Kecamatan	Peringkat Jumlah Penduduk	Peringkat Kepadatan Penduduk	Peringkat Kejadian Kebakaran	Rata-rata
Malalayang	2	8	2	4
Sario	10	2	6	6
Wanea	3	5	4	4
Wenang	7	4	6	5.7
Tikala	8	7	5	6.7
Paal Dua	6	6	3	5
Mapanget	1	9	1	3.7
Singkil	5	3	4	4
Tuminting	4	1	4	3
Bunaken Darat	9	10	7	8.7
Bunaken Kepulauan	11	11	8	10

Sepuluh lokasi rawan kebakaran yang menjadi sampel penelitian berasal dari sembilan kecamatan di Kota Manado dengan nilai rata-rata < 7. Lokasi rawan kebakaran dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Lokasi rawan kebakaran di Kota Manado

Lokasi	Alamat Lokasi
Lokasi rawan kebakaran 1	Perum. Banua 1 Politeknik, Buha, Kec. Mapanget, Kota Manado, Sulut
Lokasi rawan kebakaran 2	Jl. Pogidon 15, Tumumpa Satu, Kec. Tuminting, Kota Manado, Sulut.

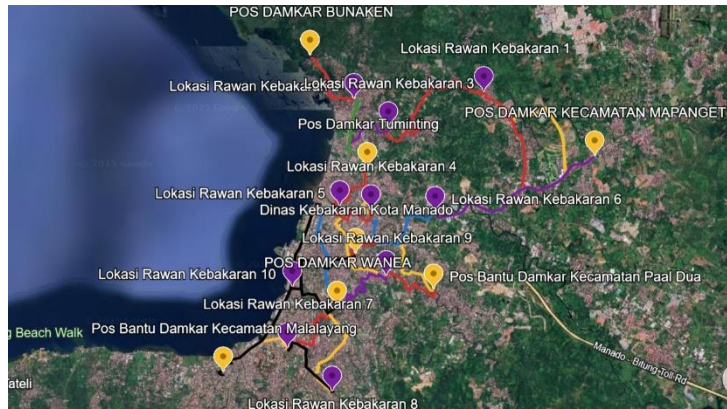
Lokasi rawan kebakaran 3	Jl. Lorong Simphony, Buha, Kec. Mapanget, Kota Manado, Sulut.
Lokasi rawan kebakaran 4	Jl. Sungai Citarum, Kombos Barat, Kec Singkil Manado, Sulut
Lokasi rawan kebakaran 5	Jl. Cik Ditiro, Istiqlal, Kec. Wenang, Kota Manado, Sulut
Lokasi rawan kebakaran 6	Jl. Yos Sudarso, Wenang Permai, Kec. Paal Dua, Kota Manado, Sulut.
Lokasi rawan kebakaran 7	J. P.Jawa, Bahu, Kec. Malalayang, Kota Manado, Sulut.
Lokasi rawan kebakaran 8	Jl. Kampung Jawa, Kec. Wanea, Kota Manado, Sulut.
Lokasi rawan kebakaran 9	Jl. Kasturi, Tikala Baru, Kec. Tikala, Kota Manado, Sulut.
Lokasi rawan kebakaran 10	Jl. Sam Ratulangi 18, Kec Sario, Sulut

Kota Manado memiliki 1 Kantor Dinas Pemadam Kebakaran dan 6 pos bantu pemadam kebakaran. Daftar kantor dan pos bantu pemadam kebakaran (damkar) dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Kantor dan pos bantu pemadam kebakaran Kota Manado

Kantor Pemadam Kebakaran	Alamat
Kantor Dinas Damkar Kota Manado	Jl. Balai Kota, Tikala Ares, Kec. Tikala, Kota Manado
Pos Bantu Damkar Bunaken Darat	Jl. Molas Tongkeina, Molas, Kec. Bunaken Kota Manado
Pos Bantu Damkar Mapanget	Jl. A.A Maramis, Paniki Bawah, Kec. Mapanget, Kota Manado
Pos Bantu Damkar Tuminting	Jl. Sungai Barito, Singkil Dua, Kec. Singkil, Kota Manado
Pos Bantu Damkar Paal Dua	Jl. Merpati, Ranomut, Kec. Tikala, Kota Manado
Pos Bantu Damkar Wanea	Jl. Babe Palar, Tj. Batu, Kec. Wanea, Kota Manado
Pos Bantu Damkar Malalayang	J. Mogandi IV, Malalayang Satu, Kec. Malalayang

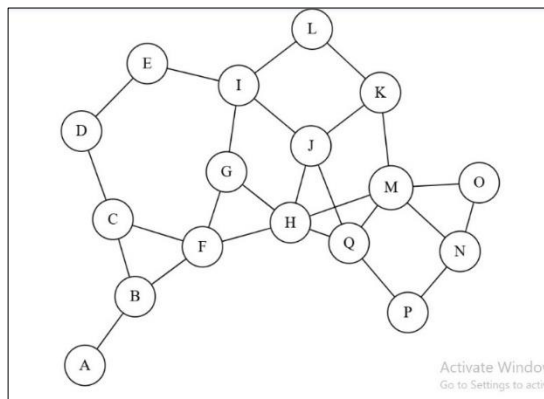
Lokasi rawan kebakaran dan Pos Pemadam Kebakaran Kota Manado dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi rawan kebakaran dan Pos Damkar Kota Manado

Kantor Dinas Kebakaran dan Pos Bantu Damkar ditandai dengan pin berwarna kuning sedangkan lokasi rawan kebakaran di Kota Manado ditandai dengan pin berwarna ungu. Garis berwarna merepresentasikan jalan yang mungkin dilalui oleh armada pemadam kebakaran. Gambar 1 divisualisasikan sebagai graf terhubung pada Gambar 2.

Pemodelan Graf



Gambar 2. Graf W terhubung.

Simpul B, C, D, G, H, I, K, N, O, Q pada Gambar 2 mewakili lokasi rawan kebakaran, sedangkan simpul A, E, F, J, L, M, P mewakili Kantor Dinas Kebakaran dan Pos Bantu Damkar Kota Manado. Simpul Graf W dijelaskan pada Tabel 6.

Tabel 6. Simpul Graf W

Simpul	Keterangan
A	Pos Bantu Damkar Bunaken Darat
B	Lokasi rawan kebakaran 2
C	Lokasi rawan kebakaran 3
D	Lokasi rawan kebakaran 1
E	Pos Bantu Damkar Mapanget
F	Pos Bantu Damkar Tuminting
G	Lokasi Rawan Kebakaran 4
H	Lokasi Rawan Kebakaran 5
I	Lokasi Rawan Kebakaran 6
J	Kantor Dinas Damkar Kota Manado
K	Lokasi Rawan Kebakaran 9
L	Pos Bantu Damkar Paal Dua
M	Pos Bantu Damkar Wanea
N	Lokasi Rawan Kebakaran 7
O	Lokasi Rawan Kebakaran 8
P	Pos Bantu Damkar Malalayang
Q	Lokasi Rawan Kebakaran 10

Graf W dimodelkan ke dalam bentuk matriks *adjacency* berbobot. Bobot pada matriks merupakan jarak sebenarnya dalam satuan kilometer (km). Jika tidak ada sisi yang menghubungkan antar simpul maka diberi label *infinity* (∞). Jika jarak awal dan tujuan sama maka diberi label nol (0).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
A	0	2.01	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
B	2.01	0	2.85	∞	∞	2.64	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
C	∞	2.85	0	4.66	∞	2.91	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
D	∞	∞	4.66	0	5.14	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
E	∞	∞	∞	5.14	0	∞	∞	∞	5.19	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
F	∞	2.64	2.91	∞	∞	0	1.67	2.17	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
G	∞	∞	∞	∞	∞	1.67	0	1.79	3.39	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
H	∞	∞	∞	∞	∞	2.17	1.79	0	∞	1.98	∞	∞	3.47	∞	∞	∞	3.07
I	∞	∞	∞	∞	5.19	∞	3.39	∞	0	3.36	∞	3.55	∞	∞	∞	∞	∞
J	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	1.98	3.36	0	1.5	∞	∞	∞	∞	∞	2.77
K	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	1.5	0	1.98	2.85	∞	∞	∞	∞
L	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	3.55	∞	1.98	0	∞	∞	∞	∞	∞
M	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	3.47	∞	∞	2.85	∞	0	2.64	3.32	∞	1.68
N	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	2.64	0	2.23	2.69	∞
O	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	3.32	2.23	0	∞	∞
P	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	2.69	∞	0	3.43
Q	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	3.07	2.77	∞	∞	∞	1.68	∞	∞	3.43	0

Perhitungan algoritma Floyd Warshall

Perhitungan manual menggunakan algoritma Floyd-Warshall menghasilkan 18 matriks (termasuk matriks awal). Di bawah ini merupakan matriks akhir hasil dari perhitungan manual menggunakan algoritma Floyd Warshall.

W	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
A	0	2.01	4.86	9.52	14.66	4.65	6.32	6.82	9.71	8.8	10.3	12.3	10.3	12.93	13.61	13.32	9.89
B	2.01	0	2.85	7.51	12.65	2.64	4.31	4.81	7.7	6.79	8.29	10.3	8.28	10.92	11.6	11.31	7.88
C	4.86	2.85	0	4.66	9.8	2.91	4.58	5.08	7.97	7.06	8.56	10.5	8.55	11.19	11.87	11.58	8.15
D	9.52	7.51	4.66	0	5.14	7.57	9.24	9.74	10.33	11.72	13.22	13.9	13.2	15.85	16.53	16.24	12.8
E	14.7	12.7	9.8	5.14	0	10.25	8.58	10.4	5.19	8.55	10.05	8.74	12.9	15.54	16.22	14.75	11.3
F	4.65	2.64	2.91	7.57	10.25	0	1.67	2.17	5.06	4.15	5.65	7.63	5.64	8.28	8.96	8.67	5.24
G	6.32	4.31	4.58	9.24	8.58	1.67	0	1.79	3.39	3.77	5.27	6.94	5.26	7.9	8.58	8.29	4.86
H	6.82	4.81	5.08	9.74	10.37	2.17	1.79	0	5.18	1.98	3.48	5.46	3.47	6.11	6.79	6.5	3.07
I	9.71	7.7	7.97	10.33	5.19	5.06	3.39	5.18	0	3.36	4.86	3.55	7.71	10.35	11.03	9.56	6.13
J	8.8	6.79	7.06	11.72	8.55	4.15	3.77	1.98	3.36	0	1.5	3.48	4.35	6.99	7.67	6.2	2.77
K	10.3	8.29	8.56	13.22	10.05	5.65	5.27	3.48	4.86	1.5	0	1.98	2.85	5.49	6.17	7.7	4.27
L	12.3	10.3	10.5	13.88	8.74	7.63	6.94	5.46	3.55	3.48	1.98	0	4.83	7.47	8.15	9.68	6.25
M	10.3	8.28	8.55	13.21	9.64	5.64	5.26	3.47	4.45	4.35	2.85	4.83	0	2.64	3.32	5.11	1.68
N	12.9	10.9	11.2	15.85	12.28	8.28	7.9	6.11	7.09	6.99	5.49	7.47	2.64	0	2.23	2.69	4.32
O	13.6	11.6	11.9	16.53	12.96	8.96	8.58	6.79	7.77	7.67	6.17	8.15	3.32	2.23	0	4.92	5
P	13.3	11.3	11.6	16.24	11.39	8.67	8.29	6.5	6.2	8.48	7.96	9.75	5.11	2.69	4.92	0	3.43
Q	9.89	7.88	8.15	12.81	7.96	5.24	4.86	3.07	2.77	5.05	4.53	6.32	1.68	4.32	5	3.43	0

Perhitungan menggunakan algoritma Floyd Warshall Kembali dilakukan dengan perangkat lunak GNU Octave. Perintah yang dituliskan pada GNU-Octave untuk menghasilkan luaran jarak terpendek serta menampilkan lintasanya adalah sebagai berikut.

```

% Floyd-Warshall Algorithm in Octave
% input matriks bobot (gunakan Inf untuk tak hingga)
n = size(W,1);          % jumlah simpul
D = W;                  % inisialisasi matriks jarak
Next = zeros(n);       % untuk menyimpan lintasan
% Inisialisasi matriks Next
for i = 1:n
    for j = 1:n
        if (i ~= j && D(i,j) < Inf)
            Next(i,j) = j;
        else
            Next(i,j) = 0;
        end
    end
end
% Proses iterasi Floyd-Warshall
for k = 1:n
    for i = 1:n
        for j = 1:n
            if (D(i,k) + D(k,j) < D(i,j))
                D(i,j) = D(i,k) + D(k,j);
                Next(i,j) = Next(i,k);
            end
        end
    end
end
% Tampilkan hasil
disp('Matriks jarak terpendek (D):');
disp(D);
disp('Matriks Next (untuk rekonstruksi jalur):');
disp(Next);

% Fungsi untuk merekonstruksi lintasan dari u ke v
function path = getPath(u, v, Next)
    if Next(u,v) == 0
        path = [];
        return;
    end
    path = [u];
    while u ~= v
        u = Next(u,v);
        path = [path u];
    end
end

% Contoh: lintasan dari simpul M ke simpul Q
p = getPath(M,Q,Next);
disp('Lintasan dari M ke Q:');
disp(p);

```

0	2.0140	4.8660	9.5220	14.6660	4.6570	6.3280	6.8250	9.7180	8.8030	10.3040	12.2800	10.2960	12.9390	13.6140	13.3280	9.8980
2.0140	0	2.8520	7.5080	12.6520	2.6430	4.3140	4.8110	7.7040	6.7890	8.2900	10.2660	8.2820	10.9250	11.6000	11.3140	7.8840
4.8660	2.8520	0	4.6560	9.8000	2.9120	4.5830	5.0800	7.9730	7.0580	8.5590	10.5350	8.5510	11.1940	11.8690	11.5830	8.1530
9.5220	7.5080	4.6560	0	5.1440	7.5680	9.2390	9.7360	10.3290	11.7140	13.2150	13.8830	13.2070	15.8500	16.5250	16.2390	12.8090
14.6660	12.6520	9.8000	5.1440	0	10.2460	8.5750	10.3690	5.1850	8.5470	10.0480	8.7390	12.8950	15.5380	16.2130	14.7450	11.3150
4.6570	2.6430	2.9120	7.5680	10.2460	0	1.6710	2.1680	5.0610	4.1460	5.6470	7.6230	5.6390	8.2820	8.9570	8.6710	5.2410
6.3280	4.3140	4.5830	9.2390	8.5750	1.6710	0	1.7940	3.3900	3.7720	5.2730	6.9440	5.2650	7.9080	8.5830	8.2970	4.8670
6.8250	4.8110	5.0800	9.7360	10.3690	2.1680	1.7940	0	5.1840	1.9780	3.4790	5.4550	3.4710	6.1140	6.7890	6.5030	3.0730
9.7180	7.7040	7.9730	10.3290	5.1850	5.0610	3.3900	5.1840	0	3.3620	4.8630	3.5540	7.7100	10.3530	11.0280	9.5600	6.1300
8.8030	6.7890	7.0580	11.7140	8.5470	4.1460	3.7720	1.9780	3.3620	0	1.5010	3.4770	4.3480	6.9910	7.6660	6.1980	2.7680
10.3040	8.2900	8.5590	13.2150	10.0480	5.6470	5.2730	3.4790	4.8630	1.5010	0	1.9760	2.8470	5.4900	6.1650	7.6990	4.2690
12.2800	10.2660	10.5350	13.8830	8.7390	7.6230	6.9440	5.4550	3.5540	3.4770	1.9760	0	4.8230	7.4660	8.1410	9.6750	6.2450
10.2960	8.2820	8.5510	13.2070	9.6320	5.6390	5.2650	3.4710	4.4470	4.3480	2.8470	4.8230	0	2.6430	3.3180	5.1090	1.6790
12.9390	10.9250	11.1940	15.8500	12.2750	8.2820	7.9080	6.1140	7.0900	6.9910	5.4900	7.4660	2.6430	0	2.2260	2.6900	4.3220
13.6140	11.6000	11.8690	16.5250	12.9500	8.9570	8.5830	6.7890	7.7650	7.6660	6.1650	8.1410	3.3180	2.2260	0	4.9160	4.9970
13.3280	11.3140	11.5830	16.2390	11.3830	8.6710	8.2970	6.5030	6.1980	8.4810	7.9560	9.7520	5.1090	2.6900	4.9160	0	3.4300
9.8980	7.8840	8.1530	12.8090	7.9530	5.2410	4.8670	3.0730	2.7680	5.0510	4.5260	6.3220	1.6790	4.3220	4.9970	3.4300	0

Gambar 3. Hasil perhitungan dengan GNU Octave.

Hasil perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh jarak terpendek dari setiap pos pemadam kebakaran ke masing-masing lokasi rawan kebakaran, jalur, dan estimasi waktu perjalanan armada dari pos pemadam kebakaran menuju lokasi rawan kebakaran. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil perhitungan jarak terdekat dari Pos Damkar ke lokasi rawan kebakaran

Pos Pemadam Kebakaran	Lokasi Rawan Kebakaran	Jalur	Estimasi Waktu
Pos Bantu Damkar Mapanget	Lokasi rawan kebakaran 1	5.14	E, D
Pos Bantu Damkar Bunaken Darat	Lokasi rawan kebakaran 2	2.01	A, B
Pos Bantu Damkar Tuminting	Lokasi rawan kebakaran 3	2.91	F, C
Pos Bantu Damkar Tuminting	Lokasi rawan kebakaran 4	1.67	F, G
Kantor Dinas Damkar Kota Manado	Lokasi rawan kebakaran 5	1.98	J, H
Kantor Dinas Damkar Kota Manado	Lokasi rawan kebakaran 6	3.36	J, I
Pos Bantu Damkar Wanea	Lokasi rawan kebakaran 7	2.64	M, N
Pos Bantu Damkar Wanea	Lokasi rawan kebakaran 8	3.32	M, O
Kantor Dinas Damkar Kota Manado	Lokasi rawan kebakaran 9	1.5	J, K
Pos Bantu Damkar Wanea	Lokasi rawan kebakaran 10	1.68	M, Q

Setelah melalui tahapan perhitungan diperoleh rata-rata jarak tempuh dari pos pemadam kebakaran ke lokasi rawan kebakaran sebesar 2.62 km dan rata-rata waktu tempuh armada adalah 2 menit 48 detik, memenuhi waktu tanggap maksimal (*respon time*). Lebih singkat 46.67 % dari rata-rata *respon time* armada pemadam kebakaran Kota Manado saat ini (aktual).

5. Kesimpulan

Algoritma Floyd Warshall dapat digunakan untuk menentukan jarak dan jalur terpendek dari seluruh Pos Damkar ke seluruh lokasi rawan kebakaran di Kota Manado baik dengan perhitungan manual maupun dengan perangkat lunak GNU Octave. Algoritma Floyd Warshall mampu memenuhi waktu tanggap maksimal dengan mempersingkat 46.67% *respon time* aktual. Pemilihan pos pemadam kebakaran menggunakan algoritma Floyd Warshall lebih efisien dibandingkan pemilihan pos pemadam kebakaran berdasarkan kecamatan.

Ucapan Terimakasih

Penelitian ini didanai oleh DIPA Universitas Sam Ratulangi dalam Hibah Riset Dasar/ Terapan Umum Unggulan UNSRAT. Penulis mengucapkan terimakasih kepada Universitas Sam Ratulangi yang telah mendanai penelitian ini melalui PNPB BLU UNSRAT tahun 2025 dengan nomor kontrak 1094/ UN12.27/LT/2025.

Daftar Pustaka

- [1] Umar Rhendi, “Tahun 2024 Ada 139 Peristiwa Kebakaran di Kota Manado Sulawesi Utara.” Accessed: Feb. 04, 2025. [Online]. Available: <https://manado.tribunnews.com/2025/01/11/tahun-2024-ada-139-peristiwa-kebakaran-di-kota-manado-sulawesi-utara>
- [2] Standarisasi Nasional Indonesia, “No.09-7053-200 tentang Kendaraan dan peralatan pemadam kebakaran – pompa,” 2004.
- [3] K. A. Yuwamahendra and C. I. Ratnasari, “Penerapan Teknologi Location-Based Services dalam Mobile Application: Suatu Tinjauan Literatur,” 2020.
- [4] U. A. N. Aini, “ANALISIS RESIKO AKIBAT KESALAHAN SYSTEM FUZZY-FMEA,” Jun. 2023.
- [5] A. P. Wibowo, K. Azmi, Y. Azzahra, Y. Y. Purba, and D. Kartika, “PENERAPAN ALGORITMA DIJKSTRA UNTUK MENENTUKAN RUTE TERPENDEK DARI RS.BINA KASIH MENUJU RS.ADAM MALIK,” *MATHUNESA : Jurnal Ilmiah Matematika*, vol. 13, no. 01, pp. 157–167, 2025.
- [6] V. A. Nawagusti, A. Nurdin, A. Aryanti,) Jurusan, T. Elektro, and A. Bagi, “PENENTUAN RUTE TERPENDEK PADA OPTIMALISASI JALUR PENDISTRIBUSIAN BARANG DI PT. X DENGAN MENERAPKAN ALGORITMA FLOYD-WARSHALL,” Malang, Feb. 2018.
- [7] A. M. Inayah, N. C. Resti, and N. F. Ilmiyah, “ANALISA PERBANDINGAN ALGORITMA FLOYD-WARSHALL DAN ALGORITMA DIJKSTRAUNTUK PENENTUAN RUTE TERDEKAT,” *Jurnal Ilmiah Matematika Realistik (JI-MR)*, vol. 4, no. 2, pp. 146–155, Dec. 2023.
- [8] A. Fadillah, St. H. Mansyur, and Purnawansyah, “Analisis Perbandingan Algoritma Floyd-Warshall Dan A Star (A*) Dalam Penentuan Lintasan Terpendek,” *Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi*, vol. 9, no. 4, pp. 2736–2751, Dec. 2022.
- [9] F. Ridwan and R. D. Agustin, “Penggunaan Algoritma Floyd-Warshall untuk Menentukan Rute Terpendek Menuju Air Terjun Waimarang,” *Laplace : Jurnal Pendidikan Matematika*, vol. 3, no. 2, pp. 87–94, Oct. 2020, doi: 10.31537/laplace.v3i2.375.
- [10] N. Sutanti, B. Tjahjono, and L. Syaufina, “Analisis Risiko Bencana Kebakaran di Kecamatan Tambora Kota Administrasi Jakarta Barat,” *TATALOKA*, vol. 22, no. 2, pp. 162–174, May 2020, doi: 10.14710/tataloka.22.2.162-174.
- [11] Z. Buako, L. Yahya, and N. Achmad, “APLIKASI ALGORITMA FLOYD-WARSHALL DENGAN PENDEKATAN MADM DALAM MENENTUKAN RUTE TERPENDEK PENGANGKUTAN SAMPAH,” *Euler : Jurnal Ilmiah Matematika, Sains dan Teknologi*, vol. 9, no. 2, pp. 62–70, Oct. 2021, doi: 10.34312/euler.v9i2.10979.
- [12] Y. Danies Mahendra and A. Burhanuddin, “SISTEM PENENTUAN JARAK TERDEKAT DALAM PENGIRIMAN DARAH DI PMI KOTA SEMARANG DENGAN METODE ALGORITMA GREEDY,” 2019.
- [13] R. F. Harahap and Sawaluddin, “Study vehicle routing problem using Nearest Neighbor Algorithm,” in *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics, 2023. doi: 10.1088/1742-6596/2421/1/012027.
- [14] D. T. Salaki, “PENENTUAN LINTASAN TERPENDEK DARI FMIPA KE REKTORAT DAN FAKULTAS LAIN DI UNSRAT MANADO MENGGUNAKAN ALGORITMA DIJKSTRA,” Manado, Apr. 2011.
- [15] R. Umar, A. Yudhana, and A. Prayudi, “ANALISIS PERBANDINGAN ALGORITMA DIJKSTRA, A-STAR, DAN FLOYD WARSHALL DALAM PENCARIAN RUTE TERDEKAT PADA OBJEK WISATA KABUPATEN DOMPU,” *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (JTIK)*, vol. 8, no. 2, pp. 227–234, 2021, doi: 10.25126/jtiik.202182866.
- [16] V. A. Nawagusti, A. Nurdin, A. Aryanti,) Jurusan, T. Elektro, and A. Bagi, “PENENTUAN RUTE TERPENDEK PADA OPTIMALISASI JALUR PENDISTRIBUSIAN BARANG DI PT. X DENGAN MENERAPKAN ALGORITMA FLOYD-WARSHALL,” 2018.
- [17] P. R. R. Sanggala Ekra, “Pengembangan Aplikasi Berbasis Octave dan VBA Excel Untuk Media Pembelajaran Penyelesaian TSP dengan Nearest Neighbour,” *Jurnal Logistik Bisnis*, vol. 12, pp. 76–86, Dec. 2022.