

SISTEM REKOMENDASI PEMILIHAN PENGEPUL LIMBAH DI PT. PITUKU CORDOVA INTERNATIONAL MENGGUNAKAN ALGORITMA HAVERSINE

Dede Kurniadi^{*1}, Ade Sutedi², Dzikri Nursyaban³, Asri Mulyani⁴

^{1,2,3,4}Institut Teknologi Garut, Kabupaten Garut

Email: ¹dede.kurniadi@itg.ac.id, ²ade.sutedi@itg.ac.id, ³1906062@itg.ac.id, ⁴asrimulyani@itg.ac.id

^{*}Penulis Korespondensi

(Naskah masuk: 26 Agustus 2023, diterima untuk diterbitkan: 8 Desember 2023)

Abstrak

Seiring dengan semakin banyaknya mitra serta volume pesanan pada *platform* Pituku menjadikan pihak perusahaan kesulitan dalam menentukan pengepul limbah yang cocok untuk menangani suatu pesanan. Idealnya, pengepul yang dipilih merupakan pengepul yang terletak paling dekat secara geografis dengan pemesan limbah sehingga biaya pengiriman dapat di minimalkan dan pemesan dapat segera menerima limbah pesannya. Oleh karena itu dibutuhkan suatu sistem rekomendasi yang dapat merekomendasikan daftar pengepul limbah yang diurutkan dari yang paling dekat ke pembeli limbah. Penelitian ini bertujuan untuk membuat sistem rekomendasi pemilihan pengepul limbah di PT. Pituku Cordova International yang dapat membantu merekomendasikan daftar pengepul limbah yang diurutkan dari yang paling dekat dengan pembeli limbah sehingga proses pemilihan pengepul limbah menjadi lebih efektif. Penelitian ini menggunakan metode *Rapid Throwaway Prototyping Model* yang dimana tahapan yang dilakukan meliputi *outline requirements*, *develop prototype*, *evaluate prototype*, *specify system*, *develop software*, dan *validate system*. Algoritma *Haversine formula* digunakan dalam sistem rekomendasi dimana koordinat garis lintang dan garis bujur dihitung untuk mendapatkan jarak antara pembeli dan pengepul limbah dalam satuan km kemudian berdasarkan jarak tersebut daftar pengepul limbah diurutkan dari yang paling dekat ke yang paling jauh. Metrik evaluasi menggunakan *NDCG (Normalized Discounted Cumulative Gain)* yang mengukur akurasi *ranking* sistem rekomendasi. Berdasarkan hasil evaluasi diperoleh informasi bahwa sistem rekomendasi memiliki score *NDCG* rata-rata sebesar 1 yang artinya sistem rekomendasi memberikan item rekomendasi dengan *ranking* yang diharapkan.

Kata kunci: *Haversine Formula, Penanganan Limbah, Sistem Rekomendasi*

RECOMMENDATION SYSTEM FOR SELECTING WASTE COLLECTORS AT PT. PITUKU CORDOVA INTERNATIONAL USING HAVERSINE ALGORITHM

Abstract

As the number of partners and order volumes on the Pituku platform increases, the company faces challenges in determining suitable waste collectors to handle orders. Ideally, the selected collector should be geographically closest to the waste requester to minimize shipping costs and ensure prompt delivery. Therefore, a recommendation system is needed to suggest a list of waste collectors sorted from closest to the waste buyer. This research aims to create a waste collector selection recommendation system at PT. Pituku Cordova International assists in suggesting a list of waste collectors sorted by proximity to the waste buyer, enhancing the efficiency of the waste collector selection process. The study employs the *Rapid Throwaway Prototyping Model*, with stages encompassing outlining requirements, developing prototypes, evaluating prototypes, specifying the system, developing software, and validating the system. The *Haversine formula* algorithm is used in the recommendation system, where latitude and longitude coordinates are calculated to determine the distance between buyers and waste collectors in kilometers. Based on this distance, the list of waste collectors is sorted from closest to farthest. The evaluation metric, *Normalized Discounted Cumulative Gain (NDCG)*, assesses the ranking accuracy of the recommendation system. Results indicate that the recommendation system achieves an average *NDCG* score of 1, signifying that it provides the expected ranking for recommended items.

Keywords: *Haversine Formula, Waste Management, Recommender System*

1. PENDAHULUAN

Menurut (Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 Tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup) pasal 1 ayat 20 menyatakan limbah adalah sisa suatu usaha dan/atau kegiatan. Dikutip dari (Agustanti et al., 2022), limbah merupakan bahan buangan atau bahan sisa hasil kegiatan manusia yang tidak digunakan lagi. Limbah ini dapat menyebabkan masalah serius pada lingkungan bila tidak ditangani dengan benar. Seiring dengan bertambahnya jumlah populasi manusia terutama di wilayah perkotaan, mengakibatkan naiknya volume limbah yang dihasilkan. Limbah merupakan masalah yang semakin umum pada kehidupan modern saat ini terutama untuk kota-kota besar. Penambahan jumlah populasi penduduk yang masif menghasilkan banyak aktivitas yang berimplikasi pada naiknya volume limbah (Azdy and Darnis, 2020).

Penanganan limbah menjadi isu yang semakin penting dalam menjaga keberlanjutan lingkungan hidup. Menurut Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan Indonesia (BLHK) data dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan pada tahun 2021 mencatat volume limbah di Indonesia yang terdiri dari 154 kabupaten/kota se-indonesia mencapai 18,2 juta ton/tahun. Limbah yang terkelola dengan baik hanya sebanyak 13,2 juta ton/tahun atau 72,95% (BLHK, 2022).

Permasalahan tersebut mendorong beberapa perusahaan untuk menjadi media perantara antara pembeli limbah dengan pengepul limbah untuk melakukan pengelolaan limbah salah satunya adalah PT. Pituku Cordova International. Namun saat ini perusahaan tersebut dihadapkan pada suatu masalah yang berhubungan dengan pencarian pengepul limbah yang akan melayani suatu pesanan karena semakin banyaknya mitra pengepul limbah dari berbagai kota di Indonesia sehingga pihak perusahaan kesulitan untuk menentukan pengepul limbah terdekat dengan pembeli limbah. Sistem rekomendasi yang sudah ada saat ini hanya menampilkan rekomendasi pengepul limbah berdasarkan ketersediaan stok jenis limbah yang dipesan tetapi urutan setiap item rekomendasi tidak diurutkan dari yang paling dekat ke yang paling jauh melainkan berdasarkan tanggal bergabung terbaru. Proses pemilihan pengepul limbah saat ini cukup rumit yaitu dengan mencari data pengepul yang terletak di kabupaten yang sama dengan pembeli kemudian memilih data yang paling atas. Jika data tidak ditemukan maka pencarian akan dilakukan berdasarkan provinsi yang sama dengan pembeli. Lalu jika data masih belum ditemukan maka pencarian akan dilakukan hanya berdasarkan jenis limbah dan stok yang dibutuhkan pembeli kemudian memilih pengepul yang sekiranya paling dekat secara

geografis. Hal ini menyebabkan proses pemilihan menjadi tidak efisien dan dapat mengakibatkan biaya pengiriman lebih tinggi serta waktu yang dihabiskan untuk pengiriman menjadi lebih lama mengingat keputusan akhir pemilihan pengepul limbah dilakukan berdasarkan asumsi dari pengguna sistem sehingga bisa saja pembeli limbah mendapatkan pesanan dari pengepul yang letaknya lebih jauh (Admin Pituku). Maka dari hal tersebut dibutuhkan sistem rekomendasi yang dapat memberikan daftar rekomendasi pengepul limbah yang diurutkan berdasarkan jarak dari yang terdekat ke yang paling jauh dari pembeli limbah.

Salah satu solusi yang dapat digunakan adalah dengan membuat sistem rekomendasi pemilihan pengepul limbah yang dapat menampilkan data pengepul limbah yang diurutkan dari yang terdekat dengan pembeli limbah. Untuk membuat sistem rekomendasi tersebut, dibutuhkan suatu algoritma yang dapat menghitung jarak berdasarkan data koordinat berupa garis lintang (*latitude*) dan garis bujur (*longitude*).

Berdasarkan penelitian oleh (Azdy and Darnis, 2020) yang menerapkan algoritma *Haversine Formula* untuk membuat sistem yang digunakan oleh petugas pengumpul sampah untuk menemukan Tempat Pembuangan Sampah Sementara (TPSS) terdekat. Cara kerjanya adalah dengan mengambil koordinat GPS perangkat petugas pengumpul sampah dan semua TPSS kemudian menghitungnya menggunakan *Haversine Formula*. Hasil perhitungannya kemudian dijadikan acuan untuk mengurutkan TPSS dari jarak terdekat dari petugas pengumpul sampah. Dari penelitian ini dihasilkan sistem informasi yang menampilkan daftar Tempat Pembuangan Sampah Sementara (TPSS) yang diurutkan dari yang terdekat ke yang paling jauh dari petugas pengumpul sampah.

Penelitian kedua yang dilakukan (Al Amin and Wahyudiyono, 2021) penelitian ini membahas mengenai penerapan algoritma *Haversine Formula* untuk membuat sistem yang dapat membantu teknisi di PT. Telkom Akses mengetahui letak ODP (*Optical Distribution Point*) yang mengalami gangguan. Daftar ODP yang mengalami gangguan ditampilkan dengan urutan dari yang paling dekat dengan teknisi. Informasi yang ditampilkan meliputi kapasitas ODP, AVAI, koordinat ODP, *Connected OLT*, jarak, keterangan dan tombol maps untuk menampilkan rute dari lokasi teknisi ke lokasi *box* ODP yang dipilih.

Penelitian ketiga yang dilakukan (Chandra Husada, Kristoko Dwi Hartomo and Hanna Prillysca Chernovita, 2020) membahas mengenai penerapan algoritma *Haversine Formula* pada sistem informasi Rumah Sakit Rujukan Covid-19 di kota Semarang. Dari penelitian ini dihasilkan sistem informasi yang dapat digunakan oleh masyarakat untuk menemukan rumah sakit rujukan terdekat dari lokasi yang mereka masukan. Informasi rumah sakit terdekat ditampilkan

dalam bentuk peta interaktif. Dalam penelitian ini juga diperoleh selisih hasil perhitungan antara *Haversine Formula* dengan hasil perhitungan dari Google Maps untuk jarak garis lurus dengan nilai selisih terkecil 0 meter dan nilai selisih terbesar 5 meter, sehingga nilai selisih rata-rata sebesar 3 meter.

Penelitian keempat yang dilakukan oleh (Suryana et al., 2019) mengimplementasikan *Haversine Formula* pada sistem *E-Voting*. Pada penelitian ini dibuat aplikasi berbasis android untuk melakukan *E-Voting*, pemilih yang hendak melakukan *voting* harus berada di radius yang telah ditetapkan admin *voting*. Untuk dapat melacak apakah pengguna berada didalam radius pemilihan atau tidak, dimanfaatkan GPS pada perangkat pengguna. Karena informasi yang diberikan GPS merupakan koordinat dalam bentuk *latitude* dan *longitude*, dilakukan proses penghitungan jarak antara koordinat perangkat android pengguna dengan koordinat tempat pemilihan berlangsung menggunakan *Haversine Formula*. Jika pengguna berada didalam radius yang telah ditentukan, pengguna ditandai sebagai pemilih, jika tidak pengguna ditandai sebagai bukan pemilih. Untuk menghindari pengguna memberikan suara lebih dari satu melalui lebih dari satu perangkat, *deviceId* dari pengguna disimpan di *database* sehingga pengguna hanya dapat *login* dari satu perangkat.

Penelitian kelima yang dilakukan oleh (Skarga-Bandurova, Derkach and Kotsiuba, 2018) mengimplementasikan *Haversine Formula* pada sistem informasi prediksi kedatangan bus troli di Ukraina. Sistem informasi ini digunakan untuk memprediksi berapa lama suatu bus troli sampai ke suatu stasiun. *Haversine Formula* digunakan untuk menghitung jarak bus troli dengan stasiun berikutnya. Penelitian ini mencoba menghitung jarak menggunakan tiga algoritma, yaitu *vincenty*, *haversine*, dan *Euclidean*. Hasilnya, *haversine* menghasilkan nilai akurasi lebih tinggi daripada *vincenty* dan *Euclidean*. Penelitian yang dilakukan oleh (Miftahuddin, Umaroh and Karim, 2020) membandingkan ketiga algoritma perhitungan jarak yakni *Euclidean*, *Manhattan*, dan *Haversine* untuk menentukan lokasi posisi karyawan Institut Teknologi Nasional Bandung. Perbandingan tingkat keakurasian dilakukan dengan membandingkan persentase *error* hasil perhitungan jarak dengan pengukuran secara manual menggunakan pita ukur. Hasilnya diperoleh bahwa *Haversine* memiliki tingkat keakurasian paling tinggi sebesar 98.66% dibandingkan dengan *Euclidean* dan *Manhattan*.

Penelitian keenam yang dilakukan oleh (Maria et al., 2020) membandingkan dua algoritma perhitungan jarak yakni *Euclidean* dan *Haversine* pada sistem informasi fasilitas publik terdekat di kota Samarinda. Sistem informasi ini dibuat untuk tujuan membantu masyarakat samarinda menemukan fasilitas publik seperti rumah sakit, tempat beribadah, SPBU, pusat perbelanjaan, dan apotik yang paling

dekat dengan mereka. Hasil nya diperoleh bahwa algoritma *Haversine* memiliki nilai deviasi lebih rendah yakni 2.536912 dibandingkan dengan *Euclidean* yang memiliki nilai deviasi sebesar 2.539764.

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang telah diuraikan terdapat beberapa algoritma yang dapat digunakan untuk menghitung jarak antara dua koordinat. Salah satunya adalah dengan algoritma *Haversine formula* yaitu algoritma yang dapat digunakan dalam pencarian jarak antara dua titik pada permukaan bumi berdasarkan garis lintang (*latitude*) dan garis bujur (*longitude*) yang memiliki keunggulan dibandingkan algoritma lain seperti lebih akurat, tingkat *error* rendah dalam kecepatan analisa, perhitungan lebih mudah untuk dilakukan dan menghasilkan *response time* dua kali lipat lebih cepat dibandingkan dengan *Vincenty formula* (Chandra Husada, Kristoko Dwi Hartomo and Hanna Prillysca Chernovita, 2020) (Mahmoud and Akkari, 2016).

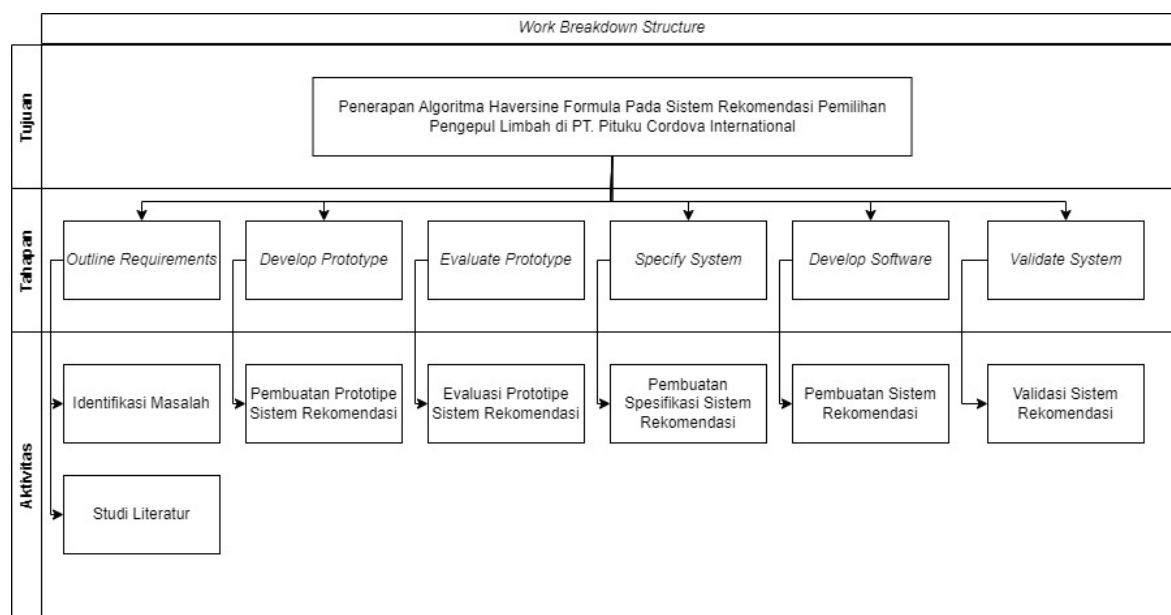
Maka berdasarkan latar belakang permasalahan tersebut peneliti akan melakukan pembuatan sistem rekomendasi pemilihan pengepul limbah yang diurutkan dari yang terdekat dengan pembeli limbah menggunakan algoritma *Haversine formula*. Hasil penelitian ini berupa sistem rekomendasi yang menghasilkan daftar rekomendasi pengepul limbah yang diurutkan berdasarkan jarak terdekat dari pembeli limbah sehingga dapat membantu pihak Pituku dalam menentukan pilihan pengepul limbah yang paling efisien.

2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *Rapid Throwaway Prototyping Model*. *Rapid Throwaway Prototyping* merupakan salahsatu jenis dari *prototyping model*. Pada metode ini prototipe dibangun dengan cepat untuk memperlihatkan secara visual bagaimana suatu sistem akan bekerja (Sinarmata, 2010). Adapun tahapan yang dilakukan meliputi *outline requirements*, *develop prototype*, *evaluate prototype*, *specify system*, *develop software*, dan *validate system* (Jacobs and Doerry, n.d.).

Gambar 1 merupakan tahapan penelitian yang merujuk pada metode *Rapid Throwaway Prototyping Model*. Penjelasan lebih lanjut pada mengenai tahapan penelitiannya sebagai berikut:

1. *Outline Requirements*, dimana pada tahap ini, peneliti melakukan dua aktivitas, antara lain:
 - a. Identifikasi masalah, dilakukan untuk mengetahui permasalahan yang dialami oleh pihak perusahaan PT. Pituku Cordova International.
 - b. Studi literatur, dilakukan untuk mempelajari penelitian-penelitian sebelumnya terkait algoritma apa yang cocok untuk sistem rekomendasi berbasis lokasi.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

2. *Develop Prototype*, dimana pada tahap ini peneliti melakukan aktivitas pembuatan prototipe sistem rekomendasi untuk menghasilkan prototipe sistem rekomendasi.
3. *Evaluate Prototype*, dimana pada tahap ini peneliti melakukan aktivitas evaluasi prototipe sistem rekomendasi bersama dengan pihak PT. Pituku Cordova International untuk mendapatkan *feedback* apakah prototipe sudah sesuai dengan yang dibutuhkan.
4. *Specify system*, dimana pada tahap ini peneliti melakukan aktivitas pembuatan spesifikasi sistem rekomendasi yang akan dikembangkan berdasarkan prototipe yang telah dibuat sebelumnya.
5. *Develop Software*, dimana pada tahap ini, peneliti melakukan aktivitas pembuatan sistem rekomendasi dimana aktivitas ini didasarkan pada prototipe sistem rekomendasi dan spesifikasi sistem yang telah ditentukan sebelumnya. Pada tahapan inilah algoritma *Haversine Formula* akan diterapkan ke dalam kode program untuk menghitung jarak antara pembeli limbah dengan pengepul limbah. Berdasarkan (Azdy and Darnis, 2020), formula *Haversine* untuk menghitung jarak antara dua koordinat tersaji sebagai berikut.
6. *Validate System*, dimana pada tahap ini peneliti melakukan aktivitas validasi sistem rekomendasi bersama dengan pihak PT. Pituku Cordova International untuk mengetahui apakah sistem rekomendasi yang menerapkan algoritma *Haversine Formula* memiliki performa yang baik dalam melakukan *rangking* pengepul limbah terdekat dari pembeli limbah. Metrik yang digunakan merupakan metrik NDCG (*Normalized Discounted Cumulative Gain*) dimana menurut (Chandekar, 2020), NDCG memiliki formula:

$$NDCG = \frac{DCG}{IDCG} \quad (4)$$

$$DCG = \sum_{i=1}^p \frac{rel_i}{\log_2(i+1)} \quad (5)$$

Hasil validasi ini akan dijadikan acuan apakah sistem rekomendasi yang menerapkan algoritma *Haversine Formula* layak untuk dikembangkan lebih jauh dan digunakan pada *environment* (lingkungan) *production* bersamaan dengan sistem lain yang telah ada.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil

3.1.1. Outline Requirements

Pada tahapan ini dilakukan dua aktivitas yaitu identifikasi masalah dan studi literatur.

1. Identifikasi Masalah

Dari tahapan ini diidentifikasi bahwa PT. Pituku Cordova International menghadapi masalah dalam mencari pengepul limbah untuk melayani pesanan pembeli limbah dikarenakan banyaknya mitra

$$\Delta lat = latitude2 - latitude1 \quad (1)$$

$$\Delta long = longitude2 - longitude1 \quad (2)$$

$$Dis = 2 \cdot R \cdot \arcsin \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{\Delta lat}{2} \right) + \cos(latitude2) \cdot \cos(latitude1) \cdot \sin^2 \left(\frac{\Delta long}{2} \right)} \right) \quad (3)$$

Dimana R merupakan jari-jari bumi yang secara aproksimasi berukuran 6371 km.

pengepul dari berbagai kota di Indonesia. Sistem rekomendasi saat ini hanya memberikan rekomendasi berdasarkan stok bukan berdasarkan jarak kedekatan antara pembeli limbah dan pengepul limbah. Adapun proses pemilihan pengepul yang saat ini dilakukan masih rumit dan tidak efisien sehingga berpotensi meningkatkan biaya dan waktu pengiriman. Maka dari permasalahan tersebut dibutuhkan sistem rekomendasi yang dapat memberikan daftar rekomendasi pengepul limbah yang diurutkan berdasarkan jarak dari yang terdekat ke yang paling jauh dari pembeli limbah.

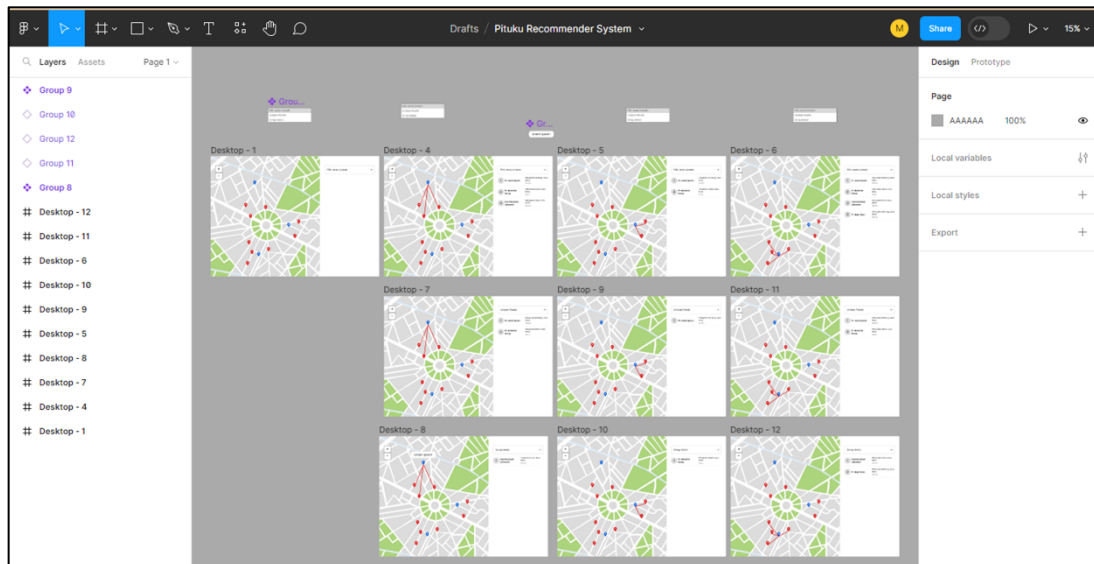
2. Studi Literatur

Berdasarkan hasil studi literatur diperoleh informasi bahwa algoritma *Haversine formula* yaitu algoritma yang dapat digunakan dalam pencarian jarak antara dua titik pada permukaan bumi berdasarkan garis lintang (*latitude*) dan garis bujur (*longitude*) yang memiliki keunggulan dibandingkan

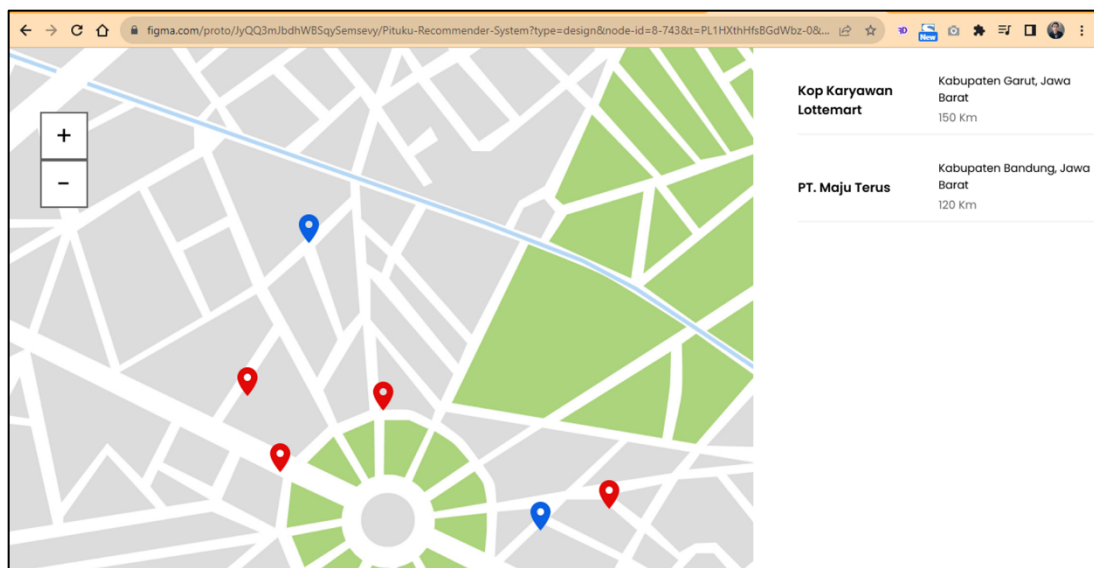
algoritma lain seperti lebih akurat, tingkat *error* rendah dalam kecepatan analisa, perhitungan lebih mudah untuk dilakukan dan menghasilkan *response time* dua kali lipat lebih cepat dibandingkan dengan *Vincenty formula* (Chandra Husada, Kristoko Dwi Hartomo and Hanna Prillysca Chernovita, 2020) (Mahmoud and Akkari, 2016).

3.1.2. Develop Prototype

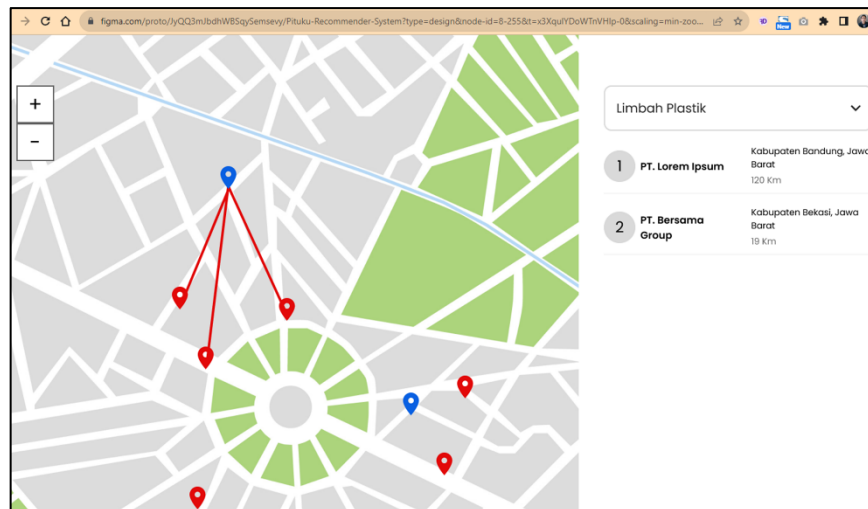
Pada tahapan ini dilakukan aktivitas pembuatan prototipe sistem rekomendasi. Tahapan ini berfokus untuk membuat prototipe dari sistem rekomendasi yang telah direncanakan sebelumnya. Peneliti menggunakan alat desain seperti Figma untuk memvisualisasikan bagaimana sistem rekomendasi akan bekerja. Proses pembuatan prototipe dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Proses Pembuatan Prototipe



Gambar 3. Prototipe Sistem Rekomendasi Versi 1



Gambar 4. Prototipe Sistem Rekomendasi Versi 2

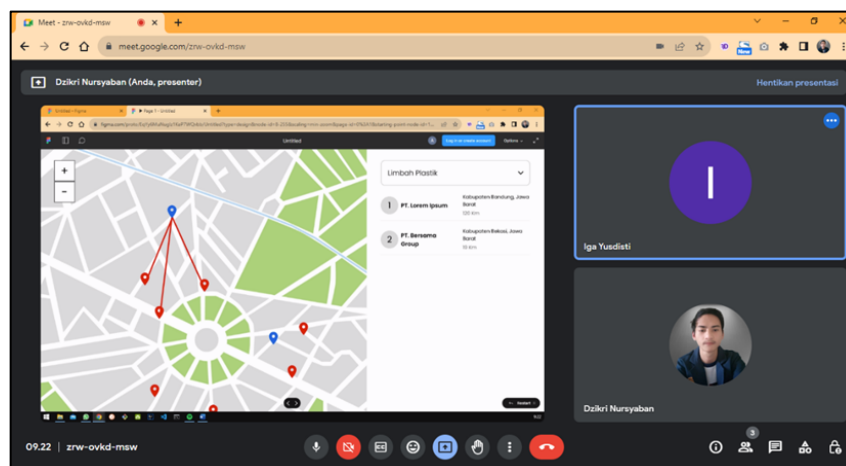
Tahapan *Develop Prorotype* ini dilakukan sebanyak dua kali. Hasil dari pembuatan prototipe pertama dapat dilihat pada Gambar 3. Pembuatan prototipe kedua dilakukan berdasarkan hasil evaluasi bersama pihak PT. Pituku Cordova International. Hasil dari pembuatan prototipe kedua dapat dilihat pada Gambar 4.

Prototipe sistem rekomendasi dapat diakses pada tautan <https://s.id/1S0WX>. Berdasarkan prototipe diatas dapat dijelaskan sistem yang akan dibuat akan memiliki tampilan yang terdiri dari satu halaman yang terbagi ke dalam dua bagian. Bagian kiri layar berupa maps yang menampilkan marker sebagai penanda titik lokasi pengepul limbah dan pembeli limbah. Sebagai pembeda antara pengepul limbah dan pembeli limbah, diberikan warna yang berbeda untuk setiap marker. *Marker* yang berwarna biru menandakan pembeli limbah, sedangkan *marker* berwarna merah menandakan pengepul limbah. Saat salahsatu marker berwarna biru (marker pembeli limbah) di klik, akan terbuat garis berwarna merah

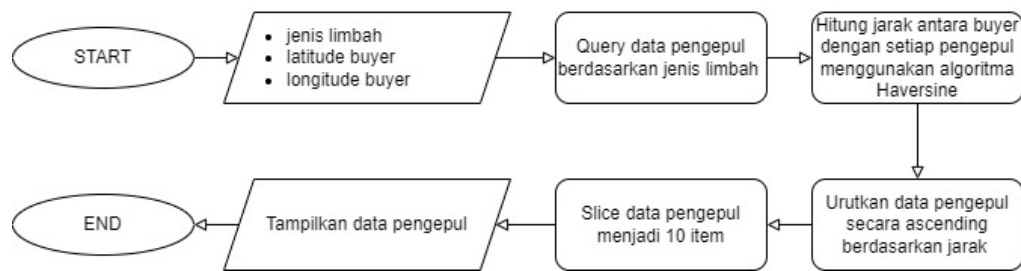
yang mengarah ke maksimal 10 pengepul limbah terdekat. Bagian kanan layar berisikan daftar pengepul limbah yang terdekat dengan pembeli limbah yang di pilih pengguna melalui marker pada maps di sebelah kiri layar. Dibagian atas daftar pembeli limbah terdapat tombol *dropdown* untuk memilih jenis limbah. Daftar pengepul limbah yang ditampilkan bergantung pada *marker* pembeli limbah dan jenis limbah (jika ditentukan) yang dipilih pengguna. Daftar pengepul limbah yang ditampilkan akan berjumlah maksimal 10 item.

3.1.3. Evaluate Prototype

Pada tahapan ini, peneliti bersama dengan pihak perusahaan PT. Pituku Cordova International melakukan identifikasi mengenai kelebihan dan kekurangan dari prototipe, memperbaiki potensi masalah, dan mengumpulkan masukan dari pengguna untuk melakukan iterasi selanjutnya.



Gambar 5. Dokumentasi Evaluasi



Gambar 6 Flowchart Sistem Rekomendasi

Proses evaluasi dilakukan sebanyak dua kali. Evaluasi pertama menghasilkan masukan antara lain:

- Menambahkan avatar angka disamping setiap item pengepul limbah yang direkomendasikan.
- Membuat tombol dropdown untuk memilih jenis limbah (jika hendak

3.1.4. Specify System

Pada tahap ini peneliti membuat spesifikasi sistem rekomendasi berdasarkan hasil evaluasi prototipe dan analisis kebutuhan pengguna. Dari tahapan ini, diperoleh kebutuhan fungsional, antara lain:

- Sistem harus menampilkan marker pengepul limbah dan pembeli limbah saat halaman utama diakses.
- Saat marker pembeli limbah di klik, Menampilkan daftar jenis limbah yang tersedia.
- Menerima input berupa preferensi limbah dan koordinat geografis dari pembeli limbah.
- Sistem rekomendasi menampilkan maksimal 10 pengepul limbah yang diurutkan berdasarkan jarak terdekat ke pembeli limbah.

Ditentukan juga kebutuhan non-fungsional, antara lain:

- Waktu respons cepat (kurang dari 10 detik).
- Skalabilitas tinggi.

Selain kebutuhan fungsional dan non-fungsional, terdapat spesifikasi lain yang harus dipenuhi sistem rekomendasi yang disesuaikan dengan persyaratan teknis dari perusahaan yaitu sistem rekomendasi haruslah berbasis *microservices* yang artinya bagian *frontend* dan *backend* harus *deploy* secara terpisah.

3.1.5. Develop Software

Pada tahapan ini peneliti melakukan pembuatan sistem rekomendasi berdasarkan prototipe yang telah disetujui dan spesifikasi yang telah ditentukan

mengimplementasikan sistem rekomendasi berdasarkan parameter jenis limbah).

Proses evaluasi kedua dilakukan setelah peneliti kembali ke tahapan *Develop Prototype* untuk melakukan perbaikan berdasarkan hasil evaluasi pertama. Berdasarkan hasil evaluasi kedua, prototipe hasil perbaikan disetujui dan dapat dilanjutkan ke tahap selanjutnya yaitu *specify system*.

sebelumnya menggunakan bahasa pemrograman *TypeScript* dengan *library ReactJS*.

Bagian *backend* merupakan bagian inti dari sistem rekomendasi ini karena pada bagian inilah algoritma sistem rekomendasi diterapkan. Proses sistem rekomendasi dalam merekomendasikan pengepul limbah dapat dilihat pada *flowchart* pada Gambar 6.

Berdasarkan Gambar 6. dapat dijelaskan alur dari sistem rekomendasi adalah sebagai berikut:

- Sistem rekomendasi menerima masukan berupa jenis limbah (id dari jenis limbah), koordinat lintang (*latitude*), serta koordinat bujur (*longitude*) dari pembeli limbah.
- Sistem akan melakukan *query* ke *database* untuk mendapatkan data pengepul limbah yang menyediakan jenis limbah yang dimaksud.
- Sistem akan melakukan perhitungan jarak untuk setiap data pengepul limbah hasil *query* dengan koordinat pembeli limbah. Perhitungan jarak ini akan menggunakan algoritma Haversine menggunakan formula (1), formula (2), dan formula (3).
- Daftar pengepul limbah kemudian akan diurutkan secara ascending berdasarkan jaraknya dengan pembeli limbah.
- Sistem akan melakukan pemotongan terhadap daftar pengepul limbah. Sehingga hanya 10 pengepul limbah teratas yang akan dikembalikan selanjutnya.
- Sistem akan mengembalikan *response* berupa daftar 10 pengepul limbah.

Adapun untuk algoritma yang diterapkan disajikan dalam bentuk *pseudocode* sebagai berikut:

Name: Pseudocode mendapatkan daftar rekomendasi pengepul limbah menggunakan Algoritma Haversine

In: Id jenis limbah,
Koordinat *latitude* pembeli limbah,
Koordinat *longitude* pembeli limbah

Out: Daftar Rekomendasi Pengepul Limbah

Step:

1. *Query* pengepul limbah berdasarkan id jenis limbah;
2. **ForEach** pengepul *in* daftar_pengepul_hasil_query
Hitung jarak dengan pembeli limbah menggunakan algoritma *Haversine Formula*;

$$2. R. \arcsin \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{\Delta lat}{2} \right) + \cos(latitude2) . \cos(latitude1) . \sin^2 \left(\frac{\Delta long}{2} \right)} \right)$$

- Dimana *latitude2* merupakan *latitude* pengepul dan *latitude1* merupakan *latitude* pembeli limbah;
3. Urutkan daftar pengepul berdasarkan jarak nya terhadap pembeli secara *ascending*;
 4. Potong daftar pengepul limbah hasil sorting menjadi maksimal 10 item;

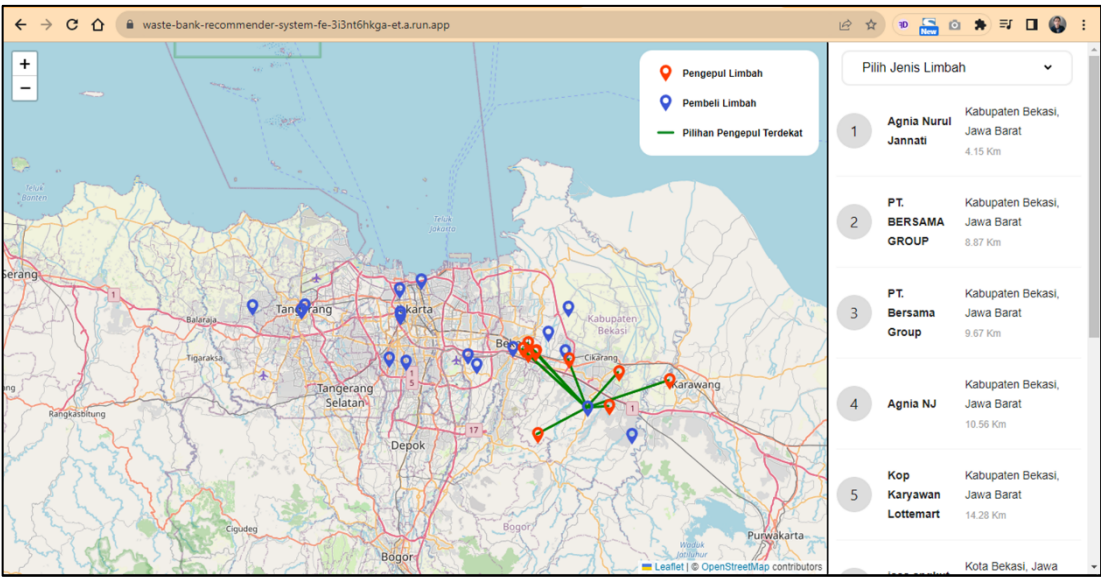
Pada bagian *frontend* dipergunakan *library LeafletJS* untuk menampilkan map. Tampilan *frontend* sistem rekomendasi dapat dilihat pada Gambar 7.

Gambar 7 merupakan tampilan *frontend* sistem rekomendasi terdiri dari satu halaman dan terdapat dua bagian pada satu halaman. Bagian sebelah kiri merupakan map yang memiliki dua jenis *marker*. *Marker* yang berwarna biru merepresentasikan pembeli limbah, sedangkan *marker* yang berwarna merah merepresentasikan pengepul limbah. Setiap

marker tersebut menunjukkan titik pembeli limbah dan pengepul limbah.

3.1.6. Validate System

Pada tahapan ini peneliti menguji sistem rekomendasi yang telah dibuat untuk memastikan bahwa sistem berfungsi sesuai harapan dan memenuhi kebutuhan pengguna. Pada tahapan ini, dilakukan percobaan oleh pihak perusahaan terhadap sistem rekomendasi yang telah dibuat. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 7. Tampilan Sistem Rekomendasi

Tabel 1. Hasil Pengujian

No	Aktivitas Pengujian	Hasil Pengujian	Status
1.	Akses Halaman Awal	Marker pengepul limbah dan pembeli limbah ditampilkan	Diterima
2	Klik <i>marker</i> pembeli limbah	Daftar 10 pengepul limbah terdekat ditampilkan, terdapat garis penghubung antara marker pembeli limbah ke setiap pengepul limbah tersebut	Diterima
3	Klik <i>dropdown</i> pilih jenis limbah	Daftar jenis limbah ditampilkan	Diterima
4	Klik salahsatu jenis limbah pada <i>dropdown</i> pilih jenis limbah	Daftar pengepul limbah yang ditampilkan merupakan pengepul limbah yang menyediakan jenis limbah yang dipilih. Daftar pengepul limbah diurutkan berdasarkan jarak terdekat dari pembeli limbah	Diterima
5	Waktu <i>response</i> cepat	Waktu <i>response</i> paling lama 5 detik	Diterima
6	Skalabilitas tinggi	Dapat menerima <i>request</i> lebih dari lima pengguna dalam satu waktu	Diterima

Perhitungan performansi sistem rekomendasi dilakukan dengan cara menghitung nilai NDCG untuk data pengepul limbah yang direkomendasikan untuk setiap pembeli limbah menggunakan formula 4, dan 5. NDCG (*Normalized Discounted Cumulative Gain*) merupakan metrik yang menggunakan pembobotan (*gain*) pada posisi item yang direkomendasikan (Valcarce et al., 2020). Hasil perhitungannya tersaji pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Perhitungan NDCG

No	Nama Perusahaan	DCG	IDCG	NDCG
1	PT. Herlambang Santoso Tbk	4,54	4,54	1
2	PT Cahya Abadi	4,54	4,54	1
3	JemputSampah	4,54	4,54	1
4	Fajar Nusa Indah	4,54	4,54	1
5	Kimung	4,54	4,54	1
6	PT Rembulan Unggul	4,54	4,54	1
7	Selaras	4,54	4,54	1
8	PT Intco International	4,54	4,54	1
9	PT Harvestindo Indonesia	4,54	4,54	1
10	PT Akusara Karya Buana	4,54	4,54	1
...	PT Almira Global Korporindo	4,54	4,54	1
73	Individual - yatno	4,54	4,54	1

Hasil perhitungan NDCG secara lengkap dapat diakses pada tautan <https://s.id/1S3kY>. Berdasarkan Tabel 2. dapat diketahui nilai DCG (*Discounted Cumulative Gain*) untuk hasil rekomendasi memiliki nilai rata-rata 4,54 dan sesuai dengan nilai ideal dari DCG yaitu IDCG (*Ideal Discounted Cumulative Gain*) dari sistem rekomendasi yang diharapkan yaitu 4,54. Kemudian dapat dihitung nilai NDCG

(*Normalized Discounted Cumulative Gain*) berdasarkan nilai DCG dan IDCG untuk setiap item nya. Dapat dilihat performansi sistem rekomendasi memiliki nilai NDCG rata-rata 1 yang artinya sistem rekomendasi memberikan item rekomendasi dengan *ranking* yang diharapkan.

3.2. Pembahasan

Penelitian ini berhasil membuat sistem rekomendasi pemilihan pengepul limbah yang menggunakan algoritma *Haversine Formula*. Algoritma ini digunakan untuk menghitung jarak antara pembeli limbah dan pengepul limbah berdasarkan koordinat geografis. Dengan menggunakan data lokasi dari pembeli limbah dan pengepul limbah yang tersedia pada *database* PT. Pituku Cordova International, sistem rekomendasi dapat menyusun daftar pengepul limbah yang diurutkan dari yang paling dekat hingga yang paling jauh dari pembeli limbah. Implementasi algoritma *Haversine Formula* berhasil memberikan hasil yang akurat dalam menghitung jarak antara lokasi-lokasi yang berbeda.

Hasil penelitian ini membuktikan bahwa algoritma *Haversine Formula* dapat digunakan untuk menghitung jarak antara pembeli limbah dan pengepul limbah berdasarkan koordinat geografis. Hal ini selaras dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Al Amin and Wahyudiyono, 2021) yang berhasil menerapkan algoritma *Haversine Formula* untuk menghitung jarak antara ODP dengan petugas Telkom Akses berdasarkan koordinat geografis. Serta penelitian yang dilakukan oleh (Azdy and Darnis, 2020) yang berhasil menerapkan algoritma *Haversine Formula* pada sistem rekomendasi Tempat Pembuangan Sampah Sementara (TPSS) terdekat dengan petugas pengangkut sampah. Performa dari sistem rekomendasi yang dibuat juga memiliki kecepatan perhitungan yang baik sehingga hal ini selaras dengan penelitian (Chandra Husada, Kristoko Dwi Hartomo and Hanna Prillysca Chernovita, 2020) yang menyatakan algoritma *Haversine Formula* lebih akurat, tingkat *error* rendah dalam kecepatan analisa, dan juga perhitungan lebih mudah untuk dilakukan.

Berdasarkan hasil evaluasi menggunakan metrik NDCG, diidentifikasi bahwa sistem rekomendasi memberikan item rekomendasi dengan *ranking* yang diharapkan, dengan nilai rata-rata NDCG sebesar 1. Hal ini menandakan keberhasilan sistem rekomendasi dalam merekomendasikan pengepul limbah dengan preferensi lokasi pembeli limbah. Dari hasil pengujian lapangan menggunakan prototipe sistem rekomendasi, pengguna memberikan tanggapan positif terhadap tampilan antarmuka yang menggambarkan cara kerja sistem rekomendasi, dan kecepatan sistem dalam menyusun daftar rekomendasi.

Penggunaan sistem rekomendasi ini dapat membantu perusahaan dalam menentukan pilihan

pengumpul limbah yang paling efisien, meningkatkan efektivitas operasional, dan memberikan pengalaman jual beli limbah yang lebih baik bagi para pengguna platform ini.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengimplementasikan algoritma *Haversine Formula* pada sistem rekomendasi pemilihan pengumpul limbah di PT. Pituku Cordova International. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa sistem rekomendasi dapat memberikan rekomendasi pengumpul limbah yang diurutkan berdasarkan jarak terdekat dengan pembeli limbah, dengan nilai NDCG rata-rata 1 yang artinya sistem rekomendasi telah memberikan daftar rekomendasi pengumpul limbah yang setiap item nya diurutkan sesuai dengan yang seharusnya. Penerapan algoritma *Haversine Formula* dalam sistem rekomendasi ini membantu meningkatkan efisiensi operasional perusahaan dengan meminimalkan biaya pengiriman dan mempercepat proses pemilihan pengumpul limbah.

Kelemahan *Haversine Formula* menghitung jarak secara garis lurus antara dua titik berdasarkan koordinat geografisnya dan tidak memperhitungkan faktor-faktor seperti rute dan topografi, yang dapat mempengaruhi perjalanan sebenarnya. Ketika menerapkan rekomendasi ini dalam lingkungan praktis, penting diperhatikan bahwa hasil perhitungan jarak menggunakan *Haversine Formula* mungkin tidak selalu mencerminkan waktu perjalanan sebenarnya. Hal ini dapat menyebabkan perbedaan antara estimasi jarak dan waktu tempuh sebenarnya, terutama dalam kasus perjalanan dengan rute yang kompleks atau kendala lalu lintas. Berdasarkan hal tersebut, saran pengembangan berikutnya perlu mengimbangi kelemahannya dengan mempertimbangkan data rute dan faktor-faktor lainnya dalam proses pemilihan pengumpul limbah. Penggunaan gabungan antara perhitungan jarak dengan informasi rute dapat meningkatkan estimasi yang lebih akurat untuk waktu perjalanan dan membantu dalam pengambilan keputusan yang lebih baik dalam pemilihan pengumpul limbah.

DAFTAR PUSTAKA

- AGUSTANTI, R.D., WALUYO, B., DIRKARESHZA, R., HULU, S.A. and AZAMI, M.R., 2022. Peningkatan keahlian warga masyarakat tentang pengolahan limbah jadi rupiah. *Jces*, 5(4), pp.887–898.
- AL AMIN, I.H. and WAHYUDIYONO, W., 2021. Implementasi Metode Haversine Untuk Pencarian Optical Distribution Point. *Jurnal Dinamika Informatika*, 13(1), pp.28–35. <https://doi.org/10.35315/informatika.v13i1.8439>.
- AZDY, R.A. and DARNIS, F., 2020. Use of Haversine Formula in Finding Distance between Temporary Shelter and Waste End Processing Sites. *Journal of Physics: Conference Series*, 1500(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1500/1/012104>.
- BLHK, 2022. IKN, Tantangan Kelola Sampah – Standar Minimal Harus Berjalan. [online] Available at: <<https://bsilhk.menlhk.go.id/index.php/2022/06/02/ikn-tantangan-kelola-sampah-standar-minimal-harus-berjalan/>> [Accessed 5 March 2023].
- CHANDEKAR, P., 2020. Evaluate Your Recommendation Engine using NDCG. [online] Available at: <<https://towardsdatascience.com/evaluate-your-recommendation-engine-using-ndcg-759a851452d1>>.
- CHANDRA HUSADA, KRISTOKO DWI HARTOMO and HANNA PRILLYSCA CHERNOVITA, 2020. Implementasi Haversine Formula untuk Pembuatan SIG Jarak Terdekat ke RS Rujukan COVID-19. *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*, 4(5), pp.874–883. <https://doi.org/10.29207/resti.v4i5.2255>.
- JACOBS, S. and DOERRY, E., n.d. Prototyping: Making Design Concepts Real and Testable.
- MAHMOUD, H. and AKKARI, N., 2016. Shortest Path Calculation: A Comparative Study for Location-Based Recommender System. pp.1–5. <https://doi.org/10.1109/WSCAR.2016.16>.
- MARIA, E., BUDIMAN, E., HAVILUDDIN and TARUK, M., 2020. Measure distance locating nearest public facilities using Haversine and Euclidean Methods. *Journal of Physics: Conference Series*, 1450(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1450/1/012080>.
- MIFTAHUDDIN, Y., UMAROH, S. and KARIM, F.R., 2020. Perbandingan Metode Perhitungan Jarak Euclidean, Haversine, Dan Manhattan Dalam Penentuan Posisi Karyawan. *Jurnal Tekno Insentif*, 14(2), pp.69–77. <https://doi.org/10.36787/jti.v14i2.270>.
- SINARMATA, J., 2010. *Rekayasa Perangkat Lunak*. 1st ed. Yogyakarta: CV. Andi Offset.
- SKARGA-BANDUROVA, I., DERKACH, M. and KOTSIUBA, I., 2018. The information service for delivering arrival public transport prediction. *Proceedings of the 2018 IEEE 4th International Symposium on Wireless Systems within the International Conferences on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems, IDAACS-SWS 2018*, pp.191–195. <https://doi.org/10.1109/IDAACS-SWS.2018.8525787>.

- SURYANA, A., REYNALDI, F., PRATAMA, F., GINANJAR, G., INDRIANSYAH, I. and 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, pp.218–223.
<https://doi.org/10.1109/ICCED.2018.00050>.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 Tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.[online] Available at:
<[https://jdih.esdm.go.id/storage/document/UU 32 Tahun 2009 \(PPLH\).pdf](https://jdih.esdm.go.id/storage/document/UU%2032%20Tahun%202009%20(PPLH).pdf)>.
- VALCARCE, D., BELLOGÍN, A., PARAPAR, J. and CASTELLS, P., 2020. Assessing ranking metrics in top-N recommendation. [online] Information Retrieval Journal, Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/s10791-020-09377-x>.

Halaman ini sengaja dikosongkan