

Optimasi waktu edar pada kegiatan hauling menggunakan teori antrian di PT Gilgal Batu Alam Lestari

optimatization cycle time of hauling activity by using queuing theory In PT Gilgal Batu Alam Lestari

Tiara Meita¹, Murad², Syahrudin³

¹⁻³Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura

e-mail: ¹tiarameita2@gmail.com, ²murad@teknik.untan.ac.id, ³syahrudin@civil.untan.ac.id

ABSTRAK

PT Gilgal Batu Alam Lestari, yang selanjutnya disebut PT Gilgal adalah perusahaan pertambangan yang bergerak di bidang penambangan batu granodiorit. PT Gilgal berlokasi di Desa Bukit Batu, Kecamatan Sungai Kunyit, Kabupaten Mempawah, Provinsi Kalimantan Barat, dengan luas lokasi wilayah IUP yakni seluas 15 Ha. Dalam kegiatan pengangkutan material di PT Gilgal menggunakan 3 alat angkut *dumpruck* untuk mengangkut material dari 2 *front* penambangan ke area *crusher*. Namun, dalam kegiatan pengangkutan tersebut terjadi penumpukan alat angkut sehingga menyebabkan terjadinya antrian. Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut, maka perlu dilakukan analisis terhadap kondisi antrian di lapangan, sehingga hasil dari analisis tersebut didapatkan nilai probabilitas keadaan antrian yang kemudian digunakan sebagai acuan untuk menentukan rekomendasi desain waktu sebagai solusi untuk pemecahan permasalahan antrian yang terjadi di PT Gilgal. Adapun tujuan dari optimasi waktu edar pada penelitian ini adalah untuk memaksimalkan dan mengefisienkan waktu edar alat sehingga produktivitas alat angkut dapat meningkat dan target produksi yang ditentukan dapat tercapai. Target produksi PT Gilgal adalah 20.000 m³/bulan, kemudian setelah digunakan waktu rekomendasi, produksi meningkat menjadi 33.702,92 m³.

Kata-kata kunci: alat angkut, teori antrian, waktu edar.

ABSTRACT

PT Gilgal Batu Alam Lestari, here in after referred as PT Gilgal is a mining company which is engaged in mining of granodiorite. PT Gilgal is located in Bukit Batu Village, Sungai Kunyit District, Mempawah Regency, West Kalimantan Province. PT Gilgal's IUP area is 15 hectare. In PT Gilgal's material hauling activity, they uses 3 units of dumpruck to transport the materials from 2 mining front to crusher area. However, in that hauling activity there is a buildup of transportation equipment whic is causing a queue. To solve that problem, it is necessary to carry out an analysis of queue conditions in PT Gilgal's mining area, so the result of analysis can be used as reference for determine time design recommendations as a solution to solving queuing problems that occur at PT Gilgal. Meanwhile, the optimization of cycle time in this study aims to maximize and make the cycle time of the equipment more efficient so that the productivity of the conveyance can increase and te specified production target can be achieved. PT Gilgal's production target is 20.000 m³/month, after using the recommended time, production increases to 33.702,92 m³/month.

Keywords: conveyance, cycle time, queuing theory.

PENDAHULUAN

PT Gilgal Batu Alam Lestari, yang selanjutnya disebut PT Gilgal, adalah perusahaan pertambangan yang bergerak di bidang penambangan batu granodiorit. PT Gilgal berlokasi di Desa Bukit Batu, Kecamatan Sungai Kunyit, Kabupaten Mempawah, Provinsi Kalimantan Barat, dengan luas Izin Usaha Pertambangan seluas 15 Ha. Pada produksi batu granodiorit, PT Gilgal menggunakan sistem penambangan terbuka dengan metode quarry. Salah satu kegiatan paling penting dalam kegiatan penambangan di quarry PT Gilgal adalah kegiatan pengangkutan material batuan atau hauling. Kegiatan hauling dilakukan dari 2 front penambangan atau lokasi loading point menuju area crusher. Dalam kegiatan hauling, PT Gilgal menggunakan 3 unit alat angkut *dumpruck* Mitsubishi Fuso 220 PS, sedangkan untuk kegiatan pembongkaran menggunakan 2 unit alat gali muat *excavator*, yakni *excavator* Caterpillar 320D dan *excavator* Caterpillar 330D. Namun, kondisi tersebut menyebabkan terjadinya penumpukan *dumpruck* pada area crusher sehingga menyebabkan terjadinya antrian. Kondisi jalan angkut cukup baik, namun masih ada bagian yang belum memenuhi standar jalan angkut tambang sehingga turut

mempengaruhi waktu edar pada kegiatan hauling. Maka, untuk mengatasi permasalahan antrian tersebut diperlukan suatu upaya yakni dengan melakukan analisis terhadap kondisi antrian di lapangan dengan menggunakan teori antrian, kemudian hasil dari analisis tersebut digunakan sebagai acuan untuk membuat rekomendasi yang diharapkan mampu untuk mengoptimalkan kegiatan pengangkutan di PT Gilgal yang bertujuan untuk meningkatkan produktivitas alat angkut dan memaksimalkan waktu edar tanpa merubah kondisi jalan di PT Gilgal dan meminimalisir antrian yang terjadi.

METODOLOGI

Waktu Edar

Waktu edar alat angkut (Cta) merupakan penjumlahan dari waktu mengatur posisi, waktu isi muatan, waktu angkut muatan, waktu mengatur posisi untuk menumpahkan muatan, waktu menumpahkan material, dan waktu untk kembali kosong.

Teori Antrian

Antrian adalah situasi barisan tunggu dimana jumlah kesatuan fisik (pendatang) sedang berusaha untuk

menerima pelayanan dari fasilitas (pemberi layanan), sehingga pendatang harus menunggu beberapa waktu dalam barisan agar mendapatkan giliran untuk dilayani [1]. Teori antrian merupakan sebuah bagian penting operasi dan juga bermanfaat di dalam dunia usaha.

1. Komponen Sistem Antrian

a. Sumber Masukan

Unit masukan dari sebuah sistem diperoleh dari beberapa populasi. Populasi ini bisa tidak terbatas dan bisa pula terbatas ukurannya.

b. Disiplin Pelayanan

Disiplin pelayanan adalah suatu aturan dimana para pelanggan dilayani. Tipe aturan antrian terdiri dari:

- 1) First in First Out (FIFO)
- 2) Last In First Out (LIFO)
- 3) Service In Random Order (SIRO)
- 4) Priority Dicipines (PRI)

c. Mekanisme Pelayanan

Berdasarkan mekanisme pelayanan, sistem antrian dapat dibedakan menjadi:

1) Pelayanan Tunggal

Model Antrian yang hanya memiliki satu fasilitas pelayanan.

2) Multi Pelayanan

➤ Sistem Antrian Dengan Pelayanan Paralel

Model Antrian apabila fasilitas pelayanannya lebih dari satu dan disusun secara berjajar, artinya sejumlah pelanggan bisa dilayani oleh sejumlah fasilitas secara bersamaan

➤ Sistem Antrian Pelayanan Ser

Model antrian apabila fasilitas pelayanannya lebih dari satu yang disusun secara berurutan, artinya pelanggan dalam fasilitas pelayanan akan dilayani secara bertahap.

d. Karakteristik Sistem Antrian Putaran

Operasi antrian adalah operasi yang menggunakan sistem antrian putaran yang terdiri dari kumpulan tahap atau fase dalam suatu rangkaian tertutup. Adapun sistem ini menggunakan alat muat sebagai pelayan untuk melayani alat angkut sebagai pelanggan. Pada tiap tahap, pelanggan menerima pelayanan. Pelanggan yang selesai pada tahap i dengan segera antri untuk mendapatkan pelayanan pada tahap $i+1$, $i=1,2,\dots,M$, dimana M adalah jumlah seluruh tahap. Output dari tahap i adalah input pada tahap $i+1$.

Setelah mendapatkan pelayanan lengkap pada tahap M , pelanggan antri untuk mendapatkan pelayanan pada tahap i , jadi tahapnya akan berulang kembali. Karena operasi ini adalah sebuah rangkaian tertutup, maka hanya ada pelanggan (K) dengan jumlah terbatas dalam seluruh tahap.

e. Karakteristik Sistem Antrian Kesetimbangan Pelayanan

Untuk perluasan model antrian putaran tiap-tiap tahap dapat dianggap sama, seperti keadaan untuk seluruh sistem putaran yang dapat ditunjukkan dengan

(n_1, n_2, \dots, n_M) dimana, n_1 unit alat angkut pada tahap 1, n_2 unit alat angkut pada tahap 2, dan seterusnya hingga tahap M . Untuk K unit putaran diperoleh dengan persamaan-persamaan yang dikemukakan oleh Carmichael [2].

Metode Penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan penelitian jenis kuantitatif. Tujuan penelitian kuantitatif adalah mengembangkan dan menggunakan model matematis, teori dan/atau hipotesis yang berkaitan dengan fenomena alam. Dalam kegiatan penambangan di PT Gilbal terdapat kegiatan pengangkutan yang menjadi salah satu proses yang penting dan berpengaruh pada kinerja perusahaan. Berdasarkan proses tersebut, maka dilakukanlah pengamatan-pengamatan data terhadap ritase pada kegiatan pengangkutan atau hauling serta faktor-faktor yang berkaitan dengan kegiatan pengangkutan dan kondisi lapangan di PT Gilbal.

Tahapan Penelitian

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mencari jurnal, mengumpulkan buku-buku dari perpustakaan, dan bahan-bahan tertulis lainnya yang dapat dijadikan referensi yang relevan dengan penelitian yang dilakukan.

2. Pengumpulan Data Primer

a. Waktu Edar

Data waktu edar yang diperlukan adalah waktu edar alat angkut dan alat gali-muat dengan menggunakan stopwatch.

b. Geometri Jalan Angkut

Data geometri jalan diperlukan sebagai data pendukung. Pengambilan data geometri jalan dilakukan dengan mengukur lebar jalan angkut pada jalan lurus dengan menggunakan meteran, kemudian untuk pengambilan data pada komponen geometri jalan yang lainnya, yakni lebar jalan pada tikungan, kemiringan jalan (*grade*), dan kemiringan melintang, pengambilan data dilakukan dengan bantuan alat *total station*.

3. Pengumpulan Data Sekunder

- a. Data Spesifikasi Alat Angkut
- b. Data Jam Kerja Di PT Gilbal

Pengolahan dan Analisis Data

Data waktu edar alat angkut yang didapatkan kemudian diolah dengan menggunakan aplikasi Microsoft Excel. Kemudian data waktu edar yang telah diolah dianalisis untuk mendapatkan probabilitas keadaan antriannya dengan menggunakan teori antrian. Kemudian dari hasil tersebut menjadi acuan untuk membuat rekomendasi desain waktu. Adapun rekomendasi desain waktu tersebut didapatkan dari waktu edar *dumpruck* dalam keadaan normal. Rekomendasi waktu diberikan untuk pencapaian target produksi.

HASIL DAN DISKUSI

Hasil Penelitian

1. Alat Angkut & Alat Muat

- 3 unit alat angkut *dumptruck* Mitshubishi Fuso 220 PS, sedangkan alat muat yang digunakan adalah
- 2 unit alat muat *excavator* Caterpillar, yakni seri 330D dan 320D.

2. Waktu Edar

Rata-rata **Waktu Edar 3 Mitshubishi Fuso 220 PS** = 10,742 menit; Rata-rata **waktu edar Caterpillar 330D** = 4,661 menit untuk *dumptruck* 1; 6,211 menit untuk *dumptruck* 2; dan 5,550 menit untuk *dumptruck* 3; **Caterpillar 320D** adalah 9,170 menit untuk *dumptruck* 1; 19,802 untuk *dumptruck* 2; dan 17,697 menit untuk *dumptruck* 3. Sedangkan untuk rata-rata **waktu edar untuk alat muat excavator** adalah 0,317 menit untuk *excavator* Caterpillar 330D dan 0,244 menit untuk *excavator* Caterpillar 320D.

3. Geometri Jalan Angkut

Jalan angkut pada PT Gilbal terbagi menjadi 2, yakni jalan angkut dari front 1 dan jalan angkut dari front 2. Jalan angkut dari front 1 menuju area crusher berjarak 245 meter, sedangkan jalan angkut dari front 2 menuju area crusher berjarak 284 meter.

a. Lebar Jalan Angkut

Jalan pada lokasi penambangan di PT Gilbal memiliki lebar rata-rata untuk jalan lurus adalah 6 meter dan lebar jalan pada tikungan adalah 6 meter. Sedangkan, perhitungan lebar minimum pada jalan lurus adalah $4,92 \approx 5$ meter dan perhitungan lebar jalan minimum untuk lebar pada tikungan adalah 6 meter

b. Jenis Tikungan

Adapun rata-rata jenis tikungan di jalan angkut PT Gilbal berdasarkan observasi dan pengamatan langsung di lapangan yang berjumlah 4 tikungan adalah tikungan jenis Spiral-Spiral (SS), dicirikan dengan bentuk tikungan yang tajam dan tidak membusur. Kecepatan yang digunakan pada kegiatan hauling yakni rata-rata 30 km/jam, sedangkan kecepatan yang digunakan pada saat melewati tikungan di bawah 30 km/jam yakni 20 km/jam sampai 25 km/jam.

c. Kemiringan Jalan/Grade Jalan

Kemiringan jalan di jalan angkut PT Gilbal memiliki grade maksimum melebihi ketentuan standar jalan tambang, yakni 15,69% pada STA 0+050 – STA 0+075 untuk di front kanan dan 19,58% pada STA 0+100 – STA 0+125 di front kiri. Nilai-nilai grade tersebut tidak aman untuk dilalui alat angkut seperti yang dipaparkan oleh Indonesianto, 2006 bahwa maksimum grade yang disarankan untuk dilalui alat angkut tambang adalah maksimum 8% atau $4,5^\circ$ dan berdasarkan ketentuan Kepmen ESDM no. 1827 K/30/MEM, bahwa kemiringan jalan angkut tidak boleh lebih dari 12%.

4. Perhitungan Teori Antrian

a. Penentuan Model Sistem Antrian

Jumlah fasilitas pelayanan yaitu 1 unit crusher dan 2 unit *excavator* melayani 3 unit

dumptruck, maka mekanisme pelayanan yang diterapkan merupakan sistem antrian pelayanan tunggal (single server) dengan kapasitas terbatas yaitu 3 unit *dumptruck* dengan sistem kerja terdiri dari 4 tahap yang berulang-ulang sehingga untuk perhitungannya menggunakan model antrian putaran (tertutup).

b. Penentuan Waktu Dan Tingkat Pelayanan Rata-rata

➤ Tahap 1

Waktu pelayanan *excavator* untuk melayani *dumptruck* (W_{pb}), dapat diketahui dengan menggabungkan waktu manuver *dumptruck* di *loading point* dan waktu *loading*.

$$T_1 = 0,984 \text{ menit}$$

$$T_2 = 1,643 \text{ menit}$$

$$W_{pb} = T_1 + T_2$$

$$W_{pb} = 0,984 + 1,643$$

$$W_{pb} = 2,627$$

Tingkat pelayanan *backhoe* setiap 1 jam untuk melayani tiap unit *dumptruck* (μ_1), dapat diketahui dengan persamaan di bawah ini.

$$\mu_1 = \frac{1}{W_{pb}}$$

$$\mu_1 = \frac{1}{2,627}$$

$$\mu_1 = 0,381 \text{ unit/menit}$$

$$\mu_1 = 22,841 \text{ unit/jam} \approx 23 \text{ unit/jam}$$

Sehingga, tahap pertama dilakukan selama 2,627 menit dengan tingkat pelayanan rata-rata sebanyak 23 *dumptruck*/jam.

➤ Tahap 2

Tahap kedua dilakukan selama 1,198 menit dengan tingkat pelayanan rata-rata sebanyak 50 *dumptruck*/jam.

➤ Tahap 3

Tahap ketiga dilakukan selama 5,482 menit dengan tingkat pelayanan rata-rata sebanyak 11 *dumptruck*/jam.

➤ Tahap 4

Tahap keempat dilakukan selama 1,434 menit dengan tingkat pelayanan rata-rata sebanyak 42 *dumptruck*/jam.

i. Penentuan Jumlah Kemungkinan Keadaan

$$\binom{3+4-1}{3} = \frac{(3+4-1)!}{(4-1)!3!}$$

$$= 20 \text{ kemungkinan terjadi antrian}$$

Jadi ada 20 kemungkinan keadaan antrian yang akan terjadi jika terdapat 3 truk diantara 4 tahap.

ii. Penentuan Probabilitas Keadaan

Probabilitas keadaan menjadi dasar dari ketentuan bahwa jumlah probabilitas-probabilitas sama dengan 1 (satu). Kemudian dari tabel jumlah koefisien dari seluruh keadaan sistem adalah 25,710, maka untuk probabilitas keadaan:

$$P(3,0,0,0) = \frac{1}{25,710} = 0,039$$

Sebagai pedoman, bahwa jumlah total nilai dari probabilitas-probabilitas tiap keadaan adalah 1 (satu).

Tabel-1. Probabilitas Keadaan Antrian

No	Keadaan				Koefisien	Probabilitas
	n_1	n_2	n_3	n_4		
1.	3	0	0	0	1,000	0,039
2.	0	3	0	0	0,016	0,001
3.	0	0	3	0	9,091	0,354
4.	0	0	0	3	0,027	0,001
5.	2	1	0	0	0,456	0,018
6.	0	2	1	0	0,217	0,008
7.	0	0	2	1	2,378	0,093
8.	1	0	0	2	0,149	0,006
9.	1	1	1	0	0,952	0,037
10.	0	1	1	1	0,520	0,020
11.	1	0	1	1	1,140	0,044
12.	1	1	0	1	0,249	0,010
13.	1	2	0	0	0,104	0,004
14.	0	1	2	0	1,987	0,077
15.	0	0	1	2	0,311	0,012
16.	2	0	0	1	0,546	0,021
17.	1	0	2	0	4,356	0,169
18.	0	1	0	2	0,068	0,003
19.	2	0	1	0	2,087	0,081
20.	0	2	0	1	0,057	0,002
Jumlah					25,710	1,000

iii. Rata-rata Jumlah *Dumptruck* Yang Menunggu Dalam Antrian

Dumptruck menunggu untuk dimuati *backhoe* dengan ketentuan keadaan $n_1 > 1$, sehingga rata-rata *dumptruck* yang menunggu pada *backhoe*:

$$Lq_1 = 1 \times \Sigma (\text{probabilitas keadaan } n_1 > 1)$$

$$Lq_1 = 1 \times \Sigma (\text{probabilitas keadaan } 1,5,16,19)$$

$$= 1 \times 0,159$$

$$= 0,159 \text{ truk/menit}$$

$$= 10 \text{ truk/jam}$$

Dumptruck menunggu untuk menumpahkan muatan ke *hopper*, dengan ketentuan keadaan $n_3 > 1$, sehingga rata-rata *dumptruck* yang menunggu untuk menumpahkan muatan adalah:

$$Lq_3 = 1 \times \Sigma (\text{probabilitas keadaan } n_3 > 1)$$

$$Lq_3 = 1 \times \Sigma (\text{probabilitas keadaan } 3,7,14,17)$$

$$= 1 \times 0,693$$

$$= 0,693 \text{ truk/menit}$$

$$= 42 \text{ truk/jam}$$

iv. Rata-rata Waktu Tunggu Dalam Antrian

Untuk mengetahui tingkat kesibukan *backhoe* dapat diketahui melalui perhitungan dengan rumus persamaan sebagai berikut.

$$\eta_1 = 1 - \Sigma P(0, n_2, n_3, n_4)$$

Rumus persamaan tersebut diperoleh dari kondisi $n_1 = 0$, yaitu keadaan dimana tidak ada *dumptruck* yang datang ke kuari (*backhoe* dalam keadaan menganggur), maka:

$$\eta_1 = \{1 - \Sigma (\text{probabilitas keadaan } n_1 = 0)\} \times 100\%$$

$$= \left\{ \left(\frac{1 - \Sigma (\text{probabilitas keadaan } 2,3,4,6,7,10,14,15,18,20)}{1} \right) \right\} \times 100\%$$

$$= \{1 - 0,571\} \times 100\%$$

$$= 42,94 \%$$

Jadi, tingkat kesibukan *backhoe* pada operasi penambangan adalah 42,94 %. Karena operasi pemuatan ada pada tahap 1, maka jumlah *dumptruck* yang dapat dilayani pada tahap ini adalah:

$$\theta_1 = \eta_1 \times \mu_1$$

$$= (42,94\%) \times (22,841 \text{ truk/jam})$$

$$= 9,807 \text{ truk/jam} \approx 10 \text{ truk/jam}$$

Untuk tahap 2,3, dan 4, nilai θ diasumsikan sama, sehingga:

$$\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = \theta_4$$

Rata-rata waktu tunggu *dumptruck* dalam antrian pada *backhoe* adalah:

$$Wq_1 = \frac{Lq_1}{\theta}$$

$$= \frac{0,159}{9,807}$$

$$= 0,016 \text{ jam}$$

$$= 0,973 \text{ menit}$$

Rata-rata waktu tunggu *dumptruck* di area *crusher* adalah:

$$Wq_3 = \frac{Lq_3}{\theta}$$

$$= \frac{0,693}{9,807}$$

$$= 0,071 \text{ jam}$$

$$= 4,24 \text{ menit}$$

v. Total Waktu Edar dan Tingkat Kedatangan *Dumptruck*

Perhitungan waktu edar alat angkut tanpa waktu antri (tunggu) dapat diperoleh dengan menggunakan rumus persamaan berikut:

$$CTt = (1/\mu_1 + 1/\mu_2 + 1/\mu_3 + 1/\mu_4)$$

$$= \frac{1}{22,841} + \frac{1}{50,082} + \frac{1}{10,944} + \frac{1}{41,830}$$

$$= 0,179 \text{ jam/truk}$$

$$= 10,742 \text{ menit/truk}$$

Berdasarkan penerapan teori antrian maka total waktu edar alat angkut setiap ritnya akan menjadi:

$$\text{total CTt} = (1/\mu_1 + 1/\mu_2 + 1/\mu_3 + 1/\mu_4 + Wq_1 + Wq_3) \text{ jam/truk}$$

$$= (0,179 + 0,016 + 0,071) \text{ jam/truk}$$

$$= 0,266 \text{ jam/truk}$$

$$= 15,953 \text{ menit/truk}$$

Sehingga tingkat kedatangan tiap unit *dumptruck* dalam 1 jam baik di *loading point* maupun di area *crusher* adalah:

$$\lambda = \lambda_1 = \lambda_3 = \left(\frac{1}{15,953} \times 60 \right) \text{ truk/jam}$$

$$= 3,761 \approx 4 \text{ truk/jam}$$

Faktor dan Hambatan

1. *Front* Penambangan

Pada kegiatan penambangan di PT Gilbal terdapat 2 front penambangan. Penggunaan 3 alat angkut dimaksudkan untuk memaksimalkan penggunaan alat angkut yang tersedia dan adanya 2 front penambangan tersebut dimaksudkan agar mengefisiensikan penggunaan *crusher*. Namun, keadaan tersebut mengakibatkan

terjadinya penumpukan alat angkut terutama pada area crusher sehingga terjadi antrian.

2. Geometri Jalan

Dari hasil pengukuran di lapangan diketahui bahwa jalan angkut di PT Gilbal memiliki lebar rata-rata 6 meter pada jalan lurus maupun pada tikungan. Jalan angkut di PT Gilbal keadaannya cukup baik dan lebar rata-rata jalan angkut sudah memenuhi standar, namun karena jalan tersebut hanya 1 jalur, keadaan tersebut seringkali membuat alat angkut berpapasan dan saling menunggu di area crusher maupun di loading point.

Jalan angkut di PT Gilbal memiliki grade jalan paling tinggi yakni 15,69% di front 1 dan 19,58% di front 2, sehingga menyebabkan alat angkut harus memperlambat kecepatannya pada area dengan grade yang tinggi tersebut, hal ini memperlambat waktu rit dari alat angkut tersebut dan menjadi hambatan pada waktu edar.

3. Hambatan Pada Waktu Edar

Berdasarkan waktu hambatan pada tabel-2 dapat diketahui nilai Efisiensi Kerja (Ek) alat *dumpruck* aktual di lapangan adalah 76,001%.

Tabel-2. Hambatan Pada Waktu Edar Kondisi Aktual

Hambatan	Waktu (Menit)
Waktu Tersedia Per Hari	480
Hambatan Yang Dapat Dihindari	
Terlambat	11
Istirahat Lebih Awal	45
Istirahat Terlalu Lama	30
Pulang Awal	15
Waktu Tunggu Dalam Antrian	2,40
Jumlah	103,395
Hambatan Yang Tidak Dapat Dihindari	
Hujan	0
Pengisian Bahan Bakar	18
Pemeriksaan Alat dan Pemanasan	15
Kerusakan dan Perbaikan Alat Angkut	22
Jumlah	55
Jumlah Hambatan	158,395

4. Produktivitas

Kemampuan produksi untuk 2 alat muat dan 3 alat angkut alat angkut adalah 18.730,65 m³/bulan. Produktivitas *Dumpruck* Mitsubishi Fuso 220 PS yang dilayani oleh *Excavator* Caterpillar 330D antara lain *Dumpruck* 1 4.746,862 m³/bulan, *Dumpruck* 2 3.562,248 m³/bulan, dan *Dumpruck* 3 3.986,509 m³/bulan. Produktivitas *Dumpruck* Mitsubishi Fuso 220 PS yang dilayani oleh *Excavator* Caterpillar 320D antara lain *Dumpruck* 1 3.247,963 m³/bulan, *Dumpruck* 2 1.504,081 m³/bulan, *Dumpruck* 3 1.682,987 m³/bulan.

Berdasarkan perhitungan di atas, maka kemampuan produksi alat angkut saat ini adalah 18.730,65 m³/bulan. Sehingga target produksi perusahaan 20.000 m³/bulan yang diinginkan perusahaan belum tercapai.

Rekomendasi

a. Rekomendasi Desain Waktu

Waktu rekomendasi didapatkan dari rata-rata waktu edar dalam keadaan normal. Adapun waktu yang didapatkan adalah:

1. Tahap 1: 1,558 menit (*front* 1); 2,132 menit (*front* 2)
2. Tahap 2: 1,558 menit
3. Tahap 3: 0,936 menit
4. Tahap 4: 1,009 menit

b. Simulasi Rekomendasi

Simulasi rekomendasi dilakukan dengan menggunakan skema di bawah ini. Dapat dilihat pada skema terdapat 1 skema dengan 2 sub sistem. Hal tersebut menunjukkan terdapat 2 *front* penambangan dalam kesatuan kegiatan pengangkutan.

c. Efisiensi Kerja Waktu Rekomendasi

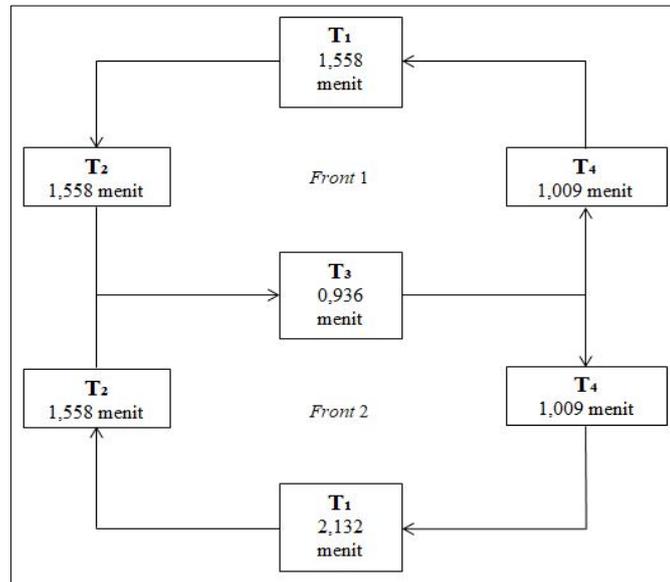
Efisiensi kerja rekomendasi didapatkan dari pengurangan waktu hambatan. Adapun efisiensi kerja yang didapatkan adalah 87,82% (waktu hambatan pada tabel-3) dan 88,12% (waktu hambatan pada tabel-4).

Tabel-3. Hambatan Pada Waktu Edar Rekomendasi 1

Hambatan	Waktu (Menit)
Waktu Tersedia Per Hari	480
Hambatan Yang Dapat Dihindari	
Terlambat	0
Istirahat Lebih Awal	0
Istirahat Terlalu Lama	0
Pulang Awal	0
Waktu Tunggu Dalam Antrian	3,45
Jumlah	3,45
Hambatan Yang Tidak Dapat Dihindari	
Hujan	0
Pengisian Bahan Bakar	18
Pemeriksaan Alat dan Pemanasan	15
Kerusakan dan Perbaikan Alat Angkut	22
Jumlah	55
Jumlah Hambatan	58,45

Tabel-4. Hambatan Pada Waktu Edar Rekomendasi 2

Hambatan	Waktu (Menit)
Waktu Tersedia Per Hari	480
Hambatan Yang Dapat Dihindari	
Terlambat	0
Istirahat Lebih Awal	0
Istirahat Terlalu Lama	0
Pulang Awal	0
Waktu Tunggu Dalam Antrian	2,045
Jumlah	2,045
Hambatan Yang Tidak Dapat Dihindari	
Hujan	0
Pengisian Bahan Bakar	18
Pemeriksaan Alat dan Pemanasan	15
Kerusakan dan Perbaikan Alat Angkut	22
Jumlah	55
Jumlah Hambatan	57,045



Gambar-1. Skema Simulasi Waktu Rekomendasi

Tabel-5. Perbandingan Aktual-Rekomendasi

Anotasi	Aktual	Rekomendasi I		Rekomendasi II	
		Front 1	Front 2	Front 1	Front 2
Waktu Tunggu di <i>Backhoe</i>	0,973 menit	0,714 menit	0,747 menit	0,769 menit	0,896 menit
Tingkat Kesibukan <i>Backhoe</i>	42,94%	81,25%	83,89%	67,23%	70,30%
Jumlah <i>Dumptruck</i> yang Dapat Dilayani	10	44	46	20	19
Waktu Tunggu di <i>Area Crusher</i>	4,24 menit	0,18 menit	0,15 menit	0,19 menit	0,19 menit
Total Waktu Edar Berdasarkan Teori Antrian	15,953	6,82	7,2	6,46	6,84
Tingkat Kedatangan <i>Dumptruck</i> di Loading Point maupun di <i>Area Crusher</i>	4	9,85	9,52	9,85	9,26
Efisiensi Kerja <i>Dumptruck</i>	67,00%	88,30%		88,12%	
Produktivitas Alat Angkut	18730,65 m/bulan	33.702,39 m/bulan		30.699,98 m/bulan	

d. Produktivitas Rekomendasi

1. Rekomendasi 1

- i. Produktivitas *Dumptruck* Mitsubishi Fuso 220 PS yang dilayani oleh *Excavator* Caterpillar 330D
Qta = 16730,76 m³/bulan
- ii. Produktivitas *Dumptruck* Mitsubishi Fuso 220 PS yang dilayani oleh *Excavator* Caterpillar 320D
Qta = 21688,03 m³/bulan
Total Produksi = 33.702,39 m³/bulan.

2. Rekomendasi 2

- i. Produktivitas *Dumptruck* Mitsubishi Fuso 220 PS yang dilayani oleh *Excavator* Caterpillar 330D
Qta = 16787,92 m³/bulan
- ii. Produktivitas *Dumptruck* Mitsubishi Fuso 220 PS yang dilayani oleh *Excavator* Caterpillar 320D
Total Produksi = 30.699,98 m³/bulan.

Rekomendasi yang diberikan berupa desain waktu yang merupakan pengaturan waktu keberangkatan *dumptruck* pada kegiatan *hauling* di PT Gilbal. Rekomendasi dapat digunakan pada kegiatan *hauling* dengan kondisi geometri jalan aktual dan dengan kecepatan alat angkut yang ditentukan di PT Gilbal.

KESIMPULAN

- 1. Probabilitas keadaan antrian dan waktu hambatan yang terjadi pada kegiatan *hauling* di PT Gilbal:
 - a. Berdasarkan hasil pengolahan data, total waktu edar pada kondisi aktual adalah 10,742 menit dengan total waktu edar berdasarkan teori antrian adalah 15,953 menit. Tahap 1 dilakukan selama 2,627 menit dengan tingkat pelayanan rata-rata sebanyak 23 unit/jam. Tahap 2 dilakukan selama 1,198 menit dengan tingkat pelayanan rata-rata sebanyak 50 unit/jam. Tahap 3 memiliki rata-rata waktu 5,482 menit dengan tingkat pelayanan rata-rata sebanyak 11 unit/jam. Tahap 4 dilakukan selama 1,434 menit dengan tingkat pelayanan rata-

rata sebanyak 42 unit/jam. Tingkat kedatangan tiap unit *dumpruck* dalam 1 jam baik di *loading point* maupun di area *crusher* adalah 4 unit/jam.

- b. Terdapat 20 kemungkinan terjadinya antrian karena terdapat 3 unit *dumpruck* di antara 4 tahap. Jumlah koefisien dari seluruh keadaan sistem antrian adalah 25,710 dengan total probabilitas keadaan untuk $n_1 > 1$ adalah 0,159 dengan jumlah *dumpruck* yang menunggu dalam antrian untuk pelayanan *backhoe* adalah 10 unit/jam dan total probabilitas keadaan untuk $n_3 > 1$ adalah 0,693 dengan jumlah *dumpruck* yang menunggu dalam antrian untuk menumpahkan muatan di area *crusher* adalah 42 unit/jam.
 - c. Tingkat kesibukan *backhoe* aktual kurang dari 50%, yakni 42,94% dengan rata-rata waktu tunggu di *loading point* adalah 0,973 menit, sedangkan rata-rata waktu tunggu *dumpruck* di area *crusher* adalah 4,24 menit.
2. Desain waktu untuk kegiatan *hauling* yang direkomendasikan:
 - a. Tahap 1 merupakan gabungan antara waktu manuver *dumpruck* untuk *loading* dan waktu *loading*. Waktu manuver *loading* diambil dari waktu terbaik pada keadaan normal. Sedangkan untuk waktu *loading* menggunakan rata-rata waktu terbaik pada ritase tiap *excavator* dalam kondisi normal, dimana untuk mendapatkan waktu tersebut didapatkan dari jumlah waktu 1 ritase dikalikan jumlah *bucket*. Waktu pada tahap 1 berbeda di tiap *front*, yakni 1,788 menit untuk di *front* 1 dan 2,132 untuk di *front* 2.
 - b. Tahap 2 merupakan waktu pelayanan *dumpruck* untuk mengangkut material ke area *crusher*. Waktu yang didapatkan untuk tahap 2 adalah 1,558 menit.
 - c. Tahap 3 merupakan waktu pelayanan *dumpruck* untuk menumpahkan material di area *crusher* atau *dumping point*. Waktu untuk tahap 3 didapatkan dari penjumlahan antara rata-rata waktu untuk manuver *dumping* dan waktu untuk *dumping*. Dari jumlah kedua waktu tersebut didapatkan waktu untuk tahap 3 adalah 0,936 menit.
 - d. Tahap 4 merupakan waktu alat angkut untuk kembali ke *loading point* / *hauling* kosong. Rata-rata waktu yang didapatkan untuk tahap 4 adalah 1,009 menit.
 3. Target produksi perusahaan yakni 20.000 m³/bulan, meningkat ketika menggunakan Rekomendasi Desain Waktu untuk kegiatan pengangkutan, dari 18.730,65 m³/bulan meningkat menjadi 33.702,39 m³/bulan untuk penggunaan Waktu Rekomendasi I dan meningkat menjadi 30.699,98 m³/bulan untuk penggunaan Waktu Rekomendasi II.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Perlu dilakukan lebih lanjut mengenai evaluasi jalan angkut, terutama pada bagian tikungan dapat ditambah nilai jari-jari tikungan untuk penyesuaian antara kecepatan alat angkut ketika melewati tikungan dan waktu alat angkut untuk melewati tikungan.
2. Untuk penelitian selanjutnya, perlu dilakukan pengambilan waktu edar alat angkut per *front* agar perhitungan alat angkut lebih detail dan terklasifikasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Dr. Murad, M.S., M.T. dan Bapak Ir. Syahrudin, M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping, serta Bapak Budhi Purwoko, S.T., M.T. dan Ibu Ir. Azwa Nirmala, M.T. selaku Dosen Penguji Utama dan Dosen Penguji Pendamping yang telah memberikan bimbingan dan masukan mengenai penelitian yang dilaksanakan oleh penulis. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Bapak Eko Chandra selaku KTT PT Gilgal Batu Alam Lestari dan pihak PT Gilgal Batu Alam Lestari yang telah menerima dan memberikan kesempatan kepada penulis untuk melakukan penelitian di lokasi penambangan PT Gilgal Batu Alam Lestari.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ma'arif, M. S., & Tanjung, H, *Manajemen Operasi*. Jakarta: PT Grasindo, 2003.
- [2] D. G. Carmichael, "*Engineering Queues In Contruction and Mining*". Departemen of Civil Engineering, University of Western Australia, 1987.
- [3] G. Y. Octavia, "Penerapan Teori Antrian Pada Sistem Produksi Alat Muat Dan Alat Angkut Di Tambang *Andesit* PT Bukit Labu Mining," Jurnal PWK, Laut, Sipil, Tambang, 2019.
- [4] I. Hermawan, "*Evaluasi Produktivitas Crushing Plant PT Gilgal Batu Alam Lestari Kabupaten Mempawah Provinsi Kalimantan Barat*," Jurnal PWK, Laut, Sipil, Tambang, 2022.
- [5] F. Purba, "*Kajian Teknis Produktivitas Alat Gali Muat Dan Alat Angkut Untuk Mencapai Target Produksi 10.000 M³/Bulan CV. Lithosindo Jaya Desa Peniraman Kecamatan Sungai Pinyuh Kabupaten Mempawah*," Jurnal PWK, Laut, Sipil, Tambang, 2021.
- [6] A. P. Hidayati, "*Optimasi Alat Gali Muat Dan Alat Angkut Menggunakan Metode Teori Antrian Dan Kapasitas Produksi Pada Kegiatan Coal Getting Di PT Natural Artha Resource*," Mine Magazine, vol. 2, September. 2021.
- [7] F. Tania, "*Evaluasi Geometri Jalan Angkut Tambang Dari Front Penambangan Menuju Lokasi Washing Plant PT Cita Mineral Investindo Tbk (CITA) Kecamatan Sandai Kabupaten Ketapang*," Jurnal PWK, Laut, Sipil, Tambang, 2021.
- [8] Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, *Tata cara Perencanaan Geometrik Jalan antar kota*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum, 1997.
- [9] Y. Indonesianto, "*Pemindahan Tanah Mekanis*". Yogyakarta: CV. Awan Poetih, 2014.
- [10] D. Hardani, "*Metode Penelitian Kualitatif & Kuantitatif*". Yogyakarta: Pustaka Ilmu, 2020.

