



Optimasi Produksi Tambang Pasir dan Batu di PT. X, Sungai Maruni: Integrasi Alat Gali, Angkut, dan *Crushing Plant*

Arif Setiawan*, Rustam Kamoda

Program Studi Teknik Pertambangan, Universitas Papua, Manokwari, Indonesia.

Abstrak

PT. X berencana melakukan usaha pertambangan pasir dan batu (sirtu) di Kabupaten Manokwari dengan keterbatasan peralatan, yaitu satu alat gali-muat, satu alat angkut, dan satu unit *crushing plant*. Penelitian ini bertujuan menerapkan pendekatan terpadu dengan mengintegrasikan estimasi produksi ketiga unit tersebut untuk memperoleh sistem produksi yang optimal dan seimbang. Metode penelitian menggunakan pendekatan *capacity-based analysis* dengan mengintegrasikan parameter produksi (kapasitas alat, waktu siklus, dan efisiensi kerja) serta faktor teknis operasional untuk menganalisis keseimbangan kapasitas dan mengidentifikasi *bottleneck* sistem produksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi produksi mencapai keseimbangan sebesar 116,89 ton/jam tanpa terjadi *bottleneck*. Distribusi produk *crushing plant* terdiri atas fraksi 30–50 mm (49,90%), 20–30 mm (20,05%), 10–20 mm (15,51%), 5–10 mm (3,82%), dan 0–5 mm (10,73%), dengan total produksi yang sesuai dengan kapasitas alat penambangan. Hal ini menunjukkan bahwa sistem produksi tetap seimbang meskipun alat yang digunakan terbatas.

Kata kunci: Produksi; alat gali-muat; alat angkut; *crushing plant*.

Abstract

PT. X plans to conduct a sand and gravel (sirtu) mining operation in Manokwari Regency with limited equipment, consisting of one excavator, one hauling unit, and one crushing plant. This study aims to apply an integrated approach by combining the production estimates of these three units to achieve an optimal, balanced production system. The research method employs a capacity-based analysis by integrating key production parameters (equipment capacity, cycle time, and work efficiency) along with operational technical factors to evaluate capacity balance and identify potential bottlenecks in the production system. The results indicate that the integrated production achieves a balanced output of 116.89 tons/hour without bottlenecks. The crushing plant product distribution consists of 30–50 mm (49.90%), 20–30 mm (20.05%), 10–20 mm (15.51%), 5–10 mm (3.82%), and 0–5 mm (10.73%), with total production consistent with the mining equipment capacity. These findings demonstrate that the production system remains balanced despite the limited equipment used.

Keywords: Production; excavation-loading equipment; haulage equipment; crushing plant

PENDAHULUAN

Kabupaten Manokwari memiliki potensi sumber daya alam sebagai penyedia bahan baku untuk konstruksi. Kebutuhan material konstruksi berkaitan erat dengan ketersediaan bahan baku (Amdit dkk., 2021). Sektor pertambangan berperan dalam penyediaan material yang dibutuhkan, sehingga menjadi salah satu landasan penting dalam pertumbuhan ekonomi dan

mobilitas di era modern (Bhadani, 2022). Oleh karena itu, ketersediaan agregat untuk pembangunan infrastruktur sangat penting (Karakas, 2019).

PT. X berencana melakukan penambangan di Sungai Maruni serta pengolahan material untuk menghasilkan agregat, seperti batu pecah, pasir, dan kerikil, yang digunakan dalam berbagai proyek pembangunan di Manokwari dan

* Korespondensi: a.setiawan@unipa.ac.id

Diajukan : 22 Februari 2026

Diterima : 1 Juli 2026

Diterbitkan : 30 Oktober 2026

sekitarnya. Penambangan meliputi proses penggalian dan pemuatan material ke alat angkut untuk dipasarkan secara langsung atau diangkut ke fasilitas pengolahan. Tahap pengolahan bertujuan meningkatkan nilai tambah material melalui proses kominusi dan klasifikasi menggunakan *crushing plant* (Wills dan Finch, 2015). Unit utama pada *crushing plant* terdiri atas peralatan pengecilan ukuran dan pemisahan butiran (Bhadani, 2022). Hasil pengolahan berupa agregat yang digunakan sebagai material dasar dalam industri konstruksi, seperti pasir, kerikil, dan batu pecah (Njoku dkk., 2020).

Namun, PT. X menghadapi keterbatasan investasi sehingga hanya memiliki 1 unit *excavator*, 1 unit *dump truck*, dan 1 unit *crushing plant*. Selain itu target yang produksi yang diharapkan perusahaan adalah 250 ton/hari karena KTT kelas III yang dimilikinya. Kondisi ini menuntut keseimbangan kapasitas antarunit karena ketidaksesuaian kinerja dapat menimbulkan *bottleneck* dan waktu tunggu (*idle time*) yang berdampak pada penurunan efisiensi operasional. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan optimasi produksi yang mampu mengintegrasikan kapasitas alat gali-muat, alat angkut, dan *crushing plant* dalam satu sistem yang seimbang.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa keserasian antara alat gali-muat dan alat angkut merupakan faktor krusial dalam pencapaian target produksi. Keseimbangan antara alat gali-muat dan alat angkut menjadi aspek penting dalam mencapai produksi yang optimal (Nuryanneti dkk., 2024; Ramadhan dkk., 2023; Sitorus dkk., 2022). Ketidakseimbangan kapasitas antar alat dapat menyebabkan *bottleneck* dan *idle time* yang menurunkan efisiensi operasional (Alone dkk., 2023; Isnaini dkk., 2023; Sarmidi dkk., 2023; Arifin dan Putri, 2023; Mahesa dkk., 2021). Selain itu, ketidaksesuaian *match factor* berkontribusi terhadap peningkatan konsumsi bahan bakar dan biaya operasional (Banggur et al., 2023; Ramdhani dan Johari, 2020). Studi lain menunjukkan bahwa optimalisasi kinerja alat muat berpengaruh langsung terhadap efisiensi *crushing plant* (Alvian, 2025). Salah satu faktor yang dilaporkan memengaruhi kinerja unit tersebut adalah ukuran material, di mana ukuran yang tidak sesuai dapat menyebabkan *choke feeding* sehingga menurunkan kapasitas dan

meningkatkan konsumsi energi (Bhadani, 2022; Amdid dkk., 2021). Selain itu, kapasitas pengumpanan juga diidentifikasi sebagai faktor yang memengaruhi produksi unit pengolahan (Mulyadi dkk., 2023). Parameter operasi terbukti berdampak pada kapasitas *crushing plant*, terutama dalam kondisi terbatasnya jumlah alat berat (Desri dkk., 2024; Gunawan, 2024; Salu dkk., 2023). Dukungan alat yang optimal juga dapat meningkatkan produksi secara signifikan (Arief dkk., 2023). Selanjutnya, efisiensi proses pengolahan mineral sangat bergantung pada keserasian alat gali, alat angkut, dan *crushing plant*, serta optimalisasi parameter operasi yang tepat (Wills dan Finch, 2015). Oleh karena itu, integrasi yang baik antara alat gali-muat, alat angkut, dan *crushing plant* menjadi aspek penting untuk mencapai produksi yang optimal.

Namun, penelitian sebelumnya umumnya masih terbatas pada analisis parsial atau hanya melibatkan dua unit peralatan, sehingga belum mengintegrasikan alat gali-muat, alat angkut, dan *crushing plant* secara simultan. Permasalahan utama penelitian ini adalah belum tersedianya pendekatan terpadu untuk mengintegrasikan estimasi produksi ketiga unit tersebut dalam kondisi keterbatasan peralatan guna mencapai keseimbangan kapasitas sistem produksi. Kondisi ini menunjukkan bahwa perencanaan produksi yang tidak terintegrasi berpotensi menimbulkan ketidakseimbangan kapasitas antarunit. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menerapkan pendekatan integratif berbasis *capacity-based analysis* dengan menggabungkan estimasi produksi ketiga unit untuk memperoleh sistem produksi yang seimbang tanpa *bottleneck*. Pendekatan ini diharapkan memberikan kontribusi berupa kerangka analisis kuantitatif untuk menyelaraskan estimasi produksi antarunit dalam sistem produksi.

METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan pendekatan *capacity-based analysis* untuk mengintegrasikan kapasitas alat gali-muat, alat angkut, dan *crushing plant*. Analisis dilakukan dengan mengasumsikan material sirtu bersifat homogen serta kinerja alat, waktu siklus, dan kondisi operasi tetap. Penelitian dibatasi pada satu lokasi dengan jumlah dan jenis alat yang tetap, serta tidak mempertimbangkan variasi material, cuaca, dan gangguan operasional karena keterbatasan

data. Oleh karena itu, hasil ini berlaku pada kondisi yang terkontrol dan perlu dipahami sesuai dengan batasan tersebut.

Pengukuran di lapangan dilakukan selama 1 hari kerja dengan kondisi cuaca cerah. Alat yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari stopwatch untuk mengukur waktu edar alat gali-muat dan alat angkut, alat tulis dan lembar observasi untuk mencatat waktu edar alat yang bekerja, serta kamera untuk mendokumentasikan kondisi di lapangan. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari spesifikasi alat berat seperti kapasitas *bucket* untuk excavator, kapasitas bak untuk truk, kapasitas pada unit pengolahan lainnya, serta jenis material untuk mengetahui *swell factor* dalam konversi kondisi material.

Berdasarkan penjelasan tersebut, ada 2 data yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. Data Utama

Data utama yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari:

- 1) Data alat gali-muat (excavator) yaitu kapasitas *bucket* (Q dalam m³), *bucket fill factor* (K), waktu edar alat gali-muat (Ct dalam detik), dan efisiensi kerja alat (E dalam %).
- 2) Data alat angkut (dump truck) yang terdiri dari kapasitas bak angkut (Q dalam m³) waktu edar alat angkut (Ct dalam detik), dan efisiensi kerja (E dalam %).
- 3) Data *crushing plant* yang terdiri dari kapasitas *jaw crusher*, dan *cone crusher* (ton/jam), serta distribusi ukuran material sebelum dan sesudah proses penghancuran.

2. Data pendukung

Data pendukung diperoleh dari laporan teknis dan literatur seperti spesifikasi alat berat dari pabrikan (seperti Caterpillar, atau Komatsu), *bucket fill factor* dan *swell factor*, dan efisiensi alat berat dalam operasi tambang.

Setelah kedua jenis data tersebut terkumpul, selanjutnya adalah pengolah data dengan langkah-langkah berikut:

1. Estimasi Produksi Alat Gali-Muat dan Alat Angkut.

Estimasi produksi perlu mengetahui alat berat yang digunakan. Pada saat penambangan di sungai, alat berat yang sering digunakan adalah *hydraulic excavator* sebagai alat gali-muat dan truk sebagai alat angkut. Perpaduan kedua alat berat tersebut diketahui sebagai alat

penambangan. Alat gali-muat yang biasanya digunakan berkapasitas 1 m³. Alat angkut yang sering digunakan adalah truk berkapasitas 4 m³. Untuk mengestimasi produksi kedua alat tersebut, persamaan yang digunakan adalah Persamaan 1 yang didukung oleh beberapa persamaan berikutnya.

$$P = \frac{Q \times K \times SF \times E}{Ct} \quad (1)$$

$$E = \frac{W}{W + S + R} \times 100\% \quad (2)$$

$$SF = \frac{1}{1 + \% Swell} \quad (3)$$

$$1 + \% Swell = \frac{Kg/BCM}{Kg/LCM} \quad (4)$$

$$1 + \% Swell = \frac{LCM}{BCM} \quad (5)$$

$$SF = \frac{BCM}{LCM} \quad (6)$$

$$Ct \text{ alat gali-muat} = DT + LST + DPT + EST \quad (7)$$

$$Ct \text{ alat angkut} = LT + HT + DPT + RET \quad (8)$$

Keterangan:

P : Produksi alat berat (*bank m³/jam*).

Q : Kapasitas *heaped* dari *bucket* (m³).

K : *Bucket fill factor* (%)

SF : *Swell factor* (%)

E : Efisiensi kerja (%)

Ct : *Cicle time* atau waktu edar (jam)

W : Waktu kerja efektif alat

S : Waktu *standby* alat

R : Waktu *Repair*/perbaikan alat

Kg/BCM : Densitas material (kondisi asli)

Kg/LCM : Densitas material (kondisi lepas)

BCM : Volume material (kondisi asli)

LCM : Volume material (kondisi loose)

DT : *Digging time* (jam).

LST : *Loaded swing time* (Jam).

DPT : *Dumping time* (Jam).

EST : *Empty swing time* (Jam).

LT : *Loading time* (Jam).

HT : *Hauling time* (Jam).

RET : *Returning empty time* (Jam).

Swell factor dikenal juga dengan istilah *Load factor* yang digunakan untuk mengubah volume kondisi lepas menjadi kondisi asli. Kondisi asli di kenal dengan istilah *bank*, sedangkan kondisi lepas dikenal dengan istilah *loose*. Alasan perlu dilakukan perubahan tersebut karena volume yang digunakan maupun dipasarkan merupakan volume asli. Hal ini diperlukan agar tidak terjadi kecurangan dalam jual beli material seperti yang termuat dalam Undang-Undang Nomor 8 tahun 1999 tentang perlindungan konsumen. Volume

Tabel 1. *Load factor* beberapa material (Caterpillar Inc, 2019)

Weight of materials		Loose		Bank		Load Factor (Swell Factor)
		kg/m ³	lb/yd ³	kg/m ³	lb/yd ³	
Earth -----	Dry packed	1.510	2.550	1.900	3.200	0,80
	Wet excavated	1.600	2.700	2.020	3.400	0,79
	Loam	1.250	2.100	1.540	2.600	0,81
Granite -----	Broken	1.660	2.800	2.730	4.600	0,61
Gravel -----	Pitrun	1.930	3.250	2.170	3.650	0,89
	Dry packed	1.510	2.550	1.690	2.850	0,89
	Dry 6-50 mm (1/4"-2")	1.690	2.850	1.900	3.200	0,89
Sand -----	Wet 6-50 mm (1/4"-2")	2.020	3.400	2.260	3.800	0,89
	Dry Loose	1.420	2.400	1.600	2.700	0,89
	Damp	1.690	2.850	1.900	3.200	0,89
Sand & clay ----	Wet	1.840	3.100	2.080	3.500	0,89
	Loose	1.600	2.700	2.020	3.400	0,79
	Compacted	2.400	4.050	-	-	-
Sand & gravel	Dry	1.720	2.900	1.930	3.250	0,89
	Wet	2.020	3.400	2.230	3.750	0,91
Sandstone		1.510	2.550	2.520	4.250	0,60
Shale		1.250	2.100	1.660	2.800	0,75
Stone -----	Crushed	1.600	2.700	2.670	4.500	0,60
Top Soil		950	1.600	1.370	2.300	0,70

Tabel 2. *Undersized percentage jaw crusher* (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2023).

Jenis Batu	Undersize percentage
Limestone (Batu Gamping)	85% - 90%
River Gravel (kerikil sungai)	70% - 75%
Quarry Rock	85% - 90%

kondisi lepas bukan merupakan volume asli dari material. *Swell factor* dapat diperkirakan menggunakan persamaan 3 atau persamaan 6. Gunakan Tabel 1 dengan syarat mengetahui jenis materialnya kemudian menerapkannya ke dalam persamaan 3 sampai 6.

2. Estimasi Produksi Crushing Plant

Terdapat 2 alat yang diestimasi produksinya, yaitu *jaw crusher* sebagai *primary crusher* dan *cone crusher* sebagai *secondary crusher*. *Primary Crusher* biasanya menggunakan *Jaw crusher* yang terdiri dari pelat logam berat yang bergerak maju-mundur terhadap pelat tetap (Njoku, dkk., 2020). Perpaduan kedua alat tersebut dapat diestimasi menggunakan beberapa langkah berikut:

- 1) Tentukan ukuran agregat yang dibutuhkan untuk dipasarkan.
- 2) Pilih kapasitas *jaw crusher* sesuai dengan kapasitas produksi atau hasil estimasi produksi alat berat.
- 3) Pilih *discharge setting* yang tersedia pada spesifikasi alat.
- 4) Tentukan jenis batu yang dipecah, kemudian tentukan *undersized percentage* sesuai Tabel 2.
- 5) Plot nilai *undersize percentage* yang dipilih dengan nilai ukuran yang dibutuhkan pada poin 1 pada grafik pada Gambar 1.
- 6) Tentukan titik perpotongan dari grafik di atas, kemudian hitung ukuran masing-masing agregat sehingga diketahui persentase yang lolos pada ayakan.
- 7) Hitung produksi masing-masing agregat menggunakan persamaan 9.

Setelah mengestimasi produksi *jaw crusher*, langkah selanjutnya adalah mengestimasi produksi alat *cone crusher* dengan beberapa langkah berikut:

- 1) Tentukan besaran material (ton/jam) yang lolos dari *jaw crusher*.
- 2) Tentukan kapasitas alat *cone crusher* sesuai dengan material yang lolos dari *jaw crusher*. Tentukan produk hasil *cone crusher* sesuai dengan spesifikasi kebutuhan.
- 3) Pilih *undersized percentage* dari *cone crusher* pada Tabel 3.
- 4) Plot nilai *undersized percentage cone crusher* dan poin 2 ke grafik (Gambar 2).
- 5) Hitung estimasi produksi *cone crusher* menggunakan persamaan 9.
- 6) Hitung estimasi produksi gabungan *jaw crusher* dan *cone crusher*.

3. Analisis Keseimbangan Produksi

Setelah mengestimasi produksi ketiga unit tersebut, selanjutnya adalah melakukan analisis ini menggunakan pendekatan keseimbangan produksi untuk menghindari *bottleneck* sehingga

kapasitas ketiga unit seimbang. Keseimbangan yang dimaksud harus memenuhi kriteria berikut:

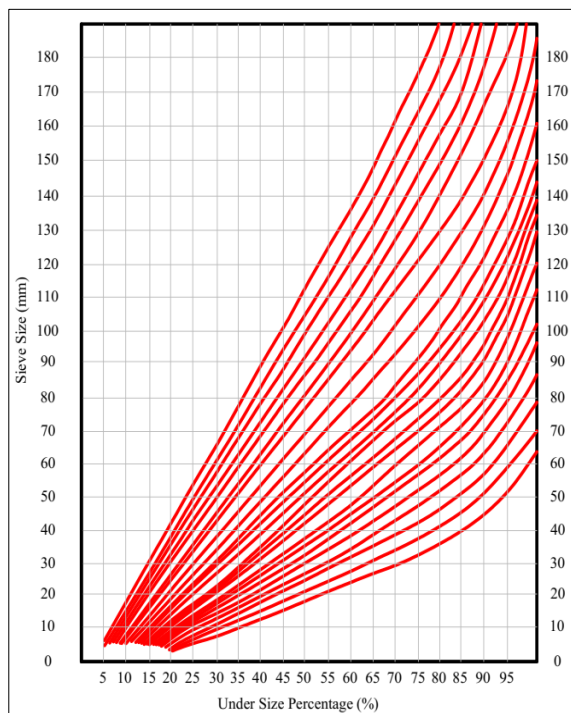
$$P_{\text{gali-muat}} = P_{\text{angkut}} = P_{\text{Crushing Plant}},$$

Kriteria tersebut menjelaskan bahwa produksi ke 3 unit alat tersebut seimbang. Namun, jika salah satu unit memiliki kapasitas lebih besar atau lebih kecil, maka akan terjadi seperti yang terlihat pada beberapa kriteria berikut:

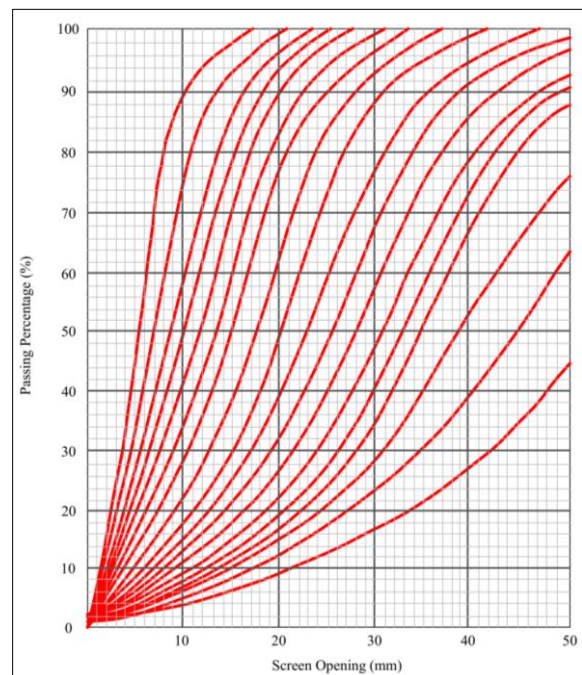
- Jika $P_{\text{gali}} > P_{\text{angkut}}$, maka akan terjadi overload material pada *loading area*
- Jika $P_{\text{angkut}} > P_{\text{Crushing Plant}}$, maka akan terjadi penumpukan material sebelum masuk ke *crushing plant*
- Jika $P_{\text{Crushing Plant}} > P_{\text{angkut}}$, maka kekurangan umpan material, sehingga alat bekerja tidak optimal

Oleh karena itu, apabila terjadi ke tiga kriteria di atas, maka perlu dilakukan penyesuaian operasional agar kapasitas ketiga alat menjadi seimbang.

$$P_{\text{Jaw Crusher}} = \frac{\text{Jumlah persentase yang lolos ayakan}}{\text{Undersized percentage jaw crusher}} \times \text{Produksi alat berat} \quad (9)$$



Gambar 1. *Jaw Crusher Screen Analysis* (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2023).



Gambar 2. *Cone Crusher Analysis* (Product Gradation Curve) (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2023)

Tabel 3. *Undersize percentage cone crusher* (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2023)

Type of cavity	Limestone	Ore	Diabas	Andesit	Granit	River gravel
Fine	75%	70%	70%	70%	65%	65%
Coarse	65%	60%	60%	55%	55%	55%

HASIL

Hal yang dilakukan pertama kali Untuk menjawab tujuan penelitian ini adalah melakukan estimasi produksi alat berat yang digunakan oleh PT. X. Perusahaan tersebut berencana menggunakan 1 unit alat berat untuk penggalian sekaligus pemuatan dan 1 unit alat angkut yang digunakan untuk mengangkut material dari sungai (lokasi penambangan) ke lokasi *crushing plant* (lokasi pengolahan). Beberapa langkah yang dilakukan adalah:

1. Material atau bahan galian yang akan di tambang

Material yang akan ditambang merupakan pasir dan batu (sirtu) yang lokasinya berada di Sungai Maruni (Gambar 3). Material sirtu dalam penelitian ini diperlakukan sebagai material homogen yang merepresentasikan kondisi operasi dominan, dengan karakteristik umum berupa campuran agregat halus dan kasar yang bersifat *non* kohesif serta mudah digali tanpa proses pemberaian. Kondisi operasi dominan merepresentasikan kondisi operasi normal yang paling sering terjadi selama periode pengamatan, dengan pola kerja peralatan yang stabil dan tanpa gangguan operasional signifikan. Berdasarkan penjelasan tersebut, alat berat umumnya digunakan adalah *hidraulick excavator* PC 200 dengan kapasitas *bucket* sebesar 1 m³.

2. Memperkirakan *swell factor* atau *load factor* yang akan digunakan

Berdasarkan Gambar 3, terlihat bahwa material tersebut adalah pasir dan batu (sirtu) dalam

keadaan basah karena lokasinya di sungai, maka *swell factor* atau *load factor* yang dipilih adalah 0,91. Nilai tersebut berdasarkan nilai yang tertera pada Tabel 1. Alasan menggunakan tabel tersebut karena tidak melakukan pengujian di laboratorium terkait *swell factor*. Selain itu, dalam Keputusan Menteri ESDM 1806 menjelaskan bahwa untuk komoditas batuan yang wilayah izin usaha pertambangan ≤ 5 hektar dibolehkan menggunakan data sekunder. Berdasarkan referensi tersebut, maka gunakan Tabel 1 untuk *swell factor* yang dipilih.

3. Mengambil waktu edar dan efisiensi kerja dari kedua alat berat tersebut

Pengambilan data waktu edar dilakukan di lapangan terhadap alat yang bekerja. Alat tersebut diujicoba untuk bekerja selama 1 siklus saja. Alasan pengambilan hanya dilakukan selama 1 siklus adalah karena nilai tersebut merupakan nilai rerata dari waktu edar saat bekerja dan belum memperoleh IUP Operasi Produksi. Namun, hasil dari 1 kali siklus ini dapat dijadikan acuan nantinya selama jam kerja yang diajukan perusahaan. Hasil yang diperoleh dari kedua alat tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Waktu edar kedua alat berat untuk penambangan

Uraian	Waktu edar (detik)	
	Alat Gali-Muat	Alat Angkut
Work	80	200
Standby	120	0
Repair	0	0
Efisiensi	0,4	1



Gambar 3. Dokumentasi Lapangan. Bahan galian yang di tambang (gambar kiri) dan kegiatan pengambilan sampel (gambar kanan).

Tabel 4 menjelaskan bahwa dalam melayani alat angkut, alat gali-muat dapat bekerja selama 80 detik dalam 4 siklus yang mana setiap siklusnya terdiri dari waktu menggali material, memuat material, menumpah material dan kembali kosong. 4 siklus tersebut berdasarkan jumlah bak alat angkut sebesar 4 m³. Berdasarkan penjelasan tersebut, alat gali-muat bekerja dalam 1 siklus adalah 20 detik setiap kali penggalian dan pemuatan. Penambahan 1 siklus tersebut selama 4 kali pemuatan menjadi 80 detik.

Alat angkut dapat bekerja selama 200 detik dalam 1 siklus. 200 detik merupakan jumlah waktu dari alat angkut yang terdiri dari pemuatan material, waktu bermuatan, waktu menumpah, dan waktu kembali kosong. Berdasarkan kedua nilai tersebut dapat dijelaskan bahwa alat gali-muat memiliki *standby* dalam menunggu alat angkut selama bekerja. Waktu *standby* tersebut adalah selisih waktu antara kedua alat yang bekerja yaitu 120 detik. Selain itu selama pengambilan data tidak ada waktu perbaikan yang digunakan alat.

Berdasarkan penjelasan tersebut, maka diperoleh efisiensi kerja dari kedua alat tersebut sebesar 0,4 (40%) atau 80 detik dari 200 detik waktu kerja alat angkut sehingga dampaknya adalah alat gali-muat sering menganggur dalam menunggu alat angkut. Kedua efisiensi tersebut berbeda dikarenakan alat angkut bekerja terus menerus selama 1 siklus dan alat gali muat hanya menunggu untuk melayani 1 alat angkut yang bekerja.

4. Memperkirakan nilai *bucket fill factor*

Mengacu pada jenis material yang akan ditambang (Gambar 3), maka jenis material tersebut dikategorikan menurut ISO-7451 adalah pasir dengan kerikil dengan *bucket fill factor* antara 0,8 – 0,9 (Tabel 5). Nilai yang ditampilkan merupakan range atau jangkauan dari 0,8 hingga 0,9. Namun yang dipilih adalah nilai yang paling kecil dalam estimasi yaitu 0,8. Alasan memilih nilai yang paling kecil dikarenakan menilai hal yang paling terburuk yang terjadi jika *bucket* tidak terisi penuh. Berdasarkan pertimbangan tersebut, maka rekapitulasi kebutuhan data untuk estimasi produksi alat berat (Tabel 6).

Berdasarkan Tabel 1, 4, 5, dan 6, estimasi produksi dari kedua alat berat tersebut dapat dilakukan. Nilai 2.230 kg per m³ dapat dilihat di Tabel 1 yang dipilih berdasarkan jenis material

yang digunakan untuk mengubah satuan m³ menjadi ton. Berdasarkan perhitungan antara kedua alat tersebut, produksi alat gali-muat dan alat angkut memiliki jumlah yang sama tiap waktu. Perbedaan tersebut terletak pada efisiensi kerja kedua alat berat. Alat angkut memiliki efisiensi 100% (tidak menunggu). Sebaliknya, alat gali-muat memiliki efisiensi sekitar 0,4 atau sekitar 40%, atau dapat dikatakan bahwa alat gali-muat menunggu untuk bekerja memuat bahan galian ke dalam bak alat angkut. Walaupun berbeda efisiensinya, hasil estimasi produksi antara kedua alat tersebut sama, yaitu sebesar 52,42 m³/jam (kondisi bank). Hasil estimasi produksi alat angkut tersebut dapat dijadikan dasar untuk penentuan alat-alat yang digunakan di *crushing plant*.

$$P = \frac{Q \times K \times SF \times E}{Ct} \text{ (Est. Produksi Alat Gali-Muat)}$$

$$P = \frac{1 \text{ m}^3 \times 0,8 \times 0,91 \times 0,4}{20 \text{ detik}}$$

$$\begin{aligned} P &= 0,01456 \text{ m}^3 \text{ per detik} \\ P &= 0,01456 \text{ m}^3 \text{ Bank/detik} \times 60 \text{ detik/menit} \\ P &= 0,8736 \text{ m}^3 \text{ Bank/menit} \times 60 \text{ menit/jam} \\ P &= 52,416 \text{ m}^3 \text{ Bank/jam} \\ P &= 52,416 \text{ m}^3 \text{ Bank/jam} \times 2.230 \text{ kg/m}^3 \text{ bank} \\ P &= 116.887,68 \text{ kg/jam} \text{ atau} \\ P &= 116.887,68 \text{ kg/jam} \times 1 \text{ ton/1000 kg} \\ P &= 116,89 \text{ ton/jam (117 ton/jam-pembulatan)} \end{aligned}$$

$$P = \frac{Q \times K \times SF \times E}{Ct} \text{ (Est. Produksi Alat Angkut)}$$

$$P = \frac{(1 \text{ m}^3 \times 4 \text{ kali muat}) \times 0,8 \times 0,91 \times 1}{200 \text{ detik}}$$

$$\begin{aligned} P &= 0,01456 \text{ m}^3 \text{ per detik} \\ P &= 0,01456 \text{ m}^3 \text{ Bank/detik} \times 60 \text{ detik/menit} \\ P &= 0,8736 \text{ m}^3 \text{ Bank/menit} \times 60 \text{ menit/jam} \\ P &= 52,416 \text{ m}^3 \text{ Bank/jam} \\ P &= 52,416 \text{ m}^3 \text{ Bank/jam} \times 2.230 \text{ kg/m}^3 \text{ bank} \\ P &= 116.887,68 \text{ kg/jam} \text{ atau} \\ P &= 116.887,68 \text{ kg/jam} \times 1 \text{ ton/1000 kg} \\ P &= 116,89 \text{ ton/jam (117 ton/jam-pembulatan)} \end{aligned}$$

Setelah mengestimasi produksi kedua alat berat tersebut, selanjutnya adalah estimasi produksi pada unit *crushing plant* untuk pengolahan. Namun sebelum melakukan estimasi produksi pada *crushing plant* terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan sebagai bahan pertimbangan. Hal tersebut adalah:

Tabel 5. *Bucket Fill Factor* (Caterpillar Inc, 2019; Komatsu Ltd., 2019)

No.	Kondisi tanah dan Material		Bucket fill factor
1	Mudah	Menggali tanah alami seperti tanah liat, lempung, atau tanah lunak	1,1 – 1,2
2	Rata-rata	Menggali tanah alami seperti tanah berpasir dan tanah kering	1,0 – 1,1
3	Agak Keras	Menggali tanah alami seperti tanah berpasir dengan kerikil	0,8 – 0,9
4	Keras	Memuat batu hasil peledakan	0,7 – 0,8

Tabel 6. Data untuk estimasi produksi alat berat

Uraian	Alat Gali-Muat	Alat Angkut
Kapasitas Heaped Bucket atau Bak (Q)	1 m ³ (Loose)	4 m ³
<i>Bucket fill factor</i> (K)	0,80	0,80
<i>Swell factor/load factor</i> (SF)	0,91	0,91
Efisiensi kerja (E)	40 %	100 %
Waktu siklus (Ct)	80 (20 detik untuk sekali pemuatan atau 4 kali siklus untuk memenuhi 4 m ³).	200 Detik

Tabel 8. Spesifikasi *jaw crusher* yang diberikan perusahaan (CV. DAIHO MESIN, 2024)

No.	Spesifikasi	Jaw Crusher PE 600 x 900
1	Ukuran mulut	600 mm - 900 mm
2	Ukuran batu yang masuk maksimal	500 mm (50 cm)
3	Ukuran batu yang keluar	65 - 160 mm (6,5 - 16 cm)
4	Kapasitas	48 - 180 ton per jam
5	Tenaga yang dibutuhkan	75 kw
6	Berat	15,5 ton
7	Harga alat	535.000.000

- 1) Memperkirakan ukuran batu yang akan dihancurkan. Batu yang akan dihancurkan memiliki bentuk yang beragam (Gambar 4). Namun sebagai patokan untuk memilih alat *crusher* digunakan yang besar. Batu tersebut diperkirakan sekitar 30 cm yang diukur menggunakan penggaris 30 cm seperti yang terlihat pada Gambar 4.
- 2) Berdasarkan hasil estimasi produksi alat berat sebesar 52,41 m³ bank/jam atau sekitar 117 ton per jam, maka kapasitas *jaw crusher* 48 – 180 ton per jam (Tabel 8).
- 3) Pilih *discharge setting* (ukuran batu yang keluar dari *jaw crusher* setelah dihancurkan) yang dapat dilihat pada spesifikasi alat pada Tabel 8 yaitu sebesar 6,5 cm – 16 cm.
- 4) Jenis batu yang akan dipecah merupakan pasir dan batu di sungai, maka *undersized percentage* yang sesuai dengan material yang akan digerus dipilih *river gravel* yaitu sekitar 70% - 75% seperti yang disajikan pada Tabel 2.
- 5) Plot nilai *undersized percentage* yang dipilih dengan nilai ukuran yang dibutuhkan perusahaan pada Gambar 5. Saringan (screen)

dipasang sebanyak 4 dek sehingga menghasilkan 5 ukuran, yaitu ≤ 5 mm dan agregat kasar (ukuran ≥ 5 mm). Agregat kasar terbagi menjadi ukuran 5 – 10 mm, 10 – 20 mm, 20 – 30 mm, 30 – 50 mm.

- 6) Berdasarkan kelima ukuran tersebut, maka agregat yang tidak lolos saringan berukuran lebih dari 50 mm – 160 mm (5 cm – 16 cm) yang diperoleh dari perhitungan berikut:

$$50 - 160 \text{ mm} = \frac{46\%}{70\%} \times 116,89 \text{ ton/jam} \\ = 76,81 \text{ ton/jam}$$

$$30 - 50 \text{ mm} = \frac{9\%}{70\%} \times 116,89 \text{ ton/jam} \\ = 15,028416 \text{ ton/jam}$$

$$20 - 30 \text{ mm} = \frac{4\%}{70\%} \times 116,89 \text{ ton/jam} \\ = 6,68 \text{ ton/jam}$$

$$10 - 20 \text{ mm} = \frac{5\%}{70\%} \times 116,89 \text{ ton/jam} \\ = 8,35 \text{ ton/jam}$$

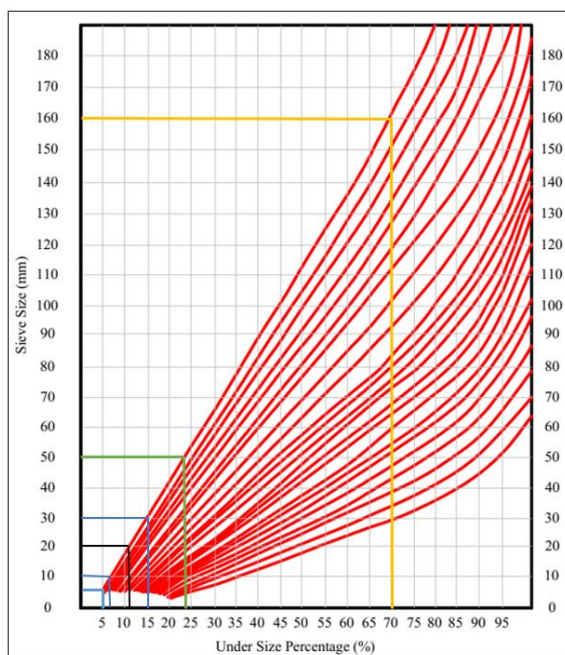
$$5 - 10 \text{ mm} = \frac{1\%}{70\%} \times 116,89 \text{ ton/jam} \\ = 1,67 \text{ ton/jam}$$

$$0 - 5 \text{ mm} = \frac{5\%}{70\%} \times 116,89 \text{ ton/jam} \\ = 8,35 \text{ ton/jam}$$

Setelah mengetahui besaran material yang tidak lolos saringan pada hasil *jaw crusher* sebesar 76,811904 ton/jam (yang tidak lolos saringan berukuran lebih dari 50 mm – 160 mm), dilakukan pengecilan ukuran butir pada tahap kedua atau yang dikenal dengan *secondary crusher*. Alat yang digunakan pada tahap ini adalah *cone crusher*, maka selanjutnya adalah menentukan ukuran *cone crusher* yang akan digunakan sebagai kelanjutan dari proses reduksi ukuran. Ukuran atau kapasitas *cone crusher* yang diberikan dapat dilihat pada Tabel 9.



Gambar 4. Ukuran terbesar dari batu yang akan direduksi ukurannya.



Gambar 5. Jaw Crusher Screen Analysis untuk PT. X

Tabel 9. Pilihan spesifikasi *cone crusher* yang diberikan perusahaan (CV. DAIHO MESIN, 2024)

No.	Spesifikasi	Cone Crusher PYFB 0917
1	Ukuran mulut	917 mm
2	Ukuran batu yang masuk maksimal	85 mm (8,5 cm)
3	Ukuran batu yang keluar	9 - 22 mm (0,9 - 2,2 mm)
4	Kapasitas	45 - 91 ton per jam
5	Tenaga yang dibutuhkan	75 kw

Setelah menentukan *cone crusher* sesuai dengan spesifikasi kebutuhan, selanjutnya adalah memilih *undersized percentage* dari *cone crusher* seperti pada Tabel 3. Dalam proses pemecahan batu menggunakan *jaw crusher*, hasil keluaran

dapat dibagi menjadi material *fine* dan *coarse* tergantung pada seberapa halus atau kasar material tersebut setelah dihancurkan.

Pada proses penghancuran atau penggilingan, material yang dihasilkan dalam ukuran yang sangat kecil disebut "fine." mengacu pada partikel yang berukuran kecil, halus, atau lembut. Contoh: Pasir halus, tepung, debu batuan. Sedangkan proses penghancuran, material yang lebih besar dan belum dihaluskan sepenuhnya disebut "coarse." mengacu pada partikel yang berukuran besar, kasar, atau bertekstur. Contoh: Kerikil, batu besar, atau material yang masih dalam ukuran kasar. Berdasarkan penjelasan tersebut, maka dipilih *type of cavity* adalah *coarse* dari *handstone*. *Type of cavity* dalam konteks mesin penghancur seperti *cone crusher* merujuk pada bentuk dan desain ruang penghancuran (*cavity*) di mana material diletakkan dan dihancurkan. *Handstone* merupakan istilah yang digunakan untuk batu hasil kegiatan reduksi ukuran. Berdasarkan penjelasan tersebut, maka yang dipilih adalah 55%.

Setelah memilih *undersized percentage* dari *cone crusher*, selanjutnya adalah melakukan penempatan titik antara nilai *undersize percentage* dari *cone crusher* pada Tabel 3 dan kapasitas alat *cone crusher* sesuai dengan material yang lolos dari *jaw crusher* ke dalam grafik pada Gambar 6. Berdasarkan *screen* dari *jaw crusher*, *undersized percentase* yang diambil adalah 55% dan setting 50 mm akan ditemukan garis lengkung seperti pada Gambar 6 yang paling mendekati titik potong garis datar 55% dan garis tegak 50 mm. Garis lengkung pada gambar tersebut akan dicari persentase analisa agregat produksi *cone crusher* yang terdiri dari 30 – 50 mm, 20 – 30 mm, 10 – 20 mm, 5 – 10 mm, dan 0

– 5 mm yang hasil nilainya seperti yang terlihat berikut:

$$\begin{aligned}
 30 - 50 \text{ mm} &= \frac{(55\% - 24\%)}{55\%} \times 76,81 \text{ ton/jam} \\
 &= 43,29 \text{ ton/jam} \\
 20 - 30 \text{ mm} &= \frac{(24\% - 12\%)}{55\%} \times 76,81 \text{ ton/jam} \\
 &= 16,76 \text{ ton/jam} \\
 10 - 20 \text{ mm} &= \frac{(12\% - 5\%)}{55\%} \times 76,81 \text{ ton/jam} \\
 &= 9,78 \text{ ton/jam} \\
 5 - 10 \text{ mm} &= \frac{(5\% - 3\%)}{55\%} \times 76,81 \text{ ton/jam} \\
 &= 2,79 \text{ ton/jam} \\
 0 - 5 \text{ mm} &= \frac{(3\% - 0\%)}{55\%} \times 76,81 \text{ ton/jam} \\
 &= 4,19 \text{ ton/jam}
 \end{aligned}$$

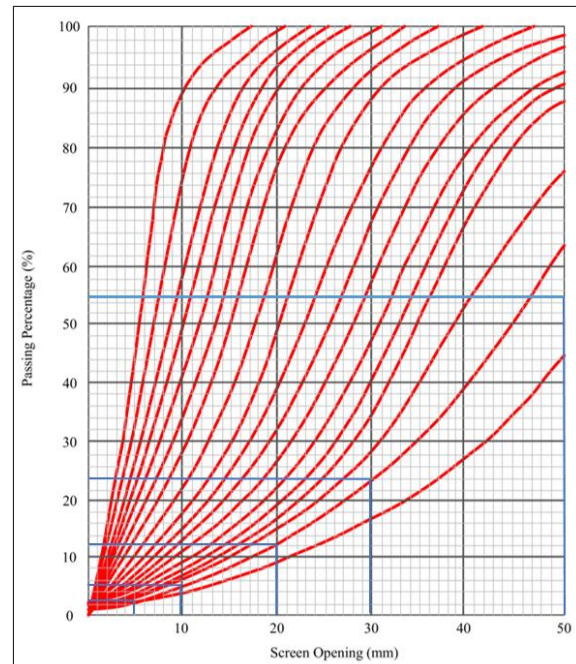
Jumlah keseluruhan produksi dari kedua alat tersebut untuk masing-masing ukuran dapat dilihat pada Tabel 10.

PEMBAHASAN

Hasil estimasi produksi menunjukkan bahwa kapasitas produksi excavator dan dump truck masing-masing sebesar 116,89 ton/jam. Nilai ini menunjukkan bahwa kedua alat berat memiliki keserasian produksi yang optimal, sehingga tidak terjadi keterlambatan pada proses pemuatan dan pengangkutan material. Namun, efisiensi kerja alat gali-muat lebih rendah dibandingkan dengan alat angkut, yang dapat menyebabkan potensi waktu tunggu saat siklus pemuatan. Oleh karena itu, alat gali-muat sering menganggur karena kinerjanya kurang dari 100% (Mali, dkk., 2022; Virawido, dkk., 2024).

Kapasitas ini sejalan dengan penelitian (Mahesa, dkk., 2021; Arifin dan Putri, 2023) yang menunjukkan bahwa kesesuaian antara alat gali-muat dan alat angkut sangat penting untuk menjaga keseimbangan produksi. Selain itu, penelitian (Banggur, dkk., 2023) juga menemukan bahwa ketidakseimbangan antara kedua alat dapat menyebabkan peningkatan konsumsi bahan bakar dan waktu idle alat. Oleh

karena itu, efisiensi kerja alat gali-muat di PT. X perlu dioptimalkan agar dapat mengurangi potensi *bottleneck* dalam siklus pemuatan. Hasil produksi dari kedua alat tersebut kemudian diangkut ke *crushing plant*, sehingga produksi yang dihasilkan dari proses reduksi ukuran terbagi ke dalam lima fraksi agregat seperti yang terlihat pada Tabel 11.



Gambar 6. Cone Crusher Analysis (Product Gradation Curve) PT. X

Tabel 11. Ukuran fraksi dan volume produksi *crushing plant*

No	Ukuran Fraksi (mm)	Volume Produksi (ton/jam)	Persentase (%)
1	30-50 mm	58,32	49,90
2	20-30 mm	23,44	20,05
3	10-20 mm	18,12	15,51
4	5-10 mm	4,46	3,82
5	0-5 mm	12,54	10,73
Jumlah Produksi <i>crushing plant</i>		116,89	100,00

Tabel 10. Estimasi produksi alat *jaw crusher* dan *cone crusher*

No.	Ukuran Fraksi	Jaw Crusher (ton/jam)	Cone crusher (ton/jam)	Jumlah (ton/jam)
1	30-50 mm	15,03	43,29	58,32
2	20-30 mm	6,68	16,76	23,44
3	10-20 mm	8,35	9,78	18,13
4	5-10 mm	1,67	2,79	4,46
5	0-5 mm	8,35	4,19	12,54
Jumlah produksi kedua alat crusher				116,89

Hasil tersebut menunjukkan bahwa hampir 50% dari total produksi terdiri dari fraksi 30-50 mm, yang merupakan ukuran agregat terbesar setelah reduksi tahap pertama. Hal tersebut menjelaskan bahwa kapasitas *crushing plant* bekerja optimal sesuai dengan kapasitas alat gali-muat dan alat angkut.

Berdasarkan ketiga hasil produksi ketiga unit tersebut menunjukkan bahwa keseimbangan produksi antara alat gali-muat, alat angkut, dan *crushing plant* menjadi faktor krusial dalam menentukan efisiensi operasional tambang. Berdasarkan hasil penelitian, kapasitas produksi dari alat gali-muat dan alat angkut sebesar 116,89 ton/jam telah sesuai dengan kapasitas *crushing plant*, sehingga tidak terjadi material *overload* ataupun kekurangan umpan material pada unit pengolahan. Berdasarkan hal tersebut, maka kriteria antara alat gali-muat, alat angkut, dan *crushing plant* terpenuhi yaitu $P \text{ gali-muat} = P \text{ angkut} = P \text{ crushing plant}$ sebesar 116,89 ton/jam.

Bila perusahaan nantinya mengajukan Kepala Teknik Tambang (KTT) kelas III untuk penambangan batuan, maka maksimum yang diizinkan sesuai Kepmen ESDM No. 1827 tahun 2018 sebesar 250 ton/hari. Berdasarkan hal tersebut jelas bahwa target perusahaan telah tercapai dengan estimasi produksi tersebut. Waktu yang dibutuhkan perusahaan adalah sekitar 2,13 jam untuk memenuhi target yang diizinkan dalam perturan tersebut.

Apabila ditambah 1 unit alat angkut agar tidak terjadi alat gali-muat yang mengangur, maka kemungkinan yang terjadi adalah pembiayaan yang lebih besar dibandingkan dengan 1 unit alat angkut. Walaupun biaya lebih besar, namun waktu produksi yang dihasilkan relative lebih cepat untuk memenuhi target produksi yang diizinkan. Walaupun lebih cepat dalam pencapaian produksi, menggunakan 1 unit alat gali-muat dan 1 unit alat angkut lebih efisien dibandingkan 2 alat angkut. Namun, salah satu tantangan utama dalam operasi ini adalah keterbatasan jumlah alat berat. PT. X hanya memiliki satu unit excavator, satu unit dump truck, dan satu unit *crushing plant*, yang berarti bahwa bila terjadi gangguan pada salah satu unit, maka seluruh proses produksi akan terhenti. Oleh karena itu dengan keterbatasan alat berat lebih rentan mengalami gangguan produksi akibat *bottleneck*. Meskipun hasil estimasi produksi menunjukkan keseimbangan kapasitas,

perusahaan perlu mempertimbangkan strategi mitigasi risiko, seperti perawatan *preventif* alat berat dan optimalisasi waktu kerja alat, untuk mengurangi potensi gangguan operasional.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa kapasitas alat gali-muat, alat angkut, dan *crushing plant* dalam kondisi seimbang yaitu sebesar 116,89 ton/jam, sehingga tidak terjadi *bottleneck* yang signifikan dalam siklus produksi tambang. Berdasarkan estimasi produksi tersebut telah memenuhi standar produksi yang diizinkan pada Kepmen ESDM No. 1827 Tahun 2018 pada kelas III yaitu sebesar 250 ton/hari dengan waktu kerja untuk mencapai target tersebut selama 2,13 jam dalam 1 hari.

Hal ini membuktikan bahwa pendekatan terpadu yang diterapkan dalam penelitian ini telah berhasil mengoptimalkan keseimbangan antar unit produksi, meskipun dengan jumlah alat yang terbatas. Berdasarkan hal tersebut, maka perusahaan tidak perlu menambah unit alat gali-muat dan unit alat angkut maupun unit *crushing plant* untuk mencapai target produksi karena sudah sesuai dengan kelas KTT III untuk komoditas batuan. Namun, beberapa tantangan masih perlu diatasi, terutama terkait efisiensi waktu siklus alat gali-muat dan mitigasi risiko keterbatasan alat berat. Oleh karena itu, secara keseluruhan, penelitian ini memberikan kontribusi dalam mengintegrasikan estimasi produksi tiga unit utama dalam operasi tambang batuan, yang sebelumnya sering dikaji secara terpisah. Hasil dan rekomendasi yang diberikan dapat menjadi dasar untuk perencanaan produksi yang lebih optimal dan efisien di PT. X.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pimpinan PT. X, dan Djusman Bin Aziz sebagai konsultan penghubung antara peneliti dengan pihak perusahaan, serta mahasiswa Program Studi S1 Teknik Pertambangan atas bantuan pengambilan data di lapangan dalam penelitian ini. Apresiasi juga diberikan kepada rekan-rekan sejawat, dan keluarga atas motivasi dan dukungan yang diberikan. Semoga hasil penelitian ini bermanfaat bagi ilmu dan industri pertambangan di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Alone, M. S., Herdyanti, M. K., Marwanza, I., Putra, D., & Subandrio. (2023). Evaluasi Jumlah Kebutuhan Alat Gali Muat dan Alat Angkut Untuk Mencapai Target Produksi Overburden di PT Nuansacipta Coal Investment Palaran, Kalimantan Timur. *Indonesian Mining and Energy Journal*, 6(2), 49-55. DOI: doi.org/10.25105/imej.v6i2.19267
- Alvian, R. D. (2025). Evaluasi Produktivitas Alat Gali Dan Alat Muat Terhadap Kinerja Unit Crusher Di Pt. Gunung Kecapi, Desa Liunggunung, Kecamatan Plered, Kabupaten Purwakata, Provinsi Jawa Barat. *Jurnal Kajian Ilmiah Interdisipliner*, 9(1), 326-338.
- Amd, M. D., Mukiat, & Ningsih, Y. B. (2020). Kinerja Unit Crushing Plant Dalam Pengolahan Batu Andesit Di PT Bukit Asam, Tbk. Tanjung Enim, Sumatera. *PROMINE*, 8(2), 40-48. DOI: doi.org/10.33019/promine.v8i2.1986
- Amd, M., Mukiat, & Ningsih, Y.B. (2021). Rancangan Pengolahan Batu Andesit Untuk Memenuhi Standar Industri Indonesia. *Jurnal Pertambangan*, 5(1), 14-23. DOI: doi.org/10.36706/jp.v5i1.58
- Arief, M. Z., Napitu, L., Saismana, U., & Riswan. (2023). Evaluasi kinerja crushing plant dan alat support pengumpan dalam pencapaian target produksi batubara PT Binuang Mitra Bersama. *Jurnal HIMASAPTA*, 8(1), 1-8. DOI: doi.org/10.20527/jhs.v8i1.8427
- Arifin, A. S., & Putri, N. N. (2023). Studi Optimasi Kombinasi Alat Berat pada Penambangan Batu Gamping PT Zila Jaya Nusantara di Alahan Panjang. *CIVED: Journal of Civil Engineering and Vocational Education*, 10(2), 450-459. doi:https://doi.org/10.24036/cived.v10i2.401
- Banggur, L., Wijaya, L. H., Aminullah, & Kusmianti. (2023). Analisis Produktifitas Penggunaan Alat Berat Excavator pada Penambangan Pasir di Desa Kediri Kecamatan Kediri Kabupaten Lombok Barat. *Sosial Sains dan Teknologi*, 3(1), 38-45.
- Bhadani, K. (2022). *Optimization Capabilities for Crushing Plants (Thesis for The Degree of Doctor of Philosophy)*. Gothenburg: Department of Industrial and Materials Science Chalmers University of Technology.
- Caterpillar Inc. (2019). *Caterpillar Performance Handbook Edition 49*. Peoria: Caterpillar.
- CV. DAIHO MESIN. (4. April 2024). *Mesin Pemecah Batu Cone Crusher DAIHO PYFB0917*. Von DAIHO Mesin: <https://www.daihomesin.com/product/mesin-pemecah-batu-cone-crusher-daiho-pyfb0917-p843879.aspx> abgerufen
- CV. DAIHO MESIN. (4. April 2024). *Mesin Pemecah Batu Jaw Crusher DAIHO PE 600 x 900*. Von DAIHO Mesin: <https://www.daihomesin.com/product/mesin-pemecah-batu-jaw-crusher-daiho-pe-600-x-900-p841756.aspx> abgerufen
- Desri, M. A., Paradise, M., & Rande, S. A. (2024). Evaluasi Kinerja Unit Crushing Plant Untuk Mencapai Target Produksi di PT. Sugih Alamanugroho, Kabupaten Gunung Kidul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XIX Tahun 2024 (ReTII)* (S. 88-93). Yogyakarta: Institut Teknologi Nasional Yogyakarta.
- Gunawan, B. (2024). *Perencanaan Alat Gali Muat dan Angkut Untuk Mencapai Target Produksi Batubara 65.000 Ton Pada Bulan Januari di PIT 1D Seam D PT. Tanjung Alam Jaya Kabupaten Banjar, Provinsi Kalimantan Selatan*. Bandung: Program Studi Teknologi Pertambangan Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung.
- Isnaeni, K. M., Pratama, A. J., & Malik, M. A. (2023). Analisa Sinkronisasi Alat Gali Muat Dan Alat Angkut Terhadap Realisasi Produksi Overburden Di Pt Duta Alam Sumatera. *Journal of Innovation Research and Knowledge*, 2(12), 4613-4622.
- Karakas, A. (2019). M. R. Smith dan L. Collis (eds): *Aggregates: sand, gravel, and crushed rock aggregates for construction purposes* (3rd edition). *Arabian Journal of Geosciences*, 10-11. DOI: doi.org/10.1007/s12517-019-4975-y
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2023). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 8 Tahun 2023 tentang Pedoman Penyusunan Perkiraan Biaya Pekerjaan Konstruksi Bidang Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat*. Jakarta: Kementerian PUPR.
- Komatsu Ltd. (2019). *Specifications & Application Handbook Edition 32*. Minato: Komatsu.
- Mahesa, R. T., Octova, A., & A, Y. M. (2021). Kerasian Alat Gali Muat dan Alat Angkut dalam Meningkatkan Produktivitas

- Pengupasan Overburden Pada Pit Utara PT. Bara Prima Pratama Jobsite Batu Ampar, Kabupaten Indragiri Hilir, Provinsi Riau. *Jurnal Bina Tambang*, 06(05), 124-130.
- Mali, Y. D., Wardana, N. K., & Mukarrom, F. (2022). Analisis Keserasian Alat Mekanis Untuk Peningkatan Produksi Pada Penambangan Quarry. *MINING INSIGHT*, 3(1), 149-158.
- Mulyadi, A., Nugroho, W., Trides, T., Respati, L. L., & Winarno, A. (2023). Evaluasi Kinerja Unit Coal Crushing Plant Dalam Pencapaian Produksi Di Pt. Anugerah Bara Kaltim Kabupaten Kutai Kartanegara. *Journal Transformation of Mandalika*, 4(1), 28-37.
- Njoku, J. O., Opara, K. D., Okeke, H. M., & Ejiogu, C. C. (2020). Production and Uses of Crushed Rock Aggregate from Intrusive Igneous Rocks: A Review. *International Journal of Innovative Environmental Studies Research*, 1-8. DOI: doi.org/10.36312/jtm.v4i1.1234
- Nuryanneti, I., Sarmidi, & Ardana, F. (2024). Kajian Dan Analisis Produktivitas Alat Excavator Komatsu PC 500 Dan Dump Truck Mercy A48x45k Pada Penambangan Batubara Banko 1 Di Area Kerja PIT 1 PPA, Site Banko Barat PT. Bukit Asam, Tbk. *JITS: Jurnal Ilmiah Teknik dan Sains*, 1(3), 126-133.
- Pratama, R. A., Solihin, & Ashari, Y. (2024). Analisis Kinerja Crushing Plant untuk Mencapai Target Produksi Batu Andesit. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 4(2), 103-108.
- Ramdhani, M. I., & Johari, G. J. (2020). Analisis Produktivitas Pemakaian Alat Berat Terhadap Biaya dan Waktu pada Pembangunan Jalan Baru Lingkar Cipanas Kabupaten Garut. *Jurnal Konstruksi*, 18(2), 62-71. DOI: https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.18-2.810
- Salu, S. P., Juahardin, & Ambarsari, I. S. (2023). Analisis Kapasitas Produksi Crushing Plant dalam Pencapaian Target Produksi PT. Wijaya Karya Bitumen Kabupaten Buton Provinsi Sulawesi Tenggara. *J-Ristam: Jurnal Riset Teknologi Pertambangan*, 3(1), 1-11.
- Sarmidi, Nuryanneti, I., & Prayoga, R. D. (2023). Evaluasi Produktivitas Alat Gali Muat Excavator Volvo 480 Dan Alat Angkut Dump Truck Volvo 400 Pada Penambangan Batubara Di PIT 2 Tambang Banko Barat PT. Bukit Asam Tbk. *JITS: Jurnal Ilmiah Teknik dan Sains*, 1(2), 53-60.
- Sitorus, A. F., Sedarta, & Lismawaty. (2022). Evaluasi Alat Gali Muat Dan Alat Angkut Untuk Mencapai Target Produksi Batubara Di Penambangan Pt. Bina Sarana Sukses Desa Keban Agung Kecamatan Lawang Kidul Kabupaten Muara Enim Provinsi Sumatera. *Jurnal Sains dan Teknologi ISTP*, 18(1), 60-66.
- Virawido, R., Arisanti, R., & Susilo, A. (2024). Evaluasi Kinerja Alat Gali Muat dan Alat Angkut Untuk Memenuhi Target Produksi Batubara 236.767,00 Ton Pada Bulan April Di PT Cipta Kridatama Site. *PONDASI: Journal of Applied Science Engineering*, 2(1), 92-104.
- Wills, B. A., & J. Finch, W. (2015). *Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of ore Treatment and Mineral Recovery*. Butterworth-Heinemann: Elsevier.