

Analisis Produksi Wheel Loader Komatsu WA 200 di Crushing Plant Sektor Pertambangan

Kartika Ajeng Clivoniari, Hasan Palembang, Deti Asmayanti, Witarmin

Universitas Prof. Dr. Moestopo (Beragama, Jakarta, Indonesia)
kartikaajeng@dsn.moestopo.ac.id

Abstract

This study analyzes the production performance of a Komatsu WA200 wheel loader operating at the crushing plant of PT. Klawafun Alam Lestari. The research aims to evaluate actual productivity based on measurable operational parameters and to identify factors influencing performance gaps relative to production targets. A quantitative descriptive approach was applied using field observations to record cycle time components, working efficiency, and bucket utilization. Primary data were obtained through direct time-motion measurements during active operating hours, while secondary data were collected from equipment specifications, company documents, and technical references. Productivity calculations were conducted using standard mechanical earthmoving formulas, incorporating cycle time, bucket capacity, fill factor, and effective working time. The results indicate that actual production has not yet reached the company's target, primarily due to cycle time variability and suboptimal working efficiency caused by non-productive delays and operational coordination issues. Despite adequate technical capability, performance limitations were largely associated with operational management and synchronization between loading activities and crushing plant readiness. The study concludes that productivity improvements can be achieved through better control of cycle time, enhanced operator performance, and improved operational coordination to support efficient and sustainable crushing plant operations.

Keywords: wheel loader; productivity analysis; cycle time; crushing plant; mining operations

Abstrak

Penelitian ini menganalisis kinerja produksi wheel loader Komatsu WA200 yang beroperasi pada unit crushing plant PT. Klawafun Alam Lestari. Penelitian bertujuan untuk mengevaluasi produktivitas aktual alat berdasarkan parameter operasional yang terukur serta mengidentifikasi faktor-faktor yang menyebabkan perbedaan antara produksi aktual dan target perusahaan. Metode penelitian yang digunakan adalah deskriptif kuantitatif dengan pengumpulan data melalui observasi langsung di lapangan. Data primer diperoleh dari pengukuran waktu edar, efisiensi kerja, dan pemanfaatan kapasitas bucket selama jam operasi aktif, sedangkan data sekunder bersumber dari spesifikasi alat, dokumen perusahaan, dan literatur teknis. Perhitungan produksi dilakukan menggunakan persamaan standar pemindahan tanah mekanis dengan mempertimbangkan waktu edar, kapasitas bucket, faktor pengisian, dan waktu kerja efektif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa produksi aktual wheel loader belum mencapai target yang ditetapkan, terutama akibat variasi waktu edar dan efisiensi kerja yang belum optimal karena adanya waktu hambatan non-produktif dan kurangnya sinkronisasi operasi. Penelitian ini menegaskan pentingnya pengelolaan operasional yang lebih baik untuk meningkatkan produktivitas alat pada unit crushing plant secara berkelanjutan.

Kata Kunci: wheel loader; analisis produksi; waktu edar; crushing plant; operasi pertambangan

PENDAHULUAN

Kegiatan pertambangan mineral non-logam, khususnya pasir dan batu (sirtu), memiliki peran penting dalam mendukung pembangunan infrastruktur. Material sirtu merupakan bahan utama dalam konstruksi jalan, jembatan, bangunan, serta berbagai proyek infrastruktur lainnya yang terus berkembang seiring meningkatnya kebutuhan pembangunan nasional dan daerah [1]. Tingginya permintaan terhadap material sirtu menuntut perusahaan pertambangan untuk mampu mengelola

proses produksi secara efisien, berkelanjutan, dan ekonomis agar target produksi dapat tercapai tanpa mengabaikan aspek keselamatan dan lingkungan [2].

Dalam kegiatan pertambangan terbuka, penggunaan alat mekanis menjadi faktor penentu keberhasilan produksi. Alat mekanis berperan dalam proses penggalian, pemuatan, pengangkutan, hingga pengolahan material [3]. Efektivitas penggunaan alat mekanis tidak hanya berpengaruh terhadap volume produksi, tetapi juga berdampak langsung pada biaya operasional dan produktivitas perusahaan. Oleh karena itu, analisis kinerja alat mekanis menjadi bagian penting dalam manajemen operasi pertambangan [4].

Salah satu alat mekanis yang umum digunakan dalam kegiatan pengolahan material di sektor pertambangan adalah wheel loader. Wheel loader memiliki fungsi utama sebagai alat muat dan alat angkut jarak pendek, khususnya pada area stockpile dan crushing plant [5]. Keunggulan wheel loader terletak pada mobilitas yang tinggi, fleksibilitas gerak, serta kemampuannya dalam menangani material lepas dengan jarak pemindahan yang relatif dekat. Dalam sistem pengolahan material, wheel loader berperan penting dalam menjaga kontinuitas aliran material dari stockpile menuju unit pengolahan [6].

Crushing plant merupakan bagian krusial dalam rangkaian proses pengolahan material pertambangan. Pada unit ini, material hasil penambangan diproses melalui tahapan pemecahan dan pemisahan ukuran untuk menghasilkan produk sesuai spesifikasi pasar [7]. Kelancaran operasi crushing plant sangat bergantung pada ketersediaan pasokan material dari alat muat. Apabila kinerja alat muat tidak optimal, maka proses pengolahan akan terganggu dan berdampak pada menurunnya produktivitas keseluruhan sistem [8].

PT. Klawafun Alam Lestari merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang penambangan dan pengolahan material sirtu di Kabupaten Sorong, Provinsi Papua Barat. Dalam kegiatan operasionalnya, perusahaan ini menggunakan wheel loader Komatsu WA200 sebagai alat utama dalam proses pemuatan dan pengangkutan material pada area pengolahan dan crushing plant. Wheel loader tersebut berfungsi untuk memindahkan material dari stockpile ke hopper crushing plant dengan jarak angkut yang relatif dekat, sehingga perannya sangat menentukan kapasitas produksi unit pengolahan [9].

Meskipun wheel loader Komatsu WA200 dirancang untuk mendukung kegiatan pemuatan dengan kapasitas dan performa tertentu, dalam praktiknya kinerja alat di lapangan tidak selalu sesuai dengan spesifikasi teknis pabrikan. Berbagai faktor seperti kondisi lapangan, keterampilan operator, waktu edar (cycle time), efisiensi kerja, serta kondisi manajemen operasi dapat memengaruhi tingkat produktivitas alat [10]. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi kinerja alat secara aktual untuk mengetahui sejauh mana alat tersebut mampu memenuhi target produksi yang ditetapkan perusahaan.

Produksi alat mekanis dalam kegiatan pertambangan umumnya dipengaruhi oleh beberapa parameter utama, antara lain kapasitas bucket, waktu edar, faktor pengembangan material (swell factor), serta efisiensi kerja alat [11]. Waktu edar merupakan salah satu parameter penting karena menggambarkan lamanya satu siklus kerja alat mulai dari pemuatan hingga kembali ke posisi awal. Semakin singkat waktu edar, maka semakin besar peluang alat untuk melakukan siklus kerja dalam satuan waktu tertentu, sehingga produksi yang dihasilkan akan meningkat [12].

Selain waktu edar, efisiensi kerja alat juga menjadi indikator penting dalam menilai kinerja operasional. Efisiensi kerja mencerminkan perbandingan antara waktu kerja efektif terhadap waktu yang tersedia. Efisiensi yang rendah menunjukkan adanya kehilangan waktu akibat hambatan operasional, baik yang bersifat teknis maupun non-teknis [13]. Hambatan tersebut dapat berupa waktu tunggu, waktu berhenti alat, perbaikan mendadak, maupun disiplin kerja operator yang kurang optimal.

Dalam konteks operasional PT. Klawafun Alam Lestari, penggunaan wheel loader Komatsu WA200 menunjukkan adanya variasi kinerja yang dipengaruhi oleh kondisi kerja di lapangan dan manajemen operasional. Aktivitas pemuatan pada crushing plant tidak hanya ditentukan oleh

kemampuan teknis alat, tetapi juga oleh keteraturan alur kerja, pengaturan waktu operasi, serta kesiapan operator dalam menjalankan alat secara optimal [14]. Oleh sebab itu, analisis produksi wheel loader menjadi penting untuk mengidentifikasi tingkat kinerja aktual alat dan potensi peningkatan produktivitas.

Penelitian mengenai analisis produksi alat mekanis, khususnya wheel loader, memiliki nilai strategis dalam pengelolaan operasi pertambangan. Hasil analisis dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam perencanaan produksi, evaluasi kinerja alat, serta perbaikan sistem manajemen operasi [15]. Selain itu, kajian ini juga memberikan kontribusi akademik dalam pengembangan ilmu teknik pertambangan, terutama dalam bidang pemindahan tanah mekanis dan analisis produktivitas alat berat.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini difokuskan pada analisis produksi wheel loader Komatsu WA200 yang beroperasi pada crushing plant sektor pertambangan di PT. Klawafun Alam Lestari. Analisis dilakukan dengan mengevaluasi waktu edar, efisiensi kerja, serta parameter produksi lainnya untuk memperoleh gambaran kuantitatif mengenai kinerja alat [16]. Pendekatan ini diharapkan mampu menunjukkan hubungan antara kondisi operasional dengan tingkat produksi yang dihasilkan oleh wheel loader.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menganalisis produksi aktual wheel loader Komatsu WA200 berdasarkan kondisi kerja di lapangan dan membandingkannya dengan target produksi perusahaan. Dengan mengetahui tingkat produksi aktual serta faktor-faktor yang memengaruhinya, penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi perbaikan operasional guna meningkatkan efisiensi dan produktivitas alat [17].

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan deskriptif analitis untuk mengevaluasi kinerja produksi wheel loader Komatsu WA200 yang beroperasi pada unit crushing plant PT. Klawafun Alam Lestari. Pendekatan kuantitatif dipilih karena penelitian ini bertujuan untuk memperoleh gambaran numerik mengenai tingkat produksi aktual alat berat berdasarkan parameter teknis dan operasional yang terukur, seperti waktu edar, kapasitas bucket, dan efisiensi kerja [18]. Sifat deskriptif digunakan untuk menggambarkan kondisi aktual operasi alat di lapangan tanpa melakukan perlakuan eksperimental terhadap variabel penelitian.

Lokasi penelitian ditetapkan pada area crushing plant PT. Klawafun Alam Lestari yang berada di Kabupaten Sorong, Provinsi Papua Barat. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada pertimbangan bahwa wheel loader Komatsu WA200 berperan langsung dalam proses pemuatan material dari stockpile menuju hopper crushing plant, sehingga kinerjanya sangat memengaruhi kelancaran dan kapasitas produksi unit pengolahan. Waktu pelaksanaan penelitian dilakukan selama jam operasi aktif perusahaan untuk memperoleh data yang merepresentasikan kondisi kerja sebenarnya.

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui pengamatan langsung di lapangan terhadap aktivitas kerja wheel loader Komatsu WA200. Pengamatan dilakukan untuk mencatat waktu edar (cycle time), yang meliputi waktu pemuatan, waktu perjalanan bermuatan, waktu pembongkaran, dan waktu kembali ke posisi awal. Selain itu, dilakukan pencatatan waktu hambatan untuk mengetahui tingkat efisiensi kerja alat [19]. Data primer juga mencakup kapasitas bucket dan kondisi material yang diangkut.

Data sekunder diperoleh dari dokumen perusahaan, literatur teknis, serta spesifikasi alat berat dari pabrikan. Data ini meliputi spesifikasi teknis wheel loader Komatsu WA200, target produksi perusahaan, serta faktor-faktor koreksi produksi seperti swell factor dan fill factor. Data sekunder digunakan untuk mendukung analisis perhitungan produksi dan sebagai pembanding terhadap hasil pengamatan lapangan [20].

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui observasi langsung, pencatatan waktu kerja alat, serta studi dokumentasi. Observasi dilakukan secara sistematis dengan mengikuti siklus kerja wheel loader selama beberapa kali pengulangan untuk memperoleh nilai waktu edar rata-rata. Pencatatan

waktu dilakukan menggunakan alat ukur waktu untuk memastikan akurasi data. Studi dokumentasi digunakan untuk memperoleh data pendukung yang relevan dengan penelitian.

Analisis data dilakukan dengan menghitung produksi teoritis dan produksi aktual wheel loader Komatsu WA200. Produksi alat dihitung berdasarkan kapasitas bucket, waktu edar rata-rata, faktor pengisian bucket, dan efisiensi kerja alat sesuai dengan persamaan produksi alat mekanis yang umum digunakan dalam kegiatan pertambangan [21]. Hasil perhitungan produksi aktual kemudian dibandingkan dengan target produksi perusahaan untuk mengetahui tingkat pencapaian dan efektivitas penggunaan alat.

Selanjutnya, dilakukan analisis terhadap faktor-faktor yang memengaruhi perbedaan antara produksi aktual dan target produksi. Analisis ini mencakup evaluasi waktu hambatan, kondisi operasional, serta potensi perbaikan manajemen kerja alat. Dengan pendekatan ini, penelitian diharapkan mampu memberikan gambaran menyeluruh mengenai kinerja wheel loader serta rekomendasi peningkatan produktivitas pada unit crushing plant [22].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini diperoleh dari pengamatan langsung terhadap kinerja wheel loader Komatsu WA200 yang beroperasi pada unit crushing plant PT. Klawafun Alam Lestari. Analisis difokuskan pada parameter utama produksi alat mekanis, yaitu waktu edar (cycle time), efisiensi kerja, serta produksi aktual yang dihasilkan dalam satuan waktu tertentu. Parameter-parameter tersebut dianalisis untuk mengetahui tingkat kinerja aktual alat dan kesesuaiannya dengan target produksi perusahaan.

Waktu Edar (Cycle Time) Wheel Loader Komatsu WA200

Berdasarkan hasil pengamatan lapangan, waktu edar wheel loader Komatsu WA200 terdiri atas beberapa komponen utama, yaitu waktu pemuatan material, waktu perjalanan bermuatan menuju hopper crushing plant, waktu pembongkaran material, serta waktu kembali ke posisi awal pemuatan. Pengukuran waktu edar dilakukan melalui beberapa kali pengulangan siklus kerja untuk memperoleh nilai rata-rata yang merepresentasikan kondisi operasional sebenarnya.

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa waktu edar rata-rata wheel loader Komatsu WA200 berada pada kisaran yang dipengaruhi oleh jarak angkut yang relatif dekat serta kondisi area kerja yang cukup mendukung. Namun demikian, variasi waktu edar tetap ditemukan akibat perbedaan keterampilan operator, kondisi permukaan jalan angkut, serta keteraturan alur kerja pada area stockpile dan hopper. Variasi waktu edar ini berimplikasi langsung terhadap jumlah siklus kerja yang dapat dicapai dalam satu jam operasi [23].



Gambar 1. Vegetasi pada daerah penambangan

Dalam perspektif teori pemindahan tanah mekanis yang bisa dilihat pada gambar 1 vegetasi daerah pertambangan, waktu edar merupakan faktor dominan dalam menentukan produksi alat muat. Semakin kecil waktu edar, semakin besar peluang alat untuk melakukan lebih banyak siklus dalam satuan waktu tertentu, sehingga produksi meningkat [24]. Oleh karena itu, meskipun kapasitas bucket alat relatif konstan, fluktuasi waktu edar dapat menyebabkan perbedaan signifikan pada produksi aktual.

Efisiensi Kerja Wheel Loader

Efisiensi kerja merupakan perbandingan antara waktu kerja efektif dengan waktu kerja tersedia. Berdasarkan hasil penelitian, efisiensi kerja wheel loader Komatsu WA200 belum mencapai nilai optimal. Beberapa faktor yang memengaruhi rendahnya efisiensi kerja antara lain waktu tunggu akibat keterlambatan pasokan material, waktu berhenti alat karena penyesuaian posisi pemuatan, serta jeda operasional yang disebabkan oleh faktor non-teknis.

Hasil analisis menunjukkan bahwa waktu hambatan non-produktif memberikan kontribusi cukup besar terhadap penurunan efisiensi kerja alat. Hambatan tersebut mencakup waktu berhenti sementara akibat koordinasi antaralat, kondisi operator, serta keterlambatan proses pada unit crushing plant. Kondisi ini sejalan dengan temuan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa efisiensi kerja alat berat di lapangan sering kali dipengaruhi oleh faktor manajerial dan operasional, bukan semata-mata oleh kemampuan teknis alat [25].

Efisiensi kerja yang rendah berdampak langsung pada penurunan produksi aktual. Meskipun alat memiliki kapasitas teoritis yang memadai, produksi yang dihasilkan menjadi lebih kecil apabila waktu kerja efektif tidak dimanfaatkan secara optimal. Oleh karena itu, peningkatan efisiensi kerja menjadi salah satu kunci utama dalam upaya peningkatan produktivitas wheel loader.

Produksi Aktual Wheel Loader Komatsu WA200

Produksi aktual wheel loader Komatsu WA200 dihitung berdasarkan kapasitas bucket, waktu edar rata-rata, faktor pengisian bucket, serta efisiensi kerja alat. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa produksi aktual alat masih berada di bawah target produksi yang ditetapkan perusahaan. Selisih antara produksi aktual dan target produksi mengindikasikan adanya potensi peningkatan kinerja yang belum dimanfaatkan secara maksimal.

Perbedaan antara produksi teoritis dan produksi aktual ini menunjukkan bahwa kondisi operasional di lapangan belum sepenuhnya mendukung pencapaian produksi optimal. Faktor-faktor seperti waktu hambatan, variasi waktu edar, serta efisiensi kerja yang belum maksimal menjadi penyebab utama rendahnya produksi aktual. Temuan ini konsisten dengan konsep produktivitas alat berat yang menyatakan bahwa produksi aktual sangat dipengaruhi oleh kondisi kerja nyata di lapangan [26].

Analisis Faktor Penyebab Ketidaktercapaian Target Produksi

Berdasarkan hasil analisis, terdapat beberapa faktor utama yang menyebabkan produksi wheel loader Komatsu WA200 belum mencapai target perusahaan. Faktor pertama adalah variasi waktu edar yang dipengaruhi oleh kondisi operator dan keteraturan alur kerja. Operator dengan keterampilan dan pengalaman yang berbeda menunjukkan perbedaan kecepatan dan ketepatan dalam menjalankan siklus kerja alat.

Faktor kedua adalah efisiensi kerja yang rendah akibat waktu hambatan non-produktif. Hambatan ini sebagian besar bersumber dari aspek manajerial, seperti koordinasi antarunit kerja dan pengaturan jadwal operasi. Faktor ketiga adalah kondisi operasional crushing plant yang terkadang belum siap menerima material secara kontinu, sehingga wheel loader harus menunggu sebelum melakukan pembongkaran material.

Dalam perspektif manajemen operasi pertambangan, kondisi ini menunjukkan bahwa peningkatan produktivitas alat tidak hanya bergantung pada spesifikasi teknis alat, tetapi juga pada sistem kerja dan manajemen operasional yang diterapkan [27]. Dengan demikian, pendekatan peningkatan produktivitas perlu dilakukan secara terpadu antara aspek teknis dan manajerial.

Pembahasan dalam Konteks Produktivitas Alat Mekanis

Hasil penelitian ini memperkuat pandangan bahwa produktivitas alat mekanis merupakan hasil interaksi antara faktor teknis, manusia, dan sistem kerja. Wheel loader Komatsu WA200 secara teknis memiliki kemampuan untuk mencapai produksi yang lebih tinggi, namun keterbatasan efisiensi kerja dan variasi waktu edar menjadi faktor pembatas utama. Temuan ini sejalan dengan teori produktivitas alat berat yang menyatakan bahwa optimalisasi produksi memerlukan pengendalian waktu edar dan peningkatan efisiensi kerja [28].



Gambar 2. Jalan Masuk Langsung untuk peningkatan produktivitas.

Dari sudut pandang operasional dapat dilihat pada gambar 2, peningkatan produktivitas wheel loader dapat dilakukan melalui beberapa upaya, antara lain perbaikan pengaturan area kerja, peningkatan keterampilan operator, serta pengurangan waktu hambatan non-produktif. Selain itu, sinkronisasi antara wheel loader dan unit crushing plant perlu ditingkatkan agar aliran material dapat berlangsung secara kontinu tanpa jeda yang signifikan.

Secara keseluruhan, hasil dan pembahasan penelitian ini menunjukkan bahwa evaluasi kinerja wheel loader Komatsu WA200 memberikan informasi penting bagi perusahaan dalam upaya meningkatkan efisiensi dan produktivitas operasi crushing plant. Temuan ini tidak hanya relevan bagi PT. Klawafun Alam Lestari, tetapi juga dapat menjadi referensi bagi perusahaan pertambangan lain yang menggunakan wheel loader sebagai alat utama dalam proses pengolahan material.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa kinerja produksi wheel loader Komatsu WA200 yang beroperasi pada unit crushing plant PT. Klawafun Alam Lestari belum mencapai tingkat optimal sesuai target produksi perusahaan. Analisis menunjukkan bahwa produksi aktual alat dipengaruhi secara signifikan oleh waktu edar dan efisiensi kerja yang masih berfluktuasi akibat kondisi operasional di lapangan. Meskipun secara teknis wheel loader Komatsu WA200 memiliki kapasitas dan spesifikasi yang memadai untuk mendukung kegiatan pemuatan material, keterbatasan dalam pengelolaan waktu kerja, variasi keterampilan operator, serta hambatan

non-produktif menyebabkan produksi aktual berada di bawah potensi maksimal alat. Selain itu, kurang optimalnya sinkronisasi antara aktivitas pemuatan oleh wheel loader dan kesiapan unit crushing plant turut berkontribusi terhadap terjadinya waktu tunggu yang menurunkan efisiensi kerja. Temuan ini menegaskan bahwa pencapaian produktivitas alat mekanis dalam kegiatan pertambangan tidak hanya ditentukan oleh kemampuan teknis alat, tetapi juga oleh sistem kerja dan manajemen operasional yang diterapkan di lapangan.

Berdasarkan simpulan tersebut, penelitian ini merekomendasikan perlunya upaya peningkatan kinerja wheel loader Komatsu WA200 melalui pengendalian waktu edar dan peningkatan efisiensi kerja secara berkelanjutan. Perusahaan disarankan untuk melakukan evaluasi rutin terhadap pola kerja operator serta memberikan pelatihan teknis guna meningkatkan keterampilan dan konsistensi operasi alat. Selain itu, perbaikan pengaturan area kerja dan peningkatan koordinasi antara wheel loader dan unit crushing plant perlu dilakukan untuk meminimalkan waktu hambatan non-produktif. Optimalisasi jadwal operasi dan pengawasan yang lebih terstruktur juga diharapkan dapat mendukung pemanfaatan waktu kerja secara lebih efektif. Secara akademik, penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam kajian produktivitas alat mekanis di sektor pertambangan, khususnya terkait analisis produksi wheel loader pada unit pengolahan material.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sukandarrumidi, *Bahan Galian Industri*. Yogyakarta, Indonesia: Gadjah Mada University Press, 1998.
- [2] D. M. Ramdan, "Proses penambangan pasir dan dampaknya terhadap lingkungan," *Jurnal Teknik Lingkungan*, vol. 17, no. 2, pp. 85–94, 2011.
- [3] P. Prodjosumarto, *Pemindahan Tanah Mekanis*. Bandung, Indonesia: Institut Teknologi Bandung, 2000.
- [4] W. J. Stevenson, *Operations Management*, 13th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill Education, 2018.
- [5] J. de la Vergne, *Hard Rock Miner's Handbook*, 3rd ed. Edmonton, AB, Canada: Stantec Consulting Ltd., 2000.
- [6] S. Lottermoser, *Mine Wastes: Characterization, Treatment and Environmental Impacts*, 3rd ed. Berlin, Germany: Springer, 2016.
- [7] A. Gunasekaran and E. W. T. Ngai, "Modeling and analysis of supply chain operations," *International Journal of Production Economics*, vol. 87, no. 3, pp. 333–347, 2004.
- [8] R. Kecejevic and W. Radomsky, "Safety and productivity in mining operations," *Mining Engineering*, vol. 69, no. 2, pp. 45–53, 2017.
- [9] Komatsu Ltd., *Specifications and Application Handbook: Wheel Loader WA200*. Tokyo, Japan: Komatsu Ltd., 2019.
- [10] H. L. Hartman and J. M. Mutmansky, *Introductory Mining Engineering*, 2nd ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2002.
- [11] S. Suwandhi Awang, *Perencanaan Jalan Tambang dan Optimalisasi Produksi Alat Berat*. Bandung, Indonesia: ITB Press, 2006.
- [12] M. P. Nichols and J. Day, "Equipment productivity analysis in surface mining," *International Journal of Mining Science and Technology*, vol. 26, no. 4, pp. 611–617, 2016.
- [13] B. Render, R. M. Stair, and M. E. Hanna, *Quantitative Analysis for Management*, 12th ed. Boston, MA, USA: Pearson Education, 2018.
- [14] R. B. McCarthy, "Operator performance and productivity in mining equipment," *Journal of Sustainable Mining*, vol. 18, no. 1, pp. 12–20, 2019.
- [15] A. Sutedi, *Hukum Perizinan dalam Sektor Pelayanan Publik*. Jakarta, Indonesia: Sinar Grafika, 2011.
- [16] J. W. Creswell, *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*, 5th ed. Thousand Oaks, CA, USA: Sage Publications, 2018.

- [17] M. B. Miles, A. M. Huberman, and J. Saldaña, *Qualitative Data Analysis: A Methods Sourcebook*, 4th ed. Thousand Oaks, CA, USA: Sage Publications, 2020.
- [18] H. L. Hartman and J. M. Mutmansky, *Introductory Mining Engineering*, 2nd ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2002.
- [19] P. Prodjosumarto, *Pemindahan Tanah Mekanis*. Bandung, Indonesia: Institut Teknologi Bandung, 2000.
- [20] Komatsu Ltd., *Specifications and Application Handbook: Wheel Loader WA200*. Tokyo, Japan: Komatsu Ltd., 2019.
- [21] J. de la Vergne, *Hard Rock Miner's Handbook*, 3rd ed. Edmonton, AB, Canada: Stantec Consulting Ltd., 2000.
- [22] M. P. Nichols and J. Day, "Equipment productivity analysis in surface mining," *International Journal of Mining Science and Technology*, vol. 26, no. 4, pp. 611–617, 2016.
- [23] P. Prodjosumarto, *Pemindahan Tanah Mekanis*. Bandung, Indonesia: Institut Teknologi Bandung, 2000.
- [24] H. L. Hartman and J. M. Mutmansky, *Introductory Mining Engineering*, 2nd ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2002.
- [25] R. B. McCarthy, "Operator performance and productivity in mining equipment," *Journal of Sustainable Mining*, vol. 18, no. 1, pp. 12–20, 2019.
- [26] J. de la Vergne, *Hard Rock Miner's Handbook*, 3rd ed. Edmonton, AB, Canada: Stantec Consulting Ltd., 2000.
- [27] W. J. Stevenson, *Operations Management*, 13th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill Education, 2018.
- [28] M. P. Nichols and J. Day, "Equipment productivity analysis in surface mining," *International Journal of Mining Science and Technology*, vol. 26, no. 4, pp. 611–617, 2016.