

BAB V

PENUTUP

V.1. Kesimpulan

1. Penelitian ini berhasil merancang dan membangun sistem GPS berbasis *website* untuk merekam profil kecepatan kendaraan pada kondisi lalu lintas heterogen di jalan perkotaan. Sistem dibangun menggunakan GPS Beitian BN-220 dan modul ESP 32 yang terintegrasi dengan platform *website* secara real-time. Sistem mampu merekam data koordinat, waktu tempuh, dan kecepatan kendaraan secara kontinu selama pengambilan data di lapangan. Sistem *website* dirancang agar data kecepatan dapat divisualisasikan dalam bentuk grafik profil kecepatan terhadap jarak dan waktu. Sistem ini terbukti dapat beroperasi secara stabil pada kondisi lalu lintas perkotaan heterogen yang terdiri dari kendaraan motor, mobil, truk, dan bus.
2. Validasi kecepatan dilakukan dengan membandingkan data kecepatan hasil rekaman GPS terhadap alat ukur pembanding yaitu speedometer kendaraan. Hasil validasi menunjukkan bahwa sistem GPS berbasis *website* yang dirancang memiliki tingkat akurasi sebesar 60% sampai 70% dengan nilai rata-rata kesalahan sebesar 1,85 km/jam untuk kecepatan 5 km/jam. Hasil validasi juga menunjukkan peningkatan akurasi di kecepatan 10 km/jam dengan nilai rata-rata kesalahan sebesar 1,98 km/jam dengan Tingkat akurasi 78% sampai 82%. Hasil validasi di kecepatan 15 km/jam menunjukkan tingkat akurasi sebesar 87% sampai 91% dengan nilai rata-rata kesalahan sebesar 1,65 km/jam. Hasil validasi di kecepatan 20 km/jam menunjukkan tingkat akurasi sebesar 90% sampai 92% dengan nilai rata-rata kesalahan sebesar 1,83 km/jam. Hasil validasi di kecepatan 25 km/jam juga menunjukkan tingkat akurasi sebesar 90% sampai 92% dengan nilai rata-rata kesalahan sebesar 2,18 km/jam. Hasil validasi di kecepatan 30 km/jam menunjukkan tingkat akurasi sebesar 93% sampai 94% dengan nilai rata-rata kesalahan sebesar 2 km/jam. Hasil validasi di kecepatan 35 km/jam menunjukkan tingkat akurasi sebesar 95% sampai 96% dengan nilai rata-rata kesalahan sebesar 1,58 km/jam. Hasil validasi di kecepatan

40 km/jam menunjukkan tingkat akurasi sebesar 96% sampai 97% dengan nilai rata-rata kesalahan sebesar 1,48 km/jam.

3. Validasi GPS dilakukan dengan membandingkan data kecepatan hasil rekaman GPS dari alat terhadap alat ukur pembanding yaitu GPS referensi. Hasil validasi dari pengujian titik koordinat di 35 titik menunjukkan nilai rata-rata kesalahan latitude sebesar 0,0000218 derajat atau setara dengan 2,4 m dan rata-rata kesalahan longitude sebesar 0,00002578 derajat atau setara dengan 2,8 m. Secara keseluruhan rata-rata kesalahan posisi GPS sebesar 4,181 m dengan kesalahan 0 sampai 8 m. Hasil validasi menunjukkan bahwa deviasi antara data GPS dan data referensi berada pada batas yang dapat diterima untuk keperluan analisis. Hasil ini mengonfirmasi bahwa sistem yang dibangun layak digunakan sebagai alat pengumpulan data kecepatan kendaraan di lapangan.
4. Sistem memenuhi seluruh spesifikasi fungsional yang diuji mencakup validasi alat, autentifikasi, operasi data realtime, grafik profil kecepatan kendaraan dan ekspor file. Analisis profil kecepatan dilakukan pada ruas Jalan Lingkar Utara, Jalan Kapten Piere Tendean, Jalan Yos Sudarso, Jalan Martoloyo, Jalan Raya Dampyak, Kota Tegal sepanjang 6,2 km. Hasil analisis menunjukkan bahwa Kecepatan Persentil 85 pada segmen km 1 hingga km 2 terlihat perbedaan yang cukup mencolok antara motor yang mencapai kecepatan 72 km/jam dengan kendaraan lain seperti truk dengan kecepatan 53 km/jam, mobil 56 km/jam, dan bus 68 km/jam. Pada segmen km 2 hingga km 3 juga terlihat perbedaan kecepatan yang sangat tinggi antar kendaraan. Kecepatan motor masih menjadi yang paling tinggi diantara kendaraan lain dengan nilai 59 km/jam, dan kecepatan bus menjadi yang paling rendah dengan nilai 28 km/jam. Hasil analisis juga menunjukkan kecepatan rata-rata pada segmen km 1 hingga km 2 terlihat perbedaan yang cukup mencolok antara bus dan motor yang mencapai kecepatan 58 km/jam dan 46 km/jam dengan kendaraan lain seperti truk dengan kecepatan 20 km/jam dan mobil 27 km/jam. Pada segmen km 2 hingga km 3 juga terlihat perbedaan kecepatan yang sangat tinggi antar kendaraan dengan kecepatan motor masih menjadi yang paling tinggi diantara kendaraan lain dengan nilai 60 km/jam, dan kecepatan bus menjadi yang paling rendah dengan nilai 25 km/jam.

V.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, berikut adalah saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya:

1. Saran untuk Pengembangan Sistem
 - a. Sistem GPS berbasis *website* yang dibangun saat ini masih menggunakan koneksi internet sebagai media transmisi data. Penelitian selanjutnya perlu mengembangkan sistem dengan kemampuan penyimpanan data secara offline, sehingga perekaman data tetap dapat berjalan pada lokasi dengan sinyal internet yang lemah atau tidak stabil.
 - b. Modul GPS yang digunakan perlu ditingkatkan ke spesifikasi yang lebih tinggi, seperti GPS dengan frekuensi ganda (dual-frequency), untuk meningkatkan akurasi posisi dan kecepatan pada kondisi lalu lintas perkotaan yang padat.
 - c. Sistem dapat dikembangkan dengan menambahkan sensor pendukung seperti *accelerometer* dan *gyroscope* untuk memperkaya data profil pergerakan kendaraan secara lebih detail.
2. Saran untuk Validasi dan Akurasi
 - a. Proses validasi pada penelitian ini menggunakan satu jenis alat pembanding. Penelitian selanjutnya sebaiknya melakukan validasi silang menggunakan lebih dari satu alat referensi untuk memperoleh tingkat kepercayaan yang lebih tinggi.
 - b. Pengujian akurasi perlu dilakukan pada berbagai kondisi cuaca, seperti hujan dan terik matahari, karena kondisi lingkungan dapat mempengaruhi performa penerimaan sinyal GPS secara signifikan.
3. Saran untuk Analisis Profil Kecepatan
 - a. Hasil profil kecepatan yang diperoleh dapat dikembangkan lebih lanjut sebagai input model simulasi lalu lintas menggunakan perangkat lunak seperti VISSIM sehingga dapat digunakan untuk evaluasi dan perencanaan manajemen lalu lintas di jalan perkotaan secara lebih komprehensif.
 - b. Durasi pengambilan data perlu diperpanjang untuk mencakup variasi musiman dan hari libur nasional, karena pola lalu lintas pada hari tersebut berbeda secara signifikan dari hari kerja normal.

V.3. Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini telah berhasil mencapai seluruh tujuan yang ditetapkan. Namun, terdapat sejumlah keterbatasan yang perlu dipahami agar hasil penelitian dapat diinterpretasikan secara tepat dan menjadi dasar pengembangan penelitian selanjutnya. Keterbatasan ini diidentifikasi langsung dari metode, data, alat, serta kondisi lapangan yang digunakan dalam penelitian.

1. Sistem Bergantung Penuh pada Koneksi Internet

Transmisi data dari ESP32 ke server menggunakan protokol MQTT melalui jaringan Wi-Fi dan internet. Seluruh proses perekaman, pengiriman, dan penyimpanan data membutuhkan koneksi internet yang aktif dan stabil. Apabila koneksi terputus, data dari interval waktu tersebut tidak tersimpan di database dan tidak dapat dipulihkan kembali (tidak ada mekanisme penyimpanan lokal atau antrian offline).

2. Akselerasi dan Deselerasi Belum Dihitung dan Ditampilkan

Sistem merekam kecepatan dan timestamp setiap satu detik, sehingga data yang diperlukan untuk menghitung akselerasi ($a = \Delta v / \Delta t$) sudah tersedia di dalam database MySQL. Namun, fitur kalkulasi dan visualisasi akselerasi serta deselerasi belum diimplementasikan pada platform website yang dibangun. Analisis perilaku berkendara seperti hard braking dan rapid acceleration yang berguna untuk kajian keselamatan lanjutan belum dapat dilakukan secara langsung melalui sistem.

3. Pengaruh Kondisi Lalu Lintas Tidak Dikontrol dalam Profil Kecepatan

Data profil kecepatan dikumpulkan pada kondisi lalu lintas eksisting yang tidak dikontrol. Kecepatan kendaraan yang tercatat merupakan kecepatan operasional aktual yang dipengaruhi oleh interaksi dengan kendaraan lain, keberadaan persimpangan, hambatan samping, dan kepadatan lalu lintas saat pengambilan data. Kecepatan bebas (free-flow speed) murni dari masing-masing kendaraan tidak dapat diisolasi dari pengaruh kondisi lalu lintas lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alrefaie, M. T. (2014). Demo: Road speed profile: From GPS traces to real-time traffic speed. *Proceedings of the International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHoc), 11-14-August-2014*, 407–408. <https://doi.org/10.1145/2632951.2636055>
- Arasan, V. T., & Arkatkar, S. S. (2010a). Modelling heterogeneous traffic flow on upgrades of intercity roads. *Transport*, 25(2). <https://doi.org/10.3846/transport.2010.16>
- Arasan, V. T., & Arkatkar, S. S. (2010b). Modelling heterogeneous traffic flow on upgrades of intercity roads. *Transport*, 25(2). <https://doi.org/10.3846/transport.2010.16>
- Asaithambi, G., Kanagaraj, V., Srinivasan, K. K., & Sivanandan, R. (2018). Study of traffic flow characteristics using different vehicle-following models under mixed traffic conditions. *Transportation Letters*, 10(2), 92–103. <https://doi.org/10.1080/19427867.2016.1190887>
- Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Tengah. (2025, November 8). *Jumlah kendaraan bermotor menurut kabupaten/kota dan jenis kendaraan di Provinsi Jawa Tengah (unit), 2024*. BPS Provinsi Jawa Tengah.
- Budiman, M. A., Harefa, A. Z., & Shaka, D. V. (2020). *Perancangan Sistem Pelacak GPS dan Pengendali Kendaraan Jarak Jauh Berbasis Arduino*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4323233>
- Chang, D. J., Asce, M., & Morlok, E. K. (2005). *Vehicle Speed Profiles to Minimize Work and Fuel Consumption*. <https://doi.org/10.1061/ASCE0733-947X2005131:3173>
- David, E. (2025). *Real Time Vehicle Monitoring and Safety Alert System with ESP32* (Vol. 7).
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2023). *Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia* (Nomor 021).
- Driessen, T., Stefan, D., Heikoop, D., Dodou, D., & de Winter, J. (2025). Using mobile devices for driving test assessment: a study of acceleration and

- GPS data. *Transportation Letters*, 17(2), 384–394.
<https://doi.org/10.1080/19427867.2024.2352198>
- Faiz, R. U., Mashros, N., & Hassan, S. A. (2022). Speed Behavior of Heterogeneous Traffic on Two-Lane Rural Roads in Malaysia. *Sustainability (Switzerland)*, 14(23).
<https://doi.org/10.3390/su142316144>
- Gunawan Zain, S., & Ardilla, A. (2024). Detection of Vehicle Type and License Plate With Convolutional Neural Network Model YOLOV7. *Jurnal Teknik Informatika (JUTIF)* 5.2.XX, 5(2), 621–636.
<https://doi.org/10.52436/1.jutif.2024.5.2.XX>
- Hanifah, I., & Nurcahyo Prastowo, B. (2016). Uji GPS Tracking Dalam Skala Transportasi Antar Kota. *IJEIS*, 6(2), 175–186.
- Haryati, S., & Najid, D. (2021). *Analisis Kapasitas Dan Kinerja Lalu Lintas Pada Ruas Jalan Jenderal Sudirman Jakarta*. 4(1), 95–108.
- Hasibuan, B. E., Wisudawanto, F., & Suryandari, M. (2022). *Upaya Peningkatan Keselamatan Lalu Lintas Pada Ruas Jalan Medan – Tebing Tinggi Km 30-31 Di Kabupaten Deli Serdang*.
- Herdian Setiawan, G., & Dedy Suryawan, K. (2020). *Sistem Pengamatan Kondisi Lalu Lintas Berbasis Data GPS Pada Smartphone (Studi Kasus: Kota Denpasar)*. 7(4), 667–672.
<https://doi.org/10.25126/jtiik.202071907>
- Hidayati, N., Winata, A. A., Mulyono, G. S., & Magfirona, A. (2022). *Analisis Kinerja Ruas Jalan Solo – Purwodadi KM. 2 – KM. 5*.
- Huda, M. N., Burhan, M., Satibi, A., Pradita, H. A., Saifudin, A., & Kusyadi, I. (2022). Implementasi Black Box Testing pada Aplikasi Sistem Kasir dengan Menggunakan Teknik Equivalence Partitions. *Jurnal Teknologi Sistem Informasi dan Aplikasi*, 5(2), 120.
<https://doi.org/10.32493/jtsi.v5i2.17645>
- Hudi, F. C., & Karyanti, C. M. (2023). *Pengujian Black Box Testing pada Sistem Informasi Assesment Berbasis Web di Bidang Pariwisata*.

- Korlantas Polri. (2024). *Kemenhub Bersama Korlantas POLRI Periksa Bus Tidak Laik Jalan*. <https://dephub.go.id/post/read/kemenhub-bersama-korlantas-polri-periksa-bus-tidak-laik-jalan>.
- Latersia, E., Pinem, B., Deliar, A., & Soeksmantono, B. (2023). *Deteksi Kecepatan Kendaraan Berbasis Data Ponsel Dalam Perspektif Spasial Di Jalan Arteri Kota Padang*. <https://doi.org/10.29408/geodika.v7i1.7166>
- Liu, Q., Lu, Y., Wang, J., & Li, K. (2022). Vehicle Type-Dependent Heterogeneous Car-Following Modeling and Road Capacity Analysis. *Modern Physics Letters B*. <https://doi.org/10.1142/s0217984922501354>
- Maesa, F., Jurusan Teknik Elektro, H., Teknik, F., Sultan Ageng Tirtayasa Jl Jenderal Sudirman Km, U., & Purwakarta, K. (2025). *Rancang Bangun Sistem Kontrol dan Monitoring Keamanan Sepeda Motor Berbasis IoT dengan Modul GPS Neo-6M dan Sensor Getar SW-420*. 12(1), 37–43.
- Mappadang, J. L., Ajels Kasenda, M., Pandis, F., Mainassy, J. B., & Itrantoy, C. (2023). GLOBAL POSITIONING SYSTEM (GPS) CONTROL. Dalam *Jurnal Ilmu Komputer dan Sistem Informasi (JIKSI)* (Vol. 9, Nomor 4).
- Mardiati, R. (2015). *Studi Tentang Pemodelan Lalu Lintas Heterogen*. IX(2).
- Mo, B., Li, R., & Zhan, X. (2017). Speed profile estimation using license plate recognition data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 82, 358–378. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.07.006>
- Moldstud. (2024). *Integrating Visual Studio with IoT devices building connected applications*.
- Nitin, David, E., Sangeeta, Shivaleela, & Sapna. (2025). *Real Time Vehicle Monitoring and Safety Alert System with ESP32* (Vol. 7).
- Nizam, M., Yuana, H., & Wulansari, Z. (2022). Mikrokontroler ESP 32 Sebagai Alat Monitoring Pintu Berbasis Web. Dalam *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika* (Vol. 6, Nomor 2).
- Okpatrioka, O. (2023). Research And Development (R&D) Penelitian Yang Inovatif Dalam Pendidikan. *Dharma Acariya Nusantara: Jurnal*

Pendidikan, Bahasa dan Budaya, 1, 86–100.
<https://doi.org/10.47861/jdan.v1i1.154>

Ondruš, J., Jančár, A., Gogola, M., Varga, P., Šarić, Ž., & Caban, J. (2024). Smartphone Sensors in Motion: Advancing Traffic Safety with Mobile Technology. *Applied Sciences (Switzerland)*, 14(13).
<https://doi.org/10.3390/app14135404>

Pandey, A., Sharma, M., & Biswas, S. (2023). Concept of heterogeneity index for urban mixed traffic. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 12(2), 354–372.
<https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2022.02.008>

Prasetijo, J., Istiyanto, B., Purwanto, E., Hariyanto, A., Azhar, A. B., Yusron, A., Rifai, A. I., Isradi, M., Wicaksono, A., Syarif, A., Athallah, A. Z., Maulana, A. D., & Raynanta, L. (2025). *Estimating Conflicts and Crash based on Profiling Vehicles Speed under Heterogenous Traffic*. 5.

Prasetyo, F. C., Munadi, R., & Irawan, A. I. (2022). *Implementasi Sistem Monitoring Dan Tracking Kendaraan Roda Empat Menggunakan Global Positioning System (Gps) Berbasis Internet Of Things*.

Putri, S. A. (2022). *Rancang Bangun Sistem Pemantauan Kecepatan Kendaraan Pada Suatu Kawasan Menggunakan Mikrokontroler ESP 32*.

Random Nerd Tutorials. (2024). *I2C LCD with ESP32 on Arduino IDE - ESP8266 compatible*. .

Ren, H., Song, Y., Wang, J., Hu, Y., & Lei, J. (2018). *A Deep Learning Approach to the Citywide Traffic Accident Risk Prediction*.
<http://arxiv.org/abs/1710.09543>

Reswara, R. M. (2024). *Rancang Bangun Aplikasi Web Untuk Pelacakan Kendaraan Menggunakan Nodejs Dan Framework Laravel*.

Ruseruka, C., Mwakalonge, J., Comert, G., Siuhi, S., & Perkins, J. (2023). Road Condition Monitoring Using Vehicle Built-in Cameras and GPS Sensors: A Deep Learning Approach. *Vehicles*, 5(3), 931–948.
<https://doi.org/10.3390/vehicles5030051>

- Setiawan, A., Afriyanti, D., & Febrina, R. D. (2024). *Model Hubungan Antara Kerusakan Jalan Dan Kecepatan Kendaraan Di Jalan Perkotaan*.
- Siregar, M. L., Tjahjono, T., & Nahry. (2021). Speed characteristics of heterogeneous traffic on inter-urban roads in Indonesia. *Transportation Research Procedia*, 52, 404–411. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.01.047>
- Siregar, M. L., Tjahjono, T., Nahry, & Sumabrata, R. J. (2023). *Speed heterogeneity and accident reduction in mixed traffic*.
- Sumaryono, A. F., & Yudhistira, R. N. (2024). *Monitoring dan Reporting Karakter Berkendara Pengemudi*.
- Suryana, T. (2021). *Antarmuka ublox NEO-6M GPS Module dengan NodeMCU ESP8266*.
- Suryantoro, H., & Budiyanto, A. (2019). *Prototype Sistem Monitoring Level Air Berbasis Labview & Arduino Sebagai Sarana Pendukung Praktikum Instrumentasi Sistem Kendali* (Vol. 1, Nomor 3). Online.
- Suyuti, R., & Harjono, M. S. (2013). *Pengukuran Tingkat Kinerja Ruas Jalan Menggunakan Data GPS* (Vol. 13, Nomor 1).
- Titi Kurniati, Putri, E. E., & Wahyu Agus Setiawan. (2024). Manajemen Kecepatan Lalu Lintas Pada Jalan Tak Terbagi. *Siklus: Jurnal Teknik Sipil*, 10(1), 32–42. <https://doi.org/10.31849/siklus.v10i1.19547>
- Wang, J., Shi, C., Zheng, F., Yang, C., Liu, X., Liu, S., Xia, M., Jing, G., Li, T., Chen, W., Li, Q., Hu, Y., Tian, Y., & Shan, Y. (2024). Multi-frequency smartphone positioning performance evaluation: insights into A-GNSS PPP-B2b services and beyond. *Satellite Navigation*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s43020-024-00146-5>
- Wang, J., Zhang, Z., Liu, F., & Lu, G. (2021). Investigating heterogeneous car-following behaviors of different vehicle types, traffic densities and road types. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 9. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2021.100315>

- Wibowo, H., & Adhim, F. A. A. (2025). *Sistem Pengawasan Perilaku Pengemudi Berbasis IoT Dengan Pemanfaatan LiDAR dan GPS Untuk Meningkatkan Keselamatan Berkendara*.
- Wibowo, H., Pratama, M. Y., Humami, F., & Pranoto, E. (2024). Rancang Bangun Alat Sistem Rekam Data pada Kendaraan Bermotor. *Jurnal Ilmiah Teknologi dan Rekayasa*, 29(2), 182–200. <https://doi.org/10.35760/tr.2024.v29i2.11805>
- Wihartomo, C. P. (2021). *Studi Penerapan dan Perencanaan Jalan Berkeselamatan (Studi Kasus: Jalan Gunung Selatan Kota Tarakan)*.
- World Health Organization. (2023). *road-safety-2023-idn*.
- Zhang, Y., Guo, J., & An, M. (2022). Development of a railway out-of-gauge freight transport routing optimal method. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 595. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2022.127081>