



## Optimalisasi Produktivitas Alat Gali Muat dan Alat Angkut Menggunakan Metode *Quality Control Circle* (QCC) untuk Mencapai Target Produksi Batu Andesit pada PT. Pebana Adi Sarana

Angga Saputra<sup>1</sup>, Ahmad Fadhly<sup>2\*</sup>, Hisni Rahmi<sup>3</sup>, Zella Navtalia<sup>4</sup>, Diah Wully Agustine<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Sekolah Tinggi Teknologi Industri (STTIND) Padang, Padang, Indonesia

<sup>2\*</sup> Universitas Negeri Padang, Padang, Indonesia

<sup>3-5</sup> Universitas Jambi, Jambi, Indonesia

Alamat: Jl. Prof. Dr. Hamka No.121, Parupuk Tabing, Kec. Koto Tangah, Kota Padang, Sumatera Barat

Korespondensi penulis: [ahmadfadhlygeo@gmail.com](mailto:ahmadfadhlygeo@gmail.com)\*

**Abstract.** PT. Pebana Adi Sarana targets monthly production operations of 20,000 tons/month while actual production is only around 15,000 tons/month, which means that the production target has not been achieved. The factors that cause the failure to achieve the production operation target can be due to ineffective equipment performance, Low equipment performance is one of the things that cause production not to be achieved, so it needs to be studied. The purpose of the study to be achieved is to analyze the actual productivity of loading and unloading equipment and transportation equipment after repairs and conduct improvement analysis using the *Quality Control Circle* (QCC) method. The data taken for the research is in the form of Excavator and dump truck cycle time data, effective working time, tool specifications. The actual productivity of loading and unloading equipment and transportation equipment at PT. Pebana Adi Sarana for dump trucks of 19,146 tons/month. trucks are 16,351 tons/month while for the *Quality Control Circle* (QCC) method. The company only needs to carry out the number of tools needed for 3 units of Scania p380 dump trucks and 1 unit of komatsu PC 300 excavator with a production of 21,295 tons/month has exceeded the production target set by the company.

**Keywords:** Productivity, andesite, quality Control Circle (QCC), excavator, dump truck

**Abstrak.** PT. Pebana Adi Sarana menargetkan operasi produksi perbulan sebesar 20,000 ton/bulan sedangkan produksi aktual hanya berkisar 15.000 ton/bulan yang artinya target produksi belum tercapai. Faktor-faktor penyebab tidak tercapainya target operasi produksi dapat dikarenakan kinerja alat yang tidak efektif, Kinerja alat yang rendah menjadi salah satu hal yang menyebabkan tidak tercapainya produksi, sehingga perlu dikaji. Tujuan penelitian yang ingin dicapai menganalisis produktivitas aktual alat gali muat dan alat angkut setelah perbaikan dan melakukan analisis perbaikan dengan menggunakan metode *quality Control Circle* (QCC). Data yang diambil untuk penelitian berupa data Cycle time Excavator dan dump truck, waktu kerja efektif, spesifikasi alat. Produktivitas aktual alat gali muat dan alat angkut pada PT. Pebana Adi Sarana untuk dump truck sebesar 19.146 ton/bulan. truk adalah 16.351 ton/bulan sedangkan untuk dengan metode *Quality Control Circle* (QCC). Perusahaan hanya perlu melakukan penganggakutan dengan jumlah alat yang dibutuhkan 3 unit dump truck Scania p380 dan 1 unit excavator komatsu PC 300 dengan didapatkan produksi sebesar 21.295 ton/bulan telah melebihi target produksi yang di tetapkan perusahaan.

**Kata kunci:** Produktivitas, andesit, Quality control Circle (QCC) , excavator, dump truck

### 1. LATAR BELAKANG

PT.Pebana Adi Sarana merupakan salah satu perusahaan yang bergerak pada bidang usaha pertambangan dan pengolahan batu andesit. giatan penambangan batu Andesit dilakukan dengan sistem tambang terbuka (surface mining) dan menggunakan metode penambangan Quarry kegiatan proses penambangan terdiri dari kegiatan land clearing. Kemudian melakukan kegiatan pengupasan overburden, pengolahan lubang ledak, peledakan, setelah dilakukannya peledakan maka hasil dari batuan andesit yang sudah dilakukan di muat atau loading

menggunakan excavator dan diangkut dengan alat angkut duamp truck menuju stock pile crusher dan dilakukan pengecilan ukuran sesuai permintaan konsumen, dan tahap akhir yaitu batu andesit dapat dibeli langsung oleh pembeli ke lokasi (stockpile).

Dalam kegiatan penambangan terdapat 1 unit excavator alat gali komatsu PC 300 dan alat angkut dump truck scania P380 sebanyak 2 unit. Dimana produktifitas alat gali muat pada penambangan batu andesit di PT. Pebana Adi Sarana tidak mencapai target produksi sebesar 20.000 ton/bulan dimana produktivitas aktual hanya sebesar 15.000 ton/bulan. Ketidaktercapaian target produksi pada penambangan batu andesit disebabkan oleh keterbatasan alat angkut yang minim, waktu standby yang lama dalam kegiatan penambangan dengan karakteristik batuan yang keras, maka diperlukan kegiatan peledakan yang bertujuan untuk membraikan batuan dari batuan induknya mengakibatkan adanya breakdown lostime atau kehilangan waktu kerja yang telah direncanakan oleh perusahaan.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi kerja alat gali muat dan alat angkut penmabngan batu andesit, mengidentifikasi faktor penyebab ketidaktercapaian target produksi penambangan, dan optimalisasi produktivitas setelah dianalisis dengan metode *Quality Control Circle* (QCC). Pada umumnya untuk mengoptimalkan produktivitas bisa dianalisis dengan berbagai metode seperti QCC (Quality Controle Circle), OEE (Overall Equipment Effectivennes), metode kapasitas produksi, teori antrian dan lain-lain. Optimasi produktivitas telah dilakukan dengan metode OEE (overall equipment effectiveness) pada kegiatan pengupasan overburden di tambang batubara (Nurwulan & Fikri, 2020; Nuryono, 2018; Putri & Gusman, 2018; Rahmi & Nelvi, 2022; Rija & Anaperta, 2020), penambangan batubara (Sosantri et al., 2018), produksi fertilizer (Tobe et al., 2018), manufaktur (Yazdi et al., 2018). Optimasi dengan metode QCC (Quality Control Circle) pada penambangan batuabara (Nuryono et al., 2016), pengupasan overburden (Sumarta & Anaperta, 2019). Optimasi dengan teori antrian (May, 2012; Smet, 2014) pada tambang andesit (Octavia et al., 2019), tambang batubara (Prasmoro, 2016). Kebutuhan alat gali muat dan angkut dengan teori antrian pada pertambangan bijih nikel (Agung et al., 2020), pengupasan tanah penutup tambang batubara (Sefrizni & Kasim, 2018), tambang batubara India (Mohammadi et al., 2017). Optimasi produktivitas menggunakan metode linear programming pada perolehan produksi overburden (Adinda & Yulhendra, 2019), tambang galian marmer (Ismail, 2018).

Pemilihan metode QCC ini karena selalu berhasil dalam menurunkan masalah yang mengakibatkan produk cacat pada bagian produksi. Cara efektif menggunakan metode QCC (Quality Controle Circle) adalah dengan menggunakan alat dari metode ini yaitu seven tools yang dimana alat ini digunakan untuk mengolah yang berisi masalah masalah yang muncul

selama kegiatan produksi berlangsung yang selanjutnya mendapatkan penyebab produk lancar serta solusi dari akar masalah yang didapatkan dari pengolahan data menggunakan alat dari QCC yaitu basic seventools.

## 2. KAJIAN TEORITIS

Efisiensi kerja adalah perbandingan waktu kerja efektif terhadap waktu kerja tersediayang dinyatakan dalam persentase (%). Adanya hambatan yang terjadi selama jam kerja akan mengakibatkan waktu kerja efektif semakin kecil, sehingga efisiensi kerja juga semakin kecil. (Prodjosumarto, 1995). Pada umumnya efisiensi kerja dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kondisi alat,keahlian operator, kondisi medan kerja, cuaca dan kondisi material. Untuk menghitung nilai efisiensi kerja alat maka dapat diketahui terlebih dahulu waktu kerja efektif berdasarkan waktu kerja produktif serta waktu hambatan.

Produktivitas alat gali muat dan alat angkut adalah kemampuan produksi alat gali muat dan alat angkut. Produktivitas alat gali muat dapat dihitung menggunakan persamaan (Rahmi & Nelvi, 2022) :

$$Q = \frac{q \times 3600 \times Ek}{CT} \times SF \dots\dots\dots (1)$$

$$q = q1 \times K \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

Q = produktivitas alat (bcm/jam)

q = produktivitas per cycle (m<sup>3</sup>)

q1 = kapasitas bucket (m<sup>3</sup>)

K = *fill factor* (%)

Ek = efisiensi kerja (%)

SF = *Swell factor* (%)

CT = *cycle time* (s)

Produktivitas alat gali muat dapat dihitung menggunakan persamaan (Rahmi & Nelvi, 2022) :

$$Q = \frac{q \times 3600 \times Ek}{CT} \times SF \dots\dots\dots (3)$$

$$q = n \times q1 \times K \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan:

Q = produktivitas alat (bcm/jam)

q = produktivitas per *cycle* (m<sup>3</sup>)

q1 = kapasitas *bucket* (m<sup>3</sup>)

$n$  = jumlah pengisian

$K$  = fill factor (%)

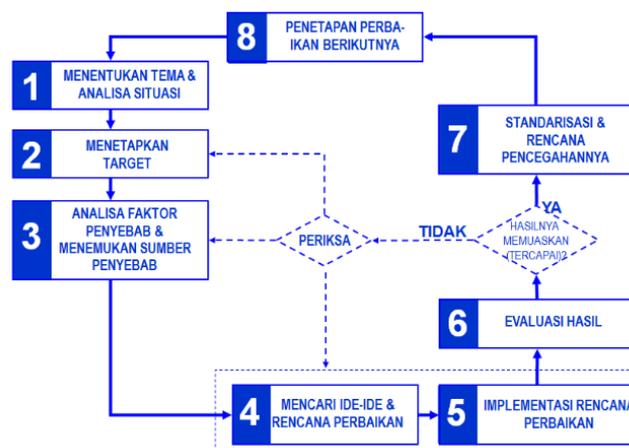
$E_k$  = efisiensi kerja (%)

$SF$  = Swell factor (%)

$CT$  = cycle time (s)

Beberapa metode optimalisasi peralatan mekanis yang dapat digunakan antara lain metode linier programming, match factor, quality control circle (QCC), Overall Equipment Effectiveness (OEE), teori antrian, dan kapasitas produksi. Penelitian ini bertujuan untuk mengkomparasi optimalisasi peralatan mekanis dengan menggunakan metode kapasitas produksi, teori antrian, dan overall equipment effectiveness (OEE) pada kegiatan pengupasan overburden pit 5 PT Samantaka Batubara. Metode kapasitas produksi adalah metode perhitungan untuk mengetahui besar produksi pada setiap peralatan mekanis (Pradana et al., 2020). Teori antrian merupakan metode yang dapat digunakan untuk memperhitungkan dan memodelkan perilaku truk dan loader di tambang terbuka agar kegiatan pemuatan berlangsung dengan lebih baik (May, 2012). Overall Equipment Effectiveness (OEE) adalah suatu metode yang digunakan untuk melihat tingkat produktivitas mesin atau peralatan dengan menghapuskan Six Big Losses peralatan (Nurwulan & Fikri, 2020; Putri & Gusman, 2018).

*Quality Control Circle* (QCC) ini pertama kali diperkenalkan oleh seorang ahli pengendalian mutu yaitu Prof. Kaoru Ishikawa pada tahun 1962 bersama dengan Japanese Union of Scientists and Engineers (JUSE). *Quality Control Circle* (QCC) adalah kelompok kecil yang secara kontinyu melakukan pertemuan untuk melakukan pengendalian dan perbaikan kualitas produk, jasaproses kerja, dengan menggunakan konsep, tool dan teknik pengendalian kualitas. Metode *Quality Control Circle* (QCC) terdiri dari:



Sumber: (Nuryono, 2018)

Gambar 1. Langkah pemecahan masalah dengan QCC

Berdasarkan gambar di atas dapat dilihat bahwa ada 8 langkah dalam optimalisasi yang ingin dicapai, yaitu:

1. Menentukan tema dan analisa situasi
2. Menetapkan target
3. Analisa faktor penyebab dan menemukan sumber penyebab
4. Mencari ide-ide dan rencana perbaikan
5. Implementasi rencana perbaikan
6. Evaluasi hasil
7. Standarisasi dan rencana pencegahannya
8. Penetapan perbaikan berikutnya

Tujuh alat pemecahan masalah adalah alat-alat (tools) yang dipakai dalam setiap tahapan perbaikan dalam mengelompokkan masalah, menampilkan data sehingga memudahkan analisis data dalam proses penyelesaian masalah dan peningkatan kinerja. Tujuh alat tersebut adalah: stratifikasi, Diagram Pareto, Diagram Sebab-akibat, Histogram, Diagram Scatter, Grafik, Check sheet.

### 3. METODE PENELITIAN

Penelitian tergolong penelitian terapan dimana penelitian menganalisis tentang perbaikan waktu hambatan terhadap efisiensi kerja alat dan produktivitas menggunakan metode quality control circle (QCC) untuk mencapai target produksi batubara pada PT. Pebana Adi Sarana. Data primer yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah cycletime dump truck dan excavator, delay time, waktu kerja, banyak pengisian bucket. Data sekunder yang dibutuhkan adalah peta IUP, plan efisiensi kerja, rencana produksi, waktu kerja tersedia, swell factor, fill factor, kapasitas bucket.

Pengolahan data dan analisis data yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menghitung nilai efisiensi kerja alat persamaan berikut (Prokosumarto, 1995):

$$EK = \frac{We}{Wt} \times 100\% \dots\dots\dots(5)$$

EK : efisiensi kerja (%)

We : waktu kerja efektif (menit)

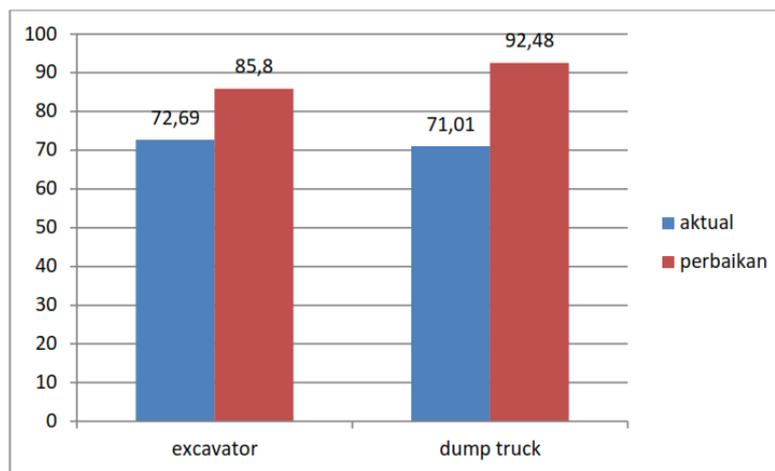
Wt : waktu kerja tersedia (menit)

2. Mengidentifikasi faktor penghambat ketidak tercapaian target produksi pada alat gali muat dan alat angkut.
3. Menganalisis produktivitas alat gali muat dan alat angkut pada sebelum dan setelah dilakukan perbaikan menggunakan metode Quality Control Circle (QCC).

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### Nilai Efisiensi Kerja Alat Pada PT. Pebana Adi Sarana

Efisiensi alat gali muat Excavator komatsu PC 300 aktual adalah sebesar 72,69%. Efisiensi alat angkut Dump Truck Scania aktual adalah sebesar 71,01%. Berdasarkan perhitungan produktivitas yang telah dilakukan, efisiensi kerja alat perlu ditingkatkan untuk mengoptimalkan produktivitas alat. Peningkatan efisiensi kerja dapat dilakukan dengan pengurangan waktu hambatan. Grafik perbandingan efisiensi kerja alat gali muat dan alat angkut aktual dan setelah perbaikan ditampilkan pada gambar 2.

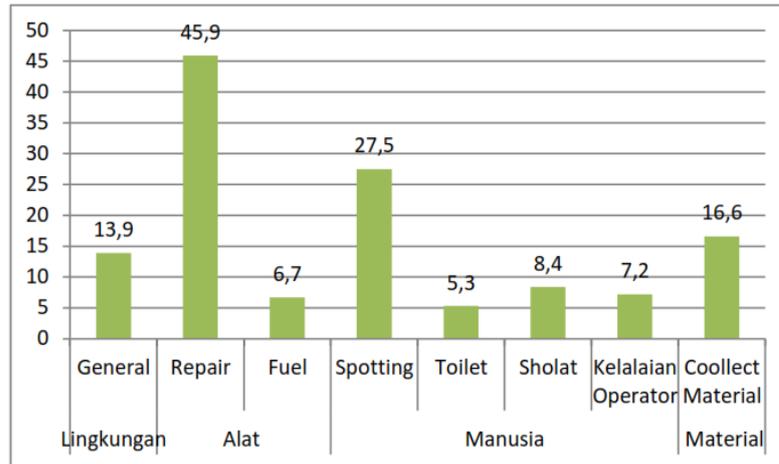


Gambar 2. Perbandingan Efisiensi Kerja Alat Gali Muat Dan Alat Angkut Aktual Dan Setelah Perbaikan

Perbandingan efisiensi kerja aktual alat gali muat exavator komatsu pc 300 dan alat angkut dump truck scania p380 dapat dilihat pada gambar di atas. Efisiensi kerja alat gali muat dan alat angkut setelah dilakukan perbaikan dimana alat gali muat setelah dilakukan perbaikan sebesar 85,8% dan alat angkut sebesar 92,48%. Peningkatan efisiensi kerja alat gali muat sebesar 13,11%. Peningkatan efisiensi kerja alat angkut sebesar 21,47%.

##### Faktor-Faktor Penghambat Ketidak Tercapaian Target Produksi Pada Alat Gali Muat Dan Alat Angkut Pada PT. Pebana Adi Sarana.

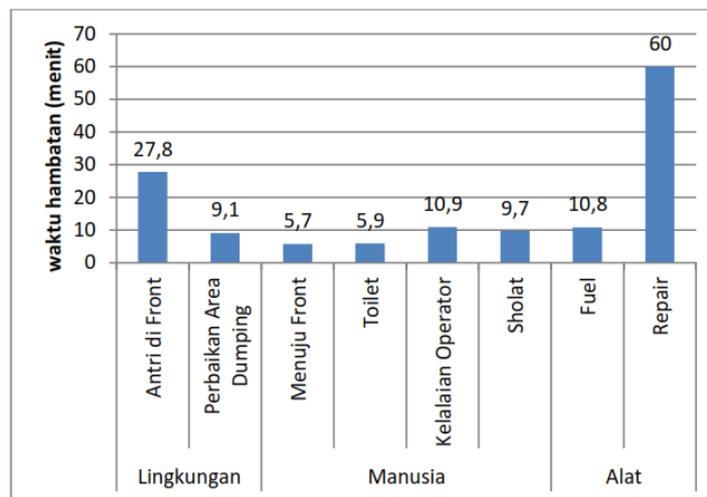
Faktor-faktor penghambat ketidak tercapaian target produksi pada alat gali muat dan alat angkut pada PT. Pebana Adi Sarana dapat disebabkan oleh adanya waktu hambatan karena faktor lingkungan, manusia, dan alat. Pada gambar di bawah dapat dilihat rincian besar waktu hambatan untuk alat gali muat.



Gambar 3. Waktu Hambatan Exavator Komatsu PC 300

Berdasarkan gambar di atas terlihat bahwa besar waktu hambatan alat gali muat Exavator komatsu PC 300 selama alat tersebut beroperasi adalah 131 menit atau 2 jam 11 menit. Faktor penyebab dari lingkungan sebesar 13,9 menit berupa general. Faktor alat sebesar 52,6 menit berupa repair dan fuel. Faktor manusia sebesar 48,4 menit berupa spotting, toilet, sholat, kelalaian operator. dan faktor material sebesar 16,6 menit berupa coollect material.

Pada gambar dibawah dapat dilihat rincian besar waktu hambatan untuk alat angkut dump truck scania p380.



Gambar 4. Waktu Hambatan Dump Truck

**Produktivitas Alat Gali Muat Dan Alat Angkut Pada PT. Pebana Adi Sarana Setelah Dilakukan Perbaikan Menggunakan Metode Quality Control Circle (QCC).**

Berdasarkan perhitungan alat gali muat sebesar 19.146,8 ton/bulan sebelum dilakukan perbaikan, dimana belum mencapai target produksi sebesar 20.000 ton/bulan. Berdasarkan perhitungan alat angkut sebesar 16.351,54 ton/bulan sebelum dilakukan perbaikan, dimana

belum mencapai target produksi sebesar 20.000 ton/bulan. Oleh karena itu perlu dilakukan dan perbaiki dengan metode Quality Control Circle (QCC).

Langkah-langkah perbaikan menggunakan metode Quality Control Circle (QCC).

1. Menentukan tema dan analisis situasi

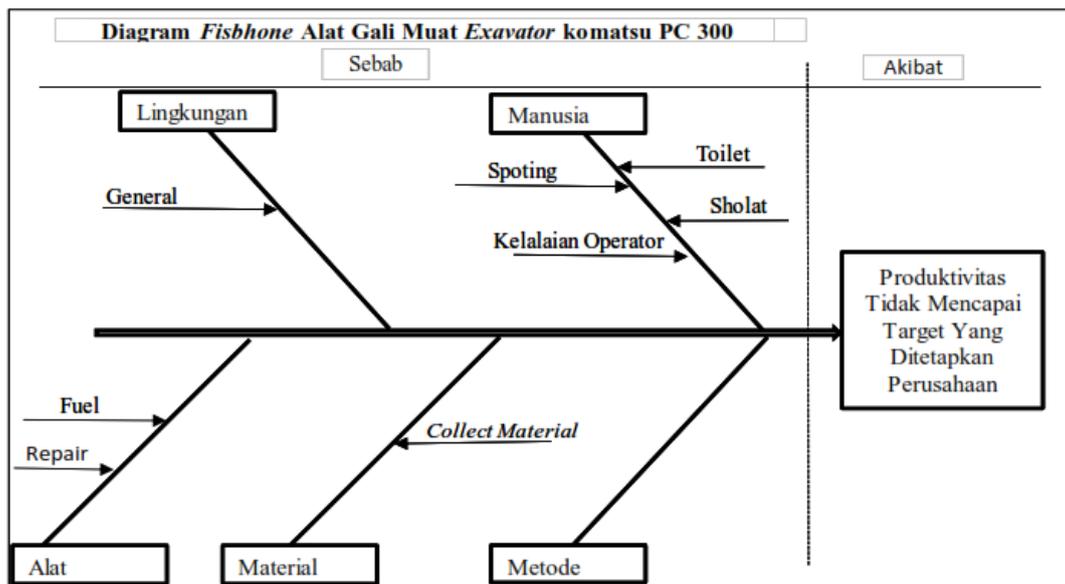
Tema pada penelitian ini produktivitas. Analisis situasi berdasarkan hasil observasi lapangan adalah tidak tercapainya target produksi.

2. Menetapkan target

Target produksi perusahaan sebesar 20.000 ton/bulan.

3. Analisa faktor penyebab dan menemukan sumber penyebab

Faktor penyebab ketidak tercapaian target produksi dianalisis menggunakan diagram fishbone seperti ditampilkan pada gambar di bawah.



Gambar 5. Diagram Fisbone

4. Mencari Ide-ide dan Langkah Perbaikan

Pada langkah keempat setelah diketahui beberapa penyebab masalah yang dominan harus membuat ide-ide perbaikan dimana langkah ini secara obyektif adalah mencari ide-ide perbaikan atau penanggulangan Simulasi perbaikan yang dilakukan dapat dilihat pada tabel 1 dan tabel 2 berikut:

Tabel 1. Ide Perbaikan Waktu Hambatan Alat Gali Muat Excavator PC 300

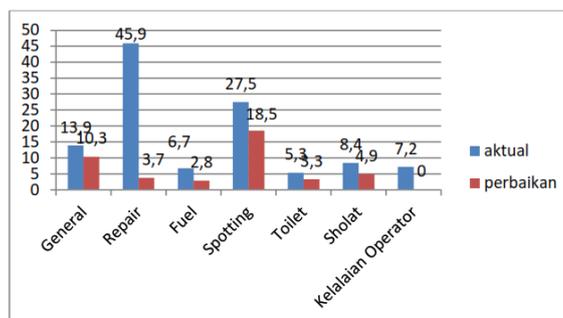
Faktor penyebab	Kegiatan	Ide Perbaikan
Lingkungan	General	Posisi alat berada pada front yang akan ditambang
Alat	Fuel	Koordinasi dengan OCR untuk pembuatan jadwal refeuling serempak
Manusia	Spotting	Lakukan antrian alat angkut jangan terlalu jauh dari alat gali muat dan pada saat alat angkut sampai ke front loading sebaiknya langsung lakukan spotting
	Toilet	
	Kelalaian operator	Sosialisasi kepada operator terkait kelalaian operator agar operator tidak melakukan kegiatan yang tidak seharusnya dilakukan agar tidak terjadinya delay time yang bisa menyebabkan tidak tercapainya produktivitas
	Sholat	Melakukan parkir alat di front jam sholat
Material	Collect	Sediakan alat pendukung agar material yang keras di ripping terlebih dahulu
	Material	

Tabel 2. Ide Perbaikan Waktu hambatan Alat Angkut Scania P380

Faktor penyebab	Kegiatan	Ide Perbaikan
Lingkungan	Antri Di Front	Penyempitan dan perbaikan area dumping pada saat jam change shift dan sedia alat pendukung untuk perbaikan sehingga alat gali muat tidak perlu melakukan
	Perbaikan area Dumping	perbaikan front penambangan
Manusia	Toilet	
	Menuju Front	Melakukan parkir alat angkut di front agar tidak ada waktu yang terbuang.
	Kelalaian Operator	Sosialisasi kepada operator terkait kelalaian operator yang menyebabkan Delay Time.
	Sholat	
Alat	Fuel	Koordinasi dengan OCR untuk membuat jadwal refueling per fleet di jam-jam yang telah ditentukan

## 5. Implementasi Rencana Perbaikan

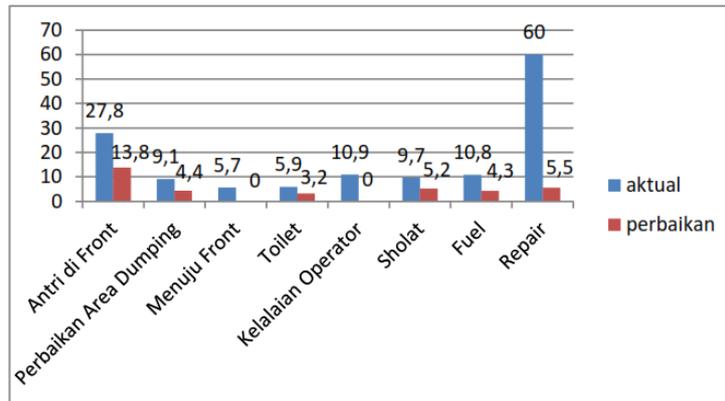
Implementasi perbaikan diterapkan untuk masing-masing unit kemudian di dapatkan hasil waktu hambatan alat mengalami penurunan. Seperti terlihat pada gambar 6 berikut:



Gambar 6. Perbandingan Waktu Hambatan Excavator Komatsu PC 300

Berdasarkan gambar diatas terdapat pengurangan waktu hambatan untuk faktor lingkungan seperti general dari 13,9 menit menjadi 10,3 menit dan untuk faktor alat disebabkan oleh repair sebesar 45,9 menit menjadi 3,7 menit. dan fuel dari 6,7 menit menjadi 2,8 menit.

Dan untuk faktor manusia spotting 27,5 menit menjadi 18,5 menit, untuk toilet 5,3 menit menjadi 3,3 menit. dan untuk sholat 8,4 menit menjadi 4,9 menit. dan untuk kelalaian operator 7,2 menit menjadi 0.

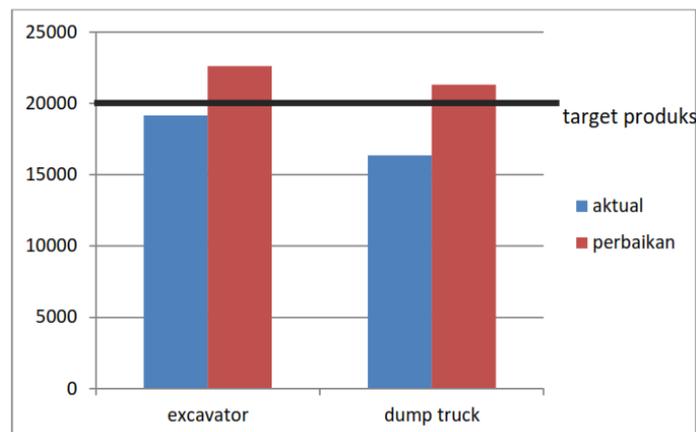


Gambar 7. Perbandingan Waktu Hambatan Dump Truck Scania p380

Berdasarkan gambar di atas terdapat pengurangan waktu hambatan untuk faktor lingkungan seperti antrian di front dari 27,8 menit menjadi 13,8 menit dan untuk faktor manusia disebabkan oleh menuju front sebesar 5,7 menit menjadi 0 dan toilet dari 5,9 menit menjadi 3,2 menit. Dan untuk kelalaian operator 10,9 menit dan sholat 9,7 menit menjadi 5,2 menit, untuk faktor alat fuel sebesar 10,8 menit menjadi 4,3 menit untuk repair 60 menit menjadi 5,5 menit.

#### 6. Evaluasi Hasil

Setelah di terapkan implementasi perbaikan menggunakan metode QCC maka didapatkan hasil produktivitas alat gali muat Komatsu PC 300 22.600,02 ton/bulan dan produktivitas alat angkut dump truck p380 sebesar 21.295,46 ton/bulan telah mencapai target produksi. Perbandingan produksi aktual dan setelah dilakukan dengan metode Quality Control Circle disajikan pada gambar dibawah ini.



Gamba 8. Perbandingan produksi dalam satu bulan

7. Standarisasi dan rencana pencegahan

Standarisasi Waktu hambatan adalah berdasarkan waktu hambatan setelah perbaikan dimana menjadi waktu hambatan maksimal agar mencapai target produksi yang di tetapkan perusahaan. Rencana pencegahan agar waktu hambatan tidak melebihi waktu maksimal maka upaya yang dilakukan seperti pendisiplinan karyawan, sosialisasi dan penyuluhan terkait proses penambangan.

8. Penetapan perbaikan berikutnya

Penetapan perbaikan berikutnya adalah efisiensi kerja alat yang perlu ditingkatkan.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Faktor yang mempengaruhi waktu hambatan alat gali muat excavator komatsu pc 300 disebabkan seperti faktor lingkungan seperti general sebesar 13,9 menit dan untuk ala angkut dump truck scania p380 disebabkan oleh faktor lingkungan seperti antrian di front sebesar 27,8 menit. Produktivitas alat gali muat sebelum dilakukan perbaikan adalah sebesar 19146,8 ton/bulan dan setelah perbaikan 22600,02 ton/bulan. Produktivitas Dump Truck Scania P380 sebelum perbaikan sebesar 16351,54 ton/bulan dan setelah perbaikan sebesar 21295,46 ton/bulan. Berdasarkan hasil penelitian direkomendasikan untuk melakukan pengawasan terhadap waktu kerja yang telah ditentukan untuk mencegah waktu hambatan yang terjadi selama alat beroperasi.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada PT Pebana Adi Sarana yang telah memberikan kesempatan dan ruang untuk melakukan penelitian. Artikel ini merupakan bagian dari Skripsi Angga Saputra di STTIND Padang.

## DAFTAR REFERENSI

- Adinda, & Yulhendra, D. (2019). Studi optimasi produktivitas alat gali muat dan alat angkut menggunakan metode linear programming pada perolehan produksi overburden PT Surya Global Makmur Jobsite Pemusiran, Kabupaten Sarolangun, Provinsi Jambi. *Jurnal Bina Tambang*, 5(2), 238–249.
- Agung, M., Wahab, W., & Firdaus, F. (2020). Analisis kebutuhan alat gali muat dan angkut pada Blok Ulin PT Indrabakti Mustika, Kecamatan Langgikima, Kabupaten Konawe Utara. *Jurnal GEOmining*, 1(2), 79–88.
- Ismail, H. (2018). Sebuah formulasi permasalahan optimalisasi produksi tambang galian marmer. *Jurnal Matematika Statistika dan Komputasi*, 14(2), 187. <https://doi.org/10.20956/jmsk.v14i2.3559>

- May, M. A. (2012). Applications of queuing theory for open-pit truck/shovel haulage systems. Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Mohammadi, M., Rai, P., & Gupta, S. (2017). Performance evaluation of bucket-based excavating, loading and transport (BELT) equipment: An OEE approach. *Archives of Mining Sciences*, 62(1), 105–120. <https://doi.org/10.1515/amsc-2017-0008>
- Nurwulan, N. R., & Fikri, D. K. (2020). Analisis produktivitas dengan metode OEE dan six big losses: Studi kasus di tambang batu bara. *IKRA-ITH EKONOMIKA*, 3(3), 30–35.
- Nuryono, A. (2018). Analisis efektivitas kinerja excavator pada aktivitas OB removal penambangan batubara. *Journal Industrial Manufacturing*, 3(2), 79–88.
- Nuryono, A., Sjarifudin, D., & Ahmad, Q. (2016). Peningkatan produktivitas alat muat sekelas OHT Cat 777 di pertambangan batubara dengan pendekatan quality control circle. *Jurnal Teknik Industri*, 6(2), 136–146. <https://doi.org/10.25105/jti.v6i2.1537>
- Octavia, G. Y., Yosomulyono, S., & Herlambang, Y. (2019). Application of queuing theory to the production system of loading equipment and transport equipment at the PT Andesite mine, Bukit Labu Mining. *JeLAST*, 6(1), 160–167.
- Pradana, S. Y., Oktafianto, K., & Nuruddin, A. W. (2020). Dump truck optimization using production capacity methods and queuing theory in limestone mines at PT Bio Alam Indonesia Persada. *Jurnal Matematika*, 2(2), 52–58.
- Prasmoro, A. V. (2016). Optimizing production in coal mining using the queuing method (case study in the mining area of Samarinda, East Kalimantan). *Jurnal Sains dan Teknologi*, 6(1), 1–16.
- Putri, N. A., & Gusman, M. (2018). Optimalisasi produksi shovel Komatsu 3000E-6 dengan metode overall equipment effectiveness (OEE) pada pengupasan lapisan overburden di Pit 2 tambang Banko Barat PT Bukit Asam (Persero) Tbk. *Jurnal Bina Tambang*, 3(3), 1300–1309.
- Rahmi, H., & Nelvi, A. (2022). Comparison of the optimization of mechanical equipment in overburden stripping activities using the production capacity method and the overall equipment effectiveness (OEE) method. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 22(2), 315–326.
- Rija, S., & Anaperta, Y. M. (2020). Optimalisasi peralatan tambang dengan metode overall equipment effectiveness (OEE) untuk memenuhi target produksi pengupasan overburden bulan Agustus 2019 di Pit 1 Utara Bangko Barat PT Satria Bahana Sarana, Tanjung Enim, Sumatera Selatan. *Bina Tambang*, 5(3), 102–110.
- Sefrizni, A., & Kasim, T. (2018). Analisis kebutuhan alat gali muat dan alat angkut menggunakan simulasi teori antrian pada produksi overburden di PT Haswi Kencana Indah, Kecamatan Sumay, Kabupaten Tebo, Provinsi Jambi. *Jurnal Bina Tambang*, 4(3), 260–270.
- Smet, L. De. (2014). Queue mining: Combining process mining and queueing analysis to understand bottlenecks, predict delays, and suggest process improvements. Eindhoven University of Technology.

- Sosantri, B. J., Yulhendra, D., & Prabowo, H. (2018). Optimalisasi peralatan tambang dengan metode overall equipment effectiveness (OEE) di Pit 1 Penambangan Batubara Banko Barat PT Bukit Asam (Persero Terbuka), Tanjung Enim, Sumatera Selatan. *Jurnal Bina Tambang*, 3(2), 1–20.
- Sumarta, F., & Anaperta, Y. M. (2019). Optimalisasi produktivitas overburden menggunakan metode quality control circle (QCC) untuk evaluasi ketidaktercapaian target produksi bulan Desember tahun 2019 pada PT Triaryani, Kabupaten Musi Rawas Utara, Sumatera Selatan. *Jurnal Bina Tambang*, 5(3), 123–132.
- Tobe, A. Y., Widhiyanuriyawan, D., & Yuliati, L. (2018). The integration of overall equipment effectiveness (OEE) method and lean manufacturing concept to improve production performance (case study: Fertilizer producer). *Journal of Engineering and Management in Industrial System*, 5(2), 102–108. <https://doi.org/10.21776/ub.jemis.2017.005.02.7>
- Yazdi, P. G., Azizi, A., & Hashemipour, M. (2018). An empirical investigation of the relationship between overall equipment efficiency (OEE) and manufacturing sustainability in Industry 4.0 with time study approach. *Sustainability (Switzerland)*, 10(9). <https://doi.org/10.3390/su10093031>