

Aplikasi Penentuan Rute Terpendek Pengambilan Sampah Berbasis Internet of Things Terintegrasi Dengan Google Maps API

Bekti Maryuni Susanto*, Agus Hariyanto, M. Ibnu Wildan, Sisca Nurmala
Department of Information Technology, Politeknik Negeri Jember, Indonesia

Article Info

Article history:

Received May 20, 2023
Accepted May 29, 2023
Published May 30, 2023

Keywords:

Pengelolaan Sampah
Internet untuk segala
Jalur Terpendek
API Google Peta
Android

ABSTRAK

Limbah padat merupakan isu sensitif yang melibatkan permasalahan lingkungan serius di dunia saat ini. Situasi pembuangan limbah secara langsung tanpa pemeriksaan dan pemilahan yang baik telah menimbulkan dampak serius terhadap pencemaran lingkungan yang menyebabkan peningkatan masalah kesehatan yang luar biasa. Penelitian ini bertujuan untuk memantau tingkat kepenuhan sampah pada tempat sampah, mengirimkan hasilnya ke Google map menggunakan Google Maps API dan menentukan rute pengumpulan sampah terpendek berdasarkan tingkat kepenuhan sampah. Aplikasi android dikembangkan untuk memudahkan pengguna mengetahui tempat sampah mana yang penuh dan perlu segera dibawa serta menentukan rute terpendek menggunakan google map.



Corresponding Author:

Bekti Maryuni Susanto,
Department of Information Technology,
Politeknik Negeri Jember,
Jl. Mastrip Kotak Pos 164 Jember, Jawa Timur, Indonesia.
Email: *bekti@polije.ac.id

1. PENGANTAR

Sampah padat merupakan isu sensitif yang menyangkut masalah lingkungan yang serius di dunia saat ini. Situasi pembuangan sampah secara langsung tanpa pemeriksaan dan pemisahan yang tepat meninggalkan dampak serius pencemaran lingkungan yang menyebabkan pertumbuhan luar biasa dalam masalah kesehatan. Sampah domestik, industri, dan lainnya, apakah itu sampah tingkat rendah atau sedang, menyebabkan pencemaran lingkungan dan telah menjadi masalah abadi bagi umat manusia. Pencemaran sampah berdampak besar bagi lingkungan. Sampah yang tergeletak di pinggir jalan dapat dengan cepat menjadi sarang tikus dan kutu yang membawa penyakit berbahaya jika pengumpulan dan pembuangannya tidak dilakukan dengan tepat. Penumpukan sampah dapat menyebabkan wabah penyakit yang dapat menyebabkan kematian. Jika situasi ini tidak ditangani dengan cara yang tepat dalam waktu maka akan menyebabkan konsekuensi yang lebih buruk di tingkat global[1][2][3]. Untuk melestarikan lingkungan, tingkat polusi harus dikurangi sebanyak mungkin. Dengan demikian, sistem pemantauan sampah diperlukan untuk menyelesaikan tugas ini. Telah ada kesadaran mengenai pengelolaan sampah di banyak negara[4].

Kota pintar menggunakan inovasi teknologi yang memberikan wawasan data untuk mendapatkan lebih banyak efisiensi, produktivitas, transparansi, dan keberlanjutan. Teknologi IoT digunakan untuk menerima, menganalisis, dan mengelola data secara real-time untuk membantu kota membuat keputusan yang lebih baik yang meningkatkan standar hidup[5][6]. Memasukkan data real-time ke dalam pengambilan keputusan dan proses operasional di kota-kota memungkinkan tindakan cepat untuk mengembangkan daerah perkotaan yang lebih berorientasi masa depan. IoT (Internet of Things) memainkan peran besar dalam lanskap kota cerdas, mengubah zona perkotaan menjadi jaringan cerdas yang terhubung dan hub interaktif[7]. Pengelolaan sampah yang cerdas hanyalah salah satu dari banyak komponen yang dapat membentuk kota yang cerdas. Solusi limbah cerdas menggunakan sensor tingkat pengisian dan perutean dinamis untuk membantu kota

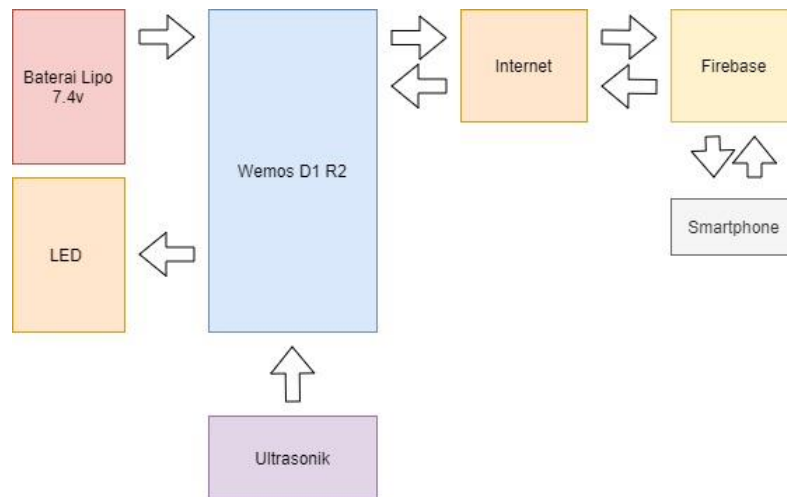
mengoptimalkan sumber daya limbah mereka sehingga mereka dapat mengumpulkan limbah pada waktu yang tepat.

Penelitian tentang *Smart Garbage Collection Using GPS & Shortest Path Algorithm* yang dilakukan oleh [8] menjelaskan tentang pemanfaatan GPS dan shortest path algorithm dalam mengumpulkan sampah. Pengguna dapat melihat posisi kendaraan pengangkut sampah terdekat dengan lokasinya pada Google Maps. Namun dalam penelitian ini tidak menjelaskan tingkat kepenuhan kontainer sampah yang dibawa oleh kendaraan pengangkut sampah. Sehingga bisa saja kendaraan sampah yang terdekat dengan pengguna memiliki tingkat kepenuhan kontainer sampah yang sudah penuh dan pengguna tidak bisa membuang sampah pada kendaraan sampah tersebut. Penelitian lain dilakukan oleh [9] yang berjudul *Smart Garbage Monitoring System using Internet of Things (IoT)*. Penelitian ini mendeteksi tingkat kepebuan kontainer sampah menggunakan sensor ultrasonic dan mengirimkan datanya ke Google Firebase Realtime Database sehingga dapat dimonitor secara realtime. Meskipun pada penelitian ini sudah ada monitoring tingkat kepenuhan sampah namun belum ada penentuan rute secara dinamis sehingga memudahkan kendaraan pengangkut sampah dalam emenntukan prioritas pengambilan sampah berdasarkan rute terpendek. Penelitian yang dlakukan oleh [10] menjelaskan tentang analisis jalur terpendek pengangkutan sampah menggunakan algoritma djikstra secara manual. Hasilnya menunjukkan bahwa perhitungan manual mengikuti rumus yang ada sehingga hasil perhitungan keduanya dapat digunakan untuk menentukan rute terpendek dalam pengangkutan sampah. Namun dalam penelitian ini belum diterapkan pada aplikasi yang mudah digunakan oleh pengguna.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan monitoring tingkat kepenuhan sampah pada tempat sampah, mengirimkan hasilnya ke google map menggunakan Google Maps API serta menentukan rute terpendek pengambilan sampah berdasarkan tingkat kepenuhan sampah. Aplikasi android dikembangkan untuk memudahkan pengguna dalam mengetahui tempat sampah mana yang sudah penuh dan perlu segera diambil serta menentukan rute terpendek menggunakan google maps. Untuk mendeteksi apakah tempat sampah sudah penuh atau belum digunakanlah sensor ultrasonik HCSR04. Sensor jarak ultrasonik HC-SR04 adalah sensor 40 KHz yang dapat digunakan untuk mengukur jarak antara penghalang dan receiver. Sensor ultrasonik HCSR04 terdiri dari dua bagian utama yaitu transmitter dan receiver. Transmitter berfungsi untuk memancarkan gelombang ultrasonik yang nantinya akan dipantulkan oleh penghalang. Receiver berfungsi untuk menerima gelombang yang dipantulkan oleh penghalang tadi. Selanjutnya mikrokontoller menghitung jarak antara posisi sensor ultrasonik yang berada pada bagian atas tepat sampah dengan sampah pada tempat sampah tersebut, sehingga dapat ditentukan apakah tempat sampah tersebut dalam keadaan kosong, setengah terisi atau penu. Tempat sampah diletakkan pada lokasi tertentu dan ditentukan longitude dan latitude nya. Selanjutnya kendaraan sampah akan mengambil sampah pada tempat sampah yang sudah dalam keadaan penuh berdasarkan hasil pembacaan sensor ultrasonik. Analisis rute terpendek dilakukan dengan membandingkan rute terpendek yang dihasilkan oleh Google Maps dan rute terpendek yang dihasilkan oleh perhitungan manual algoritma djikstra. Algoritma djikstra dapat digunakan untuk menentukan jalur alternatif, apabila jalur utama mengalami hambatan. Algoritma djikstra dapat digunakan untuk memberikan solusi permasalahan rute terpendek dan rute terpanjang, elemen- elemen (bobot) dari rute tersebut berupa jarak tempuh, biaya, maupun hal lainnya. Algoritma Dijkstra tidak dapat memprediksi kemacetan suatu rute perjalanan menuju suatu tempat[11].

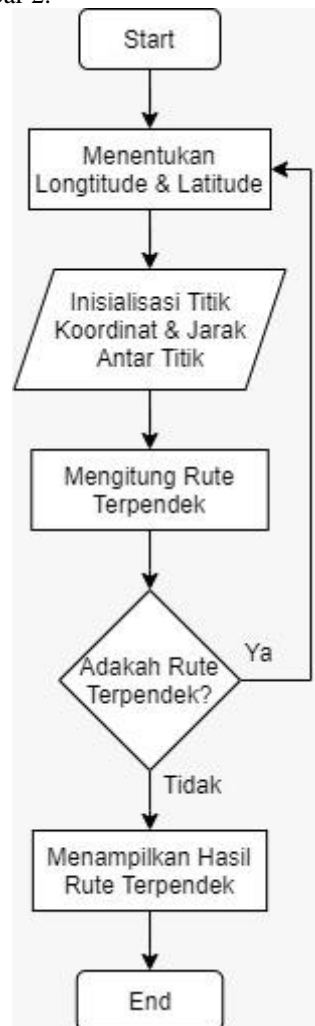
2. METODE PENELITIAN

Aplikasi penentuan rute terpendek pengambilan sampah berbasis internet of things terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak. Komponen-komponen penyusun perangkat keras yaitu, mikrokontroller Wemos D1 R2, sensor ultrasonic, LED, wireless access point dan betarai Lipo 7,4 v. Sensor ultrasonic berfungsi untuk mengukur ketinggian sampah pada tempat sampah untuk mengetahui apakah tempat sampah tersebut dalam keadaan kosong, setengah terisi maupun terisi penuh. Selanjutnya mikrokontroller Wemos D1 R2 mengirim hasil pembacaan sampah ke firebase realtime database. Tempat sampah yang memiliki hasil pembacaan sensor ultrasonic penuh akan dimasukkan sebagai input dari aplikasi penentuan rute terpendek pada Google Maps. Sebagai perbandingan perhitungan manual algoritma djikstra dilakukan berdasarkan input lokasi penempatan tempat sampah. Hasil perhitungan rute terpendek dapat digunakan oleh stake holder terkait dalam melakukan pengambilan sampah menggunakan kendaraan sampah. Diagram blok perangkat keras ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram blok perangkat keras

Aplikasi android yang dikembangkan digunakan untuk menghitung rute terpendek berdasarkan data yang sudah diinput oleh mikrokontroller ke firebase. Penghitungan rute terpendek menggunakan Google Maps sekaligus untuk menampilkan rute pengambilan sampah oleh kendaraan sampah. Sebagai perbandingan perhitungan manual algoritma djikstra dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan dengan penghitungan rute terpendek yang dilakukan oleh Google Maps. Flowchart perangkat lunak yang dikembangkan ditunjukkan pada Gambar 2.

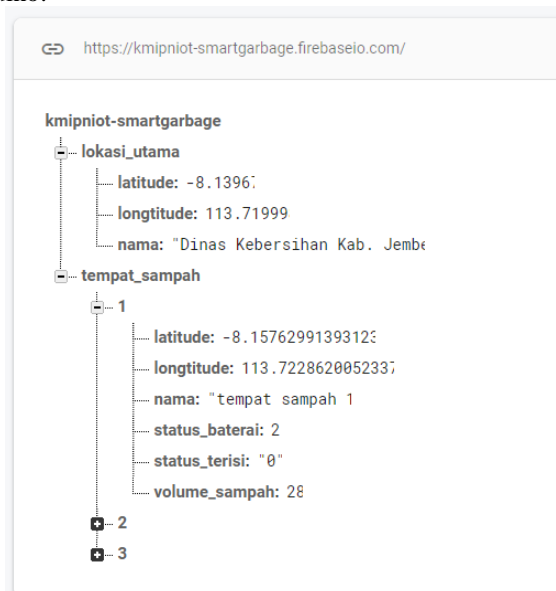


Gambar 2. Flowchart penghitungan rute terpendek pada aplikasi android

Pengujian dilakukan dengan menempatkan tepat sampah pada lokasi tertentu yang sudah ditentukan longitude dan latitude nya. Selanjutnya sensor ultrasonic akan mengukur tingkat ketinggian sampah pada kotak sampah yang menandakan apakah sampah dalam keadaan kosong, setengah terisi atau penuh. Hasil pembacaannya selanjutnya dikirim ke firebase yang nantinya akan dibaca oleh aplikasi android dan menentukan rute terpendek pada Google Maps. Aplikasi android juga menampilkan rute yang harus dilewati dalam pengambilan sampah tersebut berdasarkan hasil perhitungan rute terpendek.

3. HASIL DAN ANALISIS

Langkah pertama yang dilakukan adalah membuat projek pada google firebase, setelah itu membuat realtime database pada projek tersebut. Dapat dilihat bahwa database yang dibuat memiliki hostname yang akan digunakan pada Arduino sketch sebagai autentifikasi mikrokontroller ke firebase, yaitu <https://kmipniot-smartgarbage.firebaseio.com/>. Setelah pembuatan realtime database selesai, selanjutnya membuat tabel pada database. Namun istilah yang digunakan pada firebase adalah parent dan child. Parent, ibaratnya adalah nama tabel, sedangkan child adalah list data atau isi dari tabel. Database firebase dapat ditunjukkan pada Gambar 3. Dapat dilihat bahwa parent utama dari seluruh data diberi nama kmipniot-smartgarbage. Dari parent tersebut terdapat 2 parent lagi yaitu, lokasi_utama dan tempat_sampah. Isi data dari lokasi_utama yaitu latitude dan longitude lokasi titik pertama pada aplikasi, Dinas Kebersihan Kab. Jember. Dan isi dari tempat_sampah adalah, data yang diperoleh dari setiap sensor pada tempat sampah yang berjumlah 3 buah. Data tersebut mencakup latitude dan longitude, nama tempat sampah, status baterai, status terisi, dan volume sampah. Setelah konfigurasi pada database selesai, Langkah terakhir adalah melihat secret key database yang akan digunakan pada sketch Arduino.



Gambar 3. Isi database pada firebase

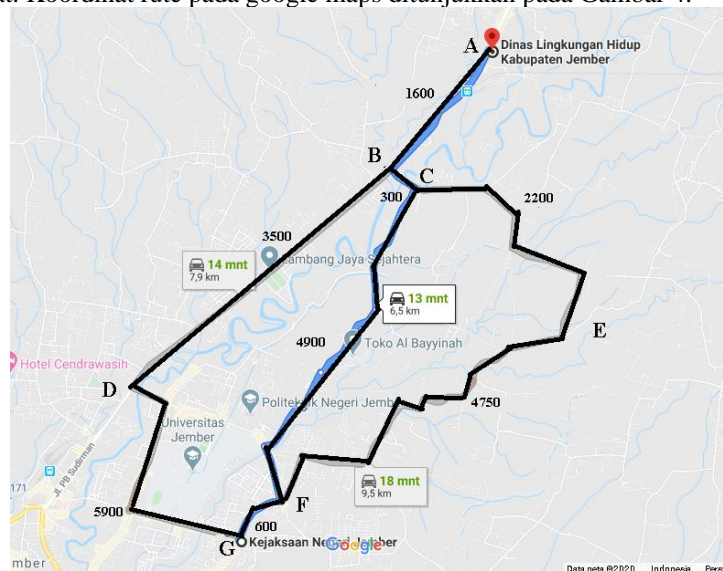
Prototipe tempat sampah berbasis IoT ini menggunakan box plastik berukuran 10x7,6x3,5 cm sebagai wadah bagi mikrokontroller pada bagian belakang tempat sampah. Box tersebut berisi mikrokontroller dan baterai. Pada bagian tutup tempat sampah, akan diberi penopang untuk sensor ultrasonik. Penopang ini terbuat dari kertas karton duplex. Sensor akan diletakkan di penopang bertujuan agar langsung menghadap ke objek utama yaitu sampah. Pada bagian samping sebelah kanan box mikrokontroller, terdapat indikator volume sampah yang terdiri dari 3 buah LED yaitu, hijau, kuning dan merah, dan tombol switch yang berfungsi sebagai tombol on & off pada alat ini. Pada bagian samping box sebelah kiri, terdapat kabel charger baterai yang berfungsi untuk mengisi ulang daya baterai pada alat ini.



Gambar 4. Prototipe tempat sampah yang dibuat

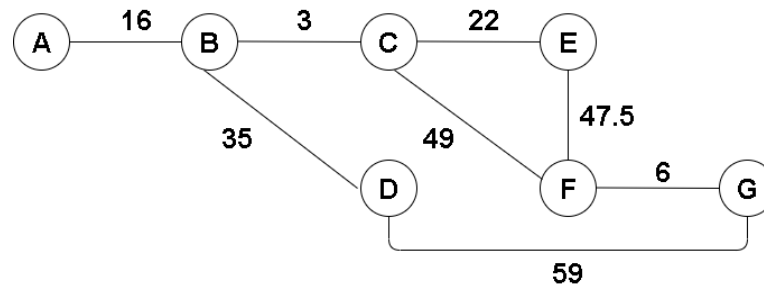
Perhitungan manual algoritma dijkstra dilakukan sebagai berikut:

1. Langkah awal yaitu tentukan titik awal keberangkatan dan titik tujuan menggunakan google maps. Lalu beri titik koordinat pada lokasi dan menandainya dengan beberapa huruf abjad untuk mempermudah perhitungan.
2. Lalu hitung jarak tempuh antara satu titik ke titik lain yang akan dilalui pada google maps selanjutnya yaitu titik A-B = 1.600 meter, B-C = 300 meter, B-D = 3.500 meter, C-E = 2.200 meter, C-F = 4.900 meter, E-F = 4.750 meter, F-G = 600 meter dan D-G = 5.900 meter.
3. Lalu buatlah skema gambar yang berupa antar titik yang saling terhubung dengan garis sesuai koordinat dan jarak tempuh rute yang telah ditentukan pada langkah nomor 2 sesuai pada google maps untuk menggambarkan rute yang akan diperhitungkan.
4. Lalu buatlah tabel perhitungan sesuai urutan titik koordinat rute yang dilalui lalu hitung sesuai cara perhitungan algoritma dijkstra. $A-A = 0A$, $A-B = 16A$, lalu tandai angka terkecil dari barisan tersebut dan lanjut ke titik rute selanjutnya, dan angka terkecil lainnya pada baris A turun ke baris B yaitu $16A$, B-C $(3+16) = 19B$, B-D $(35+16) = 51B$, lalu tandai angka terkecil dari barisan tersebut. Lakukan langkah tersebut hingga titik koordinat terakhir. Lalu tentukan urutan titik koordinat yang dihitung dari barisan terbawah pada tabel dan menyesuaikan sesuai pasangan abjad titik koordinat sehingga membentuk titik jalur rute tercepat. Koordinat rute pada google maps ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 5 Koordinat rute pada google maps

Berdasarkan koordinat rute pada google maps dibuat skema algoritma dijkstra yang ditunjukkan pada Gambar 5. Skema ini digunakan untuk menghitung rute terpendek secara manual dari titik awal atau sumber A dan titik akhir atau tujuan G. Titik-titik tersebut merepresentasikan lokasi penempatan tempat sampah berbasis IoT yang harus dilalui oleh kendaraan pengangkut sampah.



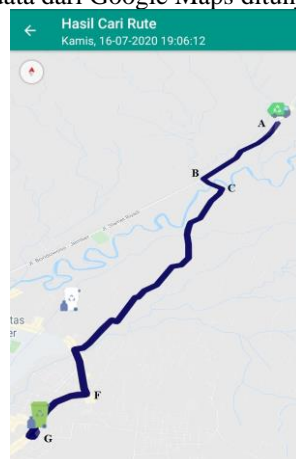
Gambar 6. Skema algoritma djikstra yang dibuat berdasarkan titik lokasi penempatan tempat sampah

Selanjutnya dihitung rute terpendek dari titik A menuju G menggunakan algoritma djikstra. Hasil perhitungan manual algoritma djikstra ditunjukkan pada Tabel 1. Hasil perhitungan rute terpendek menurut perhitungan manual algoritma djikstra adalah : A – B – C – E – F – G.

Tabel 1. Hasil perhitungan manual algoritma djikstra

V	A	B	C	D	E	F	G
A	D <u>0A</u>	1 16A	∞	∞	∞	∞	∞
B	F ∞	<u>16A</u>	1 19B	51B	∞	∞	∞
C	∞	∞	<u>19B</u>	51B	41C	68C	∞
E	∞	∞	∞	51B	<u>41C</u>	98.5E	∞
D	∞	∞	∞	<u>51B</u>	∞	98.5E	110D
F	∞	∞	∞	∞	∞	<u>98.5E</u>	
G	∞	∞	∞	∞	∞	∞	104.5F
							<u>104.5F</u>

Penentuan rute terpendek pada aplikasi menunjukkan rute yang sedikit berbeda dari perhitungan manual algoritma djikstra. Pada aplikasi terlihat rute yang di tentukan yaitu melalui titik koordinat A – B – C – F – G, sedangkan menurut perhitungan manual algoritma djikstra menunjukan hasil urutan rute melalui titik koordinat A – B – C – E – F – G. Adanya perbedaan antara hasil rute aplikasi dengan hasil rute perhitungan manual algoritma djikstra adalah, pada algoritma dijsktra menentukan hasil rute menurut jarak tempuh tercepat untuk dilalui, sedangkan pada aplikasi yang menggunakan layanan google maps API menentukan hasil rute menurut jarak dan waktu tempuh tercepat untuk dilalui, yang akhirnya menghasilkan hasil akhir yang sedikit berbeda. Pencarian rute terpendek pada aplikasi android yang mengambil data realtime dari Google Maps ditunjukkan pada Gambar 6. Rute tercepat yang diambil oleh aplikasi adalah menurut layanan google maps API, karena menggunakan rute jarak dan waktu tempuh tercepat, dikarenakan google maps memiliki layanan untuk mengetahui jalur yang tidak memiliki hambatan atau kemacetan untuk dilalui. Sedangkan menurut algoritma djikstra, hanya menggunakan rute jarak tempuh tercepat saja tanpa mengetahui waktu tempuh. Walaupun jarak tempuh menurut perhitungan algoritma djikstra lebih cepat, tetapi algoritma djikstra tidak memiliki layanan untuk mengetahui jalur mana yang tidak memiliki hambatan atau kemacetan agar pengguna dapat menempuh waktu tercepat untuk dilalui. Hasil pencarian rute terpendek pada aplikasi android yang mengambil data dari Google Maps ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil pencarian rute terpendek pada aplikasi android yang mengambil data dari Google Maps

Penelitian yang dilakukan oleh [8] menjelaskan tentang pemanfaatan GPS dan shortest path algorithm dalam mengumpulkan sampah. Pengguna dapat melihat posisi kendaraan pengangkut sampah terdekat dengan lokasinya pada Google Maps. Namun penelitian ini tidak mendeteksi tingkat kepenuhan tempat sampah. Pada penelitian ini selain menghitung rute terpendek juga mendeteksi apakah tempat sampah dalam keadaan penuh atau tidak. Penentuan tingkat kepenuhan tempat sampah menggunakan sensor ultrasonik. Sensor ultrasonik menggunakan pantulan dari gelombang suara yang di pancarkannya kepada objek dihadapannya. Pengujian dilakukan dengan menghadapkan sensor ke objek, yaitu sampah. Pada tahap ini, pengujian terhadap seluruh sensor yang akan digunakan. Dan hasilnya, seluruh sensor bekerja dengan baik. Hasil pengujian sensor ultrasonik ditunjukkan pada Gambar 8.

```

COM4
12:15:06.141 -> Jarak sensor dengan sampah : 51 cm -> (Out of range)
12:15:08.924 -> Jarak sensor dengan sampah : 50 cm -> (Out of range)
12:15:11.679 -> Jarak sensor dengan sampah : 20 cm -> (Sampah sedang)
12:15:14.447 -> Jarak sensor dengan sampah : 19 cm -> (Sampah sedang)
12:15:17.272 -> Jarak sensor dengan sampah : 66 cm -> (Out of range)
12:15:20.150 -> Jarak sensor dengan sampah : 51 cm -> (Out of range)
12:15:22.899 -> Jarak sensor dengan sampah : 23 cm -> (Sampah sedang)
12:15:25.736 -> Jarak sensor dengan sampah : 52 cm -> (Out of range)
12:15:28.758 -> Jarak sensor dengan sampah : 35 cm -> (Sampah kosong)
12:15:31.566 -> Jarak sensor dengan sampah : 28 cm -> (Sampah kosong)
12:15:34.338 -> Jarak sensor dengan sampah : 24 cm -> (Sampah sedang)
12:15:37.139 -> Jarak sensor dengan sampah : 17 cm -> (Sampah sedang)
12:15:39.989 -> Jarak sensor dengan sampah : 11 cm -> (Sampah penuh)
12:15:42.728 -> Jarak sensor dengan sampah : 7 cm -> (Sampah penuh)
12:15:46.779 -> Jarak sensor dengan sampah : 2 cm -> (Sampah penuh)
12:15:49.641 -> Jarak sensor dengan sampah : 3 cm -> (Sampah penuh)
12:15:52.428 -> Jarak sensor dengan sampah : 12 cm -> (Sampah penuh)
12:15:55.239 -> Jarak sensor dengan sampah : 51 cm -> (Out of range)

```

Gambar 8. Hasil pengujian sensor ultrasonik

4. KESIMPULAN

Aplikasi ini hanya menghitung rute terpendek berdasarkan lokasi penempatan tempat sampah yang sudah ditetapkan menggunakan Google Maps API. Sebagai pembanding digunakan perhitungan manual algoritma djikstra. Selain melakukan pencarian rute terpendek pada aplikasi ini juga mendeteksi tingkat kepenuhan tempat sampah menggunakan sensor ultrasonik, apakah tempat sampah dalam keadaan kosong, setengah terisi atau penuh. Sensor ultrasonik bekerja dengan memanfaatkan gelombang suara yang dipancarkan oleh transmitter dan diterima oleh receiver. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan penambahan lokasi penempatan tempat sampah secara dinamis. Selain itu dapat diterapkan algoritma penentuan rute terpendek lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Bhuvanawari, J. Hossen, N. A. Amir Hamzah, P. Velraj Kumar, and O. H. Jack, "Internet of things (IoT) based smart garbage monitoring system," *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 20, no. 2, pp. 736–743, 2020.
- [2] M. Ismail, R. K. Abdullah, and S. Abdussamad, "Tempat Sampah Pintar Berbasis Internet of Things (IoT) Dengan Sistem Teknologi Informasi," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 3, no. 1, pp. 7–12, 2021.
- [3] A. Hanafie, S. Sukirman, K. Karmila, and M. E. Putri, "Pengembangan Tempat Sampah Cerdas Berbasis Internet of Things (IoT) Studi Kasus Fakultas Teknik Uim," *ILTEK J. Teknol.*, vol. 16, no. 1, pp. 34–39, 2021.
- [4] G. Singh, B. Singh, S. Rathi, and S. Haris, "Algorithm Solid Waste Management using Shortest Path Algorithm," *Int. J. Eng. Sci. Invent. Res. Dev. 1 Issue II I (II)*, no. SEPTEMBER 2014, pp. 2–7, 2016.
- [5] Y. B. Widodo, T. Sutabri, and L. Faturahman, "Tempat Sampah Pintar Dengan Notifikasi Berbasis IOT," *J. Teknol. Inform. dan Komput.*, vol. 5, no. 2, pp. 50–57, 2019.
- [6] A. K. Nanasheeb, "IOT based Garbage Monitoring And Waste Management system for Smart Cities," *Proc. Second Shri Chhatrapati Shivaji Maharaj QIP Conf. Eng. Innov.*, pp. 197–201, 2019.
- [7] M. V. Bueno-Delgado, J. L. Romero-Gázquez, P. Jiménez, and P. Pavón-Mariño, "Optimal path planning for selective waste collection in smart cities," *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 9, pp. 1–14, 2019.
- [8] R. K. A. R. Kariapper, P. Pirapuraj, M. S. Suhail Razeeth, A. C. M. Nafrees, and K. L. M. Rameez, "Smart Garbage Collection Using GPS Shortest Path Algorithm," *2019 IEEE Pune Sect. Int. Conf. PuneCon 2019*, pp. 18–23, 2019.
- [9] P. Kanade, P. Alva, J. P. Prasad, and S. Kanade, "Smart Garbage Monitoring System using Internet of Things(IoT)," *Proc. - 5th Int. Conf. Comput. Methodol. Commun. ICCMC 2021*, no. Iccmc, pp. 330–335, 2021.
- [10] B. J. Maspaitella, A. Susanty, and R. Purwaningsih, "Waste transportation route garbage using network analysis method, a research method design," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1072, no. 1, p. 012025, 2021.
- [11] Z. Muhamad, "Jurnal Teknik Informatika Atmaluhur," *J. Tek. Inform. Atmaluhur*, vol. 6, no. 1, p. 40, 2018.

