

## Akurasi OFA terhadap *Loading Time Excavator* Tambang Batubara PT Antareja Mahada Makmur (AMM) Jobsite PIK

Ayunda Putri A \*, Zaenal , Noor Fauzi Isniarno

Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung, Indonesia.

[babysharkayun@email.com](mailto:babysharkayun@email.com), [zaenal.mq66@gmail.com](mailto:zaenal.mq66@gmail.com), [noor.fauzi.isniarno@gmail.com](mailto:noor.fauzi.isniarno@gmail.com)

**Abstract.** *Accurate equipment time monitoring is essential for productivity control and operational efficiency in open-pit coal mining. PT Antareja Mahada Makmur (AMM) at the PT Perkasa Inakakerta (PIK) jobsite uses Onboard FleetSafe Assist (OFA) to record fleet activities, including excavator loading time. This study evaluates OFA loading-time accuracy against field time-study measurements at Pit 81 and proposes an operational deviation threshold for data quality control. Data from October–November 2025 were matched per haul cycle (n=312 paired records; 81.04% coverage of 385 observed cycles). Because paired differences were non-normal, the Wilcoxon Signed-Rank test was applied. Accuracy metrics (bias, MAE, RMSE) and agreement via Bland–Altman Limits of Agreement (LoA) were computed, and a deviation threshold was derived using Tukey’s rule. The mean bias was −0.06 min, MAE 0.60 min, and RMSE 1.206 min, indicating small average deviation with several outliers. The 95% LoA ranged from −2.42 to 2.30 min, with 92.3% of records within the LoA band. The Tukey threshold was 0.706 min (18.43%), classifying 79.2% of cycles as within-threshold and 20.8% as deviations. Overall, OFA loading time is suitable for routine monitoring, but high-deviation cycles should be flagged and investigated through event-definition alignment, time synchronization, and system configuration review.*

**Keywords:** *Onboard FleetSafe Assist (OFA), loading time, data accuracy.*

**Abstrak.** Pemantauan waktu kerja alat yang akurat diperlukan untuk mengendalikan produktivitas dan efisiensi operasi tambang batubara terbuka. PT Antareja Mahada Makmur (AMM) pada jobsite PT Perkasa Inakakerta (PIK) menggunakan Onboard FleetSafe Assist (OFA) untuk merekam aktivitas armada, termasuk loading time excavator. Penelitian ini mengevaluasi akurasi data loading time OFA terhadap data aktual hasil time study lapangan di Pit 81 serta menetapkan ambang operasional deviasi untuk kontrol mutu data. Data Oktober–November 2025 dipadankan per ritase antara log OFA dan observasi lapangan (n=312 pasangan; coverage 81,04% dari 385 ritase). Karena selisih tidak berdistribusi normal, digunakan uji Wilcoxon Signed-Rank. Ukuran akurasi dihitung (bias, MAE, RMSE), kesepakatan dinilai dengan Bland–Altman Limits of Agreement (LoA), dan ambang deviasi ditetapkan menggunakan aturan Tukey. Hasil menunjukkan bias rata-rata −0,06 menit, MAE 0,60 menit, dan RMSE 1,206 menit, mengindikasikan penyimpangan rata-rata kecil namun terdapat outlier. LoA 95% berada pada −2,42 hingga 2,30 menit dengan 92,3% data berada dalam rentang LoA. Ambang Tukey 0,706 menit (18,43%) mengklasifikasikan 79,2% ritase sesuai dan 20,8% deviasi. Secara umum, data OFA cukup representatif untuk pemantauan rutin, namun ritase deviasi besar perlu ditandai dan ditinjau; penelarasan definisi event, sinkronisasi waktu, dan perbaikan konfigurasi sistem direkomendasikan.

**Kata Kunci:** *Onboard FleetSafe Assist (OFA), loading time, akurasi data.*

## A. Pendahuluan

Pertambangan merupakan sebagian atau seluruh tahapan kegiatan dalam rangka, pengelolaan dan pengusahaan mineral atau batubara yang meliputi penyelidikan umum, eksplorasi, studi kelayakan, kontruksi, penambangan, pengolahan dan/atau pemurnian atau pengembangan dan/atau pemanfaatan, pengangkutan dan penjualan, serta kegiatan pascatambang (UU No. 3 Tahun 2020). Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) (2018), penerapan kaidah teknik pertambangan yang baik menuntut kegiatan pertambangan dilakukan secara efisien, aman, dan berwawasan lingkungan, termasuk melalui pengelolaan peralatan serta pengendalian waktu kerja sebagai bagian dari aspek teknis operasional. Sejalan dengan hal tersebut, optimalisasi produktivitas alat gali-muat dan angkut menjadi salah satu kunci pencapaian target produksi karena biaya investasi dan biaya operasional alat berat yang tinggi menuntut pemanfaatan waktu kerja yang maksimal. Setiap waktu hilang akibat ketidakefisienan berpotensi berdampak langsung pada biaya produksi maupun pencapaian target.

Dalam kegiatan penambangan, kombinasi antara alat gali-muat dan alat angkut memiliki peran krusial dalam menentukan kelancaran siklus produksi. Waktu siklus kerja (*cycle time*) yang terdiri atas proses *loading*, *hauling/traveling*, *dumping*, serta *returning*, sangat menentukan nilai produktivitas yang dicapai (Darling, P. (Ed.), 2011). Ketidakseimbangan produktivitas antara alat gali-muat dan alat angkut dapat menimbulkan waktu tunggu (*idle time*) (Yani A., Annisa, & Putri, K. S, 2025) yang pada akhirnya menurunkan efisiensi operasional tambang. Oleh karena itu, *monitoring* yang akurat dan evaluasi produktivitas secara berkelanjutan sangat diperlukan untuk memastikan kinerja alat gali-muat dan angkut berjalan optimal.

Seiring perkembangan transformasi digital, PPA (Putra Perkasa Abadi) Group mengimplementasikan *Onboard Fleetsafe Assist* (OFA) sebagai sistem manajemen armada terintegrasi untuk pemantauan operasi secara real-time. Melalui kombinasi sensor, GPS, dan telematika, OFA merekam jejak peristiwa dan durasi tiap fase siklus termasuk *loading time excavator* yang kemudian digunakan untuk pelaporan dan pengambilan keputusan operasional. Namun demikian, pemanfaatan data berbasis sistem memerlukan verifikasi akurasi terhadap pencatatan aktual di lapangan, mengingat definisi kejadian, ketelitian sensor, *geofence*, dan sinkronisasi waktu berpotensi menimbulkan perbedaan nilai. Oleh sebab itu, diperlukan kajian yang secara sistematis membandingkan data OFA dengan pengukuran aktual agar kualitas informasi yang dihasilkan benar-benar representatif terhadap kondisi operasional.

PT Antareja Mahada Makmur (AMM) sebagai kontraktor pertambangan yang merupakan bagian dari PPA Group telah menerapkan OFA pada Jobsite PT Perkasa Inakakerta (PIK) untuk mendukung efisiensi operasi. Penelitian bertujuan untuk mengevaluasi akurasi data OFA terhadap data aktual *loading time excavator*, sehingga dapat diidentifikasi besaran dan arah penyimpangan yang terjadi (misalnya kecenderungan lebih cepat atau lambat). Hasil evaluasi akurasi diharapkan memberikan dasar yang kuat bagi kalibrasi sistem, penyelarasan definisi operasional, serta peningkatan tata kelola data sebelum angka-angka tersebut digunakan sebagai rujukan kinerja. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi praktis bagi AMM dan PPA Group dalam memastikan keandalan data OFA untuk pengendalian harian, evaluasi performa, dan perbaikan berkelanjutan di bidang operasional.

## B. Metode

Penelitian dilaksanakan di Pit 81 pada tambang batubara PT Antareja Mahada Makmur (AMM) Jobsite PT Perkasa Inakakerta (PIK), Desa Sekerat, Kecamatan Bengalon, Kabupaten Kutai Timur, Provinsi Kalimantan Timur. Area Pit 81 merupakan area produksi aktif dengan aktivitas pemuatan dan pengangkutan yang berlangsung kontinu per shift. Kondisi operasional di front pemuatan dapat berubah sesuai kemajuan penambangan, termasuk perubahan posisi alat gali-muat, variasi jarak manuver alat angkut, serta tingkat kepadatan lalu lintas unit di sekitar loading point.

Secara operasional, variasi kondisi di sekitar loading point berpotensi memengaruhi durasi loading time yang tercatat, baik pada pengamatan lapangan maupun pada sistem OFA. Faktor seperti ruang manuver terbatas, antrean unit, pergerakan unit yang tidak langsung meninggalkan loading point setelah selesai muat, serta gangguan sesaat saat pemuatan (misalnya komunikasi operator, koreksi posisi, atau penyesuaian bucket) dapat menyebabkan perbedaan durasi event yang terdefinisi

oleh sistem dan yang diamati secara visual. Oleh karena itu, evaluasi akurasi data OFA pada penelitian ini dilakukan pada level ritase (paired record) agar perbandingan merepresentasikan kondisi operasi yang sama.

Data aktual dikumpulkan melalui observasi langsung menggunakan stopwatch. Loading time aktual didefinisikan mengikuti cara pembacaan OFA, yaitu dimulai saat bucket pertama tumpah ke vessel unit angkut dan berakhir ketika unit angkut menjauhi lokasi loading sekitar 10 meter. Komponen kegiatan yang diamati mencakup digging, swing isi, dumping, dan swing kosong. Data OFA diunduh dari laman sistem dalam periode yang sama, kemudian dipilah berdasarkan lokasi Pit 81 dan unit yang diamati.

Penyelarasan dan pembersihan data dilakukan dengan memasang ritase berdasarkan identitas unit, pasangan ekskavator, serta estimasi waktu menuju disposal untuk mencegah pertukaran pasangan data. Dari 385 ritase observasi, data OFA yang terbaca dan dapat dipasangkan berjumlah 312 ritase (coverage 81,04%). Seluruh pasangan data yang valid dianalisis menggunakan perangkat lunak statistik.

Tahapan analisis meliputi: (1) statistik deskriptif selisih (aktual–OFA); (2) uji normalitas selisih menggunakan Kolmogorov–Smirnov dan Shapiro–Wilk; (3) uji perbedaan menggunakan Wilcoxon Signed-Rank karena selisih tidak berdistribusi normal; (4) penghitungan ukuran akurasi berupa bias, mean absolute error (MAE), dan root mean square error (RMSE); (5) analisis kesepakatan menggunakan batas kesepakatan (limits of agreement/LoA) metode Bland–Altman; serta (6) klasifikasi kesesuaian ritase menggunakan ambang deviasi operasional berbasis aturan Tukey ( $1,5 \times IQR$ ) (Tukey, J. W., 1977).

### C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Berdasarkan rekapitulasi data, dari total 385 ritase yang dicatat pada observasi lapangan, terdapat 312 ritase yang memiliki data loading time lengkap pada kedua sumber. Dengan demikian, cakupan data OFA sebesar 81,04%. Cakupan ini menunjukkan masih terdapat kehilangan data pada sebagian ritase, yang berpotensi disebabkan oleh keterbatasan pembacaan sensor, kondisi jaringan, atau perbedaan setting sistem terhadap kejadian operasi tertentu (misalnya perubahan rute dump atau ritase yang tidak sesuai konfigurasi).

**Tabel 1.** Rekapitulasi cakupan data (coverage) dan jumlah pasangan data

| Sumber Data                 | Jumlah Ritase | Ritase Berpasangan | Keterangan                     |
|-----------------------------|---------------|--------------------|--------------------------------|
| Observasi lapangan (aktual) | 385           | 312                | Data aktual tercatat           |
| OFA (onboard)               | 312           | 312                | Coverage 81,04%<br>dari aktual |

Hasil pemadanan menunjukkan bahwa tidak seluruh ritase hasil pengamatan lapangan memiliki pasangan data lengkap pada OFA. Coverage data OFA yang belum mencapai 100% mengindikasikan bahwa sistem belum konsisten dalam menangkap event loading untuk seluruh ritase pada periode penelitian. Kondisi ini penting karena keberadaan data hilang (missing/incomplete record) dapat memengaruhi interpretasi kualitas sistem, khususnya bila ritase yang tidak terbaca memiliki karakteristik operasi tertentu (misalnya terjadi pada jam sibuk, pada lokasi geofence tertentu, atau pada unit tertentu).

Secara operasional, beberapa penyebab yang berpotensi menimbulkan data tidak terbaca antara lain gangguan komunikasi data, ketidaktepatan konfigurasi geofence sehingga event terpotong atau tidak terbentuk, keterlambatan sinkronisasi waktu perangkat, atau perubahan pola operasi yang tidak sepenuhnya terakomodasi oleh aturan event pada sistem. Oleh karena itu, peningkatan coverage menjadi salah satu prioritas perbaikan, karena akurasi yang baik pada sebagian ritase saja belum cukup apabila sistem digunakan untuk pemantauan kinerja secara menyeluruh.

Statistik deskriptif selisih loading time menunjukkan rata-rata  $-0,0587$  menit dengan interval kepercayaan 95%  $-0,1931$  hingga  $0,0758$  menit. Walaupun bias rata-rata mendekati nol, sebaran selisih tidak simetris dengan adanya nilai ekstrem (minimum  $-6,04$  menit dan maksimum  $5,54$  menit) serta kurtosis tinggi, yang mengindikasikan outlier.

Uji normalitas memperkuat indikasi tersebut. Nilai signifikansi Kolmogorov–Smirnov dan Shapiro–Wilk sama-sama 0,000 ( $p < 0,05$ ), sehingga selisih loading time tidak berdistribusi normal. Oleh karena itu, uji perbedaan menggunakan Wilcoxon Signed-Rank.

Hasil uji Wilcoxon menunjukkan  $Z = -5,622$  dengan  $p = 0,000$  (dua arah), yang berarti terdapat perbedaan median yang signifikan antara loading time OFA dan aktual. Tanda negatif menunjukkan kecenderungan loading time OFA lebih cepat dibanding aktual pada banyak ritase. Temuan ini penting karena perbedaan yang konsisten, sekalipun kecil pada rata-rata, dapat memengaruhi interpretasi kinerja jika digunakan untuk pembandingan target atau audit data.

Ukuran akurasi pada satuan menit menghasilkan bias  $-0,06$  menit, MAE 0,60 menit, dan RMSE 1,206 menit. Bias yang kecil menunjukkan trueness rata-rata relatif baik, tetapi MAE dan terutama RMSE mengindikasikan masih ada sejumlah ritase dengan deviasi besar. RMSE yang lebih besar dibanding MAE menegaskan pengaruh outlier terhadap kesalahan kuadrat.

**Tabel 2.** Ukuran akurasi data OFA terhadap data aktual ( $n = 312$ )

| Indikator | Nilai | Satuan |
|-----------|-------|--------|
| Bias      | -0,06 | menit  |
| MAE       | 0,60  | menit  |
| RMSE      | 1,206 | menit  |

Analisis Bland–Altman (Altman, D. G., & Bland, J. M, 1999) memberikan batas kesepakatan (LoA)  $-2,424$  hingga  $2,307$  menit. Sebanyak 92,3% pasangan data berada di dalam LoA, sehingga secara umum kedua metode memiliki tingkat kesepakatan yang cukup baik pada mayoritas ritase. Namun, rentang LoA yang relatif lebar menunjukkan bahwa pada level ritase individu, selisih dapat mencapai lebih dari dua menit, baik ke arah underestimate maupun overestimate.

Untuk kebutuhan operasional, penelitian ini menetapkan ambang deviasi berbasis aturan Tukey pada selisih menit. Dengan  $Q1 = -0,006$  menit,  $Q3 = 0,279$  menit, dan  $IQR = 0,285$  menit, diperoleh batas atas 0,706 menit sebagai ambang deviasi nonparametrik. Berdasarkan klasifikasi ini, 79,2% ritase termasuk kategori sesuai dan 20,8% termasuk deviasi. Secara praktis, proporsi deviasi 20,8% menunjukkan perlunya mekanisme pengecekan berkala pada ritase yang menyimpang (misalnya perubahan perilaku operator, kondisi geometri front, atau gangguan sensor/komunikasi) agar pemanfaatan data untuk analisis lebih terkendali.

Nilai RMSE yang lebih besar dibanding MAE menunjukkan adanya sebagian ritase dengan deviasi besar (outlier) yang memperbesar kesalahan kuadrat. Secara praktis, ini berarti sebagian besar ritase memiliki selisih kecil antara OFA dan pengamatan lapangan, namun terdapat sejumlah ritase yang selisihnya jauh lebih besar dari pola umum. Outlier semacam ini perlu ditinjau karena dapat memengaruhi kesimpulan bila data digunakan untuk evaluasi kinerja pada level individu (per ritase/per operator).

Secara operasional, ritase dengan deviasi besar umumnya berkaitan dengan kondisi event boundary yang tidak sinkron, misalnya alat angkut tidak langsung meninggalkan area setelah muat selesai, adanya manuver ulang, berhenti sesaat, atau perubahan status yang terlambat/cepat terdeteksi oleh sistem. Selain itu, ketelitian geofence dan sensitivitas trigger dapat menyebabkan perbedaan kapan event loading “diputus” oleh sistem dibanding pengamatan visual. Dengan demikian, outlier bukan semata-mata kesalahan sistem, tetapi dapat merefleksikan interaksi antara definisi event, konfigurasi, dan variasi kondisi lapangan.

**Tabel 3.** Ringkasan kesepakatan dan klasifikasi deviasi

| Ukuran                 | Nilai                 | Hasil              | Keterangan                   |
|------------------------|-----------------------|--------------------|------------------------------|
| LoA (Bland–Altman)     | $-2,424$ s.d. $2,307$ | 92,3% di dalam LoA | Kesepakatan mayoritas ritase |
| Ambang deviasi (Tukey) | 0,706                 | 79,2% sesuai       | Kriteria operasional (menit) |
| Proporsi deviasi       | $> 0,706$             | 20,8% deviasi      | Perlu evaluasi penyebab      |

Keandalan estimasi bias rata-rata juga ditinjau melalui margin of error (MoE) 95%. Dengan simpangan baku selisih 1,207 menit dan  $n = 312$ , diperoleh MoE 0,134 menit, sehingga interval

kepercayaan 95% bias berada pada  $-0,19$  hingga  $0,08$  menit. Rentang ini menegaskan bahwa bias rata-rata OFA sangat dekat dengan nol, sehingga penggunaan data OFA untuk pemantauan tren (trend monitoring) dapat diterima, sepanjang outlier dan kehilangan data ditangani.

Implikasi terhadap evaluasi kinerja pemuatan perlu dipahami dengan tepat. OFA tidak merekam cycle time per passing, sehingga data loading time tidak dapat langsung dipakai sebagai pembagi dalam rumus produktivitas alat gali. Meski demikian, loading time tetap merupakan indikator efisiensi pemuatan yang sering dijadikan dasar evaluasi pencapaian target. Oleh sebab itu, validasi akurasi loading time OFA pada penelitian ini menjadi landasan agar data yang digunakan dalam rapat produksi, pelaporan harian, dan analisis keterlambatan tidak menimbulkan kesimpulan yang bias.

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa secara rata-rata penyimpangan loading time relatif kecil, sehingga data OFA dapat digunakan untuk monitoring operasional harian, terutama pada level agregat (trend per shift/per hari) dan sebagai indikator layanan pemuatan. Namun, karena masih terdapat ritase dengan deviasi yang cukup besar, penggunaan data OFA untuk tujuan evaluasi detail pada level ritase individu perlu disertai mekanisme kontrol mutu. Penggunaan ambang deviasi operasional memungkinkan proses “flagging” ritase yang berpotensi bermasalah sehingga analisis kinerja tidak terdistorsi oleh data yang tidak representatif.

Penerapan kontrol mutu dapat dilakukan melalui prosedur sederhana: ritase yang melebihi ambang deviasi ditandai, kemudian dilakukan pemeriksaan cepat terhadap log event, kesesuaian geofence, serta kesesuaian waktu sistem. Jika deviasi berulang terjadi pada unit atau lokasi tertentu, maka perbaikan dapat difokuskan pada konfigurasi perangkat (sinkronisasi waktu, pengaturan geofence, dan parameter trigger). Pendekatan ini menjadikan data OFA lebih andal sebagai dasar pengambilan keputusan, tanpa menghilangkan kebutuhan verifikasi berkala melalui time study sampling.

### Analisis dan Pembahasan

Berdasarkan hasil pemadanan data, terdapat 312 ritase yang dapat dibandingkan langsung antara data OFA dan time study, dengan coverage 81,04% dari total 385 ritase aktual. Artinya, masih ada 73 ritase (18,96%) yang tidak terbaca/kurang lengkap pada sistem sehingga konsistensi pencatatan event belum mencakup seluruh ritase. Kondisi ini penting karena kualitas evaluasi akurasi sangat dipengaruhi oleh kelengkapan data (coverage); semakin banyak ritase yang “missing”, semakin besar potensi bias pada interpretasi performa sistem.

Selanjutnya, perbedaan pasangan data dihitung sebagai selisih (Aktual – OFA). Uji normalitas menunjukkan selisih tidak berdistribusi normal, sehingga uji beda berpasangan yang digunakan adalah Wilcoxon Signed-Rank. Hasil Wilcoxon menunjukkan perbedaan yang signifikan ( $p < 0,05$ ), yang mengindikasikan pencatatan loading time oleh OFA dan pencatatan aktual lapangan tidak sepenuhnya sama pada level ritase. Secara metodologis, signifikansi Wilcoxon dapat dipahami sebagai akibat dari banyaknya pasangan data yang memiliki selisih bukan nol, arah selisih yang cenderung tidak acak, serta adanya sebagian ritase dengan deviasi besar yang memperkuat bukti statistik. Namun, perlu ditegaskan bahwa uji Wilcoxon menjawab “ada/tidaknya perbedaan” secara statistik, bukan langsung “besar kecilnya dampak” pada operasi; oleh karena itu, interpretasi operasional perlu dilengkapi ukuran akurasi dan kesepakatan.

Dari sisi besaran error, nilai bias rata-rata relatif kecil yaitu  $-0,06$  menit (sekitar 3–4 detik), yang menunjukkan loading time aktual cenderung sedikit lebih cepat dibanding catatan OFA. Walaupun bias kecil, ukuran akurasi lain menunjukkan MAE 0,60 menit dan RMSE 1,206 menit. Nilai RMSE yang lebih besar daripada MAE menandakan adanya outlier (sebagian ritase dengan deviasi besar) yang memperbesar error kuadratik. Secara praktis, ini berarti data OFA cukup dekat dengan aktual pada banyak ritase, tetapi tetap ada sejumlah ritase yang menyimpang jauh sehingga perlu mekanisme kontrol mutu (QC) agar tidak mengganggu evaluasi kinerja atau analisis penyebab keterlambatan.

Untuk menilai kesepakatan kedua metode pada level ritase, digunakan Bland–Altman Limits of Agreement (LoA). LoA 95% berada pada rentang  $-2,42$  hingga  $2,30$  menit, dan 92,3% ritase berada dalam rentang tersebut. Temuan ini mengindikasikan bahwa pada mayoritas ritase, perbedaan OFA terhadap aktual masih berada dalam rentang yang dapat diterima untuk monitoring operasional; namun, rentang LoA yang mencapai beberapa menit juga menunjukkan bahwa pada kondisi tertentu (misalnya definisi akhir event, trigger sensor, geofence, atau sinkronisasi waktu), selisih dapat

membesar dan berpotensi menimbulkan salah interpretasi pada level ritase individu.

Sebagai indikator kontrol mutu, ditetapkan ambang deviasi operasional dengan aturan Tukey sebesar 0,706 menit (18,43%). Dengan ambang ini, 79,2% ritase masuk kategori “sesuai (within-threshold)” dan 20,8% termasuk deviasi. Ambang ini dapat digunakan sebagai dasar flagging otomatis: ritase yang melewati batas perlu ditinjau (misalnya cek kecocokan definisi event, gangguan sinyal, pergeseran waktu perangkat, atau kondisi operasi seperti manuver/antrean). Selain itu, estimasi ketidakpastian rata-rata bias menunjukkan MoE 0,134 menit dengan CI 95% -0,19 hingga 0,08 menit, yang menegaskan bahwa bias rata-rata sistem berada sangat dekat dengan nol dan relatif kecil dibanding durasi loading secara keseluruhan.

Secara keseluruhan, data loading time OFA dapat dinilai cukup representatif untuk pemantauan operasional harian, terutama pada level agregat/tren. Namun, karena masih terdapat deviasi yang signifikan pada sebagian ritase, disarankan penerapan QC berbasis ambang deviasi, penyelarasan definisi awal–akhir event antara OFA dan SOP lapangan, sinkronisasi waktu sistem, serta evaluasi geofence dan konfigurasi sensor agar reliabilitas meningkat pada level ritase individu.

Disarankan: (1) meningkatkan coverage dengan evaluasi penyebab ritase tidak terbaca pada OFA; (2) menyelaraskan definisi awal–akhir loading antara OFA dan SOP lapangan; (3) melakukan sinkronisasi waktu sistem dan audit konfigurasi geofence/trigger; (4) menerapkan mekanisme flagging otomatis untuk ritase di atas ambang deviasi; (5) melakukan verifikasi berkala (time study sampling) untuk memastikan konsistensi akurasi setelah perbaikan konfigurasi.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, pengamatan dilakukan pada periode tertentu sehingga hasil evaluasi mencerminkan kondisi operasi pada saat penelitian dan dapat berubah seiring perubahan front, kepadatan lalu lintas, serta konfigurasi sistem. Kedua, tidak seluruh ritase dapat dipadankan karena sebagian data pada OFA tidak terbaca atau tidak lengkap, sehingga evaluasi dilakukan pada ritase yang memiliki pasangan data. Ketiga, adanya perbedaan mekanisme penentuan awal–akhir event antara pengamatan lapangan dan OFA berpotensi memengaruhi besaran deviasi, terutama pada kondisi operasi yang melibatkan manuver/berhenti sesaat. Keempat, penelitian berfokus pada loading time, sehingga aspek lain dalam cycle time (spotting, hauling, dumping, return) tidak dievaluasi pada artikel ini.

#### **D. Kesimpulan**

Berdasarkan evaluasi 312 pasangan data loading time ekskavator di Pit 81, cakupan data OFA terhadap observasi lapangan mencapai 81,04%. Uji Wilcoxon Signed-Rank menunjukkan terdapat perbedaan median yang signifikan antara loading time OFA dan aktual ( $Z = -5,622$ ;  $p = 0,000$ ). Meskipun demikian, bias rata-rata relatif kecil (-0,06 menit) dengan MAE 0,60 menit dan RMSE 1,206 menit.

Analisis Bland–Altman menghasilkan LoA -2,424 hingga 2,307 menit dengan 92,3% data berada di dalam batas kesepakatan. Dengan ambang deviasi operasional 0,706 menit, 79,2% ritase memenuhi kriteria sesuai dan 20,8% ritase termasuk deviasi. Secara umum, data OFA cukup andal untuk pemantauan rutin loading time, namun disarankan dilakukan kalibrasi berkala, audit ritase yang menyimpang, serta perbaikan mekanisme akuisisi data untuk meningkatkan coverage dan menurunkan outlier.

#### **Ucapan Terimakasih**

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Ketua Program Studi Teknik Pertambangan Universitas Islam Bandung, Sekretaris Program Studi selaku co-pembimbing, serta dosen pembimbing/koordinator skripsi atas bimbingan, arahan, dan dukungan selama penyusunan penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada PT Antareja Mahada Makmur (AMM) Jobsite PT Perkasa Inakakerta (PIK) atas kesempatan dan dukungan selama pelaksanaan penelitian, khususnya kepada KTT, PJO, Section Head Produksi, Group Leader Dispatch Analyst, staf Centre of Excellence (COE), GL Produksi, GL dan staf MPE, serta seluruh operator yang membantu proses pengambilan data dan kelancaran kegiatan di lapangan.

## Daftar Pustaka

- Adijaya, R., & Moralista, E. (n.d.). *Perancangan dan Penjadwalan Tambang pada Penambangan Nikel Laterit*. Retrieved <https://journal.sbpublisher.com/index.php/minetech>
- Arif Mangkusagara, Zaenal, & Noor Fauzi Isniarno. (2024). Kajian Geometri Jalan Angkut dari Lokasi Loading Point Menuju Lokasi Dumping. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 109–116. <https://doi.org/10.29313/jrtp.v4i2.5144>
- Rizky Noor Fitriadi, Iswandaru, & Elfida Moralista. (2024). Pengaruh Geometri Jalan Terhadap Produktivitas Alat Angkut. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 41–48. <https://doi.org/10.29313/jrtp.v4i1.3821>
- Altman, D. G., & Bland, J. M. (1999). Measuring agreement in method comparison studies. *Statistical Methods in Medical Research*, 8(2), 135–160.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2021). *AASHTO M 145–91 (2021): Standard Specification for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes*. Washington, DC: AASHTO.
- Anisari, R. (2016). Produktivitas alat muat dan angkut pada pengupasan lapisan tanah penutup di Pit 8 Fleet D PT Jhonlin Baratama Jobsite Satui Kalimantan Selatan. *Jurnal INTEKNA: Informasi Teknik dan Niaga*, 16(1), 77–81.
- Aryanto, R., & Sal, M. A. (2019). Kebutuhan alat gali muat dan alat angkut untuk mencapai target produksi pada Tambang Grasberg PT Freeport Indonesia. *Indonesian Mining and Energy Journal*, 2(1), 24–30.
- ASTM International. (2023). *ASTM D388-23: Standard classification of coals by rank*. West Conshohocken, PA: ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D0388-23>
- Caterpillar. (2022). *Caterpillar Performance Handbook* (50th ed.). Peoria, IL: Caterpillar Inc. (Doc. No. SEBD0351-50).
- Darling, P. (Ed.). (2011). *SME Mining Engineering Handbook* (3rd ed., Vol. 1). Society for Mining, Metallurgy, and Exploration. ISBN 978-0-87335-264-2.
- Hadi, E. R., Inmarlinianto, & Gunawan, K. (2015). Kajian teknis alat muat dan alat angkut untuk mengoptimalkan produksi pengupasan lapisan tanah penutup di Pit UW PT Borneo Alam Semesta Kecamatan Jorong Kabupaten Tanah Laut Provinsi Kalimantan Selatan. *Jurnal Teknologi Pertambangan*, 1(1).
- ImpactLabs Academy. (2024, 13 Agustus). *Prosedur hauling dalam penambangan batubara*. Impact Labs. <https://impactlabs.id/2024/08/13/prosedur-hauling-dalam-penambangan-batubara/>
- Indonesia. (2020). Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 3 Tahun 2020 tentang Perubahan atas Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara. Lembaran Negara RI Tahun 2020 No. 147, Tambahan Lembaran Negara No. 6525
- ISO. (2019). ISO 5725-1: Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results — Part 1: General principles and definitions. International Organization for Standardization.
- Maulana, F. F. (2016). *Pemuatan dan pengangkutan* [Tugas V Pengantar Teknologi Mineral]. Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung. <https://pdfcoffee.com/resume-pemuatan-dan-pengangkutan-5-pdf-free.html> pdfcoffee.com

- Oemiati, N., Revisdah, R., & Rahmawati, R. (2020). Analisa produktivitas alat gali muat dan alat angkut pada pengupasan lapisan tanah penutup (Overburden). *Bearing: Jurnal Penelitian dan Kajian Teknik Sipil*, 6(3), 194–207.
- Oktafiani, A., Sidiq, H., & Mukarrom, F. (2021). Analisis produktivitas alat gali muat dan alat angkut pada penambangan bauksit. *Mining Insight*, 2(2), 91–98.
- Speight, J. G. (2013). *The chemistry and technology of coal* (3rd ed.). CRC Press/Taylor & Francis. <https://doi.org/10.1201/b12497>
- Prodjosumarto, P. (1993). *Pemindahan tanah mekanis*. Departemen Tambang, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Sri, T. D. (2018). *Bab 6: Pemuatan dan pengangkutan tambang bawah tanah* (Dalam *Dasar-dasar metode tambang bawah tanah*). [https://kupdf.net/download/bab-6-pemuatan-dan-pengangkutan\\_5c29b77de2b6f50f7295a544\\_pdf](https://kupdf.net/download/bab-6-pemuatan-dan-pengangkutan_5c29b77de2b6f50f7295a544_pdf) KUPDF
- Suárez-Ruiz, I., & Crelling, J. C. (Eds.). (2008). *Applied Coal Petrology: The Role of Petrology in Coal Utilization*. Elsevier/Academic Press.
- Tukey, J. W. (1977). *Exploratory Data Analysis*. Addison-Wesley.
- Yani, A., Annisa, & Putri, K. S. (2025). Aplikasi teori antrian dalam penentuan jumlah alat angkut untuk mengoptimalkan pengangkutan overburden PT Kalimantan Prima Persada. *Jurnal Himasapta*, 10(1), 51–56.