

Penggunaan *Analytic Hierarchy Process* pada *Traffic light* untuk Penentuan Kendaraan Prioritas

Muhammad Izzuddin Mahali¹, Muhammad Adi Febri Setiawan², Uswatun Karimah³, Ridho Prasakti⁴

^{1,2}Program Studi Pendidikan Teknik Informatika Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta

²Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta

²Program Studi Pendidikan Teknik Elektronika Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta

E-mail: izudin@uny.ac.id

ABSTRACT

Priority vehicles are often stuck in traffic lights due to vehicle density and the low tolerance value of drivers in Indonesia for priority vehicles. To overcome these problems, an intelligent traffic light system was developed, namely Intelligent Traffic light (ITL). The ITL system consists of Bangjopin APILL as a traffic light and Bangjopin Apps as a smartphone application. The development methods used in the development of ITL systems are general preparation, design, manufacture and testing. Bangjopin APILL consists of an ESP32 as a controller that is connected with Firebase Firestore as Mobile Backend as a Service. Bangjopin Apps was developed for android smartphones using the Google Maps API and Firebase services such as Authentication, Storage, and Firestore. ITL uses Analytical Hierarchy Process (AHP). AHP is a decision making system through the use of traffic light cycle criteria based on the driver's habits, priority vehicle types under the law, and distance of priority vehicles to traffic light. The advantages of ITL systems from the existing smart traffic light are automatic, accessible remote, application based and secure data security.

Keywords: AHP, APILL, Priority vehicles

ABSTRAK

Kendaraan prioritas sering terjebak kemacetan pada *traffic light* yang disebabkan kepadatan kendaraan dan rendahnya nilai toleransi pengendara di Indonesia terhadap kendaraan prioritas. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, maka dikembangkan inovasi sistem *traffic light* pintar yaitu *Intelligent Traffic light* (ITL). Sistem ITL terdiri dari Bangjopin APILL sebagai *traffic light* dan Bangjopin Apps sebagai aplikasi *smartphone*. Metode pengembangan yang digunakan dalam pengembangan sistem ITL yaitu persiapan umum, rancangan desain, pembuatan dan uji coba. Bangjopin APILL terdiri dari sebuah ESP32 sebagai pengendali yang dihubungkan dengan Firebase Firestore sebagai Mobile Backend as a Service. Bangjopin Apps dikembangkan untuk *smartphone* android dengan menggunakan Google Maps API dan layanan Firebase seperti *Autentification*, *Storage*, dan *Firestore*. ITL menggunakan *Analytical Hierarchy Process* (AHP). AHP adalah sistem pengambilan keputusan melalui penggunaan kriteria siklus *traffic light* yang didasarkan dengan habit pengendara, jenis kendaraan prioritas berdasarkan undang-undang, dan jarak kendaraan prioritas dengan *traffic light*. Keunggulan sistem ITL dari yang *traffic light* pintar yang sudah ada yaitu sistem yang otomatis, dapat diakses jarak jauh, berbasis aplikasi dan keamanan data terjamin.

Kata kunci: AHP, APILL, Kendaraan Prioritas

PENDAHULUAN

Indonesia termasuk masuk dalam jajaran negara dengan kondisi kemacetan arus lalu lintas paling memprihatinkan terburuk kedua di dunia, sedangkan Kota Yogyakarta menduduki urutan

keempat sebagai kota dengan tingkat kemacetan tertinggi di Indonesia [1]. Untuk kenyamanan masyarakat, Yogyakarta dituntut meningkatkan pelayanan transportasi, salah satunya dengan mengurangi penggunaan kendaraan pada daerah

macet [2]. Penurunan tingkat kemacetan merupakan aspek ekonomi dalam manajemen system transportasi [3]. Kemacetan memiliki dampak negatif, salah satunya membuat kendaraan darurat seperti pemadam kebakaran, ambulans, dan kendaraan prioritas lainnya terkena antrian *traffic light* sehingga membutuhkan waktu yang lama untuk mencapai tujuan. Hal ini diperburuk dengan situasi meski ambulans sebagai kendaraan prioritas yang memiliki sirine bersuara nyaring, namun masih banyak pengendara enggan memberi jalan bagi ambulans. Salah satu solusi terkait ambulans adalah adanya sistem aplikasi untuk menentukan rute terefisien bagi ambulans, akan tetapi masih memiliki keterbatasan kaitannya jika terdapat kemacetan mendadak [4].

Pemerintah melalui Undang-Undang Nomor 22 tahun 2019 telah berusaha mengatasi permasalahan tersebut melalui Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL) [5]. Akan tetapi APILL tidak cukup efektif karena belum bisa mendahulukan kendaraan prioritas secara otomatis. Teknologi APILL yang sudah diterapkan di Indonesia adalah *Area Traffic Control System (ATCS)*. Melalui ATCS, seluruh APILL kota berada pada satu pusat kendali. Beberapa kota di Indonesia sudah menggunakan ATCS, misalnya Surabaya, Pekanbaru, Yogyakarta, dan Salatiga. Namun dalam penerapannya, pengelolaan ATCS masih dilakukan manual oleh manusia. Selain itu, CCTV ATCS belum efektif karena memiliki zoom hanya 300 meter, sehingga pada jarak lebih dari 300 meter gambar yang ditangkap tidak akan maksimal. Selain ATCS, *Radio Frequency Identification (RFID)* juga sudah diterapkan, namun jangkauan gelombang radio hanya sampai 30 meter atau lebih, tergantung pada output daya dan frekuensi radio yang digunakan [6].

Berdasarkan permasalahan tersebut, penulis melakukan inovasi berupa *Intelligent Traffic Light (ITL) with Analytical Hierarchy Process Method for High Priority Vehicles* yang

terdiri dari perangkat Bangjopin APILL dan Bangjopin Apps. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui desain, cara kerja, dan kelebihan Bangjopin APILL dan Bangjopin Apps. Bangjopin APILL merupakan produk *traffic light* pintar dan efektif yang dapat membantu kendaraan darurat dalam menjalankan tugas. Sistem ITL dapat menentukan prioritas kendaraan, informasi counter, dan menentukan jalur terbaik meskipun digunakan banyak user. Produk tersebut juga dapat menerima banyak permintaan dalam waktu bersamaan. Bangjopin APILL dilengkapi Bangjopin Apps untuk membantu sopir kendaraan darurat dalam menentukan jalur tercepat dan membukakan *traffic light* agar terhindar dari kemacetan.

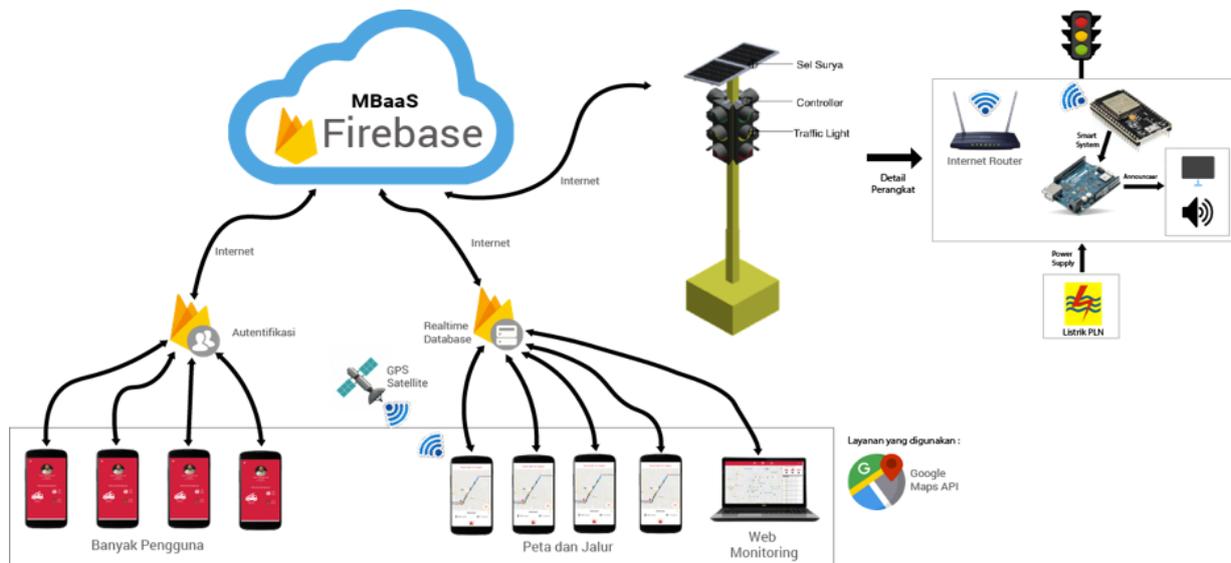
Sistem *traffic light* pintar sudah banyak dikembangkan mulai dari kamera biasa, image processing, maupun RFID. Penelitian oleh Maheshwari dkk mengembangkan sebuah *smart traffic light* menggunakan image processing untuk menentukan durasi *traffic light* berdasarkan kepadatan pada suatu *traffic light* [7]. Namun penggunaan *image processing* memiliki kelemahan karena jarak pandang kamera terbatas dan harus menggunakan sumber daya yang besar. *Smart traffic light* lain dikembangkan oleh Alam dan Pandey melalui penggunaan RFID untuk menentukan kepadatan lalu lintas [6]. Fitur tambahan dari pengembangan *smart traffic light* ini dapat mendeteksi kendaraan prioritas seperti ambulans atau pemadam kebakaran yang melintas. Namun pengembangan tersebut memiliki kelemahan yang sama yaitu jarak yang terbatas dan keamanan data tidak terjamin.

METODE

Alat dan bahan yang dibutuhkan diperlukan untuk mengembangkan ITL antara lain laptop atau komputer, smartphone, solder, modem Wi-Fi, akun Google Cloud Platform, virtual private server, baja ringan, program Android Studio, program Arduino, ESP32,

speaker, dan LCD. Pengembangan sistem ITL memiliki beberapa tahapan perancangan dan pembuatan yang dilakukan pada pengembangan sistem dengan menggunakan *Analytical Hierarchy Process* yaitu persiapan umum, rancangan desain, pengembangan dan uji coba sistem. Pada tahap persiapan umum, kegiatan

yang dilakukan adalah menyiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan untuk menunjang pembuatan. Persiapan meliputi kegiatan studi literatur serta persiapan administratif dari program. Selanjutnya dilakukan tahapan perancangan desain sistem ITL yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Rancangan Desain Produk ITL

Sistem ITL terbagi menjadi dua bagian yaitu Bangjopin Apps (perangkat lunak) dan Bangjopin APILL (perangkat keras). Layanan yang digunakan oleh Bangjopin Apps yaitu Google Maps yang digunakan untuk menampilkan peta digital dan pencarian rute serta GPS yang digunakan untuk menentukan koordinat lokasi, sedangkan Bangjopin APILL menggunakan ESP32 sebagai antarmuka Bangjopin APILL dengan backend. Produk ITL menggunakan sebuah basis data terpusat yang berbasis *Mobile Backend as a Service* (MBaaS) yaitu *Firebase*. *Firebase* dipilih karena dapat memiliki banyak layanan yang dapat digunakan sebagai *backend* Bangjopin Apps android maupun perangkat IoT seperti layanan autentifikasi, *NoSQL database realtime*, dan penyimpanan. Prinsip *Cloud Computing* pada sistem ITL memungkinkan sistem dapat diakses dimanapun dan kapanpun oleh banyak pengguna [8].

Pada tahap pembuatan dan uji coba dilakukan empat tahapan yaitu analisis kebutuhan, pembuatan produk, pengujian, dan evaluasi. Pada tahap analisis kebutuhan dilakukan persiapan terhadap bahan dan alat yang dibutuhkan dalam pembuatan produk. Analisis dan desain secara komprehensif memiliki peran yang penting dalam pengembangan, sehingga perlu dilakukan secara komprehensif [9]. Persiapan didasarkan pada kebutuhan sistem sehingga program dapat berjalan dengan baik. Pada tahap pengembangan produk dilakukan tiga langkah yaitu menentukan prioritas vektor masing-masing kriteria, menguji fungsi program, dan menerapkannya pada sistem. Pada tahap pengujian dilakukan uji Bangjopin Apps dan Bangjopin APILL yang telah terpasang *Analytical Hierarchy Process* untuk mengetahui keberhasilan dan waktu respon aplikasi terhadap perangkat keras. Tahap evaluasi bertujuan untuk mengetahui

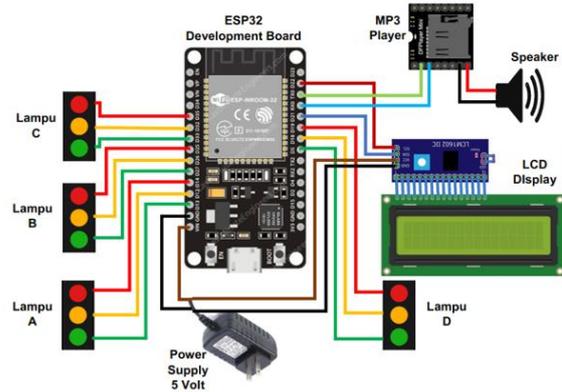
keberhasilan dari program yang telah dilaksanakan. Evaluasi dilakukan oleh tim dan dosen pembimbing. Evaluasi juga dilakukan oleh Dishub D. I. Yogyakarta untuk menjamin produk sesuai dengan kebutuhan daerah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Bangjopin APILL, komponen utama yang digunakan sebagai pengolah data adalah ESP32. Protokol yang digunakan ESP32 dalam berkomunikasi dengan MBaaS yaitu HTTPS yang aman untuk berkomunikasi melalui internet. Dengan menggunakan internet, Bangjopin APILL dapat diakses pengguna dari manapun tanpa jarak maksimum. Hal ini menjadi kelebihan dari alat yang sudah ada yaitu smart *traffic light* berbasis RFID (Alam dan Pandey, 2017) yang hanya memiliki jarak maksimal 100 kaki atau setara 30 meter. Lampu LED pada Bangjopin APILL dihubungkan pada pin interface ESP32 secara langsung. Performa ESP32 memiliki satu core processor berkecepatan 2.4Ghz, sehingga mikrokontroler dapat mengurangi lagging saat pemrosesan data input dan output. Perancangan desain 3D dan hasil dari Bangjopin APILL dilakukan menggunakan Solidwork 3D dengan hasil Bangjopin APILL dapat dilihat pada Gambar 2. Gambar skema elektronik dari Bangjopin APILL didesain menggunakan Aplikasi Fritzing yang dapat dilihat pada gambar 3.



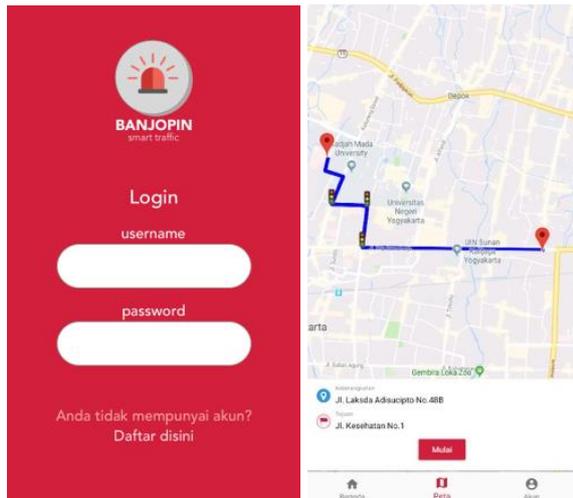
Gambar 2. Hasil dari Bangjopin APILL



Gambar 3. Diagram Blok Bangjopin APILL

Pada setiap persimpangan Bangjopin APILL dipasang speaker informasi yang akan memberikan informasi berupa pesan suara yang berasal dari rekaman dan disimpan pada MicroSD untuk memberitahukan kepada seluruh kendaraan yang berada di persimpangan. Pada fitur tambahan, masing-masing *traffic light* juga memiliki waktu hitung mundur yang ditampilkan pada LCD. Kerangka prototipe Bangjopin APILL digunakan menggunakan plastik PLA yang ringan dan mudah dibentuk. Alas prototipe dibuat menggunakan kayu MDF karena memiliki karakteristik kuat, ringan, dan mudah dipotong. Power supply yang digunakan pada Bangjopin APILL menggunakan power supply 5 volt untuk menyuplai tegangan mikrokontroler dan perangkat lainnya.

Bangjopin Apps dikembangkan secara native menggunakan Android Studio. Bahasa pemrograman yang digunakan pada android yaitu Kotlin. Bahasa ini dipilih karena merupakan bahasa resmi android dari Google selaku pemilik lisensi. Oleh karena itu, Bangjopin Apps dapat memperoleh pembaruan yang lebih cepat dibandingkan Bangjopin Apps android yang tidak menggunakan Kotlin. Gambar 4 merupakan halaman login Bangjopin Apps.



Gambar 4. Bangjopin Apps

Layanan Cloud yang digunakan Bangjopin Apps yaitu Google Maps API untuk peta digital dan Firebase untuk MBaaS (authentication, realtime NoSQL database, dan storage). Penggunaan layanan Cloud membuat Bangjopin Apps dapat diakses oleh banyak pengguna secara bersamaan. Firebase dipilih sebagai basis data karena mendukung sistem Bangjopin Apps maupun perangkat Internet of Things yaitu realtime NoSQL database. Fitur realtime NoSQL database dari Firebase yang digunakan pada produk secara keseluruhan yaitu Firestore. Data Bangjopin Apps yang disimpan pada NoSQL database yaitu lokasi, histori perjalanan, dan seluruh akun pengguna, sedangkan Firebase Auth digunakan untuk manajemen akun dan hak akses pengguna yang telah disesuaikan dengan peraturan yang berlaku. Fitur ini menjadi solusi ketika ada banyak kendaraan prioritas yang beroperasi pada satu waktu yang sama dan pada lokasi yang sama maupun berbeda. Selain itu, Firebase mendukung layanan hosting yang digunakan untuk menyimpan backend Bangjopin APILL sehingga perangkat dapat berkomunikasi secara mudah dengan NoSQL database Firebase.

Layanan peta yang digunakan oleh Bangjopin Apps ini yaitu Google Maps Platform

untuk Bangjopin Apps android dan website. Fungsi dari Google Maps dalam Bangjopin Apps android maupun website adalah sama, yaitu untuk menampilkan peta, lokasi kendaraan prioritas, jalur perjalanan rute kendaraan, dan lokasi *traffic light* yang akan dilalui kendaraan. Penentuan jalur pengguna ke lokasi tujuan diperlukan fitur dari Google Maps yang disebut Google Direction. Bangjopin Apps mengirimkan permintaan jalur kepada Google Direction, respon yang diberikan adalah berupa data rute dalam format JSON (JavaScript Object Notation) yang saling berhubungan. Setelah jalur terbentuk, Bangjopin Apps akan menampilkan seluruh *traffic light* yang dilewati oleh jalur dengan membandingkan lokasi *traffic light* dengan jalur. Apabila lokasi *traffic light* ada di sekitar jalur yang diberikan oleh user, maka *traffic light* tersebut akan masuk ke dalam daftar *traffic light* yang akan dilewati. Seluruh *traffic light* tersebut akan diurutkan berdasarkan jarak antara masing-masing *traffic light* dengan lokasi awal untuk menentukan urutan *traffic light* yang akan dilewati. Pengurutan *traffic light* menggunakan rumus Haversine dengan menghitung jarak dari dua titik geolokasi [10]. Rumus yang digunakan tersebut seperti pada persamaan 1. Ketika kendaraan prioritas akan melewati *traffic light* Bangjopin Apps akan menentukan arah kedatangan kendaraan prioritas akan ditentukan berdasarkan sudut yang dibentuk dari dua titik geolokasi menggunakan rumus Harvesine (persamaan 2). Cara penggunaan Bangjopin Apps dapat dilihat pada Gambar 5.

$$\begin{aligned}
 \text{Distance formula:} \quad a &= \sin^2\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right) + \cos\varphi_1 \times \cos\varphi_2 \times \sin^2\left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right) \\
 c &= 2 \cdot \text{atan2}(\sqrt{a}, \sqrt{(1-a)}) \\
 d &= R \cdot c
 \end{aligned}
 \tag{persamaan 1}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Bearing formula:} \quad \theta &= \text{atan2}(\sin\Delta\lambda \times \cos\varphi_2 \times \cos\varphi_1 \times \\
 &\quad \sin\varphi_2 - \sin\varphi_1 \times \cos\varphi_2 \times \cos\Delta\lambda)
 \end{aligned}
 \tag{persamaan 2}$$



Gambar 5. Diagram Penggunaan Bangjopin Apps

Sistem ITL memiliki mekanisme pengambilan keputusan menggunakan AHP apabila terdapat lebih dari satu kendaraan prioritas yang melewati *traffic light* yang sama. Pengambilan keputusan ini bertujuan untuk menentukan jalur yang akan dibuka berdasarkan tiga kriteria yaitu siklus *traffic light*, jenis kendaraan, dan jarak yang merupakan panjang lintasan antara kendaraan prioritas dengan *traffic light*. Kriteria tersebut disusun pada hierarki yang saling berhubungan dengan tujuan untuk menentukan jalur yang akan dibuka untuk kendaraan prioritas. Hierarki tersaji pada Gambar 6.



Gambar 6. Hierarki AHP

Kriteria pertama AHP yaitu siklus *traffic light*. Kriteria ini dapat memperkecil kemungkinan timbulnya kecelakaan ketika *traffic light* membuka jalur darurat untuk kendaraan prioritas. Hal ini dikarenakan sistem ITL tidak merubah urutan siklus *traffic light* secara signifikan sehingga pengendalian di Indonesia yang banyak menghafalkan urutan *traffic light* tidak akan terkejut ketika ada sedikit perubahan pada siklus *traffic light*. Sistem menghitung sisa urutan siklus *traffic light* dari

arah kedatangan kendaraan prioritas. Apabila semakin sedikit sisa urutan siklus maka bobot kriteria siklus *traffic light* semakin besar. Kriteria kedua yaitu jenis kendaraan yang sesuai dengan nomor prioritas sesuai dengan UU Nomor 22 Tahun 2009. Nomor prioritas ini digunakan sebagai penentu prioritas jenis kendaraan yang terdiri dari tujuh aktivitas. Kriteria ketiga yaitu jarak yang bertujuan agar respon dari *traffic light* terhadap kendaraan prioritas lebih efektif. Semakin dekat jarak *traffic light*, semakin tinggi pula bobot dari kriteria ini.

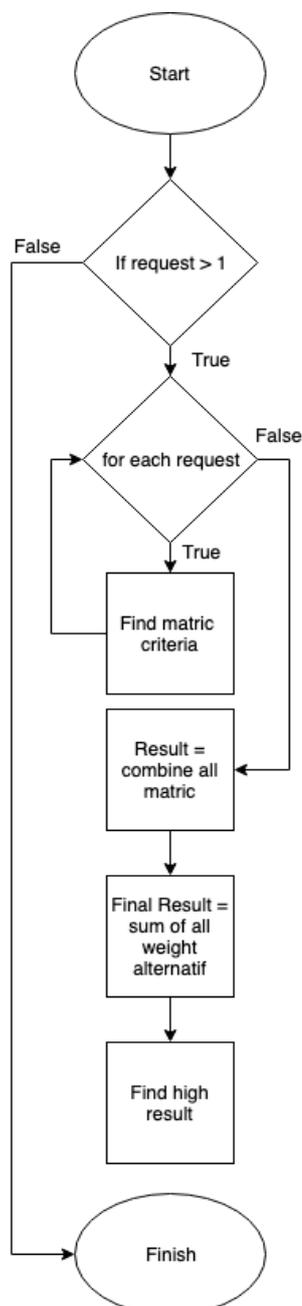
Penetapan prioritas pada sistem ini menggunakan skala Saaty yang diteliti sesuai pada buku yang ditulisnya tahun 2008 [11]. Masing-masing kriteria dibandingkan dengan dari kriteria lain berdasarkan relatif kepentingan. Hasil perbandingan menggunakan Saaty digunakan dalam pengambilan sistem secara berulang-ulang. Hasil perhitungan Prioritas Vektor (PV) dihitung berdasarkan hasil perbandingan Saaty terdapat pada Tabel 1. PV digunakan dalam penentuan prioritas kendaraan. Nilai indeks konsistensi dari hierarki Tabel 1 yaitu 0,0484 dan nilai Rasio Kosisten yaitu 0,0834. Nilai rasio konsistensi dari Tabel 1 adalah kurang dari 0,10 maka nilai konsistensi penentuan PV diterima.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Konstitensi Logis

Nama	Siklus	Nomor	Jarak	PV
Siklus	0.7447	0.8065	0.5285	0.6965
Nomor	0.1389	0.1613	0.3846	0.2316
Jarak	0.1063	0.0323	0.0769	0.0719

AHP diimplementasikan pada backend sistem yang akan mengirim data kepada Bangjopin APILL. Oleh karena itu,

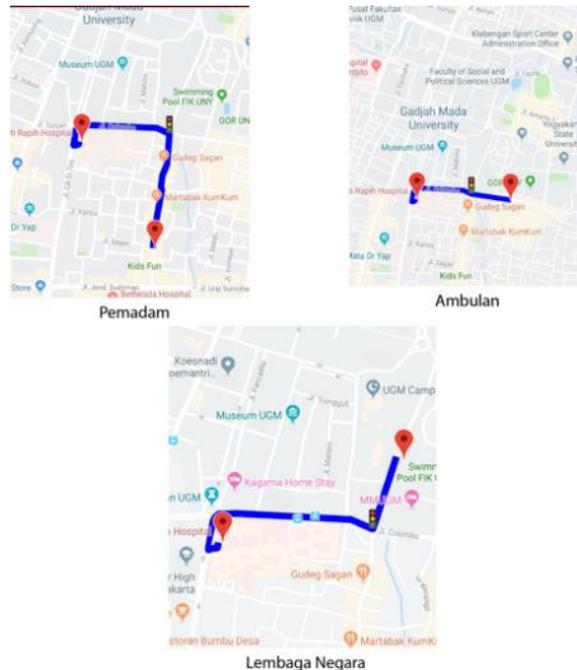
implementasinya dimulai dari algoritma perhitungan AHP yang diubah menjadi program dengan algoritma sebagai pada Gambar 7. Algoritma ditulis pada RESTfull API dengan bahasa pemrograman Javascript. Sistem berjalan ketika ada permintaan prioritas kendaraan yang lebih dari satu. Perhitungan AHP dimulai dari pengambilan prioritas vektor yang sudah tersimpan pada sistem kemudian melakukan sintesis perbandingan dengan prioritas vektor yang sudah ada.



Gambar 7. Algoritma AHP

Tabel 2. Data Alternatif

Nama	Siklus	Jenis Kendaraan	Jarak dengan TL
Jalur 1	2	Ambulans	500m
Jalur 2	1	Pemadam	200m
Jalur 3	3	Lembaga	300m



Gambar 8. Implementasi Alternatif pada Aplikasi

Penentuan kendaraan prioritas yang berhak lebih dulu melintas menggunakan AHP dapat dilakukan ketika terdapat lebih dari satu request yang sama dalam satu waktu dan tempat yang sama. Pengambilan keputusan dengan AHP dapat meminimalkan kesalahan penentuan prioritas dan meminimalisir dampak kecelakaan karena pergantian siklus *traffic light*. Tabel 2 menampilkan data alternative. Ketiga alternatif diimplementasikan kepada Bangjopin Apps dengan menggunakan aplikasi fakeGPS untuk mensimulasikan perjalanan. Masing-masing alternatif memiliki arah kedatangan yang berbeda-beda.

Gambar 8 menunjukkan masing-masing alternatif yang diterapkan pada aplikasi dengan melewati *traffic light* yang sama yaitu Jalan Colombo. Kemudian simulasi perjalanan dari seluruh alternatif dijalankan. Ketika ada lebih

dari satu kendaraan prioritas kendaraan yang berada pada emergency area suatu *traffic light*, AHP dalam sistem ITL menentukan kendaraan mana yang akan diprioritaskan.

Tabel 3. Matrik Konsistensi Kriteria Siklus yang Masih Tersisa

Jalur	Jalur 1	Jalur 2	Jalur 3	PV
Jalur 1	1	0,333	3	0.260
Jalur 2	3	1	5	0.633
Jalur 3	0,333	0,200	5	0.106

Tabel 4. Matrik Konsistensi Kriteria Jenis Kendaraan

Jalur	Jalur 1	Jalur 2	Jalur 3	PV
Jalur 1	1.000	0.333	3.000	0.260
Jalur 2	3.000	1.000	5.000	0.633
Jalur 3	0.333	0.200	1.000	0.106

Tabel 5. Matrik Konsistensi Kriteria Jarak Kendaraan Prioritas terhadap *Traffic light*

Jalur	Jalur 1	Jalur 2	Jalur 3	PV
Jalur 1	0.100	0.200	0.333	0.106
Jalur 2	5.00	1.000	3.000	0.633
Jalur 3	3,000	0.333	1.000	0.260

Tabel 6. Hasil Akhir Perhitungan AHP

No	Nama	Perhitungan Sistem
1	Jalur 2	0.698
2	Jalur 1	0.237
3	Jalur 3	0.065

Konsistensi rasio pada Tabel 3 yaitu 3%, oleh karena itu data diterima dan dapat digunakan sebagai perhitungan selanjutnya. Prioritas vektor pada tabel menunjukkan bahwa bobot tertinggi pada kriteria siklus terdapat pada jalur 2. Konsistensi rasio pada tabel 4 yaitu 3%, oleh karena itu data diterima dan dapat digunakan sebagai perhitungan selanjutnya. Prioritas vektor pada tabel menunjukkan bahwa bobot tertinggi pada kriteria jenis kendaraan terdapat pada jalur 2. Konsistensi rasio pada Tabel 5 yaitu 3%, oleh karena itu data diterima dan dapat digunakan sebagai perhitungan

selanjutnya. Prioritas vektor pada tabel menunjukkan bahwa bobot tertinggi pada kriteria jenis kendaraan terdapat pada jalur 2. Urutan jalur yang dibuka berdasarkan uji coba diatas yaitu jalur 2, jalur 1, dan jalur 3. Waktu yang dibutuhkan untuk mengeksekusi penentuan prioritas dengan AHP pada backend sistem yaitu 50 milidetik.

SIMPULAN

Sistem Intelligent *Traffic light* merupakan *traffic light* pintar berbasis IoT yang dapat memprioritaskan kendaraan prioritas. Teknologi yang digunakan pada sistem ini yaitu aplikasi android dan ESP32 yang saling terkoneksi menggunakan Firebase. ITL memiliki pengambilan keputusan berbasis AHP untuk menentukan jalur yang akan dibuka apabila terdapat lebih dari satu kendaraan prioritas yang datang datang dari arah yang berbeda. Sistem ITL telah diuji coba dengan Dinas Perhubungan Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dan mendapat tanggapan positif agar segera diterapkan. Hasil uji coba fungsional memperlihatkan bahwa desain sistem dapat diterapkan di Indonesia dan telah bekerja sesuai dengan rancangan. Keunggulan dari sistem ITL dari yang sudah ada yaitu sistem otomatis, akses jarak jauh, berbasis aplikasi smartphone, dan aman.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Ramadhiani, "Ini 10 Kota Termacet di Indonesia," *Hilda B Alexander (Ed)*, 2018. [Online]. Available: <https://properti.kompas.com/read/2018/02/25/182046621/ini-10-kota-termacet-di-indonesia?page=all>. [Accessed: 09-Aug-2019].
- [2] D. A. Nugroho and S. Malkhamah, "Manajemen Sistem Transportasi Perkotaan Yogyakarta," *J. Penelit. Transp. Darat*, vol. 20, no. 1, pp. 9–16, 2018.
- [3] S. Malkhamah, "Perencanaan Transportasi Penumpang dan Barang," Bahan Kuliah. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta, 2014.

- [4] M. Kartasmita, A. B. Purba, and W. Kusdiawan, "Penentuan Jarak Efisien Pengantaran Pasien oleh Ambulance ke RSUD Karawang dengan Algoritme Dijkstra," *Ilk. J. Ilm.*, vol. 9, no. 3, pp. 290–300, 2017.
- [5] S. N. RI, *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2009 Tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan*. Indonesia, 2009.
- [6] J. Alam and M. K. Pandey, "An Integrated Traffic light Control System Using RFID Technology and Fuzzy logic," *Int. J. Eng. Sci. Emerg. Technol.*, vol. 8, no. 1, pp. 420–430, 2017.
- [7] P. Maheshwari, D. Suneja, P. Singh, and Y. Mutneja, "Smart traffic optimization using image processing," in *IEEE 3rd International Conference on MOOCs, Innovation and Technology in Education (MITE)*, 2015.
- [8] P. Sareen, "Cloud Computing: Types, Architecture, Applications, Concerns, Virtualization and Role of IT Governance in Cloud," *Int. J. Adv. Res. Comput. Sci. Softw. Eng.*, vol. 3, no. 3, pp. 533–538, 2013.
- [9] P. Utami, G. P. Cikarge, M. E. Ismail, and S. Hashim, "Teaching Aids in Digital Electronics Practice through Integrating 21st Century Learning Skills using a conceptual approach," in *Journal of Physics: Conf. Series*, pp. 1–9.
- [10] P. V. Ingole and M. K. Nichat, "Landmark based shortest path detection by using Dijkstra Algorithm and Haversine Formula," *International J. Eng. Res. Appl.*, vol. 3, no. 3, pp. 162–165, 2013.
- [11] Saaty, "The Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process," *AHP Ser.*, vol. 6, p. 478, 1994.