

PENERAPAN LINTASAN TERPENDEK UNTUK EVAKUASI DARURAT PADA BANGUNAN PRIMAKARA UNIVERSITY

APPLICATION OF SHORTEST PATH FOR EMERGENCY EVACUATION IN PRIMAKARA UNIVERSITY BUILDING

KETUT QUEENA FREDLINA¹, IDA BAGUS KADE PUJA ARIMBAWA K.²

¹Fakultas Teknologi Informasi dan Desain, Program Studi Teknik Informatika, Primakara University
Jalan Tukad Badung No. 135, Renon, Denpasar Selatan, Kota Denpasar, Bali 80226, email: naa.queena@gmail.com

²Fakultas Teknologi dan Ilmu Kesehatan, Program Studi Sistem Informasi, Universitas Bali Dwipa
Jalan Raya Puputan Renon No. 108, Panjer, Denpasar Selatan, Kota Denpasar, Bali 80234, email: kemenuh.puja@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini mengkaji penerapan algoritma Floyd-Warshall untuk mengoptimalkan rute evakuasi darurat di Bangunan Primakara University. Dengan fokus pada peningkatan keamanan dan efisiensi evakuasi, penelitian ini menggunakan matriks ketetanggaan yang menggambarkan jarak antar ruangan dalam bangunan untuk mengidentifikasi jalur evakuasi terpendek menggunakan teori graf dan konsep matematika lainnya. Metodologi yang digunakan meliputi pengumpulan data ruang, analisis matematis untuk merumuskan model jarak dan waktu evakuasi, serta pengujian algoritma dalam simulasi C++ untuk menghitung rute evakuasi. Pendekatan ini memanfaatkan berbagai konsep matematika, termasuk analisis matriks, teori graf, dan algoritma optimasi, untuk memastikan hasil yang akurat dan dapat diandalkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan aplikasi algoritma Floyd-Warshall, dapat disusun rute evakuasi yang tidak hanya meminimalkan waktu evakuasi tetapi juga memastikan keselamatan maksimal penghuni dalam situasi darurat. Studi ini memberikan implikasi signifikan untuk perancangan sistem evakuasi yang lebih efektif di lingkungan universitas, menawarkan kerangka kerja yang dapat diadaptasi untuk situasi darurat lainnya.

Kata kunci : Algoritma Floyd-Warshall, Teori Graf, Rute Evakuasi Darurat

Abstract

This study examines the application of the Floyd-Warshall algorithm to optimize emergency evacuation routes in the Primakara University Building. Focusing on enhancing the safety and efficiency of evacuations, this research utilizes an adjacency matrix that depicts the distances between rooms within the building to identify the shortest evacuation paths using graph theory and other mathematical concepts. The methodology includes spatial data collection, mathematical analysis to formulate distance and evacuation time models, and algorithm testing in a C++ simulation to calculate evacuation routes. This approach leverages various mathematical concepts, including matrix analysis, graph theory, and optimization algorithms, to ensure accurate and reliable results. The findings indicate that applying the Floyd-Warshall algorithm can create evacuation routes that not only minimize evacuation time but also ensure maximum safety for occupants in emergency situations. This study has significant implications for designing more effective evacuation systems in university settings, providing a framework that can be adapted for other emergency situations.

Key Words : Floyd-Warshall Algorithm, Graph Theory, Emergency Evacuation Routes

Pendahuluan

Dalam konteks keamanan dan kesiapan darurat di lingkungan universitas, penerapan teori graf menjadi sebuah konsep matematis yang mampu memberikan solusi efisien dalam menentukan rute evakuasi darurat. Teori graf, sebagai cabang ilmu matematika, menyediakan kerangka kerja untuk merepresentasikan hubungan antarobjek dengan menggunakan simpul dan sisi. Simpul merepresentasikan entitas atau titik, sedangkan sisi menggambarkan hubungan atau lintasan antara simpul-simpul tersebut. Dalam analisis evakuasi darurat, konsep lintasan terpendek dalam teori graf memiliki peran krusial.

Pentingnya memiliki rute evakuasi darurat di lingkungan universitas tidak dapat diabaikan. Universitas adalah tempat yang dihuni oleh ribuan mahasiswa, dosen, karyawan, dan pengunjung setiap hari. Dalam skenario keadaan darurat seperti kebakaran, gempa bumi, atau ancaman keamanan lainnya, keberadaan rute evakuasi darurat menjadi faktor penentu keselamatan. Kampus yang memiliki rute evakuasi yang terencana dengan baik dapat meminimalkan risiko cedera, memastikan respons cepat, dan melindungi anggota komunitas kampus.

Salah satu penerapan konkret dari teori graf dalam konteks ini adalah dalam menentukan rute evakuasi darurat pada bangunan termasuk di dalamnya adalah Primakara University [1][2]. Dengan menggunakan prinsip lintasan terpendek, teori graf memungkinkan identifikasi jalur evakuasi yang optimal, meminimalkan jarak dan waktu yang diperlukan untuk mencapai titik evakuasi. Di Primakara University, yang terus berkembang dan mengalami perubahan tata ruang, penerapan teori graf dapat membantu mengidentifikasi dan mengadaptasi rute evakuasi sesuai dengan kondisi aktual bangunan. Dengan menggabungkan aspek-aspek ini, penerapan lintasan terpendek menggunakan teori graf di Primakara University dapat memberikan solusi yang sistematis dan responsif dalam menghadapi keadaan darurat.

Dalam konteks lintasan terpendek, beberapa penelitian telah dilakukan diantaranya oleh K. I.B.K. Puja A. dkk yang mencari lintasan terpendek jalur evakuasi tsunami di Kelurahan Benoa[3]. Penelitian serupa juga dilakukan oleh Christie dkk dengan algoritma Floyd Warshall[4]. Untuk Rute evakuasi bencana dalam sebuah bangunan, Dwi Setyo Muyatno dkk[5] serta Agung Setyo Budi dkk[6] menulis tentang perancangan jalur evakuasi dan titik kumpul. Berdasarkan hal diatas, penulis tertarik mengimplementasikan Algoritma Floyd-Warshall. Algoritma Floyd-Warshall merupakan salah satu algoritma yang digunakan untuk mencari lintasan terpendek antara setiap pasangan simpul dalam sebuah graf berbobot.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menginvestigasi dan menerapkan konsep lintasan terpendek dari teori graf dalam pengembangan rute evakuasi darurat di Bangunan Primakara University dengan menggunakan algoritma Floyd-Warshall. Penelitian ini bertujuan untuk menyusun model graf yang merepresentasikan struktur ruang bangunan, mengidentifikasi jalur evakuasi terpendek, dan merancang sistem evakuasi yang optimal. Dengan memanfaatkan C++, perhitungan dalam menentukan jarak terpendek menjadi lebih akurat. Dengan fokus pada Primakara University, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi konkret untuk meningkatkan kesiapan dan keselamatan anggota komunitas kampus.

Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di kampus Primakara University, Jalan Tukad badung No 135 Renon. Sumber data yang diperoleh penulis ialah data primer dan sekunder. Data primer adalah data yang diperoleh langsung dari sumbernya, diamati, dicatat untuk pertama kalinya[7]. Dalam penelitian ini data primer berasal dari hasil wawancara kepada Direktorat Pelaksana Teknis (DPT), serta pengukuran secara langsung jarak setiap ruangan sebagai titik evakuasi menuju titik aman. Data sekunder merupakan data yang diperoleh tidak secara langsung, yaitu dari dokumentasi yang telah dikumpulkan oleh bagian DPT berupa peta Bangunan Primakara University.

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data kualitatif dan data kuantitatif. Data kualitatif yang digunakan dalam penelitian ini berupa gambar bangunan dan ruangan. Data kuantitatif yang digunakan dalam penelitian ini berupa jumlah sivitas akademika primakara serta jarak setiap ruangan menuju titik kumpul sebagai bobot graf. Dalam pelaksanaannya, penelitian ini mengikuti Langkah-langkah sebagai berikut:

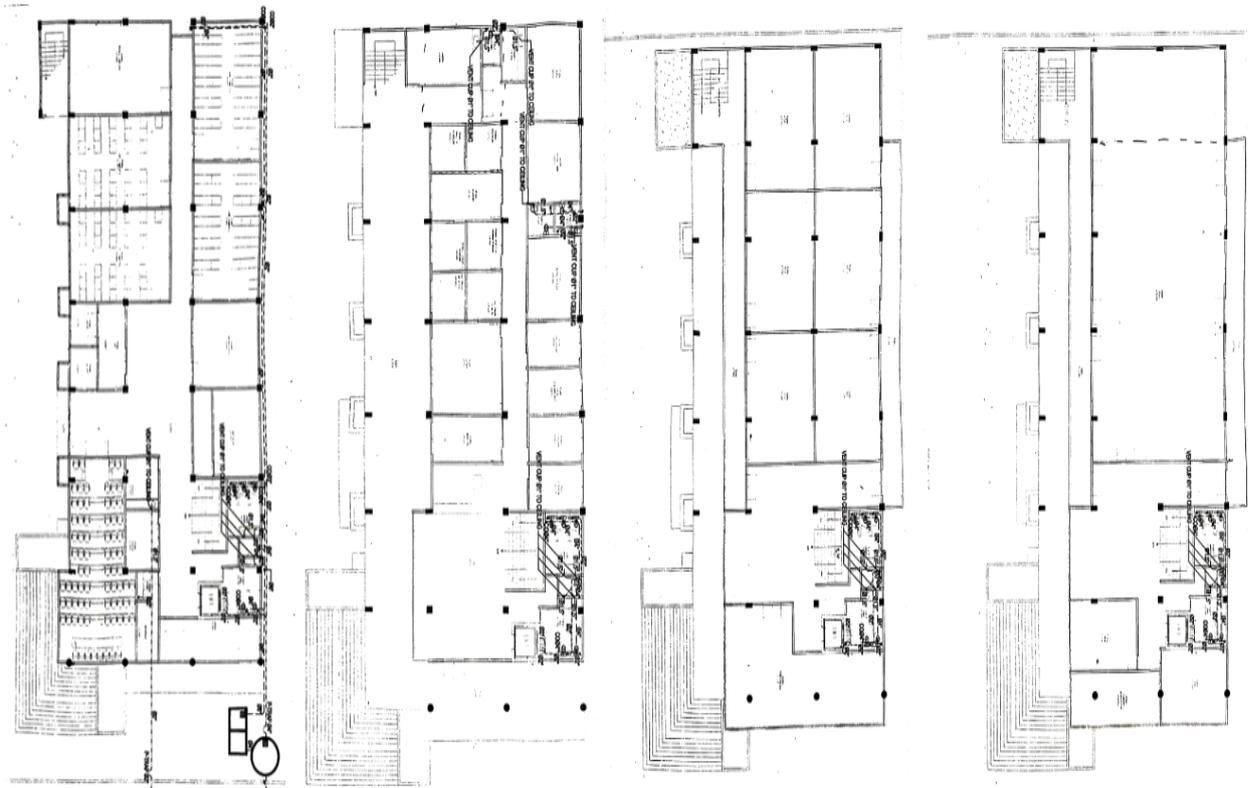
1. Review literatur untuk memahami konsep dasar teori graf, algoritma Floyd-Warshall, dan aplikasinya dalam perencanaan rute evakuasi darurat. Studi literatur membantu peneliti memahami landasan teoritis yang relevan dengan penelitian.
2. Identifikasi sumber data yang diperlukan untuk penelitian. Ini dapat mencakup peta bangunan, data geospasial, informasi jumlah penghuni, dan data lain yang relevan dengan penelitian.
3. Pengumpulan data, proses pengumpulan data dari sumber-sumber yang telah diidentifikasi. Pengumpulan data dapat melibatkan survei lapangan, wawancara, dan pengukuran langsung di lokasi.
4. Pembentukan Graf, membentuk graf tak berarah yang merepresentasikan struktur bangunan dengan menggunakan simpul dan sisi. Setiap simpul mewakili area atau ruangan, sedangkan sisi menggambarkan hubungan antar-ruangan.
5. Penentuan Bobot pada Sisi Graf, Menentukan bobot pada setiap sisi graf berdasarkan kriteria jarak antar-ruangan. Bobot ini mencerminkan faktor yang memengaruhi evakuasi darurat.
6. Matriks ketetanggaan, menentukan matriks ketetanggaan[8] dari sebuah graf berbobot tak berarah, mengikuti langkah-langkah berikut:

- a. Identifikasi Simpul: Tentukan jumlah simpul n dalam graf. Ini akan menentukan dimensi matriks $n \times n$
 - b. Inisialisasi Matriks : Buat matriks $n \times n$ dimana semua elemen diinisialisasi dengan nilai tak terhingga (INF) jika antar simpul tidak bertetangga
 - c. Menetapkan bobot : Untuk setiap pasangan simpul yang bertetangga, tetapkan elemen matriks $A[i][j]$ dengan bobot sisi yang merepresentasikan jarak antar simpul tersebut
7. Implementasi Algoritma Floyd-Warshall, untuk menemukan lintasan terpendek dari pintu darurat atau area awal ke titik evakuasi atau titik kumpul. Algoritma ini membantu menghitung rute evakuasi darurat dengan meminimalkan bobot total. Langkah Algoritma Floyd-Warshall mengikuti langkah berikut [9],[10] :
- a. Inisialisasi : Mulai dengan matriks jarak ' $dist$ ' yang sama dengan bobot graf. Jika ada sisi antara dua simpul, isi dengan nilai tak hingga.
 - b. Iterasi Utama : Untuk setiap simpul ' k ' (dianggap sebagai simpul perantara), lakukan iterasi melalui semua simpul ' i ' dan ' j '
 - c. Perbarui Matriks Jarak : Dalam setiap iterasi, bandingkan jarak langsung ' $dist[i][j]$ ' dengan jarak yang melewati simpul perantara ' k ' (' $dist[i][k] + dist[k][j]$ ') Jika jarak melalui ' k ' lebih pendek, perbarui ' $dist[i][j]$ '
8. Validasi Hasil, melakukan validasi terhadap hasil rute evakuasi yang dihasilkan oleh algoritma. Validasi dapat dilakukan melalui simulasi atau analisis manual untuk memastikan keakuratan dan keefektifan rute yang diusulkan.

Hasil Penelitian dan Pembahasan

Hasil Penelitian

Penulis berhasil menyelesaikan pembentukan model graf yang akurat, merepresentasikan hubungan antarobjek di Bangunan Primakara University setelah melakukan analisis struktur ruang bangunan. Tahapan ini melibatkan pemetaan setiap ruangan, koridor, tangga, pintu keluar, serta hubungan antarannya dalam bentuk simpul dan sisi mengikuti gambar denah pada Gambar 1 (dari kiri ke kanan: lantai 1 sampai dengan lantai 4). Telah dilakukan survei mendalam terhadap setiap lantai dan area bangunan untuk memastikan representasi yang sesuai dalam model graf.



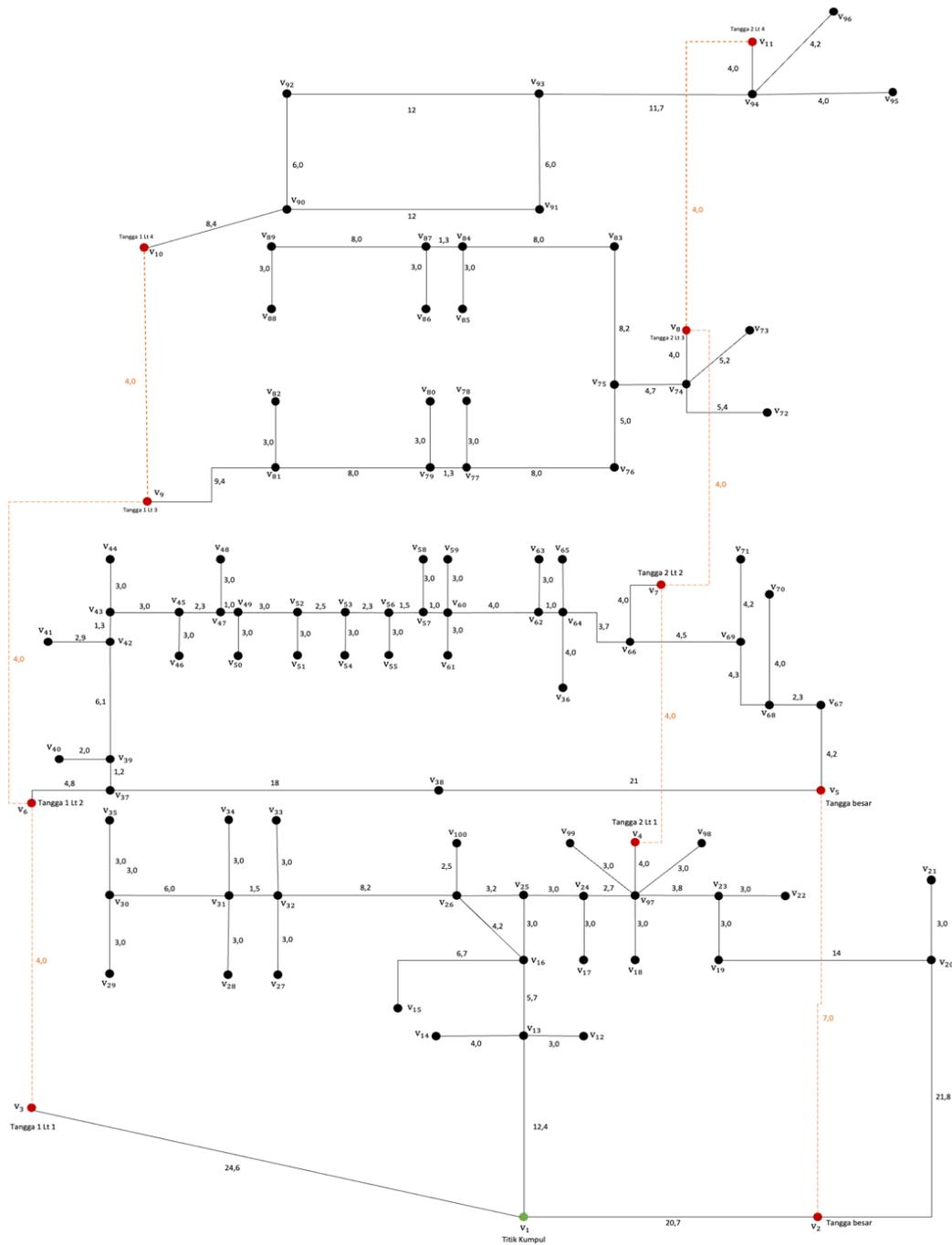
Gambar 1. Denah bangunan Primakara University

Data ruangan dan titik kumpul (v_1) diperoleh berdasarkan Gambar 1 yang selanjutnya disesuaikan dengan nama simpul. Berikut adalah daftar ruangan dari Primakara University.

Tabel 1. Daftar Ruangan Primakara University

No	Simpul	Ruangan	No	Simpul	Ruangan	No	Simpul	Ruangan
1	v2	Tangga besar lantai 1	21	v33	Ruang Pandora	41	v72	Perpustakaan
2	v3	Tangga 1 lantai 1	22	v34	Ruang DTI	42	v73	Kamar mandi lantai 3
3	v4	Tangga 2 lantai 1	23	v35	Ruang Animasi	43	v78	R.01
4	v5	Tangga besar lantai 2	24	v36	FO Lantai 2	44	v80	R.02
5	v6	Tangga 1 lantai 2	25	v38	Selasar	45	v82	R.03
6	v7	Tangga 2 lantai 2	26	v40	Kantin lantai 2	46	v85	R.04
7	v8	Tangga 2 lantai 3	27	v41	Kamar mandi staff	47	v86	R.05
8	v9	Tangga 1 lantai 3	28	v44	Ruang WR 2	48	v88	R.06
9	v10	Tangga 1 lantai 4	29	v46	Ruang WR 4	49	v92	Aula lantai 4
10	v11	Tangga 2 lantai 4	30	v48	Ruang Meeting	50	v95	Ruang Ormawa
11	v12	Auditorium	31	v50	Ruang FEB	51	v96	Kamar mandi lantai 4
12	v14	FO lantai 1	32	v51	Ruang Advisory Board	52	v98	Kamar mandi lantai 1
13	v15	Ruang ULB	33	v54	Ruang FTID	53	v99	Studio musik
14	v18	Ruang Sekber	34	v55	Ruang WR 1	54	v100	Ruang Marketing
15	v19	Ruang DPT	35	v58	Ruang Rektor			
16	v21	Kantin lantai 1	36	v59	Ruang LPM			
17	v22	Mushola	37	v63	Ruang SDM			
18	v27	Laboratorium RPL	38	v65	Ruang PSSU			
19	v28	Laboratorium Data	39	v70	Ruang WR 3			
20	v29	Ruang Kreatif	40	v71	Kamar mandi lantai 2			

Selanjutnya dalam pembentukan graf, digunakan pendekatan yang komprehensif untuk memastikan bahwa setiap elemen dalam bangunan direpresentasikan dengan tepat. Penulis mempertimbangkan tidak hanya struktur fisik bangunan, tetapi juga faktor-faktor seperti arah dan lebar koridor, kapasitas tangga, dan lokasi pintu keluar. Hasilnya adalah model graf berbobot yang memberikan gambaran yang komprehensif tentang struktur ruang Bangunan Primakara University. Bobot pada graf adalah jarak (dalam meter) antar simpul yang telah diukur sesuai dengan kondisi fisik bangunan.



Gambar 2. Graf berbobot

Berangkat dari graf berbobot yang telah didapat, matriks ketetanggaan dibentuk memperhatikan Langkah-langkah yang telah dijelaskan di atas. Kemudian, implementasi algoritma Floyd-Warshall dalam bahasa pemrograman C++ untuk mempermudah perhitungan[11]. Berikut adalah potongan dari sintaks C++ untuk algoritma Floyd-Warshall.

```

void floydwarshall(vector<vector<double>>& graph, int V, int target) {
    vector<vector<double>> dist = graph;
    vector<vector<int>> next(V, vector<int>(V, -1));

    for (int i = 0; i < V; i++) {
        for (int j = 0; j < V; j++) {
            if (graph[i][j] != INF) {
                next[i][j] = j;
            }
        }
    }

    for (int k = 0; k < V; k++) {
        for (int i = 0; i < V; i++) {
            for (int j = 0; j < V; j++) {
                if (dist[i][k] != INF && dist[k][j] != INF && dist[i][k] + dist[k][j] < dist[i][j]) {
                    dist[i][j] = dist[i][k] + dist[k][j];
                    next[i][j] = next[i][k];
                }
            }
        }
    }

    printResults(dist, next, V, target);
}

```

Gambar 3. Sintaks C++ Algoritma Floyd-Warshall

Pembahasan

Hasil dari perhitungan C++, lintasan terpendek dari setiap ruangan yang ada di Primakara University menuju titik kumpul (v_1) tersaji pada Tabel 2.

Tabel 2. Rute evakuasi terpendek

No	Ruangan	Simpul	Rute Evakuasi	Jarak (m)
1	Auditorium	v12	v12 -> v13 -> v1	15,4
2	FO lantai 1	v14	v14 -> v13 -> v1	16,4
3	Ruang ULB	v15	v15 -> v16 -> v13 -> v1	24,8
4	Ruang Sekber	v18	v18 -> v97 -> v24 -> v25 -> v16 -> v13 -> v1	29,8
5	Ruang DPT	v19	v19 -> v23 -> v97 -> v24 -> v25 -> v16 -> v13 -> v1	33,6
6	Kantin lantai 1	v21	v21 -> v20 -> v2 -> v1	45,5
7	Mushola	v22	v22 -> v23 -> v97 -> v24 -> v25 -> v16 -> v13 -> v1	33,6
8	Laboratorium RPL	v27	v27 -> v32 -> v26 -> v16 -> v13 -> v1	33,5
9	Laboratorium Data	v28	v28 -> v31 -> v32 -> v26 -> v16 -> v13 -> v1	35
10	Ruang Kreatif	v29	v29 -> v30 -> v31 -> v32 -> v26 -> v16 -> v13 -> v1	41
11	Ruang Pandora	v33	v33 -> v32 -> v26 -> v16 -> v13 -> v1	33,5
12	Ruang DTI	v34	v34 -> v31 -> v32 -> v26 -> v16 -> v13 -> v1	35
13	Ruang Animasi	v35	v35 -> v30 -> v31 -> v32 -> v26 -> v16 -> v13 -> v1	41
14	FO Lantai 2	v36	v36 -> v64 -> v66 -> v7 -> v4 -> v24 -> v25 -> v16 -> v13 -> v1	43,8
15	Selasar	v38	v38 -> v5 -> v2 -> v1	48,7
16	Kantin lantai 2	v40	v40 -> v39 -> v37 -> v6 -> v3 -> v1	36,6
17	Kamar mandi staff	v41	v41 -> v42 -> v39 -> v37 -> v6 -> v3 -> v1	43,6
18	Ruang WR 2	v44	v44 -> v43 -> v42 -> v39 -> v37 -> v6 -> v3 -> v1	45
19	Ruang WR 4	v46	v46 -> v45 -> v43 -> v42 -> v39 -> v37 -> v6 -> v3 -> v1	48
20	Ruang Meeting	v48	v48 -> v47 -> v45 -> v43 -> v42 -> v39 -> v37 -> v6 -> v3 -> v1	50,3
21	Ruang FEB	v50	v50 -> v49 -> v47 -> v45 -> v43 -> v42 -> v39 -> v37 -> v6 -> v3 -> v1	51,3
22	Ruang Advisory Board	v51	v51 -> v52 -> v49 -> v47 -> v45 -> v43 -> v42 -> v39 -> v37 -> v6 -> v3 -> v1	54,3
23	Ruang FTID	v54	v54 -> v53 -> v56 -> v57 -> v60 -> v62 -> v64 -> v66 -> v7 -> v4 -> v24 -> v25 -> v16 -> v13 -> v1	52,6
24	Ruang WR 1	v55	v55 -> v56 -> v57 -> v60 -> v62 -> v64 -> v66 -> v7 -> v4 -> v24 -> v25 -> v16 -> v13 -> v1	50,3
25	Ruang Rektor	v58	v58 -> v57 -> v60 -> v62 -> v64 -> v66 -> v7 -> v4 -> v24 -> v25 -> v16 -> v13 -> v1	48,8
26	Ruang LPM	v59	v59 -> v60 -> v62 -> v64 -> v66 -> v7 -> v4 -> v24 -> v25 -> v16 -> v13 -> v1	47,8
27	Ruang SDM	v63	v63 -> v62 -> v64 -> v66 -> v7 -> v4 -> v24 -> v25 -> v16 -> v13 -> v1	43,8
28	Ruang PSSU	v65	v65 -> v64 -> v66 -> v7 -> v4 -> v24 -> v25 -> v16 -> v13 -> v1	42,8
29	Ruang WR 3	v70	v70 -> v68 -> v67 -> v5 -> v2 -> v1	38,2
30	Kamar mandi lantai 2	v71	v71 -> v69 -> v68 -> v67 -> v5 -> v2 -> v1	42,7
31	Perpustakaan	v72	v72 -> v74 -> v8 -> v7 -> v4 -> v24 -> v25 -> v16 -> v13 -> v1	45,5
32	Kamar mandi lantai 3	v73	v73 -> v74 -> v8 -> v7 -> v4 -> v24 -> v25 -> v16 -> v13 -> v1	45,3
33	R.01	v78	v78 -> v77 -> v79 -> v81 -> v9 -> v6 -> v3 -> v1	54,3
34	R.02	v80	v80 -> v79 -> v81 -> v9 -> v6 -> v3 -> v1	53
35	R.03	v82	v82 -> v81 -> v9 -> v6 -> v3 -> v1	45
36	R.04	v85	v85 -> v84 -> v83 -> v75 -> v74 -> v8 -> v7 -> v4 -> v24 -> v25 -> v16 -> v13 -> v1	64
37	R.05	v86	v86 -> v87 -> v84 -> v83 -> v75 -> v74 -> v8 -> v7 -> v4 -> v24 -> v25 -> v16 -> v13 -> v1	65,3
38	R.06	v88	v88 -> v89 -> v87 -> v84 -> v83 -> v75 -> v74 -> v8 -> v7 -> v4 -> v24 -> v25 -> v16 -> v13 -> v1	73,3
39	Aula lantai 4	v92	v92 -> v90 -> v91 -> v10 -> v9 -> v6 -> v3 -> v1	63
40	Ruang Ormawa	v95	v95 -> v94 -> v11 -> v8 -> v7 -> v4 -> v24 -> v25 -> v16 -> v13 -> v1	48,1
41	Kamar mandi lantai 4	v96	v96 -> v94 -> v11 -> v8 -> v7 -> v4 -> v24 -> v25 -> v16 -> v13 -> v1	48,3
42	Kamar mandi lantai 1	v98	v98 -> v97 -> v24 -> v25 -> v16 -> v13 -> v1	29,8
43	Studio musik	v99	v99 -> v97 -> v24 -> v25 -> v16 -> v13 -> v1	29,8
44	Ruang Marketing	v100	v100 -> v26 -> v16 -> v13 -> v1	24,8

Dari hasil yang diperoleh mengenai rute evakuasi di Primakara University, setiap ruangan telah diberikan rute evakuasi yang paling efisien berdasarkan pengukuran jarak dalam meter. Rute-rute ini telah dirancang untuk memaksimalkan keamanan dan meminimalisir waktu evakuasi dalam keadaan darurat. Analisis ini menggunakan matriks ketetanggaan yang mencakup semua simpul dan jarak antar mereka, memanfaatkan algoritma Floyd-Warshall untuk mengoptimalkan jalur terpendek dari setiap ruangan ke titik evakuasi yang ditentukan. Hasilnya, setiap ruangan di universitas kini memiliki jalur evakuasi yang terdefinisi dengan jelas, yang ditandai dengan jarak terukur dari titik awal ke titik aman, memastikan bahwa setiap individu dapat mencapai titik evakuasi dengan jalur tercepat dan paling aman yang mungkin.

Kesimpulan

Penerapan algoritma Floyd-Warshall telah memberikan wawasan penting dalam mengidentifikasi jalur terpendek dan paling efektif untuk evakuasi. Dengan mengintegrasikan data dari matriks ketetanggaan dan mengimplementasikannya melalui algoritma Floyd-Warshall, penelitian ini berhasil memetakan jalur evakuasi yang tidak hanya efisien tetapi juga dapat meningkatkan keamanan dan keselamatan bagi seluruh komunitas universitas. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa dengan pendekatan sistematis ini, setiap ruangan di universitas memiliki akses ke rute evakuasi yang terdefinisi jelas, meminimalisir waktu evakuasi dan memaksimalkan respons keselamatan dalam keadaan darurat. Kesimpulan ini mendukung pentingnya penerapan teori graf dalam perencanaan infrastruktur keamanan di lingkungan pendidikan, memberikan contoh konkret bagaimana teknologi dan analisis data dapat berkontribusi signifikan terhadap kesiapsiagaan dan keamanan darurat.

Daftar Pustaka

- [1] Diestel, Reinhard. (2000). *Graph Theory Electronic Edition 2000*. New York, Springer-Verlag.
- [2] Munir, Renaldi. (2005). *Matematika Diskrit*. Edisi Ketiga. Bandung, Informatika.
- [3] K, I. B. K. P. A., Sukartiasih, W. . and Sedayu, A. . (2023) "Optimization of the Shortest Tsunami Evacuation Route Using Dijkstra's Algorithm in Benoa Village", *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, 3(2), pp. 217-224. doi: 10.47709/brilliance.v3i2.3089
- [4] Montolalu, Chriestie E. J. C., Chungdinata, Stephanie E., and Soares, Therechia A. F. (2019). Optimization of Tsunami Evacuation Route using Floyd Warshall Algorithm (Case Study: Manado City). *IORA International Conference on Operations Research*, Manado, Indonesia, pp 244-245
- [5] Muiyato, D. S., Puryani, dan Astanti, Y.D., (2020). Penentuan Jalur Evakuasi dan Titik Kumpul Terhadap Bencana Gempa Bumi. *TEKINFO – Jurnal Ilmiah Teknik Industri dan Informasi*, 8(2), pp.88-98. doi: <https://doi.org/10.31001/tekinfo.v8i2.850>
- [6] Budi, A.S., Ashari, M.L., dan Khairansyah, M.D., (2023). Perancangan Jalur Evakuasi Pada Gedung Apartemen Menggunakan Metode Ant Colony Optimization. *7th CONFERENCE ON SAFETY ENGINEERING AND IT'S APPLICATION*
- [7] Marzuki, (2005). *Metodologi Riset*. Yogyakarta, Ekonisia
- [8] Siang, Jong Jek. (2009). *Matematika Diskrit dan Aplikasinya pada Ilmu Komputer*. Yogyakarta, Andi Offset.
- [9] Triana, Y. S. and Syahputri, Indah. (2018). Implementation Floyd-Warshall Algorithm for the Shortest Path of Garage. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 3(2), pp. 871-878.
- [10] Khamami, A. and Saputra, R., (2018). The shortest path search application based on the citytransport route in Semarang using the Floyd-warshallalgorithm. *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1217*, pp.1-7, doi: 10.1088/1742-6596/1217/1/012116
- [11] Josuttis, N.M., (2013). *The C++ Standard Library : A Tutorial and Reference Second Edition*. United States, Michigan, Pearson Education, Inc.