

Aplikasi pendekatan metode probabilistik dalam menentukan *match factor* alat mekanis di PT Sinar Nirwana Sari

Application of probabilistic method approach in determining mechanical equipment match factor at PT Sinar Nirwana Sari

Eko Santoso¹, Nuri Pirmia Sari², Karina Shella Putri^{3*}, Adip Mustofa⁴

¹⁻³Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat

⁴Program Studi Rekayasa Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat

e-mail: ¹eko@ulm.ac.id, ²pirmia_nuri@gmail.com, ³karinashella@ulm.ac.id, ⁴adip@ulm.ac.id

ABSTRAK

Ketidakpastian nilai keserasian alat yang diakibatkan oleh bervariasinya data *cycle time* akan menyebabkan rata-rata nilai keserasian alat yang dihasilkan kurang sesuai dengan kondisi yang sebenarnya. Penelitian ini mengaplikasikan metode probabilistik yaitu Monte Carlo pada penentuan keserasian alat. Perhitungan nilai probabilitas *match factor* (MF) dilakukan untuk mengetahui kemungkinan nilai keserasian alat sama dengan satu, kurang dari satu dan lebih dari satu dan kemudian dapat diketahui rentang *cycle time* yang optimal untuk alat angkut dan alat gali muat. Hasil yang didapatkan pada MF1, probabilitas nilai $MF < 0,8$ adalah 99,1%, $0,8 < MF \leq 1$ adalah sebesar 0,9% (dari fungsi log logistik) dan $MF > 1$ adalah 0%. Pada MF2, probabilitas nilai $MF < 0,8$ adalah 78,8% (dari fungsi logistik) dan $0,8 < MF \leq 1$ adalah sebesar 18,2% (dari fungsi logistik) dan $MF > 1$ adalah 3%. Probabilitas menggunakan dua kali standar deviasi (MF2) yang dipakai untuk menentukan rentang *cycle time* alat angkut maupun alat gali muat yang perlu dijaga agar lebih optimal dalam bekerja. Rentang *cycle time* yang optimal untuk mendapatkan $0,8 < MF \leq 1$ adalah 900-1300 detik untuk alat angkut dan 15-35 detik untuk alat gali muat.

Kata-kata kunci: cycle time, keserasian alat, Monte Carlo, optimal

ABSTRACT

The uncertainty of the match factor value (MF) caused by variations in data cycle time will cause the average match factor value to be less in accordance with actual conditions. This study applies the probabilistic method, namely Monte Carlo to the determination of match factor. The calculation of the match factor probability value is carried out to determine the probability of the match factor value being equal to one, less than one and more than one and then it can be known the optimal cycle time range for hauling equipment and excavating equipment. As a result obtained in MF1, the probability of MF value < 0.8 is 99.1%, $0.8 < MF \leq 1$ is 0.9% (logistic log function) and $MF > 1$ is 0%. In MF2, the probability of $MF < 0.8$ is 78.8% (logistics function) and $0.8 < MF \leq 1$ is 18.2% (logistics function) and $MF > 1$ is 3%. Probability uses twice the standard deviation (MF2) used to determine the range cycle time of hauling equipment and excavating equipment that needs to be maintained to be more optimal in working. The optimal range cycle time to get $0.8 < MF \leq 1$ is 900-1300 seconds for hauling equipment and 15-35 seconds for excavating equipment.

Keywords: cycle time, match factor, Monte Carlo, optimal

PENDAHULUAN

Kegiatan penambangan merupakan satu rangkaian kegiatan yang kompleks dimana satu dengan yang lainnya saling terkait. Dalam proses penambangan, faktor keserasian alat mekanis merupakan faktor yang sangat penting dalam keberlangsungan produksi. [1] Truk dan excavator adalah peralatan yang paling banyak digunakan dalam industri pertambangan, dan kinerjanya sangat saling bergantung. Ketika masalah terjadi pada satu jenis peralatan, produktivitas jenis peralatan lainnya juga terpengaruh. Artinya, waktu tunggu excavator, antrian truk dan tandan di jalan, dan masalah kapasitas idle di crusher dapat berdampak pada *direct costs* atau *opportunity costs*. Meskipun telah banyak peneliti menyelidiki masalah pengiriman truk [2], [3], [4], namun hal ini masih merupakan topik penelitian yang menarik karena (1) setiap tambang spesifik, (2) ada banyak ketidakpastian seperti cuaca, waktu siklus, efek pengemudi dan sebagainya, (3) teknologi sensor baru memberikan peluang baru untuk meningkatkan metode yang ada.

Penambangan batubara secara open pit sangat memperhatikan pengoptimalan kemampuan kerja alat angkut dan alat gali muat karena peralatan mekanis

tersebutlah yang digunakan dalam [5] aktivitas-aktivitas seperti *stripping top soil* dan *overburden, land cover disposal*, serta penambangan batubara. [6] Terdapat 3 kategori dari hasil perhitungan keserasian alat (*match factor*) yaitu MF kurang dari 1 yang berarti sistem under truck, MF sama dengan 1 yang berarti sistem seimbang, dan MF lebih dari 1 yang berarti sistem over truck. Apabila nilai keserasian antara alat gali muat dengan alat angkut kurang dari 1, maka perlu adanya penambahan jumlah unit alat angkut, tetapi sebelum melakukan penambahan armada, harus ada penelitian lebih lanjut mengenai kondisi aktual dari data *cycle time* alat. [7] Kecepatan pengangkutan, waktu pengangkutan dan tonase muatan truk semuanya merupakan nilai probabilistik karena ketidakpastian yang terlibat dalam operasi penambangan nyata, dan teknik simulasi adalah alat yang ampuh untuk menangkap ketidakpastian ini. Ketidakpastian nilai keserasian alat yang diakibatkan oleh bervariasinya data *cycle time* yang didapatkan akan menyebabkan nilai keserasian alat yang dihasilkan menjadi kurang sesuai dengan kondisi yang sebenarnya di lapangan, padahal kondisi ideal dalam proses pemuatan dan pengangkutan material harus dioptimalkan. [8]

Perhitungan analitik untuk kombinasi alat gali muat dan alat angkut dapat menggunakan fungsi kerapatan probabilitas. [9] [10] [11] Pendekatan statistik dalam analisis keserasian alat memang telah banyak dilakukan dan [12] [13] beberapanya menggunakan metode probabilistik. Adanya permasalahan kondisi ketidakpastian tersebut, maka pada penelitian ini akan mengaplikasikan metode probabilistik dengan *Monte Carlo* pada penentuan keserasian alat yang menawarkan cara yang lebih sistematis dan kuantitatif dalam memperlakukan kondisi ketidakpastian serta memberikan informasi penting dalam proses evaluasi nilai *match factor* guna mencapai efisiensi kerja yang maksimal dan mengetahui variabel yang mempengaruhi dalam menentukan nilai *match factor*.

Permasalahan seperti di atas kini dialami oleh PT Sinar Nirwana Sari dalam proses pemindahan top soil, maka dari itu di lakukanlah penelitian dengan judul “Aplikasi Pendekatan Metode Probabilistik dalam Menentukan Nilai *Match Factor* Alat Mekanis di PT Sinar Nirwana Sari site PT Jorong Barutama Greston Kabupaten Tanah Laut Provinsi Kalimantan Selatan”.

METODOLOGI

Metode Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data ditempuh dengan prosedur penelitian yang mencakup:

1. Observasi Lapangan, teknik ini dilakukan dengan cara peninjauan lapangan untuk melakukan pengamatan secara langsung terhadap situasi, kondisi dan aktifitas di lokasi penelitian.
2. Studi Literatur, studi literatur merupakan kegiatan mempelajari, mengumpulkan dan membaca berbagai sumber pustaka untuk memperkuat landasan teori. Tahap studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan sumber informasi yang berkaitan dengan kegiatan penelitian yang dilakukan.
3. Wawancara, teknik ini dilakukan dengan cara Tanya jawab langsung terhadap personal (manusia) dari pihak perusahaan yang merupakan sumber informasi yang berhubungan dengan kegiatan penelitian dan masalah yang dihadapi.
4. Tahap Pengumpulan Data, data diperoleh dari pengamatan langsung di lapangan (data primer) dan literatur yang berhubungan dengan permasalahan yang ada (data sekunder). Pengambilan data tergantung dari jenis data yang dibutuhkan, yaitu :
 - a. Data primer antara lain, data *cycle time* alat gali muat dan alat angkut.
 - b. Data Sekunder antara lain:
 - 1) data spesifikasi alat angkut
 - 2) data spesifikasi alat gali muat
 - 3) swell factor
 - 4) bucket fill factor
 - 5) peta kesampaian daerah
5. Tahap Pengolahan Data, tahap pengolahan data ini yaitu pengolahan data setelah pengumpulan data. Data yang telah diperoleh kemudian dikelompokkan sesuai dengan kegunaannya untuk lebih memudahkan dalam penganalisaan, yang selanjutnya disajikan dalam bentuk tabel, grafik, atau perhitungan penyelesaian.

- a. Data mengenai perhitungan *cycle time* alat gali muat dan alat angkut
 - b. Data efisiensi kerja alat gali muat dan alat angkut
 - c. Data mengenai perhitungan produktivitas alat gali muat dan alat angkut
 - d. Data mengenai fungsi distribusi probabilitas (PDF) pada keserasian alat.
 - e. Data mengenai nilai rata-rata dan standar deviasi dari nilai keserasian alat.
 - f. Data mengenai probabilitas keserasian alat.
6. Analisis Data dan Pembahasan, setelah semua data-data diperoleh, kemudian dilanjutkan dengan proses analisis data. Proses analisis data juga dibagi menjadi beberapa tahapan yaitu:
- a. Pengolahan data, data yang telah diperoleh kemudian dikelompokkan sesuai dengan kegunaannya untuk lebih memudahkan dalam penganalisaan, yang selanjutnya disajikan dalam bentuk tabel, grafik, atau perhitungan penyelesaian.
 - b. Karakterisasi (pengenalan) variabel acak bebas (*cycle time*) yang didahului dengan fase deterministik, dimana variabilitas datanya disajikan dalam histogram frekuensi relatif dan dilakukan perhitungan gejala pusat (rata-rata = μ) serta ukuran penyebaran (varian = σ^2 dan standard deviasi = σ). Dilanjutkan fase probabilistik yaitu tahap pemilihan fungsi kerapatan distribusi probabilitas yang diikuti proses uji keabsahan (pengujian hipotesis) fungsi distribusi probabilitas melalui uji chi-square (χ^2) pada taraf nyata sebesar 95%.

Probabilitas

Metode probabilitas (kemungkinan) termasuk dalam ranah ilmu statistik, yaitu pengetahuan yang berhubungan dengan cara-cara pengumpulan data, pengolahan, penganalisisan dan penarikan kesimpulan. Peranan ilmu probabilitas berkenaan dengan pengambilan keputusan pada kondisi ketidakpastian, dalam pengertian bahwa konsekuensi suatu keputusan tidak dapat ditentukan dengan keyakinan yang sempurna. Probabilitas menunjuk pada terjadinya suatu peristiwa (event) relatif terhadap peristiwa-peristiwa lainnya, dengan kata lain ada lebih dari satu kemungkinan. Gabungan dari semua kemungkinan dalam suatu masalah probabilitas dinamakan *ruang sampel* (N) dan sebuah peristiwa atau *event* yang ditinjau (E) terjadi dalam (n) cara, maka probabilitas peristiwa E secara matematis sederhana dapat ditulis pada Persamaan (1).

$$P(E) = \frac{n}{N} \quad (1)$$

dimana aksioma dasar dari probabilitas adalah sebagai berikut:

- a. Untuk setiap peristiwa E di dalam ruang sampel N, terdapat probabilitas:

$$P(E) \geq 0$$
- b. Kedua, probabilitas dari peristiwa tertentu (*certain event*) S adalah:

$$P(S) = 1,0$$
- c. Probabilitas dari suatu peristiwa (event) E dibatasi antara 0 dan 1, yaitu:

$$0 \leq P(E) \leq 1,0$$

Variabel Acak

Permasalahan pada penentuan nilai *cycle time* yang digunakan dalam menentukan *match factor* merupakan salah satu contoh kondisi ketidakpastian, dari pengamatan yang dilakukan terdapat variabilitas nilai dan terdapat daerah kisaran dari nilai-nilai yang diukur atau diamati. Fenomena seperti itu dalam statistik probabilistik disebut dengan fenomena acak atau *variabel acak (random)*, dimana pada setiap eksperimen atau pengambilan data didapatkan hasil yang selalu berbeda. Semua kemungkinan nilai yang muncul pada variabel acak dinamakan sebagai ruang sampel, dimana terdapat dua jenis ruang sampel, yaitu: ruang sampel diskrit dan ruang sampel menerus (kontinu).

Fungsi Distribusi Probabilitas

Karakteristik data dari variabel acak dapat digambarkan secara grafis dalam bentuk *histogram* maupun *diagram frekuensi empiris*. Secara teoritik distribusi probabilitas dapat disajikan dalam bentuk *fungsi kerapatan probabilitas (PDF)*, yang menggambarkan kemungkinan relatif dari suatu variabel acak kontinu dimana suatu nilai memiliki potensial kemungkinan tertentu. Untuk mendapatkan distribusi ini, langkah pertama adalah membuat diagram frekuensi relatif terhadap data variabel acak (*histogram frekuensi relatif*) yang kemudian didekati dengan kurva frekuensi hingga didapatkan fungsi kerapatan probabilitas yang sesuai (lihat Gambar 1a). Luas area di dalam kurva PDF adalah berjumlah 1 satuan. Alternatif lain guna menjelaskan karakteristik data dari variabel acak adalah melalui *fungsi distribusi kumulatif (Cumulative Distribution Function, CDF)*. CDF merupakan integral dari PDF yang menjelaskan bahwa nilai variabel acak adalah kurang dari atau sama dengan pada nilai tertentu pada grafik (lihat Gambar 1b), ini berarti ordinat x_1 pada distribusi kumulatif adalah area x_1 ke kiri di bawah fungsi PDF. Jika fungsi PDF adalah $f_x(x)$ dan CDF dengan fungsi $F_x(x)$, maka hubungan keduanya dapat dilihat pada Persamaan (2)

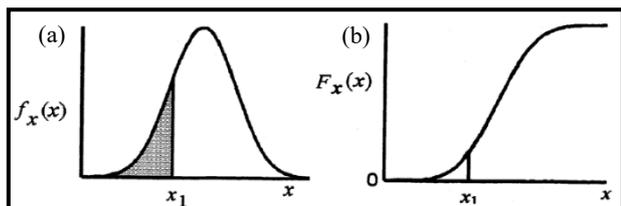
$$f_x(x) = \frac{dF_x(x)}{dx} \tag{2}$$

Jika $F_x(x)$ adalah fungsi distribusi kumulatif, maka harus memenuhi sifat-sifat sebagai berikut:

$$F_x(-\infty) = 0 ; F_x(+\infty) = 1,0$$

$$0 \leq f_x(x) \leq 1,0$$

$$F_x(x) \geq 0, \text{ dan menurun selaras dengan } x$$



Sumber: [14]
Gambar 1 (a) PDF dan (b) CDF variabel acak

[15] Fungsi distribusi probabilitas memiliki sifat-sifat penyebaran yang khas dan unik yang menjadikan fungsi yang satu akan berbeda dengan fungsi yang lain, berikut ini adalah beberapa distribusi teoritis probabilitas yang penting sebagai berikut:

a. Distribusi normal

[16] Distribusi normal (*normal distribution*) dikenal juga sebagai *distribusi gauss* adalah distribusi dengan variabel acak kontinu. Distribusi normal memiliki fungsi kerapatan probabilitas yang diberikan oleh Persamaan (3).

$$f_x(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x-\mu}{\sigma} \right)^2 \right] \tag{3}$$

dimana $-\infty < x < +\infty$; dengan $\mu = \bar{x}$ adalah nilai rata-rata dan $\sigma = s$ adalah nilai simpangan baku.

Untuk menentukan probabilitas harga X antara a dan b , yakni $P(a < X \leq b)$ dapat menggunakan Persamaan (4).

$$P(a < X \leq b) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_a^b \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x-\mu}{\sigma} \right)^2 \right] dx \tag{4}$$

Untuk penggunaan praktis, distribusi normal umum dapat diubah menjadi distribusi normal baku dengan transformasi pada Persamaan (5)

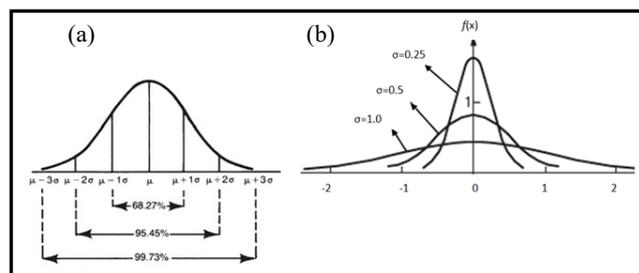
$$Z = \frac{X-\mu}{\sigma} \tag{5}$$

Salah satu sifat penting dalam distribusi normal adalah, bahwa luas daerah di bawah grafik selalu sama dengan satu, pada Gambar 2a. terlihat bahwa daerah sekitar $\mu \pm 1\sigma$, $\mu \pm 2\sigma$ dan $\mu \pm 3\sigma$ masing-masing sama dengan 68,27%, 95,45% dan 99,73%. Pada Gambar 2b. juga terlihat jika data dengan nilai tengah sama, tetapi memiliki nilai standard deviasi yang berbeda maka kurva akan semakin landai jika semakin besar dan menandakan penyebaran data yang lebih besar.

b. Distribusi Eksponensial

Distribusi Eksponensial dikenal adalah suatu distribusi dengan pola negatif kumulatif dan sering dikenal sebagai *eksponensial negatif*. Fungsi kerapatan teoritis dapat dilihat pada Persamaan (6).

$$f_x(x) = \lambda e^{-\lambda x} \quad x \geq 0 \tag{6}$$



Sumber: [14]
Gambar 2. Kurva distribusi normal: (a) prosentase penyebaran data (b) kurva dengan nilai standard deviasi yang berbeda

c. Distribusi Log Normal

Suatu variabel acak X mempunyai distribusi probabilitas *normal logaritmis* (*log normal*) jika merupakan suatu fungsi dari $\ln X$. Dalam hal ini, fungsi kerapatannya dapat dilihat pada Persamaan (7).

$$f_x(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\zeta x}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln x - \lambda}{\zeta} \right)^2 \right] \tag{7}$$

Dimana $\lambda = E(\ln X)$ dan $\zeta = \sqrt{\text{Var}(\ln X)}$ masing-masing adalah nilai rata-rata dan deviasi standar dari $\ln X$.
dimana λ adalah parameter distribusi eksponensial yang memiliki nilai konstan.

d. Distribusi Beta

Suatu distribusi probabilitas yang layak untuk variabel acak dengan nilai-nilai terbatas, katakanlah di antara nilai a dan b , adalah *distribusi beta*. Distribusi beta dapat dijadikan rujukan pengganti untuk setiap distribusi probabilitas yang lain dengan sedikit permasalahan nilai, pasalnya nilai-nilai tersebut berada pada rentang tertentu. Fungsi teoritisnya dapat dilihat pada Persamaan (8).

$$f_x(x) = \frac{1}{B(q,r)} \frac{(x-a)^{q-1}(b-x)^{r-1}}{(b-a)^{q+r-1}} \quad a \leq x \leq b \quad (8)$$

dimana q dan r adalah parameter-parameter distribusi beta, dan $B(q, r)$ adalah *fungsi beta*.

$$B(q, r) = \int_0^1 x^{q-1}(1-x)^{r-1} dx \quad (9)$$

d. Distribusi Log Logistic

[17] Jika sebuah variable acak T berdistribusi log logistic yang merupakan distribusi kontinu dimana distribusi kontinu ini mempunyai dis parameter yaitu a sebagai parameter lokasi dan β sebagai parameter skala dimana $a, \beta > 0$ (Persamaan (10)).

$$f(t) = \frac{kt^{k-1} \rho^k}{\{1+(t\rho)^k\}^2} du \quad (10)$$

Dimana $P = \frac{1}{e^\alpha}$ dan $k = \frac{1}{\beta}$

HASIL DAN DISKUSI

Deskripsi Data

Kegiatan pengambilan data dilakukan dengan melakukan pengamatan secara langsung di lapangan serta melalui berbagai literatur yang berkaitan dengan penelitian ini. Pengambilan data dilakukan pada bulan April 2018. Alat gali muat yang digunakan pada kegiatan pembongkaran material tanah penutup adalah alat gali muat alat gali muat *Kobelco SK480LC No. 201* sedangkan alat angkut yang digunakan adalah alat angkut *Dump Truck Hino 700*.

Waktu Edar (cycle time)

Data waktu edar alat gali muat *Kobelco SK480LC No. 201* rata-rata dari 300 data hasil pengamatan di lapangan, dapat dilihat pada Tabel-1. Alat angkut yang diamati pada penelitian ini berjumlah 6 unit. Data waktu edar *Dump Truck Hino 700* rata-rata dari 60

data hasil pengamatan di lapangan dapat dilihat pada Tabel-2.

Pendekatan Model Probabilistik

Penggunaan metode Probabilistik dimaksudkan guna mengetahui nilai probabilitas *match factor* sama dengan satu, kurang dari satu dan lebih dari satu. Bab ini diawali dengan dilakukan proses karakterisasi variabel acak yang menjadi input analisis *Match factor* dan dilanjutkan dengan perhitungan nilai probabilitas *match factor* berdasarkan input *cycle time* alat angkut dengan alat gali muat.

[18] Simulasi *Monte Carlo* merupakan metode yang banyak digunakan pada analisis probabilitas. Metode ini sangat berguna dalam pemecahan permasalahan yang berkaitan dengan variabel acak, selain sederhana juga lebih fleksibel dalam menggabungkan suatu varietas distribusi probabilitas yang cukup besar tanpa banyak penafsiran. Pada perhitungan nilai *match factor* merupakan rasio antara *cycle time* alat angkut dan *cycle time* alat gali muat, dimana masing-masing parameter merupakan fungsi dari variabel acak yang bersifat taktentu dan berdistribusi probabilitas tertentu, maka sangat cocok penggunaan simulasi *Monte Carlo* untuk menyelesaikan permasalahan ketidakpastian pada nilai *cycle time*, hingga didapatkan nilai probabilitas *match factor*.

Proses Karakterisasi Variabel acak

[14] Proses karakterisasi variable acak adalah salah satu proses penentuan fungsi distribusi probabilitas teoritik pada variable acak yang menjadi input pada analisis keserasian alat gali muat dan alat angkut, adapun tahapan proses tersebut adalah sebagai berikut:

- Membuat atau data dalam distribusi frekuensi relatif.
- Menyajikan data dalam histogram frekuensi relatif.
- Penentuan distribusi teoritik atau fungsi kerapatan probabilitas (PDF).
- Pengujian keabsahan distribusi menggunakan metode *chi-kuadrat (chi-square)* serta pengujian hipotesis taraf nyata sebesar 95%.

Tabel-1. Waktu Edar Alat Gali Muat (detik)

Hari Pengamatan	Digging	Swing on	Passing	Swing off	Cycle time
1	6,18	5,28	4,99	4,36	21,28
2	6,74	5,57	5,32	4,52	22,71
3	6,97	5,65	5,56	4,68	22,85
4	5,76	5,80	4,71	22,89	22,89
Rata-rata	6,41	5,57	5,14	9,11	22,43

Tabel-2. Waktu Edar Alat Angkut

Unit	Manuver Empty	Loading Time	Travel Time	Manuver Dump	Dumping Time	Returning Time	Cycle time
1	45,10	131,20	590,31	41,19	42,88	604,31	1,454,98
2	40,06	134,06	463,07	79,86	77,49	469,40	1,263,94
3	42,94	132,66	470,99	80,03	72,87	467,41	1,266,90
4	79,74	111,41	664,77	46,33	36,60	576,85	1,515,70
5	43,48	131,42	464,16	80,03	75,26	468,49	1,262,84
6	43,56	134,48	463,32	73,44	67,91	489,93	1,272,64
Rata-rata	49,15	129,21	519,44	66,81	62,17	512,73	1,339,50

Karakterisasi Data Cycle Time Alat Gali Muat

Karakterisasi variable acak dari *Microsoft Excel* (*Excel*) yang terintegrasi dengan perangkat lunak *Best Fitt* dari *@RISK* terhadap 300 data *cycle time* alat gali muat menunjukkan bahwa variabel acak data *cycle time* alat gali muat memiliki beberapa kemungkinan fungsi kerapatan probabilitas, maka penentuan distribusi teoritis yang digunakan adalah didasarkan pada sedekat mungkin dengan bentuk distribusi empirik dan berdasarkan nilai *chi-kuadrat* serta nilai koefisien variasi (*COV*) terkecil, ini menandakan bahwa fungsi yang dipilih memberikan tingkat distribusi data yang lebih homogen jika dibandingkan dengan distribusi empirisnya. Ditentukan fungsi yang dipilih untuk data *cycle time* alat gali muat adalah berfungsi distribusi *betageneral* (lihat Gambar-3 dan Tabel-3) dan setelah itu dilakukan pengujian keabsahan distribusi pada taraf nyata 95 %. Dari hasil uji nilai *chi-square* didapatkan berbagai jenis fungsi distribusi, akan tetapi fungsi distribusi yang paling sesuai adalah betaGeneral karena memiliki nilai *chi-square* yang paling kecil, yaitu 16,56.

Karakterisasi Data Cycle Time Alat Angkut

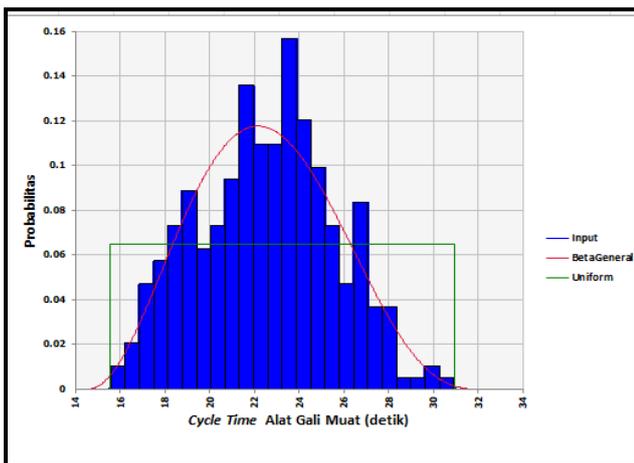
Berikut ini adalah karakterisasi variable acak yang dilakukan dengan *Excel* terintegrasi dengan perangkat lunak *Best Fitt* dari *@RISK* terhadap 60 data *cycle time* alat angkut. Terlihat bahwa variabel acak data *cycle time* alat angkut memiliki beberapa kemungkinan fungsi kerapatan probabilitas, maka penentuan distribusi teoritis yang digunakan adalah didasarkan pada sedekat mungkin dengan bentuk distribusi empirik dan berdasarkan nilai *chi-kuadrat* serta nilai koefisien variasi

(*COV*) terkecil, ini menandakan bahwa fungsi yang dipilih memberikan tingkat distribusi data yang lebih homogen jika dibandingkan dengan distribusi empirisnya. Ditentukan fungsi yang dipilih untuk data *cycle time* alat angkut adalah berfungsi distribusi *log logistik* (lihat Gambar-4 dan Tabel-4) dan Setelah itu dilakukan pengujian keabsahan distribusi pada taraf nyata 95 %. Dari hasil uji nilai *chi-square* didapatkan berbagai jenis fungsi distribusi, akan tetapi fungsi distribusi yang paling sesuai adalah Loglogistik karena memiliki nilai *chi-square* yang paling kecil, yaitu 14,1.

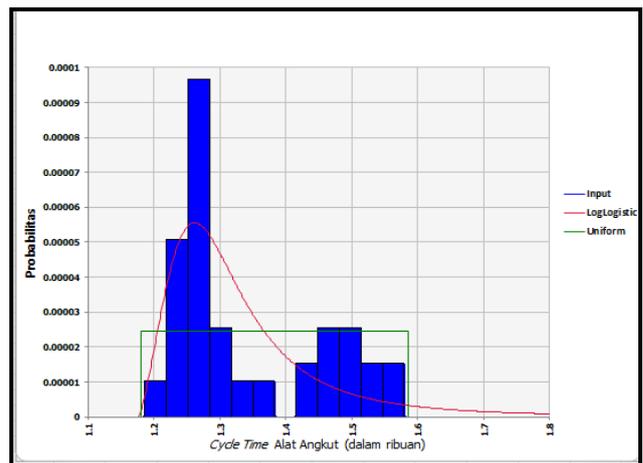
Perhitungan Probabilitas Match Factor

Perhitungan Probabilitas *Match Factor* pada penelitian ini menggunakan metode probabilistik simulasi *Monte Carlo*. Perhitungan nilai probabilitas *match factor* dilakukan untuk mengetahui kemungkinan nilai *match factor* sama dengan satu, kurang dari satu dan lebih dari satu.

Perhitungan nilai probabilitas *Match factor* pada program *Excel* dilakukan dengan simulasi *Monte Carlo* sebanyak 100 kali pada masing-masing data *cycle time* alat gali muat dan alat angkut. Setelah didapatkan 100 data tersebut, kemudian dilakukan perhitungan nilai dari *match factor*. Perhitungan *match factor* pada penelitian ini menggunakan variabel tetap yaitu jumlah pengisian sebanyak 5 kali, jumlah *dump truck*, sebanyak 6 unit, dan jumlah alat gali muat sebanyak 1 unit. Variabel acak dalam penelitian ini antara lain waktu edar *dump truck* dan waktu pemuatan.



Gambar-3. Distribusi Empirik dan Teoritik *Cycle Time* Alat Gali Muat



Gambar-4. Distribusi Empirik dan Teoritik *Cycle Time* Alat Angkut

Tabel-3. Hasil Karakterisasi *Cycle Time* Alat Gali Muat

Parameter Statistik	Input (detik)	PDF Cycle Time (detik)	
		BetaGeneral	Uniform
Minimum	15,59	14,49	15,53
Maksimum	30,9	32,18	30,95
Rata-rata	22,49	22,48	23,24
Stand. Dev	3,07	3,07	4,44
COV (%)	13,65	13,66	19,10
Chi-Square	-	16,56	133,2

Tabel-4. Hasil Karakterisasi *Cycle Time* Alat Angkut

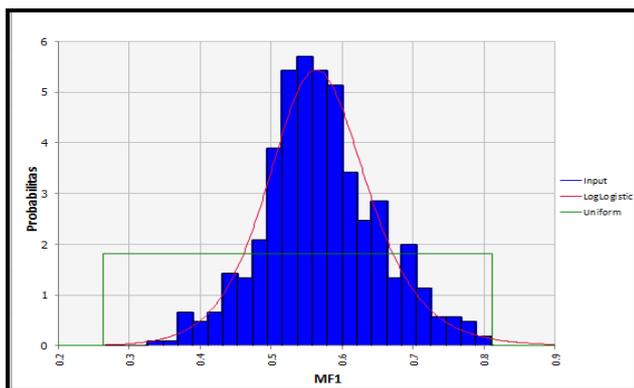
Parameter Statistik	Input (detik)	PDF Cycle Time (detik)	
		Loglogistik	Uniform
Minimum	1186,45	1176,39	1179,79
Maksimum	1579,5	+∞	1586,16
Rata-rata	1339,49	1351,79	1382,97
Stand. Dev	111,51	267,56	117,30
COV (%)	8,32	19,79	8,48
Chi-Square	-	14,1	42,9

Karakterisasi probabilitas *match factor* terhadap 500 data dengan satu kali nilai standar deviasi (MF1), 1600 data *match factor* dengan dua kali nilai standar deviasi (MF2) dan 100 data dengan tiga kali nilai standar deviasi (MF3). Terlihat bahwa variabel acak data *match factor* memiliki beberapa kemungkinan fungsi kerapatan probabilitas, maka penentuan distribusi teoritis yang digunakan adalah didasarkan pada sedekat mungkin dengan bentuk distribusi empirik dan berdasarkan nilai *chi-kuadrat* serta nilai koefisien variasi (*COV*) terkecil, ini menandakan bahwa fungsi yang dipilih memberikan tingkat distribusi data yang lebih homogen jika dibandingkan dengan distribusi empirisnya.

Jumlah data probabilitas yang diambil pada MF1, MF2, dan MF3 berbeda-beda, hal ini dikarenakan tujuan utama pengambilan data probabilitas adalah mencari kemungkinan $0,8 < MF \leq 1$. Untuk data MF1, dari 100 pasang data *cycle time* akan menghasilkan 10.000 probabilitas MF. Akan tetapi hanya berhenti pada 500 data, dikarenakan tidak akan ada kemungkinan untuk

mendapatkan $MF \geq 1$ jika dilanjutkan sampai 10.000 data. Begitu juga untuk MF2 dan MF3. Sedikit berbeda dengan MF2, dari hasil yang didapat ada probabilitas $MF \geq 1$, sehingga data yang diambil harus lebih banyak sampai tidak ada kemungkinan $MF \geq 1$ lagi dari 100 pasang *cycle time* yang ada.

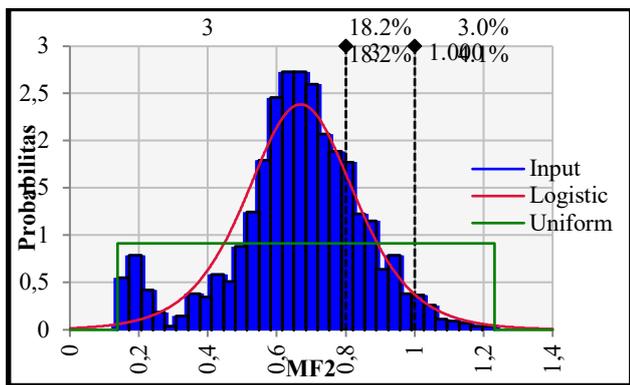
Berdasarkan hasil uji nilai *chi-square* pada MF1 didapatkan berbagai jenis fungsi distribusi, akan tetapi fungsi distribusi yang paling sesuai adalah Lognormal karena memiliki nilai *chi-square* yang paling kecil, yaitu 17,35 (lihat Gambar-5 dan Tabel-5). Berdasarkan hasil uji nilai *chi-square* pada MF2 didapatkan berbagai jenis fungsi distribusi, akan tetapi fungsi distribusi yang paling sesuai adalah logistik karena memiliki nilai *chi-square* yang paling kecil, yaitu 169,99 (lihat Gambar-6 dan Tabel-6). Berdasarkan hasil uji nilai *chi-square* pada MF3 didapatkan berbagai jenis fungsi distribusi, akan tetapi fungsi distribusi yang paling sesuai adalah Gamma karena memiliki nilai *chi-square* yang paling kecil, yaitu 6,7 (lihat Gambar-7 dan Tabel-7).



Gambar-5. Distribusi Empirik dan Teoritik MF1

Tabel-5. Hasil Karakterisasi Probabilitas MF1

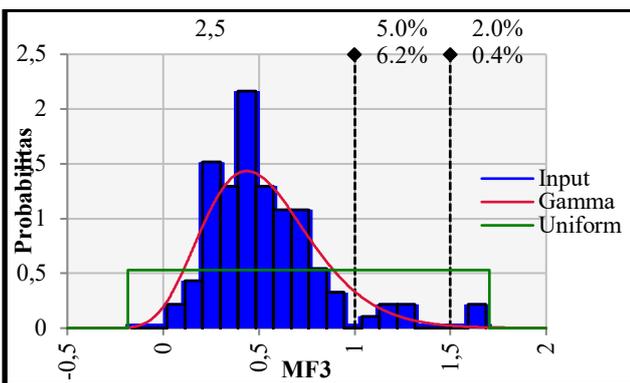
Parameter Statistik	Input	PDF Match Factor	
		Lognormal	Uniform
Minimum	0,26	-1,1	0,26
Maksimum	0,80	$+\infty$	0,80
Rata-rata	0,51	0,51	0,53
COV %	15,69	15,69	28,30
Stand. Dev	0,08	0,08	0,15
Chi-Square	-	17,35	421,18



Gambar-6. Distribusi Empirik dan Teoritik MF2

Tabel-6. Hasil Karakterisasi Probabilitas MF2

Parameter Statistik	Input	PDF Match Factor	
		Logistik	Uniform
Minimum	0,13	$-\infty$	0,13
Maksimum	1,23	$+\infty$	1,23
Rata-rata	0,65	0,66	0,68
Stand. Dev	0,19	0,19	0,15
COV %	29,23	28,79	22,06
Chi-Square	-	169,99	1422,11



Gambar-7. Distribusi Empirik dan Teoritik MF3

Tabel-7. Hasil Karakterisasi Probabilitas MF3

Parameter Statistik	Input	PDF Match Factor	
		Gamma	Uniform
Minimum	-0,16	-0,39	-0,18
Maksimum	1,68	$+\infty$	1,7
Rata-rata	0,52	0,52	0,76
Stand. Dev	0,30	0,29	0,54
COV %	57,69	55,77	71,05
Chi-Square	-	6,7	103,28

Diskusi

[19] [20] Kajian kombinasi alat mekanis pada aktivitas gali muat dan pengangkutan dalam penambangan secara open pit dilakukan untuk mengoptimalkan kemampuan produksi dari alat-alat mekanis tersebut dengan harapan target yang ditetapkan dalam perencanaan dapat tercapai. [21] Jika dalam perhitungan dan analisis menunjukkan bahwa cycle time memang sudah optimal sehingga rekomendasi yang diberikan untuk nilai match factor tidak sama dengan satu adalah pengurangan atau penambahan alat angkut. [22] [23] Namun demikian kondisi ini tidak dapat selalu terjadi dalam aktivitas produksi, kondisi siklus yang tidak ideal sering menjadi penyebab dalam tidak tercapainya target produktivitas alat mekanis produksi. [24] Solusi yang bisa diterapkan adalah dengan melakukan simulasi untuk mendapatkan rekomendasi kecepatan alat angkut yang optimal namun masih dalam batas kecepatan aman yang ditetapkan perusahaan tambang tersebut.

Pada Gambar-8 menunjukkan besarnya angka koefisien determinasi adalah 0,835 atau sama dengan 83,5%. Angka tersebut mengandung arti bahwa variabel cycle time alat gali muat berpengaruh 83,5% terhadap variabel match factor. Dimana nilai cycle time alat gali muat berbanding lurus dengan nilai match factor artinya, Semakin tinggi nilai dari cycle time alat gali muat, maka semakin tinggi nilai match factor, dan perhitungan match factor dengan data aktual ini tidak ada yang menghasilkan $MF \geq 1$.

Pada Gambar-9 dapat diketahui bahwa besarnya angka koefisien determinasi adalah 0,384 atau sama dengan 38,4%. Angka tersebut mengandung arti bahwa variabel cycle time alat angkut berpengaruh 38,4% terhadap variabel match factor. Dimana nilai cycle time alat angkut berbanding terbalik dengan nilai match factor artinya, Semakin rendah nilai dari cycle time alat angkut, maka semakin tinggi nilai match factor, dan perhitungan match factor dengan data aktual ini tidak ada yang menghasilkan $MF \geq 1$.

Selain hubungan variabel cycle time alat angkut dan alat gali muat terhadap variabel match factor juga dapat diketahui pula bahwa variabel cycle time alat gali muat yang memiliki pengaruh lebih besar terhadap variabel nilai match factor, yaitu dengan nilai 83,5%. Perhitungan nilai probabilitas match factor dilakukan untuk mengetahui kemungkinan nilai match factor sama dengan satu, kurang dari satu dan lebih dari satu, sehingga cycle time optimal dari alat mekanis yang ada dapat disesuaikan. Diketahui bahwa pada MF1, probabilitas nilai $MF < 0,8$ adalah 99,1%, $0,8 < MF \leq 1$ adalah sebesar 0,9%

(dari fungsi loglogistik) dan $MF > 1$ adalah 0%, hal ini kurang sesuai dengan kondisi di lapangan, dimana masih ada alat angkut yang mengantri di loading point sehingga probabilitas $MF \geq 1$ harusnya ada. Kemudian dicoba dengan dua kali nilai standar deviasi, pada MF2, probabilitas nilai $MF < 0,8$ adalah 78,8% (dari fungsi logistik) dan $0,8 < MF \leq 1$ adalah sebesar 18,2% (dari fungsi logistik) dan $MF > 1$ adalah 3%. Dengan menggunakan dua kali nilai standar deviasi ini, hasilnya cukup sesuai dengan kondisi di lapangan. Langkah selanjutnya yaitu melakukan percobaan lagi dengan tiga kali nilai standar deviasi (MF3), akan tetapi data yang dihasilkan tidak sesuai dan tidak bisa digunakan karena ada probabilitas cycle time alat gali muat yang minus (-) sehingga data probabilitas MF2 yang dipakai untuk menentukan range cycle time alat angkut maupun alat gali muat yang perlu dijaga agar lebih optimal dalam bekerja.

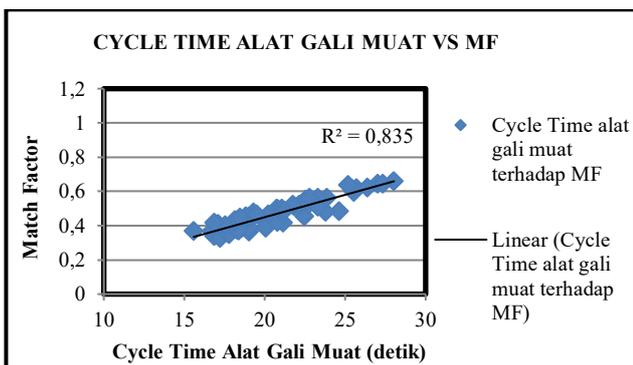
Berdasarkan Tabel-8 dapat diketahui bahwa rata-rata data aktual cycle time alat gali muat masuk dalam range cycle time yang disarankan, maka dari itu pihak perusahaan hanya perlu menjaga agar cycle time tetap pada range. Dan untuk rata-rata cycle time alat angkut tidak berada dalam range cycle time yang disarankan sehingga perlu adanya rekomendasi untuk memperkecil cycle time alat angkut tersebut.

Untuk mendapatkan $0,8 < MF \leq 1$, diperlukan rekayasa dalam cycle time alat angkut, dikarenakan cycle time alat angkut aktual yang tidak masuk dalam range cycle time optimal yang didapatkan dengan metode Monte Carlo. Cycle time alat angkut dapat diperkecil dengan menambah kecepatan dari alat angkut menjadi 35,62 km/jam dengan pertimbangan jarak angkut untuk satu ritase yaitu 3,2 km dan waktu angkut diambil dari range waktu yang direkomendasikan yaitu 900 detik, dikurangi dengan rata-rata dari manuver time, loading time dan dumping time aktual, yaitu 0,16 jam.

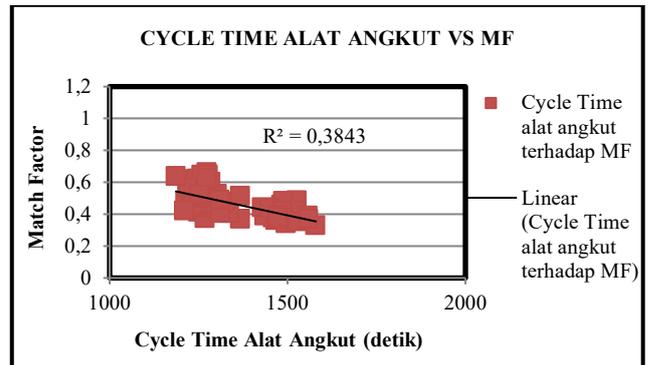
Apabila cycle time 1300 detik, dimana jarak angkut, merupakan jarak angkut aktual yaitu 3,2 km dan waktu angkut, diambil dari range waktu yang direkomendasikan yaitu 1300 detik, dikurangi dengan rata-rata dari manuver time, loading time (optimal) dan dumping time aktual, yaitu 0,20 jam maka kecepatan alat angkut menjadi 15,92 km/jam.

Tabel-8. Range Cycle Time

$0,8 < MF \leq 1$	Range (detik)	Rata-rata Data Aktual (detik)
CT Alat Angkut	900-1300	1339,5
CT Alat Gali Muat	15-35	23,31



Gambar-8. Distribusi Empirik dan Teoritik MF2



Gambar-9. Distribusi Empirik dan Teoritik MF2

Apabila perusahaan menghendaki $0,8 < MF \leq 1$, maka kecepatan alat angkut harus diantara 15,92 – 35,62 km/jam alat angkut sehingga nilai *cycle time* saat travel isi dan *returning* bisa lebih kecil. Rekomendasi jarak yang sesuai dengan kecepatan aktual untuk memperkecil *cycle time* alat angkut dengan kecepatan alat angkut, diambil dari rata-rata kecepatan *hauling*, yaitu 15 km/jam, dan waktu untuk satu ritase, diambil dari range yang direkomendasikan yaitu 900 detik dikurangi dengan rata-rata dari *maneuver time*, *loading time* dan *dumping time* aktual, yaitu 0,09 jam, sehingga jarak yang direkomendasikan adalah 1,35 km. Apabila *cycle time* 1300 detik, dimana rata-rata kecepatan *hauling*, yaitu 15 km/jam, dan waktu untuk satu ritase, diambil dari range yang direkomendasikan yaitu 1300 detik, dikurangi dengan rata-rata dari *maneuver time*, *loading time* dan *dumping time* aktual, yaitu 0,20 jam, maka jarak untuk satu ritase adalah 3,01 km. Jadi, jarak antara loading point dengan dumping point yang optimal agar mendapatkan $0,8 < MF \leq 1$ adalah 1,35 – 3,01 km tanpa merubah kecepatan alat.

Berdasarkan dua rekomendasi yang telah diberikan, antara menambah kecepatan alat angkut atau memindahkan lokasi *dumping point* agar dapat memperkecil jarak angkut yang nantinya akan mengoptimalkan kerja alat angkut dan alat gali muat, maka rekomendasi yang paling mungkin dilakukan adalah dengan menambah kecepatan alat angkut menjadi 15,92 km/jam hingga 35,62 km/jam dikarenakan material yang dipindahkan adalah *top soil* sehingga tidak bisa langsung memindahkan *soil bank*, jika terjadi pemindahan maka akan mempengaruhi reklamasi pada perusahaan. Selain itu *range* kecepatan yang direkomendasikan juga tidak jauh dari kecepatan aktual alat angkut, sehingga lebih memungkinkan untuk dilakukan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan dan uraian pada bab-bab sebelumnya, maka pada penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Ditentukan fungsi yang dipilih untuk data *cycle time* alat gali muat adalah fungsi distribusi *betageneral*, karena memiliki nilai *chi-square* yang paling kecil, yaitu 16,56. Dan fungsi yang dipilih untuk data *cycle time* alat angkut adalah fungsi distribusi *loglogistik*, karena memiliki nilai *chi-square* yang paling kecil, yaitu 14,1.
2. Probabilitas nilai $MF = 1$ Pada MF1 adalah 0%, $MF < 1$ adalah 100% dan $0,8 < MF \leq 1$ adalah sebesar 0,9% (dari fungsi loglogistik), pada MF2, probabilitas nilai $MF \geq 1$ adalah 4,1% (dari fungsi logistik) dan $0,8 < MF \leq 1$ adalah sebesar 18,2% (dari fungsi loglogistik), sisanya adalah $>0,8$. Untuk MF3 data yang dihasilkan tidak sesuai dan tidak bisa digunakan karena ada probabilitas *cycle time* alat gali muat yang minus (-).
3. Variabel *cycle time* alat gali muat yang memiliki pengaruh lebih besar terhadap variabel nilai *match factor* karena memiliki angka koefisien determinasi 0,835 atau 83,5%, yang artinya *cycle time* alat gali muat memiliki pengaruh 83,5% terhadap nilai *match factor*.
4. *Cycle time* alat angkut Jika $0,8 < MF \leq 1$ harus pada range 900 – 1300 detik, sedangkan *cycle time* alat gali muat pada range 15 – 35 detik. Kecepatan alat angkut

harus dijaga pada range 15,92 – 35,62 km/jam dengan jarak aktual yaitu 3,2 km.

Adapun saran berdasarkan hasil pembahasan dan pengamatan yang dilakukan, adalah sebagai berikut.

1. Untuk menghasilkan optimasi produksi berdasarkan biaya minimum maka perlu dilakukan perhitungan biaya operasional yang lebih detail.
2. Diharapkan perusahaan dapat menjaga *cycle time* alat angkut maupun alat gali muat pada range yang direkomendasikan, yaitu 900-1300 detik untuk alat angkut dan 15-35 detik untuk alat gali muat.
3. Agar mendapatkan kinerja optimal dari alat angkut dan alat gali muat tanpa menambah armada alat angkut, maka kecepatan alat angkut harus dijaga pada range 15,92 – 35,62 km/jam dengan jarak aktual yaitu 3,2 km.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. PT Sinar Nirwana Sari *site* PT Jorong Barutama Greston yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melakukan penelitian pada salah satu blok penambangan yang ada di perusahaan tersebut.
2. Bapak Eko Santoso, S.T., M.T. dan Ibu Karina Shella Putri, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang memberikan arahan dalam penyusunan penelitian ini.
3. Semua pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Ozdemir and M. Kumral, "Simulation-based optimization of truck-shovel material handling systems in multi-pit surface mines," *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 95, pp. 36-48, 2019.
- [2] G. S. Bastos, "Decision making applied to shift change in stochastic open-pit mining truck dispatching," *IFAC Proceedings*, vol. 46, no. 16, pp. 34-39, 2013.
- [3] P. Chaowasakoo, *et al.*, "Improving fleet management in mines: The benefit of heterogeneous match factor," *European journal of operational research*, vol. 261, no. 3, pp. 1052-65, 2017.
- [4] A. Jaoua and D. Riopel, "Gamache M. A simulation framework for real-time fleet management in internal transport systems," *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 21, no. 1, pp. 78-90, 2012.
- [5] S. Hidayat, *et al.*, "Heavy Equipment Efficiency, Productivity and Compatibility of Coal Mine Overburden Work In East Kalimantan," *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, vol. 10, no. 6, 2019.
- [6] M. A. Ali, "A hybrid simulation and optimization approach towards truck dispatching problem in surface mines," Ph.D. thesis, Dept. Civil and Env. Eng., University of Alberta, 2019.
- [7] S. Upadhyay, *et al.*, "A simulation model for estimation of mine haulage fleet productivity," *Proc. 28th International Symposium on Mine Planning and*

- Equipment Selection-MPES*, vol. 28, pp. 42-50, 2020.
- [8] N. H. Kumar, *et al.*, “Evolution of the probability distribution function of shovel–dumper combination in open cast limestone mine using RWB and ANN: a case study,” *Modeling Earth Systems and Environment*, vol. 5, pp. 1607-13, 2019.
- [9] H. Xu, *et al.*, “Research on Selection and Matching of Truck-Shovel in Oversized Open-Pit Mines,” *Applied Sciences*, vol. 13, no. 6, p. 3851, 2023.
- [10] P. Chaowasakoo, “Matching truck-and-shovel operations in open-pit mines using statistical data-dispatching strategies, match factor, and age-based maintenance,” Doctoral dissertation, Dept. Electrical Eng. And Automation, Aalto University, Helsinki, Finland, 2017.
- [11] J. R. Sturgul, “Using exact statistical distributions for truck shovel simulation studies,” *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*, vol. 6, no. 3, pp. 137-9, 1992.
- [12] D. Sembakutti, *et al.*, “Analysing equipment allocation through queuing theory and Monte-Carlo simulations in surface mining operations,” *International Journal of Mining and Mineral Engineering*, vol. 8, no. 1, pp. 56-69, 2017.
- [13] D. Jung, *et al.*, “Stochastic predictions of ore production in an underground limestone mine using different probability density functions: A comparative study using big data from ICT System,” *Applied Sciences*, vol. 11, no. 9, p. 4301, 2021.
- [14] E. Santoso, “Aplikasi Pendekatan Probabilistik Dalam Analisis Kestabilan Lereng Pada Daerah Ketidakstabilan Dinding Utara (Longsor #79) PT Newmont Nusa Tenggara,” Tesis, Program Studi Rekayasa Pertambangan, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2013.
- [15] M. A. Azizi, *et al.*, “Aplikasi Pendekatan Probabilistik Dalam Analisis Kestabilan Lereng Tunggal Menggunakan Metode Kesetimbangan Batas,” in *Seminar Nasional Statistik*, UNDIP Semarang, 2010.
- [16] N. Sudjana, *Metode Statistika*, Edisi keenam, Bandung: PT Tarsito, 2005.
- [17] D. R. Cox, and D. Oakes, *Analysis of Survival Data*. London: Chapman and Hall, 1984.
- [18] R. E. Hammah, *et al.*, “Probabilistic slope analysis with the finite element method,” in *ARMA US Rock Mechanics/Geomechanics Symposium*, 2009, pp. ARMA-09.
- [19] R. Febriyani, *et al.*, “Permodelan kombinasi peralatan mekanis dalam optimalisasi produktivitas armada di PT Semesta Centramas,” *Jurnal Himasapta*, vol. 7, no. 3, pp. 129-36, 2022.
- [20] F. A. Putra, *et al.*, “Kajian optimasi kombinasi peralatan mekanis pada kegiatan backfilling tambang PD Baramarta Provinsi Kalimantan Selatan,” *Jurnal Himasapta*, vol. 6, no. 2, pp. 73-8, 2021.
- [21] Z. M. Fraditos, *et al.*, “Kajian keserasian jumlah alat mekanis dengan fleet yang heterogen pada aktivitas pemuatan batubara di Stockpile CP 02 PT Binuang Mitra Bersama,” *Prosiding Temu Profesi Tahunan PERHAPI*, pp. 531-8, 2020.
- [22] E. Suwandi, *et al.*, “Evaluasi produktivitas alat gali muat untuk material overburden di CV Gunung Sambung,” *Jurnal Himasapta*, vol. 7, no. 2, pp. 97-102, 2022.
- [23] P. Natalia, *et al.*, “Evaluasi Singkronisasi Alat Gali Muat Pc 400 Dan Alat Angkut Hino Fm 260 Dalam Pencapaian Target Penambangan Batubara,” *Jurnal Himasapta*, vol. 2, no. 02, 2019.
- [24] A. Yulianto, *et al.*, “Evaluasi Produktivitas Alat Gali Muat Dan Alat Angkut pada Pemindahan Overburden Pit 10 di PT Berkat Tambang Sejahtera, Kecamatan Lokpaikat, Kabupaten Tapin, Provinsi Kalimantan Selatan,” *Jurnal Himasapta*, vol. 6, no. 1, pp. 33-7, 2021.
- [25] H.S. Ang and W.H. Tang, *Probability Concepts in Engineering Planning and Design*, New York: Wiley, 1975.
- [26] E. Ronald, *et al.*, *Probability & Statistics for Engineers & Scientist*, 7th ed., New Jersey: Pearson Education, 2002.

