

Analisis Jadwal Operasi Trailer melalui Simulasi *Time Slot Management* untuk Mengatasi Ketidakseimbangan Lalu Lintas Pengangkutan Batubara di Simpang *Hammer 73 Highwall Pt. Adaro Indonesia* di Tabalong, Provinsi Kalimantan Selatan

Dimas Alfariz *, Iswandaru, Sriyanti

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

*dimasalfariz26@gmail.com, iswandaru@unisba.ac.id, sriyanti.tambang@yahoo.com

Abstract. PT Adaro Indonesia is a coal mining company in Tabalong Regency, South Kalimantan. One of the critical transportation points is at the Hammer 73 Highwall intersection, where the SST 74 Quadaxle and HD785 trailers meet, which causes traffic imbalance, increases waiting time, and reduces productivity. This study aims to analyze the coal transportation traffic system, identify obstacles, and evaluate the implementation of Time Slot Management (TSM) as a solution for managing operational schedules. The method used is a quantitative approach through collecting primary data such as circulation time, waiting time, and operational obstacles in the field, then analyzed using TSM simulation. The results show that the implementation of TSM is able to reduce circulation time from 249.54 minutes to 236.40 minutes/cycle and increase trailer productivity from 30.96 to 33.59 tons/hour/tool. Thus, TSM effectively reduces overlapping transportation movements and improves operational efficiency.

Keywords: *Transportation, Productivity, Time Slot Management.*

Abstrak. PT Adaro Indonesia merupakan perusahaan tambang batubara di Kabupaten Tabalong, Kalimantan Selatan. Salah satu titik kritis pengangkutan terdapat di Simpang Hammer 73 Highwall, pertemuan antara trailer SST 74 Quadaxle dan HD785, yang menimbulkan ketidakseimbangan lalu lintas, meningkatkan waktu tunggu, serta menurunkan produktivitas. Penelitian ini bertujuan menganalisis sistem lalu lintas pengangkutan batubara, mengidentifikasi hambatan, dan mengevaluasi penerapan *Time Slot Management* (TSM) sebagai solusi pengaturan jadwal operasional. Metode yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif melalui pengumpulan data primer seperti waktu edar, waktu tunggu, dan hambatan operasional di lapangan, kemudian dianalisis menggunakan simulasi TSM. Hasil menunjukkan penerapan TSM mampu menurunkan waktu edar dari 249,54 menit menjadi 236,40 menit/siklus serta meningkatkan produktivitas trailer dari 30,96 menjadi 33,59 ton/jam/alat. Dengan demikian, TSM efektif mengurangi tumpang tindih pergerakan alat angkut dan meningkatkan efisiensi operasional.

Kata Kunci: *Pengangkutan, Produktivitas, Time Slot Management.*

A. Pendahuluan

Pengangkutan batubara yang efisien menjadi kunci keberhasilan operasional pertambangan. Di PT Adaro Indonesia, Simpang Hammer 73 menjadi lokasi kritis karena digunakan bersama oleh trailer double SST 74 Quadaxle dan HD785. Ketidakseimbangan arus lalu lintas yang terjadi, di mana trailer sering kali harus menunggu HD785 melintas tanpa sistem pengaturan yang jelas, menyebabkan peningkatan waktu tunggu hingga rata-rata 28,10 menit per siklus dan berdampak langsung pada menurunnya produktivitas serta meningkatnya waktu edar alat angkut double trailer, yang pada akhirnya berpengaruh pada peningkatan produktivitasnya. (Nadi et al., 2022) memperluas konsep ini melalui penerapan di mana menyimpulkan bahwa sistem ini mampu “understand, predict, and control logistics and traffic interactions in the port hinterland ecosystem”. Model ini menggunakan data historis untuk memprediksi kondisi traffic dan memberi rekomendasi slot waktu secara real-time, sehingga dapat mengurangi waktu tunggu dan memaksimalkan efisiensi pergerakan unit angkut. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menganalisis dan mensimulasikan sistem *Time Slot Management*(TSM) guna mengurangi hambatan dan meningkatkan produktivitas trailer di jalur pengangkutan tersebut.

Permasalahan utama dalam penelitian ini dari kondisi lalu lintas pengangkutan batubara di Simpang Hammer 73 yang melibatkan trailer dan HD785 secara bersamaan tanpa sistem pengaturan yang jelas. Hal ini menimbulkan ketidakseimbangan operasional yang ditandai dengan tingginya waktu tunggu trailer akibat dominasi HD785 dalam lintasan. Hambatan-hambatan tersebut berdampak langsung terhadap meningkatnya waktu edar dan menurunnya produktivitas trailer.

Terdapat adanya perhitungan didasarkan pada rumus yang merupakan adaptasi dari prinsip *clearing time*, yang menjelaskan bahwa total keterlambatan pada titik tumpang tindih dipengaruhi oleh waktu pelepasan kendaraan secara berurutan serta jumlah kendaraan yang membentuk antrean, sebagaimana dijelaskan dalam teori *queue clearance* oleh (Rouphail et al., 2001). Oleh karena itu, pertanyaan utama yang ingin dijawab melalui penelitian ini adalah bagaimana kondisi aktual lalu lintas alat angkut di lokasi tersebut, apa saja jenis dan durasi hambatan yang mempengaruhi waktu edar trailer, bagaimana sistem *Time Slot Management* dapat disimulasikan untuk mengatur pergerakan trailer secara lebih efisien, serta sejauh mana pengaruh penerapannya terhadap peningkatan efisiensi kerja dan produktivitas trailer (Nabilla Amellia Putri et al., 2025) Berikut uraian tujuan berdasarkan latar belakang, antara lain:

1. Menganalisis kondisi lalu lintas dan hambatan trailer.
2. Mengidentifikasi ketidakseimbangan operasional antar alat angkut.
3. Mensimulasikan penerapan TSM untuk penjadwalan operasional trailer.
4. Mengevaluasi dampak TSM terhadap waktu edar dan produktivitas trailer.

B. Metode

Proses pengambilan data dapat dilakukan dengan berbagai metode, diantaranya observasi lapangan, wawancara dengan staf perusahaan, dan studi literatur. Data yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder, yaitu sebagai berikut:

1. Data primer yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari waktu kerja, waktu hambatan, waktu edar alat angkut, dan traffic alat angkut.
2. Data sekunder yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari kondisi iklim/cuaca, spesifikasi alat mekanis, peta administrasi, topografi lokal, daerah penelitian, peta topografi, dan Lembar geologi Amuntai dan Banjarmasin.

Data diolah dengan menghitung jumlah lalu lintas alat angkut HD785 dan double trailer yang melintasi Simpang Hammer 73. Analisis dilakukan dengan menggabungkan teori dari studi literatur dan data lapangan, mencakup variabel seperti waktu kerja efektif, waktu hambatan, cycle time, dan jumlah unit yang melintas. Perhitungan menggunakan rumus teknis seperti efisiensi kerja, produktivitas, dan waktu edar. Data dibandingkan sebelum dan sesudah penerapan *Time Slot Management* (TSM) untuk menilai dampaknya terhadap hambatan, efisiensi, dan produktivitas. Hasilnya menjadi dasar penyusunan rekomendasi operasional yang lebih optimal. Selain analisis kuantitatif, penelitian ini juga membuka peluang untuk menggunakan covariance structure analysis (SaThierbach et al., 2015) hal ini guna mengevaluasi persepsi operator terkait beban kerja, rasa aman, dan kepuasan terhadap penerapan *Time Slot Management*, sehingga memberikan pemahaman lebih

mendalam tentang faktor manusia dalam keberhasilan implementasi sistem.

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Waktu Edar Alat Angkut

Waktu edar dihitung sebagai durasi satu siklus penuh, dari kondisi kosong hingga proses dumping, dengan rata-rata sebesar 249,54 menit. Rinciannya meliputi manuver kosong (8 menit), pengisian muatan (13 menit), manuver bermuatan (8 menit), dan dumping (10 menit). Meskipun tiap aktivitas berlangsung singkat, akumulasi waktunya berdampak signifikan terhadap durasi total siklus. Selain itu, desain geometri jalan angkut memiliki peran penting dalam menentukan lama siklus dan kelancaran pergerakan alat angkut. Penyesuaian terhadap lebar jalan, kemiringan, serta kualitas permukaan dapat mengurangi hambatan dan mempercepat waktu siklus. Hal ini sejalan dengan temuan (Halawa, 2014) pada studi pengupasan overburden di tambang batubara, serta mendukung pedoman yang diuraikan oleh (Roger J. et al., 2019).

Waktu Kerja Efektif Alat Angkut Double trailer

Waktu kerja harian selama kegiatan pengamatan di PT Adaro Indonesia yang ditetapkan adalah selama 11 jam. Dari total waktu tersebut, 1 jam diperuntukkan khusus untuk istirahat, sehingga waktu efektif yang dapat digunakan untuk menjalankan aktivitas produksi adalah selama 10 jam per hari. Hal ini sehingga waktu kerja efektif dapat diperoleh dengan menghitung selisih antara waktu produktif dan waktu hambatan yang terjadi selama operasi.

Adapun perhitungannya dapat dijabarkan sebagai berikut:

Diketahui :

W_p (waktu produktif) = 600 menit

W_h (waktu hambatan) = 30,19 menit

$W_e = W_p - W_h$

= 600 menit – 30,19 menit = 569,81 menit.

Efisiensi Kerja

Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar tingkat efektivitas penggunaan alat angkut dalam mendukung kegiatan operasional, serta untuk mengidentifikasi potensi perbaikan yang dapat meningkatkan produktivitas secara keseluruhan.

Diketahui :

W_e (waktu efektif) = 569,81 menit = 9,49 jam

W_p (waktu produktif) = 600 menit = 10 jam

$Em = \frac{W_e}{W_p} \times 100\%$

$Em = \frac{9,49 \text{ jam}}{10 \text{ jam}} \times 100\%$

$Em = 94,97\%$.

Produktivitas Alat Angkut Double trailer

Berdasarkan data yang dikumpulkan, dilakukan pengolahan untuk mengetahui produktivitas alat angkut double trailer selama operasional berlangsung.

Diketahui:

Cycle time (Cm) = 249,54 menit

Efisiensi Kerja (%) = 94,97 %

Kapasitas (ton) = 135,81 ton

$Pa_1 = \frac{60 \times \text{Efisiensi Kerja} \times \text{Kapasitas}}{Cm}$

$Pa_1 = \frac{60 \times 94,97\% \times 135,81 \text{ ton}}{249,54 \text{ menit}}$

$Pa_1 = 30,96 \text{ ton/jam/alat}$

Time Slot Management (TSM)

Langkah awal untuk mensimulasikan TSM ini yaitu menghitung Traffic kedua alat angkut tersebut

yang dimana untuk menunjukkan momen dominasi masing-masing alat angkut. Titik-titik rawan yang berpotensi menyebabkan antrean dan perlambatan operasional dapat dikenali secara visual menjadi dasar penyusunan rekomendasi TSM tersebut yang memuat rekomendasi pengaturan waktu operasional alat angkut berbasis pendekatan TSM. Waktu dominasi trailer seperti jam 07.00–09.30 WITA diperuntukkan khusus untuk trailer, sedangkan waktu dominasi HD785 seperti jam 09.31–11.30 WITA disediakan bagi HD785. Pembagian waktu ini disusun untuk menciptakan lalu lintas yang lebih teratur, bergiliran, dan minim tumpang tindihaktivitas antar alat angkut.

Waktu (WITA)	Alokasi	Keterangan
07:00–09:30	Trailer	Pada slot ini trailer diprioritaskan untuk melintas, sedangkan <i>hauldumptruck</i> (HDT) diarahkan untuk menyesuaikan agar tidak mengganggu kelancaran trailer.
09:30–11:30	HDT	Trailer dibatasi pergerakannya, hanya lewat jika lalu lintas HDT longgar.
11:30–12:00	Campuran	Trailer dan HDT bergantian tiap 5–10 menit, diawasi petugas simpang.
12:00–13:00	Istirahat	Semua alat off untuk istirahat.
13:00–14:30	Trailer	Trailer diberikan prioritas penuh untuk melintas, sementara HDT disesuaikan agar tidak mengganggu kelancaran trailer.
14:30–16:00	Campuran	HDT melintas lebih dominan, namun trailer tetap difasilitasi untuk melintas secara terbatas setiap 10 menit.
16:00–17:30	HDT	Trailer diberi jeda operasional, HDT memiliki prioritas penuh.
17:30–18:00	Campuran / Netral	Volume rendah, lalu lintas dikendalikan oleh pengawas sesuai kondisi lapangan.

Tabel 1. Time Slot Management (TSM)

Evaluasi Kinerja Operasional Trailer Setelah Implementasi *Time Slot Management*

Penerapan sistem Time Slot Management (TSM) pada jalur pengangkutan batubara Simpang Hammer 73 Highwall. Evaluasi dilakukan berdasarkan hasil pengukuran kinerja operasional trailer setelah implementasi TSM, meliputi perubahan waktu siklus (*cycle time*), besarnya hambatan operasional, tingkat efisiensi kerja, serta capaian produktivitas alat angkut. Evaluasi ini untuk menilai efektivitas penerapan TSM dalam mengurangi waktu tunggu operasional serta meningkatkan kelancaran dan efektivitas proses pengangkutan batubara.

Cycle time Setelah Perbaikan

Dari hasil pengamatan lapangan selama 30 hari, diperoleh rata-rata *Cycle time* baru sebesar 236,40 menit, menurun dari nilai sebelumnya yaitu 249,54 menit. Penurunan ini menunjukkan bahwa upaya penjadwalan waktu melalui TSM efektif dalam mengurangi durasi siklus kerja, khususnya dengan menghilangkan tumpang tindih lalu lintas di simpang jalan. Pengurangan waktu tersebut dihitung berdasarkan selisih antara *Cycle time* aktual dengan waktu tunggu terhadap HD785 yang berhasil dieliminasi.

Waktu Hambatan Setelah Perbaikan

Nilai ini dihitung menggunakan prinsip clearing time berdasarkan teori queue clearance (Akçelik & Rouphail, 1994), yang mempertimbangkan pelepasan kendaraan dan jumlah antrean pada titik tumpang tindih.

Diketahui:

Panjang simpang : 100 meter

Kecepatan alat: Trailer = 4,7 m/s dan HD785 = 5,8 m/s

Tumpang tindih: 43 slot

$$\text{Rata-rata waktu lintas} = \frac{\text{Panjang Simpang}}{\text{Kecepatan kedua alat}} = \frac{100 \text{ m}}{\frac{4,7 \text{ m/s} + 5,8 \text{ m/s}}{2}} = 19,04 \text{ s}$$

Rumus : $d_{\text{clearing}} = t_c \times N$

Waktu tunggu HD785 = Rata-rata waktu lintas x Tumpang tindih
 = 19,04 s x 43 slot = 819,04 s = 13,65 menit.

Produktivitas Alat Angkut Double Trailer Setelah Perbaikan

Melalui penerapan sistem Time Slot Management, waktu tunggu terhadap HD785 di Simpang Hammer berhasil di minimkan. Hal ini berdampak pada peningkatan dproduktivitas dan efisiensi kerja serta penurunan cycletime.

Tabel 2. Produktivitas Alat Angkut

<i>Cycle time</i> (menit) Setelah Perbaikan	Efisiensi Kerja (%) (Setelah Perbaikan)	Produktivitas (ton/jam/alat) Setelah Perbaikan
236.40	97.38%	33,59

Analisis dan Pembahasan

Sistem Lalu Lintas dan Hambatan Trailer di Simpang Hammer 73

Sistem lalu lintas pengangkutan batubara di area Simpang Hammer 73 Highwall memiliki kompleksitas tinggi karena melibatkan dua jenis alat angkut utama, yaitu trailer dan HD785. Kedua alat ini memiliki karakteristik operasional yang berbeda: HD785 bergerak lebih cepat dan berjumlah lebih banyak, sementara trailer membawa beban berat namun dengan kecepatan yang lebih lambat. Dalam kondisi eksisting, HD785 secara tidak langsung mendapatkan prioritas melintas di simpang sepanjang 100 meter yang terdiri atas sisi kanan dan kiri masing-masing 50 meter. Dengan kecepatan HD785 sebesar 5,8 m/s dan trailer 4,7 m/s, waktu melintasi simpang memang singkat, namun tetap menyimpan risiko tinggi apabila kedua alat masuk bersamaan. Ketidakteraturan pergerakan ini menyebabkan trailer sering kali harus menunggu giliran, terutama pada jam-jam sibuk. Berdasarkan pencatatan lalu lintas tiap 10 menit, pertemuan antara HD785 dan trailer paling sering terjadi pada waktu-waktu tertentu, dan kondisi tersebut berkontribusi pada rata-rata waktu tunggu trailer sebesar 28,10 menit per siklus. Selain itu, kegiatan road maintenance seperti penyiraman atau perataan jalan juga menambah waktu hambatan sebesar 2,09 menit per siklus, sehingga total waktu hambatan trailer mencapai 30,19 menit. Dampak langsungnya adalah *cycle time* trailer meningkat menjadi 249,54 menit per siklus, yang kemudian menurunkan jumlah ritase harian dan efisiensi kerja alat secara keseluruhan.

Ketidakseimbangan Operasional Trailer dan HD785

Ketidakseimbangan operasional antara trailer dan HD785 menjadi akar dari terganggunya distribusi di simpang. Berdasarkan analisis slot waktu operasional, tercatat ada 43 slot per hari di mana pergerakan trailer dan HD785 saling tumpang tindih (ketidakteraturan), terutama pada periode padat meskipun pada jam 09.30–11.30 WITA dan 16.00–17.30 WITA (Tabel 1.). HD785 yang jumlahnya lebih banyak secara otomatis lebih mendominasi lintasan.

Tumpang tindih (ketidakteraturan) Ketidakteraturan ini menyebabkan antrean panjang trailer di area simpang, terutama karena trailer tidak dapat bergerak dengan fleksibel saat harus menanjak sambil membawa beban berat. Hal ini berdampak langsung pada menurunnya waktu kerja efektif trailer, karena sebagian besar waktu dihabiskan untuk menunggu tanpa aktivitas produktif. Jika kondisi ini terus dibiarkan, maka ketidakseimbangan antar alat akan terus memperlambat sistem distribusi, memperbesar risiko kecelakaan, dan menurunkan pencapaian produksi. Maka, dibutuhkan sistem pengaturan lintasan yang tidak hanya teknis, tapi juga mempertimbangkan ritme operasional tiap alat secara adil dan fleksibel.

Implementasi Time Slot Management sebagai Solusi

Ketidakteraturan operasional di lapangan ini, dapat diterapkan dengan menggunakan sistem *Time Slot Management* (TSM) sebagai pendekatan solusi penjadwalan lalu lintas yang disesuaikan dengan kondisi dinamis di lapangan (Ozdemir, 2019). TSM membagi waktu operasional harian menjadi beberapa slot dominasi alat, berdasarkan data pencatatan lalu lintas per 10 menit yang memberikan gambaran rinci mengenai kepadatan dan pola pergerakan alat. (Ramadhan & Wasesa, 2020) Mengembangkan sistem *Agent-Based Truck Appointment System* yang memungkinkan operator truk untuk bernegosiasi dan mengatur ulang waktu kedatangan berdasarkan estimasi waktu tunggu

Slot eksklusif diberikan kepada trailer pada jam 07.00–09.30 WITA dan 13.00–14.30 WITA, mengingat pada jam tersebut lalu lintas HD785 relatif menurun. Pengaturan ini memberi ruang gerak yang stabil bagi trailer yang membawa beban besar dan sering kali harus melintasi jalur menanjak. Sebaliknya, slot prioritas untuk HD785 ditetapkan pada jam 09.30–11.30 WITA dan 16.00–17.30 WITA, saat pergerakan HD785 memuncak. Pada waktu-waktu campuran seperti 11.30–12.00 WITA dan 14.30–16.00 WITA, kedua alat melintas bergantian, dengan kontrol langsung dari petugas simpang. Khusus pada jam 14.30–16.00, meskipun HD785 lebih dominan, trailer tetap diberi kesempatan melintas setiap 10 menit untuk menjaga keseimbangan. Jam istirahat jam 12.00–13.00 WITA ditetapkan sebagai waktu non-operasional bagi semua alat, sedangkan jam 17.30–18.00 WITA bersifat fleksibel, tergantung kondisi lalu lintas. Untuk mendukung sistem ini, dipasang videotron sekitar 100 meter sebelum titik simpang, yang menampilkan informasi giliran lintasan secara real-time, sehingga operator dapat menyesuaikan kecepatan dan waktu masuk ke simpang dengan lebih aman dan efisien. Implementasi TSM terbukti mampu menekan waktu tunggu trailer dari 28,10 menit menjadi hanya 13,65 menit, sekaligus menurunkan *cycle time* dan memperlancar distribusi lalu lintas pengangkutan batubara. Dengan sistem ini, lintasan menjadi lebih tertib, risiko tumpang tindih lintas berkurang, dan operasional alat angkut menjadi lebih efisien secara keseluruhan.

Waktu Edar Alat Angkut

Waktu edar merupakan salah satu indikator penting dalam menilai efisiensi operasional trailer, karena menunjukkan berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu siklus penuh pengangkutan. Dari hasil pengamatan selama 30 hari, diketahui bahwa rata-rata *cycle time* sebelum penerapan TSM adalah 249,54 menit per siklus. Setelah sistem *Time Slot Management* diterapkan, nilai tersebut berhasil ditekan menjadi 236,40 menit per siklus.

Sebelumnya, trailer sering menemui antrean karena harus menunggu HD785 yang lebih diprioritaskan di simpang jalan sepanjang 100 meter. Melalui penerapan TSM, pergerakan trailer diatur agar tidak berbenturan langsung dengan HD785. Adapun hasilnya waktu tunggu dapat ditekan hingga menurun. Trailer kini bisa bergerak lebih leluasa dan stabil tanpa hambatan yang berarti. Dampaknya tidak hanya terasa pada durasi satu siklus saja, tetapi juga pada jumlah ritase yang bisa dicapai dalam satu shift kerja. Semakin pendek waktu edar, semakin banyak perjalanan yang bisa diselesaikan dalam sehari. Hal ini tentu memberikan efek signifikan terhadap produktivitas dan pencapaian peningkatan pengangkutan batubara.

Waktu Hambatan

Hambatan utama operasional trailer di Simpang Hammer 73 adalah waktu tunggu terhadap HD785, yang sebelumnya mencapai 28,10 menit per siklus, ditambah 2,09 menit akibat aktivitas perbaikan jalan (Roger J. et al., 2019), sehingga total hambatan mencapai 30,19 menit. Hal ini menurunkan efisiensi kerja trailer menjadi 94,97% (waktu efektif 569,81 dari 600 menit kerja). Penerapan sistem *Time Slot Management* (TSM) yang mengatur giliran lintasan antara trailer dan HD785 berhasil menurunkan hambatan menjadi 15,73 menit per siklus. Efisiensi kerja meningkat menjadi 97,38% (waktu efektif 584,26 menit), (Abolghasemian et al., 2020) menunjukkan bahwa TSM mampu mengurangi waktu idle dan meningkatkan stabilitas operasional trailer secara signifikan. Hal ini juga dapat mengurangi konsumsi bahan bakar alat angkut tersebut (Kecojevic & Komljenovic, 2011).

Produktivitas Alat Angkut

Peningkatan produktivitas merupakan hasil akhir yang mencerminkan keberhasilan pengangkutan batubara secara keseluruhan. Setelah diterapkannya sistem *Time Slot Management* (TSM), produktivitas alat angkut trailer mengalami peningkatan yang cukup signifikan. Sebelum TSM diterapkan, produktivitas trailer tercatat sebesar 30,96 ton/jam/alat. Setelah perbaikan dilakukan, angka (Tabel 4.3) tersebut meningkat menjadi 33,59 ton/jam/alat dan ini berarti terdapat peningkatan produktivitas sebesar 2,63 ton/jam/alat, yang menunjukkan bahwa trailer mampu mengangkut lebih banyak muatan dalam waktu yang sama.

Peningkatan ini tidak terjadi secara tiba-tiba, melainkan merupakan hasil langsung dari perbaikan *cycle time* dan efisiensi kerja yang sebelumnya terganggu oleh hambatan dominan, yaitu waktu tunggu terhadap HD785. Melalui sistem TSM, pergerakan trailer dijadwalkan secara khusus

agar tidak tumpang tindih dengan HD785, memungkinkan trailer bergerak lebih lancar dan minim jeda. Penurunan *cycle time* membuat trailer bisa menyelesaikan lebih banyak ritase per shift, sementara peningkatan efisiensi memungkinkan waktu kerja dimanfaatkan secara lebih optimal. Secara keseluruhan, TSM tidak hanya menyelesaikan masalah ketidakseimbangan lalu lintas di simpang, tetapi juga memberikan dampak nyata terhadap peningkatan produktivitas dan efektivitas operasional di lapangan. Hal ini menjadi bukti bahwa pengelolaan waktu yang tepat dapat memberikan hasil yang terukur terhadap performa alat angkut dan pencapaian peningkatan produksi harian.

D. Kesimpulan

Adapun kesimpulannya pada pembahasan kali ini yaitu sebagai berikut:

Sistem lalu lintas di Simpang Hammer 73 sangat kompleks akibat perbedaan karakteristik trailer dan HD785. Ketidakteraturan pergerakan menyebabkan trailer sering menunggu hingga rata-rata 30,19 menit per siklus, yang berdampak pada peningkatan *cycle time* dan penurunan efisiensi distribusi. Ketidakseimbangan Operasional perbedaan jumlah dan kecepatan antara trailer dan HD785 menyebabkan ketidakseimbangan operasional. HD785 mendominasi lintasan sehingga trailer terhambat, memperlambat distribusi pengangkutan batubara dan pengangkutan overburden (OB), meningkatkan risiko kecelakaan, dan menurunkan produksi.

Penerapan *Time Slot Management* (TSM) diterapkan dengan membagi waktu operasional menjadi slot prioritas bagi trailer dan HD785. Sistem ini berhasil menekan waktu tunggu trailer dari 28,10 menit menjadi 13,65 menit per siklus, memperlancar distribusi, dan meningkatkan keteraturan lalu lintas. Dampak TSM terhadap Kinerja Trailer TSM meningkatkan *cycle time* trailer dari 249,54 menjadi 236,40 menit per siklus, efisiensi kerja dari 91,26% menjadi 97,38%, dan produktivitas dari 30,96 ton/jam/alat menjadi 33,59 ton/jam/alat. Penerapan *Time Slot Management* (TSM) tidak hanya meningkatkan kinerja operasional, tetapi juga memperkuat kontribusi sektor pertambangan terhadap perekonomian nasional, sebagaimana ditegaskan dalam *Mining Contribution Index* (International Council on Mining & Metals, 2020).

Ucapan Terimakasih

Berisi ucapan terima kasih kepada pihak-pihak terkait yang membantu penelitian, atau dari pihak yang memberikan hibah atau dana untuk kegiatan riset.

1. Orang tua yaitu mamah Atilah dan Bapak Sukir Terimakasih yang selalu mendukung dan mendoakan penulis serta memberikan motivasi dalam menyelesaikan proses skripsi ini
2. Kakak penyusun, yaitu Riska Sriyeni terimakasih telah memberikan dukungan, memotivasikan adiknya hingga selesai proses skripsi
3. Amanda Lestari, terimakasih sudah memberikan semangat dan dukungannya selama proses skripsi ini hingga selesai
4. Pembimbing dan Co-Pembimbing, Bapak Iswandaru, S.T., M.T. dan Ibu Sriyanti, S.T., M.T., Terimakasih sudah memberikan bimbingan dan arahan dalam menyusun skripsi
5. Tambang Unisba angkatan 2021, terimakasih sudah membantu dengan berdiskusi dan memberikan semangat.

Daftar Pustaka

- Abolghasemian, M., Kanafi, A. G., & Daneshmandmehr, M. (2020). A two-phase simulation-based optimization of hauling system in open-pit mine. *Iranian Journal of Management Studies*, 13(4), 705–732. <https://doi.org/10.22059/IJMS.2020.294809.673898>
- Falah, A. F., Yuliadi, N., & Fauzi, I. (2025). *Penentuan Zona Aquifer di Quarry Trass PT XYZ*. <https://journal.sbpublisher.com/index.php/minetech>

- Halawa. (2014). Analisa Geometri Jalan Angkut Guna Meningkatkan Cycletime Dan Produktivitas Alat Angkut Pada Kegiatan Pengupasan Overburden Dari Front Pengupasan Ke Disposal Area Pada Kegiatan Penambangan Batubara. *Jurnal Sains Dan Teknologi ISTP*, 16(1), 90–103. <https://doi.org/10.59637/jsti.v16i1.113>
- Kecojevic, V., & Komljenovic, D. (2011). Impact of bulldozer's engine load factor on fuel consumption, CO 2 emission and cost. *American Journal of Environmental Sciences*, 7(2), 125–131. <https://doi.org/10.3844/ajessp.2011.125.131>
- Muhamad Rizal Kautsar, Sriyanti, & Elfida Moralista. (2025). Monitoring Temperature Batubara untuk Prediksi Swabakar pada Stockpile Inpit TAL RL Utara. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 21–28. <https://doi.org/10.29313/jrtp.v5i1.6606>
- Nabilla Amellia Putri, Iswandaru, & Elfida Moralista. (2025). Pengaruh Geometri Jalan terhadap Konsumsi Bahan Bakar Alat Angkut pada Penambangan Batubara. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 1–10. <https://doi.org/10.29313/jrtp.v5i1.6470>
- Nadi, A., Nugteren, A., Snelder, M., Lint, J. W. C. V., & Rezaei, J. (2022). Advisory-Based Time Slot Management System to Mitigate Waiting Time at Container Terminal Gates. *Transportation Research Record*, 2676(10), 656–669. <https://doi.org/10.1177/03611981221090940>
- Ozdemir, B. (2019). *Improving Efficiency of Truck-Shovel Materials Handling Systems in Surface Mining through Simulation and Optimization Tools*.
- Ramadhan, F. I., & Wasesa, M. (2020). Agent-based Truck Appointment System for Containers Pick-up Time Negotiation. *IJCCS (Indonesian Journal of Computing and Cybernetics Systems)*, 14(1), 81. <https://doi.org/10.22146/ijccs.51274>
- Roger J., T., Rodrigo, P., & Alex T., V. (2019). Mining Haul Roads. In *Mining Haul Roads*. <https://doi.org/10.1201/9780429491474>
- Rouphail, N., Tarko, A., & Jing, L. (2001). Akçelik, R. (2012). *Traffic-Flow Theory*, 9-1-9–28.
- SaThierbach, K., Petrovic, S., Schilbach, S., Mayo, D. J., Perriches, T., Rundlet, E. J. E. J. E. J., Jeon, Y. E., Collins, L. N. L. N., Huber, F. M. F. M., Lin, D. D. H. D. H., Paduch, M., Koide, A., Lu, V. T., Fischer, J., Hurt, E., Koide, S., Kossiakoff, A. A., Hoelz, A., Hawryluk-gara, L. A., ... Hoelz, A. (2015). No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における 健康関連指標に関する共分散構造分析Title. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 3(1), 1–15.