

Penggunaan Algoritma Dijkstra untuk Berbagai Masalah: *Mini Review*

ROSYID RIDLO AL HAKIM^{1, *}, MUHAMMAD HAIKAL SATRIA¹, YANUAR ZULARDIANSYAH ARIEF^{1, 2}, AGUNG PANGESTU¹, ARIEP JAENUL¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Global Jakarta, Indonesia

²Department of Electrical and Electronic Engineering, Faculty of Engineering, Universiti Malaysia Sarawak, Malaysia

*Email: rosyidridlo@student.jgu.ac.id

ABSTRAK

Algoritma yang cocok digunakan dalam menentukan jarak terpendek ke suatu lokasi, salah satunya berupa Algoritma Dijkstra. Algoritma Dijkstra merupakan jenis Algoritma *greedy* yang mengonsep dalam menentukan layanan minimum pada beberapa rute yang tersedia dan menghasilkan kumpulan solusi rute terpendek. Penerapan Algoritma Dijkstra dapat digunakan dalam berbagai bidang. Algoritma Dijkstra dapat menawarkan pilihan rute yang terdaftar dalam sistem, kemudian sistem akan memproses jarak terdekat yang dapat ditempuh dengan menampilkan peta kepada *user*. Kami berusaha menghimpun beberapa penelitian terkait penerapan Algoritma Dijkstra untuk menyelesaikan berbagai masalah, sehingga diharapkan tulisan ini dapat bermanfaat untuk para peneliti yang hendak mengimplementasi Algoritma Dijkstra untuk berbagai bidang, seperti penyelesaian *biobjective shortest path*, penentuan jalur *multi-objective*, graf Dijkstra, evakuasi darurat, permasalahan *fuzzy*, integrasi dengan fitur *location-based service* (LBS), dan distribusi rute optimal.

Kata kunci: Algoritma Dijkstra, jarak terpendek, rute terpendek.

ABSTRACT

Algorithms that are suitable to be used in determining the shortest distance to a location, is the Dijkstra Algorithm. Dijkstra Algorithm is a greedy algorithm which conceptualizes the minimum service on several available routes and produces a collection of the shortest route solutions. Implementation of Dijkstra's Algorithm can be used in various fields. Dijkstra algorithm offered a choice of routes that are registered in the system, it will process the closest distance that can be reached by map view. We try to collect several studies that apply the Dijkstra Algorithm for various problems solving, this paper can be useful for researchers who want to implement Dijkstra Algorithm for various fields, such as solving biobjective shortest paths, determining multi-objective paths, Dijkstra's graphs, emergency evacuation, fuzzy problems, integration with location-based service (LBS) features, and optimal route distribution.

Keywords: *Dijkstra Algorithm, shortest path, shortest routes.*

1. PENDAHULUAN

Algoritma yang cocok digunakan dalam menentukan jarak terpendek ke suatu lokasi, salah satunya berupa Algoritma Dijkstra. Algoritma Dijkstra dapat menentukan jarak terpendek dari beberapa rute yang tersedia (**Qomaruddin et al., 2018; Wahyuningsih & Syahreza, 2018**). Pencarian rute terpendek yang menggunakan Algoritma Dijkstra seperti contohnya adalah untuk menentukan arah tempuh rumah sakit terdekat (**Farid & Yunus, 2017**) mencari rute terdekat lapangan futsal (**Wahyuningsih & Syahreza, 2018**).

Algoritma Dijkstra merupakan jenis Algoritma *greedy* yang mengonsep dalam menentukan layanan minimum pada beberapa rute yang tersedia dan menghasilkan kumpulan solusi rute terpendek. Penelitian (**Wahyuningsih & Syahreza, 2018**) mencoba menentukan jalur terpendek menuju lapangan futsal terdekat di Kota Pangkal Pinang, Pulau Bangka, Republik Indonesia. Algoritma ini dapat menentukan rute tercepat menuju lapangan futsal terdekat sesuai titik pengguna di peta melalui smartphone.

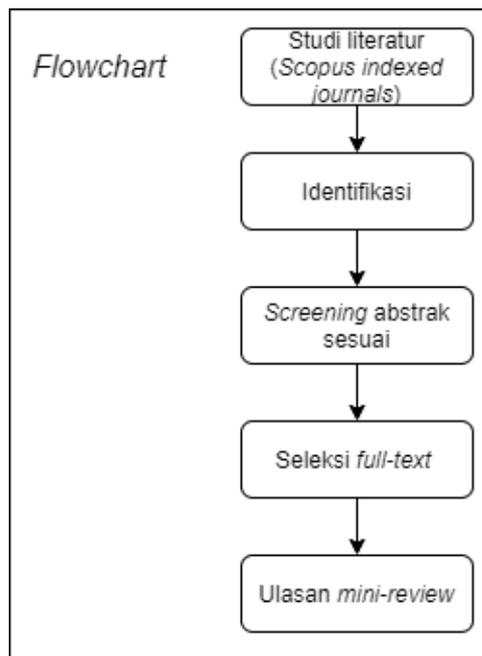
Penerapan Algoritma Dijkstra dapat digunakan dalam berbagai bidang. Algoritma Dijkstra dapat menawarkan pilihan rute yang terdaftar dalam sistem, kemudian sistem akan memproses jarak terdekat yang dapat ditempuh dengan menampilkan peta kepada *user*. Algoritma Dijkstra dapat menghasilkan nilai waktu yang efisien dalam perhitungan jarak antara sistem apabila dibandingkan dengan perhitungan manual yaitu tidak jauh berbeda jaraknya, dan setiap jalur wisata yang dipilih oleh pengguna dapat ditempuh dengan berbagai kecepatan (**Qomaruddin et al., 2018**).

Algoritma Dijkstra sangat efektif dalam menghitung rute terpendek antara dua titik persimpangan pada posisi geografis, ini diterapkan dalam indeks *geofence*. Pentingnya penentuan rute terpendek pada di dua titik yang ada pada posisi geografis akan meningkatkan fitur *location-based services* (LBS) yang terdapat dalam perangkat *smartphone* (**Garzon et al., 2017**). Dikarenakan penerapan Algoritma Dijkstra yang sangat beragam, maka kami berusaha menghimpun beberapa penelitian terkait penerapan Algoritma Dijkstra untuk menyelesaikan berbagai masalah, sehingga diharapkan tulisan ini dapat bermanfaat untuk para peneliti yang hendak mengimplementasi Algoritma Dijkstra untuk berbagai bidang.

2. METODOLOGI

2.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian (*flowchart*) mengacu pada **Putri et al. (2018)**, terdiri atas beberapa tahapan yang dilakukan secara komprehensif. Tahapan-tahapan ini dilakukan guna mendapatkan hasil *review* yang mendalam berdasarkan artikel-artikel yang dipilih. Diagram alir penelitian ini secara lebih detail dijelaskan dalam gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian (flowchart)

2.2 Studi Literatur

Alur penelitian diawali dengan studi literatur dari jurnal-jurnal ter-indeks *Scopus*, kami mendapatkan 42 artikel. Artikel-artikel ini berdasarkan penelusuran lebih lanjut berdasarkan *keywords* yang ada di setiap artikel. Untuk memfokuskan pencarian maka penelusuran terbatas pada *keywords* "Dijkstra algorithm; shortest path; fastest route".

2.3 Identifikasi

Penelusuran Selanjutnya, identifikasi judul yang sesuai dengan cakupan *mini-review* pada artikel ini. Identifikasi judul berkaitan dengan *keywords* untuk setiap artikel dipilih. Dari 42 artikel, judul-judul yang teridentifikasi untuk dilakukan tahapan lebih lanjut berdasarkan pada kesesuaian judul dengan topik penggunaan Algoritma Dijkstra.

2.4 Screening Abstrak Sesuai

Setelah judul-judul artikel yang sesuai dipilih, *screening* setiap judul yang dipilih berdasarkan abstrak, sehingga didapatkan 10 artikel yang sesuai. Abstrak setiap artikel menjadi gambaran secara rinci mengenai bahasan artikelnya. Abstrak yang dipilih disesuaikan dengan tujuan penulisan *mini-review* ini yaitu membahas mengenai pemanfaatan Algoritma Dijkstra untuk berbagai keperluan atau masalah.

2.5 Seleksi *full-text*

Tahapan selanjutnya dilanjutkan dengan membaca *full-text* setiap artikel dan dilakukan proses *mini-review*. Artikel berjumlah 10 ini sudah melalui tahapan yang komprehensif dalam penyeleksiannya. Untuk membatasi cakupan bahasan pada *mini-review* ini, artikel dipilih karena kebaruan cakupan implementasi Algoritma Dijkstra dalam menangani suatu masalah yang timbul. Artikel *mini-review* ini hanya membahas secara kecil berbagai penelitian yang ada sebelumnya (10 artikel) yang

terkait dengan penggunaan Algoritma Dijkstra untuk berbagai masalah, namun akan lebih baik untuk memahami setiap artikel yang dijadikan *mini-review* dapat dilakukan penelusuran artikel yang bersangkutan untuk kemudian dilakukan pembacaan *full-text* demi mendapatkan pemahaman yang menyeluruh untuk artikelnnya.

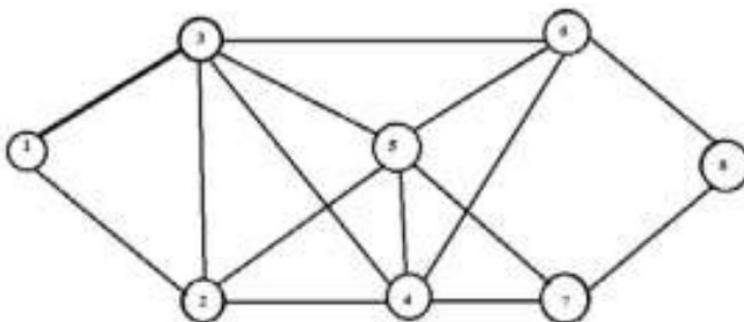
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pencarian

Hasil pencarian didapatkan 10 artikel publikasi tahun 2012-2020 yang terdiri atas 4 publikasi prosiding konferensi internasional (**Garzon et al., 2017; Rosita et al., 2019; Chen et al., 2014; Wang, 2012**). Enam artikel hasil penelitian (**Sedeño-noda & Colebrook, 2019; Wang et al., 2019; Bento et al., 2019; Mirahadi & McCabe, 2020; Deng et al., 2012; Liu et al., 2020**). Kesepuluh artikel ini dipilih karena sesuai dengan tujuan *mini-review* pada artikel ini yaitu untuk mendapatkan informasi mengenai implementasi Algoritma Dijkstra untuk menyelesaikan suatu permasalahan.

3.2 Pembahasan

Algoritma Dijkstra menawarkan *node-node* yang dilalui untuk mencari rute terpendek dari *node* awal hingga *node* tujuan. Berdasarkan nilai minimum bobot bagian yang diberikan pada serangkaian tahapan-tahapan solusi. Setiap graf terdapat sumber *node* untuk kemudian secara strategi algoritma *greedy* dilakukan pencarian minimal bobot terkecil sehingga didapati nilai terpendek yang merupakan rute atau jarak terpendek (**Wahyuningsih & Syahreza, 2018**). Contoh graf yang telah siap untuk memberikan jalur rute terpendek dapat dilihat pada gambar 2.



**Gambar 2. Ilustrasi contoh graf *non-directional*.
Sumber: Wahyuningsih & Syahreza (2018).**

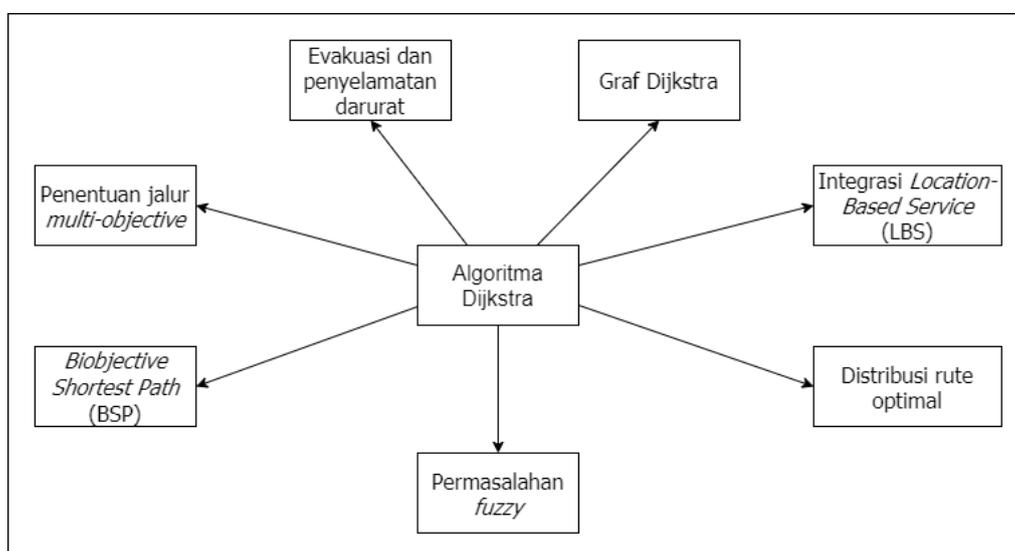
Kami mengumpulkan 10 artikel yang menggunakan Algoritma Dijkstra untuk diterapkan di berbagai keperluan. Berbagai masalah berhasil diselesaikan dengan Algoritma Dijkstra, antara lain penyelesaian *biobjective shortest path* (BSP), penentuan jalur *multi-objective*, graf Dijkstra, evakuasi darurat, permasalahan *fuzzy*, integrasi dengan fitur *location-based service* (LBS), dan penyelesaian dalam kasus penentuan distribusi rute optimal. Untuk memudahkan pengumpulan hasil pencarian, maka kami menggunakan tabel yang terdiri atas referensi judul penelitian, peneliti, tujuan, hasil yang mendapatkan *benefit*, dan kelemahan yang dimungkinkan terjadi. Secara lebih rinci, dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Penggunaan Algoritma Dijkstra untuk berbagai keperluan

Judul	Peneliti	Tujuan	Manfaat	Kekurangan
<i>A biobjective Dijkstra algorithm</i>	Sedeño-noda & Colebrook (2019)	Untuk mendapatkan metode baru yang mirip Dijkstra dalam menemukan semua titik yang tidak didominasi pada masalah <i>one-to-all BSP</i> .	Memberikan metode baru dengan menggunakan Algoritma baru untuk masalah BSP dalam Algoritma Dijkstra yang merupakan salah satu jenis Algoritma pencarian AI.	Label akan dikurangi, tidak dapat digunakan untuk menyelesaikan <i>nondominated solutions</i> .
<i>A Three-Dimensional Dijkstra's algorithm for multi-objective ship voyage optimization</i>	Wang et al. (2019)	Untuk menentukan jalur yang optimal menggunakan Algoritma Dijkstra tipe <i>multi-objective</i> untuk rute kapal 3D.	Implementasi Algoritma Dijkstra untuk mencari rute rencana kapal terbaik dengan konsumsi bahan bakar kapal yang lebih rendah dan waktu pelayaran tiba secara akurat.	Tidak mempertimbangkan kelengkungan permukaan bumi.
<i>Dijkstra graphs</i>	Bento et al. (2019)	Merumuskan Algoritma yang efisien dengan grafik Dijkstra untuk menentukan Algoritma terstruktur atau bukan.	Menjelaskan grafik Dijkstra dengan menjelaskan Algoritma isomorfisme.	Sulit untuk menyelesaikan masalah homeomorfisme 2-kompleks.
<i>EvacuSafe: A real-time model for building evacuation based on Dijkstra's algorithm</i>	Mirahadi & McCabe (2020)	Sebuah model dirancang untuk memantau gedung secara <i>real-time</i> dan jika terjadi peristiwa tak terduga, perubahan pada strategi evakuasi darurat bagi penghuni gedung menggunakan <i>Active Dynamic Signage System (ADSS)</i> .	Implementasi Algoritma Dijkstra untuk membangun perangkat lunak manajemen evakuasi (aplikasi <i>EvacuSafe</i>).	Tidak mempertimbangkan kelengkungan permukaan bumi.
<i>Fuzzy Dijkstra algorithm for shortest path problem under uncertain environmen</i>	Deng et al. (2012)	Untuk menentukan penjumlahan dua sisi, dan membandingkan jarak antara dua rute berbeda dengan panjang sisi yang diwakili bilangan <i>fuzzy</i> .	Menggunakan <i>fuzzy</i> untuk menyelesaikan SPP di lingkungan yang tidak pasti	Fungsi keanggotaan <i>fuzzy</i> harus tepat dan sesuai.
<i>Geofence Index: A Performance Estimator for the Reliability of Proactive Location-based Services</i>	Garzon et al. (2017)	Untuk meningkatkan penduga <i>reliability</i> LBS proaktif yang mengalami ketidaktentuan <i>reliability</i> .	Indeks <i>geofence</i> dapat ditingkatkan untuk LBS proaktif yang lebih baik dari modul GPS yang telah diadopsi.	Apakah dapat diimplementasikan untuk <i>gadget</i> GPS khusus?
<i>Implementation of Dijkstra Algorithm and Multi-Criteria Decision-Implementation of Dijkstra Algorithm and Multi-Criteria Decision-Making for Optimal Route Distribution</i>	Rosita et al. (2019)	Cara yang lebih sederhana untuk memutuskan distribusi rute yang optimal dengan seperangkat parameter.	Untuk mengatasi distribusi rute yang optimal dapat menggunakan Algoritma Dijkstra & Algoritma MCDM.	Penentuan distribusi rute optimal memerlukan kombinasi dua algoritma.
<i>Integrating Dijkstra's algorithm into deep inverse reinforcement learning for food delivery route planning</i>	Liu et al. (2020)	Mengembangkan Algoritma <i>deep inverse reinforcement learning (IRL)</i> untuk menangkap preferensi pengirim dari lintasan GPS historis dan merekomendasikan rute pilihan.	Algoritma Dijkstra dapat meningkatkan IRL untuk rekomendasi rute pengiriman makanan.	Optimalisasi <i>deep learning</i> perlu dilakukan.
<i>Path Optimization Study for Vehicles Evacuation Based on Dijkstra algorithm</i>	Chen et al. (2014)	Memodelkan metode prediksi pemilihan jalur evakuasi darurat di tempat umum terutama ketika kondisi kepadatan penduduk tinggi.	Kita dapat menerapkan Algoritma Dijkstra untuk situasi darurat seperti kondisi padat penduduk.	Apakah dapat diintegrasikan dengan fungsi LBS pada <i>GPS-module</i> ?
<i>The Improved Dijkstra's Shortest Path Algorithm and Its Application</i>	Wang (2012)	Percobaan untuk tiga masalah (pernyataan masalah) rute terpendek untuk diselesaikan secara efektif.	Algoritma Dijkstra dapat ditingkatkan dengan "label-label", ini penting untuk penelitian lanjutan.	Memerlukan penelitian lebih lanjut.

Algoritma Dijkstra menawarkan solusi untuk menentukan rute terpendek melalui serangkaian perhitungan bobot minimum setiap *node* dengan masing-masing pemberian *label* tertentu. **Sedeño-noda & Colebrook (2019)** memberikan alternatif untuk penyelesaian kasus *biobjective shortest path* (BSP) dengan kondisi titik yang tidak didominasi pada masalah *one-to-all BSP*. **Wang (2012)** menggunakan *label-label* yang ditingkatkan agar dapat menyelesaikan permasalahan tiga kasus sekaligus. Algoritma Dijkstra sangat berperan dalam kedua masalah ini dan perlu penelitian lebih lanjut untuk mengoptimalkan peran *label* pada Algoritma Dijkstra.

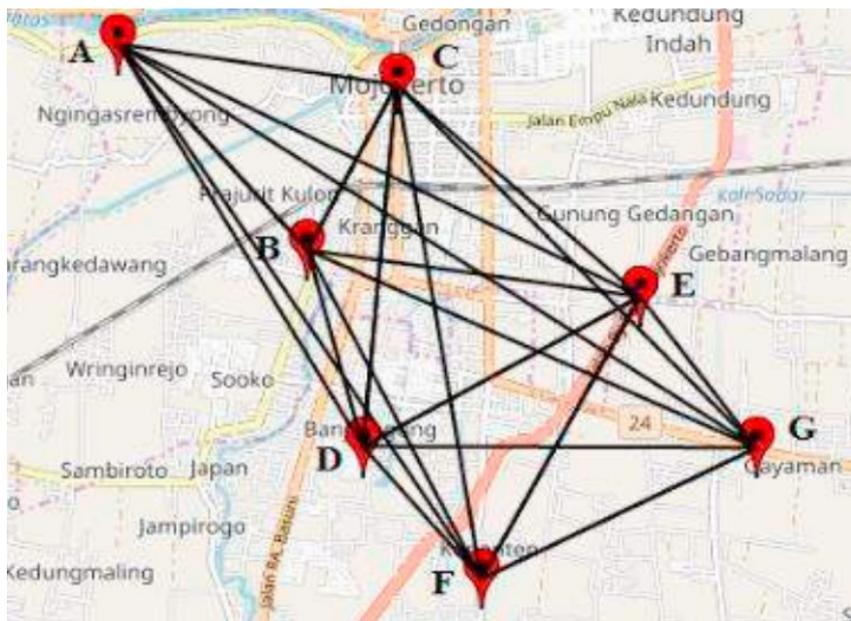
Kami mendapati artikel yang dimungkinkan terdapat kekurangan dalam implementasi perhitungan jarak terdekat, berupa pertimbangan dalam kondisi kelengkungan permukaan bumi. Memang algoritma yang tepat untuk menyelesaikan permasalahan penentuan rute terdekat dengan mempertimbangkan kelengkungan permukaan bumi adalah salah satunya Algoritma Haversine Formula (**Ahmed, 2020; Al Hakim et al., 2020; Ariyanto et al., 2019; Husada et al., 2020; Saputra et al., 2019; Suryana et al., 2019**). Namun, tidak menutup kemungkinan apabila di masa mendatang pengembangan antara Algoritma Dijkstra dengan Algoritma Haversine Formula dapat dilakukan untuk menghasilkan kombinasi yang lebih baik dalam menentukan jarak atau rute terpendek suatu titik yang ada di permukaan bumi. Berdasarkan *review* yang kami lakukan, secara ilustrasi penggunaan Algoritma Dijkstra untuk berbagai masalah dapat dilihat dalam gambar 3.



Gambar 3. Penggunaan Algoritma Dijkstra untuk berbagai masalah

Kombinasi dua algoritma dalam penyelesaian suatu masalah dapat dilakukan seperti pada penelitian **Rosita et al. (2019)** yang menggunakan dua gabungan algoritma dalam menyelesaikan permasalahan distribusi rute optimal untuk suatu kasus dan menghasilkan jaringan rute terpendek optimal. Dua algoritma yang digunakan adalah Algoritma Dijkstra dan Algoritma MCDM (*multi criteria decision making*). Algoritma MCDM merupakan algoritma untuk membangun sistem pendukung keputusan. Algoritma MCDM berisi kriteria-kriteria tertentu yang telah disepakati dan harus

dipenuhi oleh sistem sehingga persyaratan kriteria yang ada dilakukan melalui cara mengurut dari tingkatan rendah ke tingkatan tinggi (*ranking*) (Pramudhita et al., 2015). Namun, dalam hal ini karena memerlukan dua kombinasi algoritma maka ada kemungkinan terdapat *miss-conception* terhadap gabungan algoritma apabila tidak dilakukan penyelesaian masalah (solusi) secara akurat dan antar-algoritma saling mendukung satu sama lain. Kombinasi Algoritma Dijkstra dengan Algoritma MCDM dalam menentukan rute terpendek dan menghasilkan jaringan rute terpendek optimal dapat dilihat secara ilustrasi pada gambar 4.



Gambar 4. Jaringan rute optimal untuk menentukan rute terpendek dengan gabungan Algoritma Dijkstra dan Algoritma MCDM. Sumber: Rosita et al. (2019).

Penggunaan Algoritma Dijkstra untuk kaitannya dengan fitur *global positioning system* (GPS) seperti pada penelitian Garzon et al. (2017) dan Chen et al. (2014) yang masing-masing mencoba menerapkan Algoritma Dijkstra pada permasalahan lokasi yang berbasis *real-time*, sehingga fitur GPS digunakan. Namun, penelitian Garzon et al. (2017) mencoba memberikan solusi dari ketidakakuratan modul GPS yang sudah ada untuk sisi *reliability*-nya. Dengan menggunakan Algoritma Dijkstra, *reliability* dari fitur GPS "geofence" dapat ditingkatkan untuk lebih akurat lagi. Pengembangan *geofence* lebih lanjut yang terintegrasi dengan GPS dapat digunakan untuk *monitoring* secara *real-time* lokasi berbasis GPS (Abbas et al., 2019) dan digunakan untuk mengukur kemampuan *geo-triggering* dengan mempertimbangkan akurasi, reliabilitas, dan konsumsi baterai berdasarkan titik lokasi dilacak dan arah *trigger*-nya (Alsaqer et al., 2015). Sedangkan Chen et al. (2014) dalam kasus evakuasi kendaraan untuk kondisi darurat. Secara teknis, kejadian evakuasi darurat memerlukan perhitungan teliti dalam proses evakuasinya sehingga akan tercipta tingkat keselamatan yang tinggi. Namun, jika ditelisik, keadaan darurat apalagi berada di sekitar lokasi yang padat penduduknya, maka tingkat akurasi proses evakuasi harus akurat, dalam hal ini peran Algoritma Dijkstra

yang diintegrasikan dengan fitur GPS tentunya akan menghasilkan proses evakuasi yang lebih baik dan tingkat keselamatan yang tinggi.

Penggunaan Algoritma Dijkstra untuk berbagai masalah dapat menghasilkan manfaat yang dapat memudahkan pekerjaan manusia di dunia nyata apabila diimplementasikan. Dengan tingkat akurasi yang baik serta menghasilkan solusi rute terpendek yang cukup akurat membuat Algoritma Dijkstra lebih unggul digunakan untuk penyelesaian masalah lebih dari dua masalah jarak yang bersamaan. Disisi lain, Algoritma Dijkstra menawarkan kemudahan untuk digunakan bersamaan dengan algoritma lainnya. Keunggulan yang terdapat pada Algoritma Dijkstra dalam menyelesaikan masalah rute terpendek tentu juga ditemukan beberapa kemungkinan kekurangannya. Perlu penelitian lebih lanjut untuk mengetahui dan mencari solusi dari adanya kekurangan yang ditimbulkan dari Algoritma Dijkstra untuk berbagai keperluan penyelesaian masalah rute terpendek.

4. KESIMPULAN

Kami menyimpulkan bahwa penggunaan Algoritma Dijkstra dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, seperti penyelesaian *biobjective shortest path* (BSP), penentuan jalur *multi-objective*, graf Dijkstra, evakuasi darurat, permasalahan *fuzzy*, integrasi dengan fitur *location-based service* (LBS), dan distribusi rute optimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Jakarta Global University yang telah memberikan kesempatan dan dukungan untuk kelancaran jalannya penelitian ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Abbas, A. H., Habelalmateen, M. I., Jurdi, S., Audah, L., & Alduais, N. A. M. (2019). GPS based location monitoring system with geo-fencing capabilities. *AIP Conference Proceedings*, 2173, 20004. <https://doi.org/10.1063/1.5133929>
- Ahmed, A. M. (2020). Designing a Framework to Control the Spread of Covid-19 by Utilizing Cellular System. *Kurdistan Journal of Applied Research*, 5(3), 146–153. <https://doi.org/10.24017/covid.16>
- Al Hakim, R. R., Billian, M. Y., & Muchsin, A. (2020). Pendekatan Postulat Jarak Terdekat Rumah Sakit Rujukan Covid-19 di Keresidenan Surakarta Indonesia Menggunakan Haversine Formula. *SEMASTER: Seminar Nasional Teknologi Informasi & Ilmu Komputer*, 1(1), 103–111. <https://doi.org/10.31849/semaster.v1i1>
- Alsaqer, M., Hilton, B., Horan, T., & Aboulola, O. (2015). Performance Assessment of Geo-triggering in Small Geo-fences: Accuracy, Reliability, and Battery Drain in Different Tracking Profiles and Trigger Directions. *Procedia Engineering*, 107,

337–348. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.06.090>

- Ariyanto, R., Watequlis Syaifudin, Y., Puspitasari, D., Yuli Ananta, A., Setiawan, A., & Rohadi, E. (2019). A Web and Mobile GIS for Identifying Areas within the Radius Affected by Natural Disasters Based on OpenStreetMap Data. *International Journal of Online and Biomedical Engineering (IJOE)*, *15*(15), 80–95. <https://doi.org/10.3991/ijoe.v15i15.11507>
- Bento, L. M. S., Boccardo, D. R., Machado, R. C. S., Miyazawa, F. K., Pereira de Sá, V. G., & Szwarcfiter, J. L. (2019). Dijkstra graphs. *Discrete Applied Mathematics*, *261*, 52–62. <https://doi.org/10.1016/j.dam.2017.07.033>
- Chen, Y. Z., Shen, S. F., Chen, T., & Yang, R. (2014). Path optimization study for vehicles evacuation based on Dijkstra algorithm. *Procedia Engineering*, *71*, 159–165. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.04.023>
- Deng, Y., Chen, Y., Zhang, Y., & Mahadevan, S. (2012). Fuzzy Dijkstra algorithm for shortest path problem under uncertain environment. *Applied Soft Computing Journal*, *12*(3), 1231–1237. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2011.11.011>
- Farid, & Yunus, Y. (2017). Analisa Algoritma Haversine Formula untuk Pencarian Lokasi Terdekat Rumah Sakit dan Puskesmas Provinsi Gorontalo. *ILKOM Jurnal Ilmiah*, *9*(3), 353–355.
- Garzon, S. R., Arbuzin, D., & Kupper, A. (2017). Geofence index: A performance estimator for the reliability of proactive location-based services. *Proceedings - 18th IEEE International Conference on Mobile Data Management, MDM 2017*, 1–10. <https://doi.org/10.1109/MDM.2017.12>
- Husada, C., Hartomo, K. D., & Chernovita, H. P. (2020). Implementasi Haversine Formula untuk Pembuatan SIG Jarak Terdekat ke RS Rujukan COVID-19. *Jurnal RESTI*, *4*(5), 874–883.
- Liu, S., Jiang, H., Chen, S., Ye, J., He, R., & Sun, Z. (2020). Integrating Dijkstra's algorithm into deep inverse reinforcement learning for food delivery route planning. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *142*(May), 102070. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.102070>
- Mirahadi, F., & McCabe, B. Y. (2020). EvacuSafe: A real-time model for building evacuation based on Dijkstra's algorithm. *Journal of Building Engineering*, *June*, 101687. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101687>
- Pramudhita, A. N., Suyono, H., & Yudaningtyas, E. (2015). Penggunaan Algoritma Multi Criteria Decision Making dengan Metode Topsis dalam Penempatan Karyawan. *Jurnal EECCIS*, *9*(1), 91–94.
- Putri, A. O., Ali, M. A. M., Saad, M., & Hidayat, S. S. (2018). Wearable sensor and internet of things technology for better medical science: A review. *International Journal of Engineering and Technology(UAE)*, *7*(4), 1–4.

<https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.11.20677>

- Qomaruddin, M., Alawy, M. T., & Sugiono, S. (2018). Perancangan Aplikasi Penentu Rute Terpendek Perjalanan Wisata di Kabupaten Jember Menggunakan Algoritma Dijkstra. *Science Electro*, 6(2), 31–39.
- Rosita, Y. D., Rosyida, E. E., & Rudiyanto, M. A. (2019). Implementation of dijkstra algorithm and multi-criteria decision-making for optimal route distribution. *Procedia Computer Science*, 161, 378–385. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.11.136>
- Saputra, K., Nazaruddin, N., Yunardi, D. H., & Andriyani, R. (2019). Implementation of haversine formula on location based mobile application in syiah kuala university. *Proceedings: CYBERNETICSCOM 2019 - 2019 IEEE International Conference on Cybernetics and Computational Intelligence: Towards a Smart and Human-Centered Cyber World*, 40–45. <https://doi.org/10.1109/CYBERNETICSCOM.2019.8875686>
- Sedeño-noda, A., & Colebrook, M. (2019). A biobjective Dijkstra algorithm. *European Journal of Operational Research*, 276(1), 106–118. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.01.007>
- Suryana, A., Reynaldi, F., Pratama, F., Ginanjar, G., Indriansyah, I., & Hasman, D. (2019). Implementation of haversine formula on the limitation of e-voting radius based on android. *Proceedings - 2018 4th International Conference on Computing, Engineering, and Design, ICCED 2018*, 218–223. <https://doi.org/10.1109/ICCED.2018.00050>
- Wahyuningsih, D., & Syahreza, E. (2018). Shortest Path Search Futsal Field Location With Dijkstra Algorithm. *IJCCS (Indonesian Journal of Computing and Cybernetics Systems)*, 12(2), 161. <https://doi.org/10.22146/ijccs.34513>
- Wang, H., Mao, W., & Eriksson, L. (2019). A Three-Dimensional Dijkstra's algorithm for multi-objective ship voyage optimization. *Ocean Engineering*, 186(May), 106131. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2019.106131>
- Wang, S. X. (2012). The improved Dijkstra's shortest path algorithm and its application. *Procedia Engineering*, 29, 1186–1190. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.110>