

Pengembangan Sistem Monitoring Berbasis *Internet of Things* untuk Perawatan Berkala Kendaraan dan Alat Berat dengan Fitur Pelaporan Terintegrasi dan GPS

Handika Yoga Pratama¹, Surojo², M. Hilmi Wicaksono¹, Irfan Bahiuddin^{2*}

¹ PT Putra Perkasa Abadi, Mangkalapi, Kusan Hulu, Tanah Bumbu Regency, Kalimantan Selatan 72275

² Departemen Teknik Mesin, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada

✉ irfan.bahiuddin@ugm.ac.id

Received 23 December 2024, Revised 11 July 2025, Accepted 29 July 2025

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem monitoring hourmeter berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi perawatan berkala pada kendaraan dan alat berat. Sistem dirancang terintegrasi dengan *website* yang memungkinkan pemantauan waktu operasional, pelaporan, dan notifikasi perawatan secara *real-time*. Pengujian dilakukan pada satu unit kendaraan ringan dan satu unit alat berat selama empat hari. Sistem yang dikembangkan mampu mencatat waktu operasi secara akurat, memberikan notifikasi perawatan melalui alarm, serta memantau lokasi dan performa unit menggunakan data GPS. Hasil pengujian menunjukkan sistem dapat mencatat jarak tempuh dan kecepatan rata-rata dengan baik, di mana kendaraan ringan mencapai 14,2 km dan 11,9 km/jam, sedangkan alat berat mencatat 1,98 km dan 7,17 km/jam. Integrasi antara monitoring hourmeter dan fitur GPS terbukti meningkatkan efektivitas pengawasan dan prediksi jadwal perawatan, sehingga berpotensi mengurangi risiko kerusakan serta *downtime*. Sistem ini memberikan solusi inovatif yang dapat diadopsi di industri alat berat untuk mendukung manajemen perawatan yang lebih optimal.

Kata Kunci: Internet of Things, Monitoring, Perawatan Kendaraan, Alat Berat, GPS

1. PENDAHULUAN

Alat berat memiliki peranan penting dalam perusahaan konstruksi, ketersediaan dan keandalannya sangat penting untuk mendukung operasional kerja pada industri konstruksi. Dalam hal ini, pihak perusahaan tentu menginginkan agar kondisi unit alat berat yang digunakan dapat bekerja dengan baik dan optimal, sehingga dapat meningkatkan produktivitas kerja. Namun, dalam menjaga kondisi unit diperlukan tindakan kegiatan perawatan yang teratur sebagai langkah dalam meningkatkan nilai reliabilitas dan availabilitas unit alat berat [1]. Penggunaan unit alat berat sebagai mesin produksi pada sejumlah proyek konstruksi cenderung memiliki intensitas penggunaan yang cukup tinggi. Sehingga, penggunaan sistem *monitoring* unit alat berat yang canggih dan modern akan sangat efektif serta efisien dalam membantu proses perawatan [2].

Penggunaan unit alat berat yang kurang tepat berdasarkan kondisi dan volume pekerjaan akan berpengaruh pada rendahnya produktivitas kerja yang dihasilkan. Selain itu, jadwal yang telah ditentukan dalam melaksanakan perawatan unit alat berat mencapai lebih dari yangizinkan, sehingga dapat berakibat fatal yang menyebabkan terjadinya *breakdown* dan membutuhkan biaya perawatan yang tinggi [3].

Teknologi internet untuk segala atau *Internet of Things*/IoT dapat menjadi solusi untuk mengawasi dan memprediksi kerusakan pada sistem kendaraan atau alat berat. Terjadi peningkatan secara eksponensial terhadap penggunaan IoT (*Internet of Things*) di berbagai macam bidang. IoT (*Internet of Things*) merupakan sebuah teknologi yang dapat menghubungkan berbagai macam jenis sensor dan aktuator sebagai pengolah data. Selain itu, alat tersebut dapat terhubung dengan internet untuk mengirimkan data mentah sesuai *output* yang telah ditentukan [4], [5]. IoT telah diterapkan di beberapa tipe kendaraan untuk keperluan tracking ataupun monitoring performansi [6], [7]. IoT ini dapat menjadi langkah awal untuk realisasi dari *predictive maintenance*. *Predictive Maintenance* merupakan bentuk perawatan tingkat atas yang dilakukan untuk dapat memprediksikan terkait kerusakan maupun perawatan dan perbaikan yang perlu dilakukan di masa mendatang. Proses perawatan dapat dilakukan bantuan pemanfaatan teknologi dan sistem informasi dalam pengolahan datanya [8], [9]. Teknologi tersebut mempermudah dalam memberikan dukungan untuk mengambil keputusan yang tepat dalam melakukan perawatan maupun perbaikan [10].

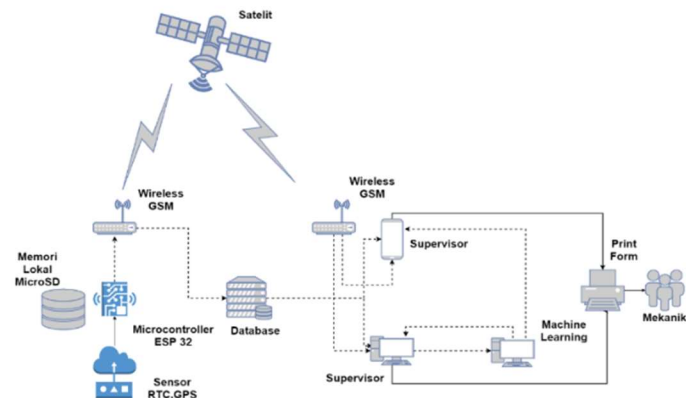
Teknologi tersebut dapat ditemukan pada beberapa alat berat dan kendaraan yang terbaru. Akan tetapi, teknologi tersebut tidak selalu terdapat pada berbagai alat berat dan kendaraan yang diproduksi lebih lama. Jika perlu ada tambahan teknologi IoT, pengguna harus membeli unit baru yang tidak murah. Suatu peralatan *monitoring* berbasis IoT yang dapat dipasang pada alat berat tanpa merusak sistem yang ada bisa menjadi solusi permasalahan tersebut. Oleh karena itu, makalah ini disusun untuk mengusulkan suatu desain sistem *monitoring* alat berat berbasis IoT. Dalam mendukung sistem ini, diperlukan sensor pendeteksi unit alat berat saat menyala. Oleh karena itu, suatu

teknologi *monitoring* berbasis IoT dikembangkan untuk mendeteksi *hourmeter* pada sebuah kendaraan [11]. Alat yang diusulkan tidak hanya terbatas potensinya hanya pada pemantauan *hourmeter*. Potensi yang mungkin adalah *safety barrier warning system* [12] dan penghematan energi [13].

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Perancangan alur kerja alat dan sistem monitoring

Sistem *monitoring* yang dirancang seperti pada Gambar 1. Ketika Alat *monitoring* sudah terpasang pada unit maka secara otomatis proses pencatatan data akan berjalan dan disesuaikan dengan kondisi unit di lapangan. Alat *monitoring* akan aktif bekerja sesuai dengan perintah yang telah diberikan oleh modul ESP 32 Devkit 1. Oleh karena itu, RTC DS 1307 Mit Datten Logger MicroSD difungsikan sebagai pengatur waktu operasional kerja unit. ESP 32 berfungsi sebagai mikrokontroler yang dilengkapi modul wifi untuk mengolah dan mengirim data. GPS Neo M8N berfungsi sebagai penampil data lokasi unit. LCD 4x20 penampil data pada alat *monitoring* [14]. Website *monitoring* untuk menampilkan data digital dari alat *monitoring*. Alat *monitoring* ini digunakan sebagai pemantau waktu operasional kerja unit yang dapat dilihat melalui website. Selain itu, alarm dapat aktif saat operasional kerja unit ketika melebihi batas yang diizinkan. Sistem dapat memberikan notifikasi bahwa unit perlu dilakukan *service* sesuai dengan *hourmeter* atau batas operasional jam kerja yang telah ditentukan.



Gambar 1. Diagram arsitektur alat monitoring yang dirancang

Setelah perintah diberikan maka secara otomatis alat monitoring akan melakukan pencatatan data dan pemrosesan data, lalu disimpan sementara pada memori lokal MicroSD yang terpasang pada alat monitoring sebelum dikirim dan disimpan didalam database. Selanjutnya, data yang tersimpan akan dikirimkan ke database yang telah disediakan. Data tersebut kemudian divisualisasikan melalui website, sehingga memudahkan proses pengunduhan, konfigurasi alat monitoring, serta pemantauan unit secara realtime. Konseptual bisnis proses terdapat pada Gambar 2. konseptual jaringan terdiri dari 3 bagian yang saling berkaitan yaitu operator, alat monitoring, dan website sistem monitoring.

2.2 Perancangan software sistem monitoring

Perancangan *software* pada penelitian ini dibagi menjadi 2 bagian yaitu perancangan pemrograman arduino IDE alat *monitoring* dan perancangan *website monitoring*. perancangan pemrograman arduino IDE alat *monitoring* merupakan pemrograman yang dirancang secara khusus dengan tujuan memberikan perintah kepada komponen-komponen alat *monitoring* agar dapat menjalankan fungsinya dengan baik. Selain itu, pemrograman Arduino IDE pada alat monitoring merupakan bagian dari pemroses inputan dalam sistem monitoring. Fungsi utama dari pemrograman ini adalah untuk mengolah data dan mengirimkannya ke *website monitoring*. Sementara itu, perancangan website monitoring merupakan proses pemrograman yang bertujuan untuk memvisualisasikan data yang telah dikirimkan oleh alat monitoring. Tampilan *website* dibuat lebih menarik dan mudah diakses kapan pun melalui jaringan internet.

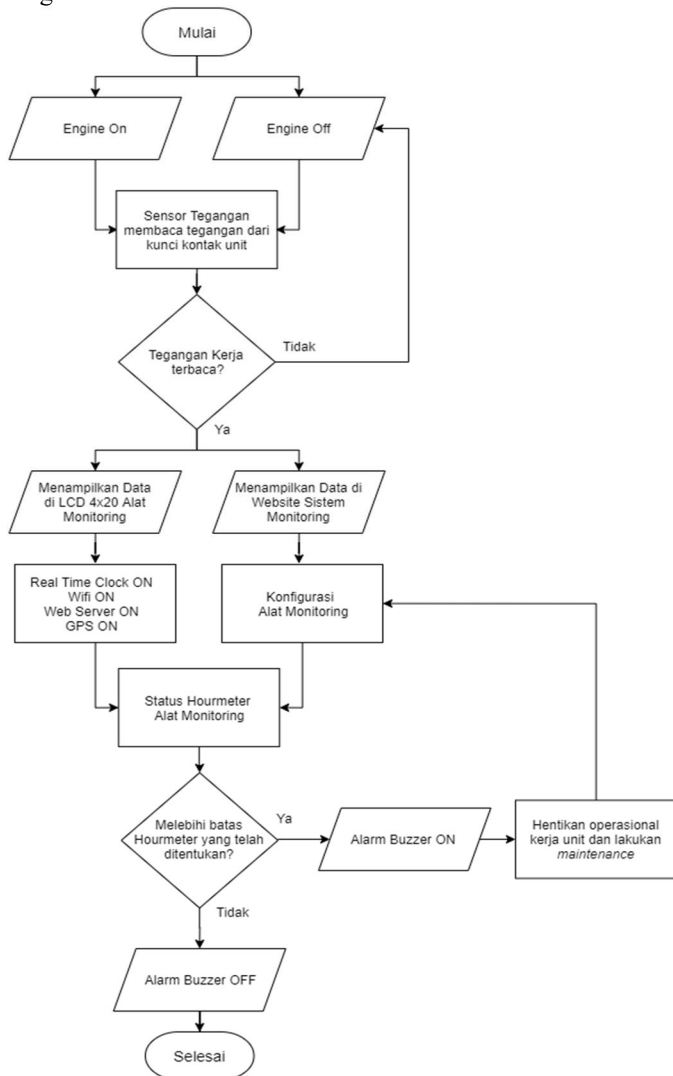
2.3 Sistem kelistrikan alat monitoring

Metode pemasangan dan pengujian alat *monitoring* dilakukan untuk memastikan keberhasilan alat yang telah dibuat dapat berfungsi dengan baik. Metode pemasangan dan pengujian ini akan dilakukan di PT Armada Hada Graha dengan menggunakan 2 macam unit yang terdiri dari 1 unit kendaraan dan 1 unit alat berat sebagai objek untuk pemasangan dan pengujian. Pemasangan dan pengujian alat *monitoring* ini terdapat dua terminal pada alat *monitoring* yaitu terminal *trigger* dan terminal *standby* seperti pada Gambar 3. Terminal *trigger* berfungsi sebagai terminal yang membaca status kondisi mesin dalam keadaan hidup berdasarkan tegangan dan arus yang masuk. Pembacaan ini dilakukan ketika posisi kunci kontak unit sedang on.

Dengan adanya terminal *trigger*, alat monitoring dapat berfungsi dan melakukan perekaman data waktu operasional kerja unit. Terminal *standby* berfungsi sebagai inputan tegangan dan arus kepada sensor-sensor alat monitoring yang langsung bersumber dari baterai unit. Tujuan penggunaan terminal *standby* adalah agar beberapa komponen, seperti modul ESP32, GPS Neo M8N, dan LCD 4x20, dapat selalu aktif. Dengan demikian, terminal *standby* membantu meminimalisir terjadinya *delay* pada proses pengolahan dan pengiriman data akibat booting alat monitoring, terutama saat terminal *trigger* baru mendapatkan input arus dan tegangan atau ketika engine hidup maupun posisi kunci kontak on.

Pemasangan alat *monitoring* akan diterapkan melalui jalur kelistrikan kunci kontak yang terhubung dengan *battery*. Dalam menghubungkan kelistrikan unit dengan alat *monitoring* menggunakan *T connector* atau *socket* pada kunci kontak yang tersedia sebagai penghubung alat *monitoring*, sehingga dapat tersambung dengan jalur kelistrikan unit kendaraan maupun alat berat. Penggunaan *T connector* maupun *socket* kunci kontak yang telah tersedia mempermudah alat monitoring untuk terhubung dengan kelistrikan unit. Dengan cara ini, terminal *trigger* pada alat monitoring dapat memperoleh suplai tegangan dan arus sesuai dengan kondisi engine atau posisi kunci kontak saat on. Selain itu, pemasangan alat monitoring tidak perlu

mengupas atau memodifikasi kabel utama dari jalur kelistrikan unit. Alat monitoring pun dapat mulai berfungsi dan bekerja dengan baik.



Gambar 2. Flowchart alur kerja alat dan sistem monitoring

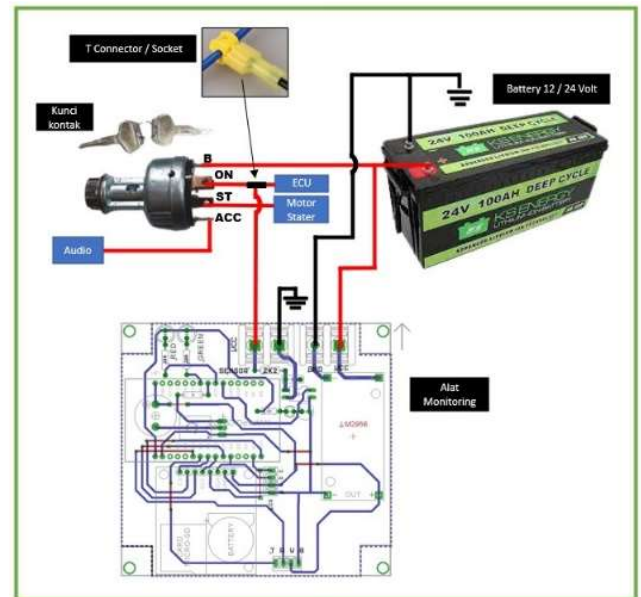
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil perancangan alat monitoring

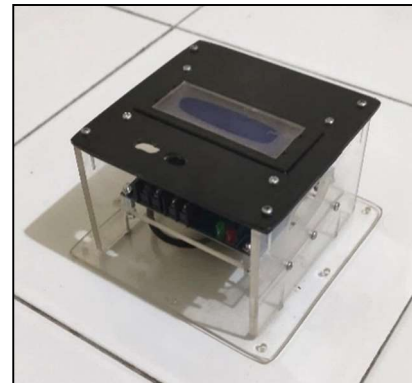
Hasil penelitian yang telah dilakukan adalah sebuah alat dan sistem *monitoring* servis berkala pada alat berat serta kendaraan berbasis *Internet of Things* via website yang dapat diakses secara *realtime*. Perlu dilakukan pengujian secara keseluruhan baik dari kinerja perangkat keras (*hardware*) maupun perangkat lunak (*software*). Pengujian punya tujuan untuk mengetahui tingkat keberhasilan dari alat dan sistem *monitoring* dapat bekerja sesuai dengan spesifikasi perencanaan yang telah ditentukan.

Alat *monitoring* yang telah dibuat menggunakan sebuah modul mikrokontroler yaitu ESP 32 Devkit 1. Selain itu, didukung juga dengan adanya komponen-komponen lain seperti RTC DS 1307 Mit Datten Logger MicroSD, GPS Neo M8N, LCD 4x20, Buzzer, dan LED notifikasi. Alat monitoring yang

telah dibuat dan dirakit menggunakan PCB serta Cover Box terbuka memiliki fungsi khusus. Desain ini bertujuan untuk mempermudah pemantauan fungsi alat monitoring selama proses pengujian dan implementasi. Pengujian dilakukan pada objek berupa unit kendaraan dan unit alat berat, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Untuk mengetahui tingkat keberhasilan fungsi kerja dari masing-masing komponen maka dilakukan serangkaian pengujian terhadap komponen-komponen yang digunakan pada alat dan sistem *monitoring*.



Gambar 3. Skematik pengujian alat monitoring



Gambar 4. Hasil perancangan alat monitoring servis berkala

3.2 Uji algoritma pemrograman *microcontroller*

Pada pengujian ini dilakukan pengujian dengan algoritma pemrograman arduino secara keseluruhan untuk menghubungkan semua komponen-komponen alat *monitoring* dengan modul mikrokontroler ESP32 Devkit V1. Seperti pada Gambar 5, alat dapat memvisualisasikan data yang tersimpan dan terekam didalam modul mikrokontroler. Hal ini bertujuan untuk mengetahui apakah semua komponen yang terpasang pada alat *monitoring* sudah terangkai dengan benar dan dapat terkoneksi dengan modul mikrokontroler ESP32 devkit 1.

Berdasarkan Pengujian algoritma pemrograman arduino alat *monitoring* secara keseluruhan yang telah dijalankan seperti pemrograman yang ditunjukkan pada lampiran. Hasilnya dapat menghidupkan LCD 4x20, GPS Neo M8N, LED hijau dan merah sesuai kondisi *on/off*, *buzzer* dan menghubungkannya dengan mikrokontroler ESP32 Devkit1, sehingga dapat disimpulkan bahwa pada pengujian algoritma pemrograman arduino alat *monitoring* secara keseluruhan yang terpasang pada alat *monitoring* sudah terangkai dengan benar dan dapat bekerja dengan baik.



Gambar 5. Hasil Pengujian Algoritma Pemrograman Arduino IDE pada keseluruhan komponen Alat Monitoring

3.3 Uji alat monitoring dengan adaptor 12 V

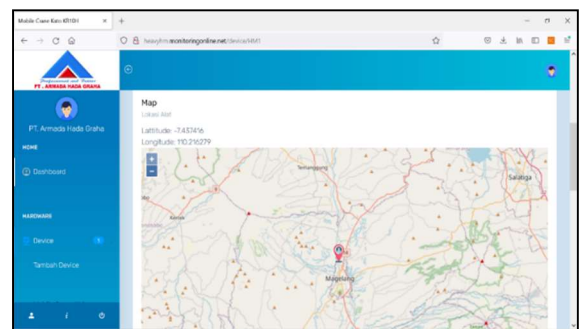
Alat *monitoring* yang telah selesai dibuat perlu dilakukan percobaan pengujian untuk mengetahui tingkat keberhasilan fungsi kerja dari setiap masing-masing komponen. Namun, sebelum dilakukan pengujian pada unit kendaraan dan alat berat, perlu dilakukan pengujian secara mandiri tanpa pemasangan pada unit. Hal ini bertujuan untuk memastikan keberhasilan fungsi kerja dari alat *monitoring* sebelum dipasang pada unit kendaraan dan alat berat seperti pada Gambar 6.

Pengujian secara mandiri dilakukan dengan menggunakan 2 buah adaptor 12 volt yang diasumsikan menjadi sebuah *battery* unit. Dua buah adaptor 12 volt yang dihubungkan dengan stopkontak berfungsi untuk memberikan inputan tegangan kerja pada 2 buah terminal alat *monitoring*, yaitu terminal *standby* dan *trigger*. Terminal *standby* terhubung secara terus menerus dari sumber tegangan. Sedangkan, terminal *trigger* terhubung ketika membaca adanya inputan tegangan yang diberikan atau diasumsikan sebagai pembaca kondisi *on* dan *off* pada *engine*.

Berdasarkan hasil pengujian mandiri yang dilakukan pada alat monitoring dengan menggunakan dua buah adaptor 12 volt, alat diuji dengan memantau informasi pada tampilan LCD 4x20. Hasil pengujian menunjukkan bahwa komponen-komponen pada alat monitoring dapat bekerja dengan baik dan terhubung dengan sistem monitoring. Dengan demikian, pengujian mandiri yang dilakukan dinyatakan berhasil dan sesuai dengan spesifikasi perencanaan yang telah ditentukan sebelumnya. Tampilan peta dapat ditampilkan di Gambar 7.



Gambar 6. Hasil pengujian mandiri alat monitoring



Gambar 7. Tampilan maps lokasi unit pada halaman detail

3.4. Uji alat monitoring pada unit alat berat

Pengujian alat *monitoring* yang kedua dilakukan di unit alat berat yaitu *Mobile Crane Kato KR10H*. Alat yang telah dipasang dapat dilihat di Gambar 8. Unit *Mobile Crane Kato KR10H* memiliki intensitas operasional jam kerja rata-rata sekitar 3,5 jam – 5 jam operasional kerja per hari.

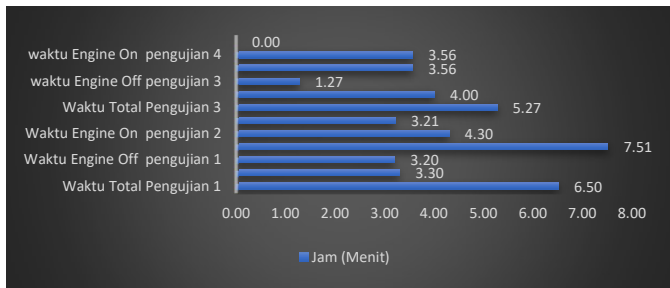
Pengujian pada unit *Mobile Crane Kato KR10H* dilakukan sebanyak 4 kali dengan 1 kali pengujian alat *monitoring* dilakukan selama 3,5 - 5 jam, sehingga menghasilkan akumulasi total pengujian selama 18 Jam.

Berdasarkan *file* laporan yang diunduh melalui website *monitoring*, dapat diketahui durasi waktu pengujian yang dilakukan. Informasi yang lain adalah waktu operasional kerja unit dalam kondisi *on & off* dari pengujian ke-1 sampai ke-4 seperti pada Gambar 9.

Berdasarkan hasil penjabaran durasi waktu operasional kerja unit, diketahui bahwa selama empat kali dilakukan pengujian alat *monitoring* pada unit Isuzu Panther dengan target batas operasional kerja sebesar 16 jam telah tercapai. Hal ini dapat dilihat dari waktu unit dalam kondisi *engine on* menghasilkan pencatatan rekaman data operasional kerja unit berkisar 3,5 jam, 4 jam, dan 4,5 jam setiap pengujian dengan akumulasi total sebanyak 16 jam. Sedangkan saat kondisi unit tidak beroperasi atau *off* juga dapat diketahui dengan akumulasi total waktu yang dihasilkan dari pengujian ke-1 sampai ke-4 sebanyak 8 jam 2 menit.



Gambar 8. Pengujian alat monitoring pada unit alat berat



Gambar 9. Durasi waktu operasional unit selama pengujian ke-1 sampai ke-4 unit Mobile Crane Kato KR10H



Gambar 10. Hasil nilai jarak tempuh unit selama pengujian ke-1 sampai ke-4 unit Mobile Crane Kato KR10H

Pengolahan data lebih lanjut dapat dilakukan berdasarkan data yang disimpan di *cloud*. Pengolahan dilakukan dengan melakukan pengolahan data untuk mengetahui dan melakukan perhitungan prediksi terkait jarak tempuh unit dan kecepatan rata-rata pengoperasian unit. Perhitungan diperoleh dari pengkonversian data *latitude & longitude GPS* dengan rumus *haversine* [15]. Berikut adalah penjabaran mengenai hasil nilai jarak tempuh unit *Mobile Crane Kato KR 10H* dalam satuan

meter yang diperoleh selama pengujian ke-1 sampai ke-4 seperti ditampilkan pada Gambar 10.

Berdasarkan hasil nilai jarak tempuh, diketahui bahwa selama 4 kali dilakukan pengujian alat *monitoring* pada unit *Mobile Crane Kato KR 10H* nilai jarak tempuh maksimal unit saat sedang beroperasi adalah 642 meter atau 0,64 km. Sedangkan nilai jarak tempuh minimal unit saat sedang beroperasi adalah 328 meter atau 0,32 km. Berdasarkan hasil nilai jarak tempuh tersebut, perusahaan dapat mengetahui tingkat intensitas pengoperasian unit berdasarkan jarak tempuh yang dapat diketahui. Selanjutnya, setelah diketahui hasil nilai jarak tempuh dapat dilakukan pengolahan data lebih lanjut untuk mengetahui dan melakukan perhitungan hasil rata-rata kecepatan pengoperasian unit.

Berdasarkan hasil rata-rata kecepatan pengoperasian unit diketahui bahwa selama 4 kali dilakukan pengujian alat *monitoring* pada unit *Mobile Crane Kato KR 10H* nilai rata-rata kecepatan maksimal unit saat sedang beroperasi adalah 8,1 km/jam. Sedangkan nilai rata-rata kecepatan minimal unit saat sedang beroperasi adalah 5,2 km/jam. Berdasarkan hasil rata-rata kecepatan pengoperasian unit tersebut, perusahaan dapat mengetahui kecepatan pengoperasian harian *driver* saat mengemudi unit *Mobile Crane Kato KR 10H*. Berdasarkan hasil nilai jarak tempuh yang diperoleh unit dan hasil rata-rata kecepatan pengoperasian unit selama 4 kali pengujian alat *monitoring* pada unit *Mobile Crane Kato KR 10H*, diperoleh hasil akhir pengolahan data pengujian unit *Mobile Crane Kato KR 10H* yang akan dijabarkan ke dalam bentuk Tabel 2.

Hasil akhir pengolahan data unit *Mobile Crane Kato KR 10H* dilakukan selama pengujian ke-1 sampai ke-4. Dapat disimpulkan bahwa pengujian alat *monitoring* yang dilakukan sebanyak 4 kali dengan akumulasi total operasional kerja sebesar 24 jam menghasilkan total jarak tempuh unit sebesar 1.985 meter atau 1,98 km. Selain itu, diperoleh juga nilai rata-rata kecepatan unit yang dioperasikan selama 4 kali pengujian sebesar 7,17 km/jam.

Tabel 1. Uji fungsional Alarm Maksimal Waktu Kerja Unit Mobile Crane Kato KR10H

Data	t_{ON} (jam)	t_{OFF} (jam)	x (km)	$\bar{v}$ (km /jam)
1	3,30	3,2	0,32	5,2
2	4,30	3.21	0,64	8,1
3	4,00	1,27	0,53	8,0
4	3,56	0	0,48	7,4

Alat monitoring yang dikembangkan dalam penelitian ini masih memiliki beberapa batasan, antara lain hanya diuji pada dua unit dalam waktu pengujian yang relatif singkat dan belum terintegrasi dengan sistem analisis prediktif untuk mendeteksi potensi kerusakan lebih awal. Selain itu, sistem belum dilengkapi fitur keamanan data serta skalabilitas untuk implementasi pada jumlah unit yang lebih banyak dan beragam tipe alat berat. Validasi kinerja juga terbatas pada parameter dasar seperti waktu operasional, jarak tempuh, dan kecepatan rata-rata, sehingga pengembangan lebih lanjut masih diperlukan

untuk memastikan keandalan pada kondisi lapangan yang lebih kompleks.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring hourmeter berbasis IoT yang mampu memantau serta merekam waktu operasional kendaraan dan alat berat secara akurat. Sistem yang dikembangkan tidak hanya dapat memberikan notifikasi perawatan secara otomatis melalui alarm, tetapi juga menampilkan data lokasi unit secara realtime menggunakan GPS, serta melakukan pencatatan jarak tempuh dan kecepatan operasional.

Hasil pengujian pada unit kendaraan dan alat berat menunjukkan bahwa sistem dapat berfungsi dengan baik, dengan pencatatan waktu operasional dan posisi unit yang valid sesuai tujuan penelitian. Sistem ini berpotensi meningkatkan efisiensi perawatan dan mencegah downtime akibat keterlambatan servis.

Ke depan, pengembangan lebih lanjut dapat difokuskan pada integrasi fitur prediksi kerusakan (predictive maintenance) berbasis analisis data operasional secara historis, serta peningkatan keamanan data dan skalabilitas sistem untuk diterapkan pada lebih banyak unit dalam skala industri.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini didanai dengan hibah penelitian dana masyarakat Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada tahun 2022.

REFERENSI

- [1] M. Horrell, L. Reynolds, and A. Mcelhinney, "Data Science in Heavy Industry and the Internet of Things," *Harv Data Sci Rev*, 2020, doi: 10.1162/99608f92.834c6595.
- [2] I. Lee and K. Lee, "The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises," *Bus Horiz*, vol. 58, no. 4, pp. 431–440, 2015, doi: 10.1016/j.bushor.2015.03.008.
- [3] R. W. Yadam, I. G. A. Diputra, and I. G. K. Sudipta, "Optimalisasi Penggunaan Alat Berat Pada Pekerjaan Galian Tanah," *Jurnal Ilmiah Elektronik Infrastruktur Teknik Sipil*, Oct. 2015.
- [4] N. Paudel and R. C. Neupane, "A general architecture for a real-time monitoring system based on the internet of things[Formula presented]," *Internet of Things (Netherlands)*, vol. 14, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.iot.2021.100367.
- [5] M. S. I. Isyanto, S. Sugiyanto, I. Bahiuddin, A. A. Ismail, A. Khaerudin, and I. Muslih, "Pembuatan TREPOS (Travel Protection System) Sebagai Upaya Penurunan Travel Dispatch pada Small Excavator," *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Alat Berat*, vol. 2, no. 1, pp. 08–16, Feb. 2025, doi: 10.22146/jtrab.v2i1.13665.
- [6] Muhamad Satibi Mulya, I. Yustiana, and I. Lucia Khrisma, "Rancang Bangun Sistem Keamanan dan Monitoring Kendaraan Berbasis IoT dan Mobile Apps," *Jurnal CoSciTech (Computer Science and Information Technology)*, vol. 3, no. 2, pp. 58–65, Aug. 2022, doi: 10.37859/coscitech.v3i2.3934.
- [7] Ade Irma, Nasron, and Martinus Mujur Rose, "Implementasi Aplikasi Berbasis Teknologi IoT pada Perangkat Tracking dan Kendali Kendaraan Bermotor," *Jurnal CoSciTech (Computer Science and Information Technology)*, vol. 1, no. 2, pp. 57–64, Oct. 2020, doi: 10.37859/coscitech.v1i2.2191.
- [8] N. B. Satriawan, "Optimalisasi Produktifitas dan Kinerja Alat berat dengan analisa data real time parameter," *PROSIDING TPT XXVIII PERHAPI*, pp. 59–68, 2019.
- [9] E. Hassan, J. Masters, K. Jeong, S. Heydarian, and M. Alisa, "New Industrial Internet of Things Platform for Predictive Maintenance in Handling Heavy Equipment," *7th International Conference on Engineering and Emerging Technologies, ICEET 2021*, no. October, pp. 27–28, 2021, doi: 10.1109/ICEET53442.2021.9659568.
- [10] Y. Tian, F. Gao, and P. Wu, "Intelligent Diagnosis of Equipment Health Based on IOT and Operation Large Data Analysis," in *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing Ltd, Aug. 2021. doi: 10.1088/1742-6596/1992/4/042070.
- [11] H. Y. Pratama, "Rancang Bangun Alat Dan Sistem Monitoring Perawatan Berkala Pada Alat Berat Serta Kendaraan Berbasis Internet Of Things Di Pt Armada Hada Graha," Universitas Gadjah Mada, 2022.
- [12] C. Zhou and L. Y. Ding, "Safety barrier warning system for underground construction sites using Internet-of-Things technologies," *Autom Constr*, vol. 83, no. July, pp. 372–389, 2017, doi: 10.1016/j.autcon.2017.07.005.
- [13] P. Zajac and T. Rozic, "Energy consumption of forklift versus standards, effects of their use and expectations," *Energy*, vol. 239, p. 122187, 2022, doi: 10.1016/j.energy.2021.122187.
- [14] A. Schroeder, P. Naik, A. Ziaee Bigdeli, and T. Baines, "Digitally enabled advanced services: a socio-technical perspective on the role of the internet of things (IoT)," *International Journal of Operations and Production Management*, vol. 40, no. 7–8, pp. 1243–1268, 2020, doi: 10.1108/IJOPM-03-2020-0131.
- [15] A. Andreou, C. X. Mavromoustakis, J. M. Batalla, E. K. Markakis, G. Mastorakis, and S. Mumtaz, "UAV Trajectory Optimisation in Smart Cities Using Modified A* Algorithm Combined With Haversine and Vincenty Formulas," *IEEE Trans Veh Technol*, vol. 72, no. 8, pp. 9757–9769, Aug. 2023, doi: 10.1109/TVT.2023.3254604.