



**PENENTUAN FAKTOR KORESI WAKTU KERJA EFEKTIF DAN
CYCLE TIME SISTEM SHOVEL-DUMP TRUCK
BERBASIS ANALISIS MULTIVARIABEL**

**DETERMINATION OF CORRECTION FACTORS EFFECTIVE WORKING
HOURS AND CYCLE TIME OF SHOVEL-DUMP TRUCK SYSTEMS
BASED ON MULTIVARIABLE ANALYSIS**

V. R. Harlin¹, E. Ibrahim², M. T. Toha³

¹⁻³Magister Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

¹⁻³Jalan Padang Selasa No. 524 Bukit Besar Palembang

e-mail: *rikaharlin@gmail.com, eddyibrahim@ft.unsri.ac.id, ttoha@unsri.ac.id

ABSTRAK

Perencanaan kebutuhan *dumptruck* untuk pengupasan *overburden* mempertimbangkan target *overburden* dan kemampuan produksi *dumptruck*. Variabel utama yang mempengaruhi produksi *dumptruck* adalah waktu kerja efektif dan *cycle time*, yang ditentukan melalui pengamatan langsung dan perhitungan teoritis. Produksi *dumptruck* bervariasi karena multivariabel yang mempengaruhi waktu kerja efektif dan *cycle time*. Penelitian ini bertujuan mengestimasi waktu kerja efektif dan *cycle time* aktual tahunan dengan menentukan faktor koreksi menggunakan metode AHP. Hasil pengamatan menunjukkan waktu kerja efektif sebesar 69,20%, sementara pemodelan menghasilkan 52,57% dengan faktor koreksi 0,38. Terdapat selisih 24,03% lebih kecil dari waktu kerja efektif aktual. *Cycle time* pengamatan aktual adalah 23,06 menit, teoritis 11,24 menit, dan pemodelan 14,16 menit dengan faktor koreksi 0,24. Terdapat selisih 38,59% lebih besar dari *cycle time* aktual dibandingkan dengan pemodelan dan selisih 51,25% lebih kecil dibandingkan dengan aktual. Multivariabel dominan yang mempengaruhi waktu kerja efektif meliputi disiplin kerja (17,00%), *maintanance & repair* (41,90%), pengisian bahan bakar (6,10%), cuaca (29,30%), dan luas area di *front* dan *disposal* (5,70%). Sedangkan variabel yang mempengaruhi *cycle time* meliputi topografi (35,10%), *sliperry* (32,70%), kepadatan jalan (17,40%), jarak pandang (7,40%), dan penyiraman jalan (7,50%).

Kata kunci: waktu kerja efektif, *cycle time*, sistem shovel dump-truck, *overburden*, AHP

ABSTRACT

Planning the need for dump trucks for *overburden* stripping considers the *overburden* target and the dump truck's production capacity. The main variables affecting dump truck production are effective working hours and cycle time, determined through direct observation and theoretical calculations. Dump truck production varies due to multivariable factors affecting effective working hours and cycle time. This research aims to estimate the actual annual effective working hours and cycle time by determining correction factors using the AHP method. Observations show effective working hours of 69.20%, while the model produced 52.57% with a correction factor of 0.38, a difference of 24.03% less than the actual effective working hours. The actual observation cycle time is 23.06 minutes, theoretical 11.24 minutes, and modeling 14.16 minutes with a correction factor of 0.24, a difference of 38.59% greater than the actual cycle time compared to the model, and a difference of 51.25% less than the actual cycle time. Dominant multivariable factors affecting effective working hours include work discipline (17.00%), maintenance & repair (41.90%), refueling (6.10%), weather (29.30%), and area size at the front and disposal (5.70%). For cycle time, the factors include topography (35.10%), slipperiness (32.70%), road density (17.40%), visibility (7.40%), and road watering (7.50%).

Keywords : effective working hours, cycle time, shovel dump-truck system, *overburden*, AHP

PENDAHULUAN

Sistem penambangan batubara di pit E Banko Tengah menerapkan sistem *shovel-dumptruck* menggunakan Excavator Komatsu PC-2000 dan *dumptruck* Caterpillar 777. Dalam merencanakan kebutuhan jumlah *dumptruck* yang digunakan untuk pengupasan *overburden* yaitu dengan mempertimbangkan rencana target *overburden* dan kemampuan produksi *dumptruck*.

Variabel utama yang mempengaruhi produksi *dumptruck* antara lain waktu kerja efektif dan *cycle time*. Untuk menentukan kedua variabel tersebut umumnya dilakukan berdasarkan pengamatan langsung (*direct computation*) dan perhitungan teoritis (*teoritical computation*). Realisasi terhadap produksi *dumptruck* di lapangan ternyata relatif berbeda dikarenakan multivariabel yang mempengaruhi waktu kerja efektif dan *cycle time*.

Berdasarkan penelitian terdahulu, produktivitas sistem *shovel-dumptruck* secara aktual lebih kecil dibandingkan produktivitas teoritis. Hal ini disebabkan oleh multivariabel yang mempengaruhi waktu kerja efektif [1]. *Cycle time* dipengaruhi oleh kecepatan *gear* maksimum serta penggunaan nilai *rolling resistance (RR)* pada seluruh segmen jalan. *Cycle time* menggunakan kecepatan *gear* maksimum berdasarkan *rimpull* yang tersedia pada masing-masing *segmen* jalan. Kecepatan teoritis pada umumnya menggunakan *gear* maksimum sesuai dengan perhitungan *rimpull* yang tersedia untuk kondisi jalan datar atau *grade* positif landai dan *grade* negatif pada umumnya menggunakan *gear* maksimum. Dalam perhitungan teoritis kecepatan maksimum digunakan sesuai dengan pembatasan kecepatan yang diizinkan yaitu 40 km/jam, namun kecepatan aktual *dumptruck* di lapangan masih jauh lebih rendah dibandingkan kecepatan teoritis [2],[3]. Asumsi nilai *rolling resistance* sama untuk *segmen* jalan. Berdasarkan keadaan di lapangan bahwa pada masing-masing segmen jalan walaupun dalam kondisi kering namun keadaan permukaan jalan relatif berbeda [4],[5].

Penelitian terhadap variabel waktu kerja efektif yang telah dilakukan hanya membahas disiplin kerja, *maintanance and repair*, faktor cuaca (*sliperry*), dan pengisian BBM. Sedangkan variabel *cycle time* membahas geometri jalan dan kepadatan jalan [6],[7].

Variabel yang mempengaruhi waktu kerja efektif dan *cycle time* pada penelitian terdahulu hanya dibahas secara parsial (tidak dibahas secara komprehensif).

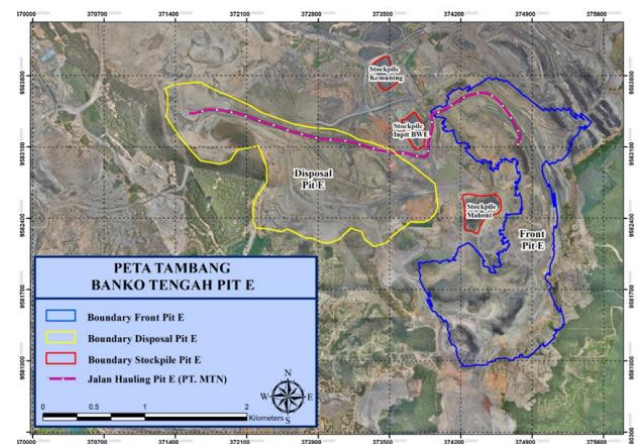
Penelitian ini melakukan pendekatan menggunakan metode AHP (*Analytical Hierarchy Process*) dengan mempertimbangkan multivariabel waktu kerja efektif antara lain pengaruh penentuan faktor disiplin kerja & manajemen, penentuan faktor *maintenance & repair*, penentuan faktor isi BMM, penentuan faktor cuaca dan penentuan faktor luas area pit dan disposal. Sedangkan pada *cycle time* mempertimbangkan multivariabel yang

mempengaruhi antara lain penentuan faktor topografi/*grade* jalan, penentuan faktor *slippery* (permukaan jalan), penentuan faktor kepadatan jalan, penentuan faktor jarak pandang (kering/berdebu), penentuan faktor jalan disiram (musim kemarau) [6],[7],[8],[9],[10]. Sehingga dapat ditentukan pemodelan matematik faktor koreksi untuk waktu kerja efektif dan *cycle time*. Keterbaruan dalam penelitian ini adalah untuk menentukan faktor koreksi dengan mengetahui nilai kriteria pembobotan dan menentukan nilai pembobotan terhadap setiap multivariabel yang mempengaruhi secara komprehensif waktu kerja efektif dan *cycle time*. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan melakukan pendekatan estimasi waktu kerja efektif dan *cycle time* terhadap realisasi aktual tahunan dilapangan yaitu dengan menentukan faktor koreksi terhadap multivariabel yang mempengaruhinya.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di wilayah konsesi unit pertambangan Tanjung Enim PT. Bukit Asam, Tbk pada Wilayah Izin Usaha Pertambangan (WIUP) PIT E Banko Tengah dengan titik koordinat 3° 46' 35.6827 LS dan 103° 52' 28,3520 LB (Gambar 1).

Pengumpulan data sekunder dan data primer dengan melakukan pengolahan dan analisis data menggunakan metode AHP [11],[12]. Adapun data sekunder yang dikumpulkan meliputi studi literatur terhadap buku referensi, penelitian dan publikasi makalah terkait. Pengumpulan data curah hujan periode 10 tahun.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Pengumpulan data primer meliputi pengamatan waktu kerja efektif dan *cycle time* sistem *shovel dumptruck*, *grader*, dan *water sprayer truck* serta luas area penggalan dan area *disposal* dalam kondisi cuaca kering dan hujan, dan pengamatan kepadatan jalan. Dalam rangka menentukan pembobotan variabel dan nilai bobot kriteria yang berpengaruh terhadap waktu kerja efektif dan *cycle time* [6],[7],[8]. Selain itu dilakukan pengamatan *cycle time*

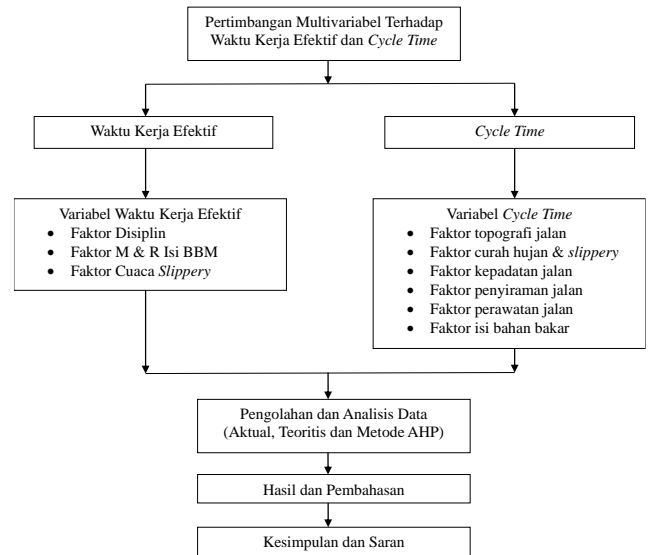
secara aktual dari front penambangan menuju area disposal yang terdiri dari lima segmen jalan (Gambar 2). Untuk menentukan dominasi multivariabel yang mempengaruhi waktu kerja efektif dan *cycle time* dilakukan melalui pengisian kuisisioner [6], [7], [8].



Gambar 2. Peta Segmen Jalan

Tahapan penelitian terdiri atas (Gambar 3) :

1. Pengumpulan data terbagi menjadi dua yaitu data sekunder (studi literatur dari jurnal nasional terakreditasi, buku referensi dan laporan penelitian terkait) dan data primer. Akuisisi data sekunder meliputi spesifikasi alat, peta situasi tambang, data curah hujan dan data kinerja alat. Akuisisi data primer dilakukan dengan observasi di lapangan, mengukur *cycle time* alat, kepadatan jalan, geometri jalan, penyiraman jalan, perawatan jalan.
2. Pengolahan dan analisis data menggunakan metode AHP (*analytical hierarchy process*) dengan melakukan kuisisioner menggunakan matriks berpasangan untuk menentukan index waktu kerja efektif dan *cycle time* secara aktual, teoritis, dan permodelan. Membandingkan hasil pengamatan waktu kerja efektif aktual di lapangan terhadap pemodelan. Membandingkan hasil perhitungan *cycle time* teoritis, aktual terhadap pemodelan untuk segmen jalan *front* ke *disposal area* yang terdiri dari 6 segmen.
3. Hasil dan pembahasan menganalisis data hasil kuisisioner dan menggunakan tabel pembobotan multivariabel yang mempengaruhi waktu kerja efektif dan *cycle time* dengan pemodelan matematik dapat dibandingkan waktu kerja efektif dan *cycle time* pemodelan terhadap teoritis dan kondisi aktual.
4. Kesimpulan dan saran.



Gambar 3. Bagan Alir Penelitian

Petunjuk Pengisian Kuesioner

Silahkan isi formulir berikut dengan tanda silang (x) pada kolom yang dianggap sesuai. Bobot 1,3,5,7,9 menunjukkan tingkat kepentingan satu variabel terhadap variabel lainnya (Tabel 1).

Tabel 1. Skala Perbandingan Matriks Berpasangan

Skala	Deskripsi
1	Sama pentingnya
3	Moderat lebih penting
5	Kuat lebih penting
7	Sangat kuat lebih penting
9	Ekstrem lebih penting
2, 4, 6, 8	Nilai menengah

Keterangan: Gunakan resiprokal untuk kebalikan perbandingannya

Variabel Yang Mempengaruhi Waktu Kerja Efektif

Variabel-variabel yang mempengaruhi waktu kerja efektif yaitu :

- x1, faktor disiplin yang mempengaruhi waktu kerja efektif. Faktor disiplin ini dapat diperbaiki dengan manajemen pengawasan yang baik.
- x2, variabel *maintenance & repair* terhadap waktu kerja efektif, dalam hal ini berkaitan dengan kondisi manajemen dan tenaga mekanik yang ada.
- x3, variabel isi ulang bahan bakar terhadap waktu kerja efektif atas keseimbangan faktor jarak SPBU dan kondisi antrian
- x4, variabel pengaruh faktor cuaca terhadap waktu kerja efektif Dimana pada saat hujan kegiatan operasi penambangan stop total.
- x5, faktor *slippery* yang mempengaruhi waktu kerja efektif akibat kegiatan *slippery* pasca hujan di *front* penambangan dan di *disposal area* (stop total).

Tabel 2. Tingkat Kepentingan Antara Variabel X1 Terhadap X2, X3, X4 Dan X5 Terhadap Efisiensi Kerja

x1	9	7	5	3	1	3	5	7	9	x2
Disiplin										M & R
x1	9	7	5	3	1	3	5	7	9	x3
Disiplin										isi BBM
x1	9	7	5	3	1	3	5	7	9	x4
Disiplin										cuaca/hujan
x1	9	7	5	3	1	3	5	7	9	x5
Disiplin										slippery time

Tabel 3. Tingkat Kepentingan Antara Variabel X2 Terhadap X3, X4 Dan X5 Terhadap Efisiensi Kerja

x2	9	7	5	3	1	3	5	7	9	x3
M & R										isi BBM
x2	9	7	5	3	1	3	5	7	9	x4
M & R										cuaca/hujan
x2	9	7	5	3	1	3	5	7	9	x5
M & R										slippery time

Tabel 4. Tingkat Kepentingan Antara Variabel X3 Terhadap X4 Dan X5 Terhadap Efisiensi Kerja

x3	9	7	5	3	1	3	5	7	9	x4
isi BBM										cuaca/hujan
x3	9	7	5	3	1	3	5	7	9	x5
isi BBM										slippery time

Tabel 5. Tingkat Kepentingan Antara Variabel X4 dan X5 Terhadap Efisiensi Kerja

x4	9	7	5	3	1	3	5	7	9	x5
cuaca/hujan										slippery time

Variabel Yang Mempengaruhi Cycle Time

Variabel-variabel yang mempengaruhi cycle time yaitu :

- z1, variabel pengaruh topografi/ grade jalan (untuk kondisi jalur ganda dan super elevasi serta radius jalan standart) terhadap cycle time
- z2, variabel faktor slippery pengaruhnya terhadap cycle time atas pertimbangan frekuensi curah hujan dan kegiatan slippery
- z3, variabel faktor kepadatan jalan yang dapat mempengaruhi cycle time
- z4, variabel faktor cuaca kering dimana jalan berdebu yang akan mempengaruhi jarak pandang

sehingga kecepatan dump truck lebih lambat

- z5, variabel faktor penyiraman jalan yang akan mempengaruhi cycle time akibat pada saat penyiraman jalan dengan menggunakan water sprayer truck dimana kecepatan dump truck akan berkurang (kecepatan water sprayer truck < daripada kecepatan dump truck).

Tabel 6. Tingkat Kepentingan Antara Variabel Z1 Terhadap Z2, Z3, Z4 Dan Z5 Terhadap Cycle Time

z1	9	7	5	3	1	3	5	7	9	z2
Topografi										Slippery
z1	9	7	5	3	1	3	5	7	9	z3
Topografi										Kepadatan jalan
z1	9	7	5	3	1	3	5	7	9	z4
Topografi										Jarak Pandang
z1	9	7	5	3	1	3	5	7	9	z5
Topografi										Jalan Disiram

Tabel 7. Tingkat Kepentingan Antara Variabel Z2 Terhadap Z3, Z4 Dan Z5 Terhadap Cycle Time.

z2	9	7	5	3	1	3	5	7	9	z3
Slippery										Kepadatan jalan
z2	9	7	5	3	1	3	5	7	9	z4
Slippery										Jarak Pandang
z2	9	7	5	3	1	3	5	7	9	5
Slippery										Penyiraman jalan

Tabel 8. Tingkat Kepentingan Antara Variabel Z3 Terhadap Z4 Dan Z5 Terhadap Cycle Time

z3	9	7	5	3	1	3	5	7	9	z4
Kepadatan Jalan										Jarak Pandang
z3	9	7	5	3	1	3	5	7	9	z5
Kepadatan Jalan										Penyiraman Jalan

Tabel 9. Tingkat Kepentingan Antara Variabel Z4 Dan Z5 Terhadap Cycle Time

z4	9	7	5	3	1	3	5	7	9	z5
Jarak Pandang										Penyiraman Jalan

Waktu Kerja Efektif

Perhitungan waktu kerja efektif dapat menggunakan persamaan berikut:

$$WKE = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) \quad (3)$$

dimana

- x1 :faktor disiplin (-)
- x2 :faktor maintenance & repair (-)
- x3 :faktor isi BBM (-)
- x4 :faktor cuaca/hujan (-)
- x5 :faktor slippery time (pembersihan front & disposal)(-)

Nilai Eigen

Perhitungan nilai eigen dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\lambda_{maks} = 5.057$$

$$\lambda_{maks} = \sum MK_1 x BK_1 + MK_2 x BK_2 + \dots + MK_n x BK_n$$

$$= 5.122$$

Consistency Index

Perhitungan *consistency index* dapat menggunakan persamaan berikut :

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

$$CI = \frac{\lambda_{maks} - n}{n - 1}$$

$$CI = 0.014$$

Randomness Index

$$RI = 1.120$$

Consistency Ratio

$$CR = 0.013 < 0,1$$

Asumsi untuk menentukan index waktu kerja efektif terhadap pengaruh faktor manusia, faktor peralatan dan faktor alam seperti tertera pada Tabel 10. Penentuan Faktor x1 Disiplin Kerja & Manajemen, Tabel 11. Penentuan Faktor x2 Maintenance & Repair, Tabel 12 Penentuan Faktor x3 Isi BBM, Tabel 13. Penentuan Faktor x4 Cuaca dan Tabel 14. Penentuan Faktor x5 Luas Area Pit dan Disposal.

Tabel 10. Penentuan Faktor x1 Disiplin Kerja & Manajemen

Kelas	Deskripsi Kondisi	Nilai x1
I	Sangat Baik	1,05
II	Baik	1,10
III	Sedang	1,15
IV	Buruk	1,20

Keterangan: Jika disiplin & manajemen semakin baik, maka akan semakin tinggi

Tabel 11. Penentuan Faktor x2 Maintenance & Repair

Kelas	Deskripsi Kondisi	Nilai x2
I	Sangat Baik (Tenaga Mekanik dan suku cadang Lengkap)	1,10
II	Baik (Tenaga Mekanik dan suku cadang Cukup)	1,20
III	Sedang (Tenaga Mekanik dan suku cadang Terbatas)	1,30
IV	Buruk (Tenaga Mekanik dan suku cadang Kurang)	1,40

Keterangan: jika Maintenance & Repair semakin baik, maka akan semakin tinggi.

Tabel 12. Penentuan Faktor x3 Isi BBM

Kelas	Deskripsi Kondisi	Nilai x3
I	Sangat Baik, SPBU Relatif Dekat (< 5 km) dan Tanpa Antrian	1,05
II	Baik, SPBU Relatif Dekat (< 5 km) dan Ada Antrian Kecil	1,10
III	Sedang, SPBU Jauh (5-10 km) dan Ada Antrian Kecil	1,15
IV	Buruk, SPBU Jauh (5-10 km) dan Ada Antrian Sedang	1,20

Keterangan: Jika lokasi dan banyaknya antrian semakin baik, maka akan semakin tinggi.

Tabel 13. Penentuan Faktor x4 Cuaca

Kelas	Deskripsi Kondisi	Nilai x4
I	Sangat Baik, Kemarau (Hari Hujan ≤50), durasi hujan <100 jam/tahun	1,05
II	Baik, Kemarau Rendah (Hari Hujan 50-100), durasi hujan 100-250 jam/tahun	1,10
III	Sedang, Musim Hujan (Hari Hujan 100-150), durasi hujan 250-400 jam/tahun	1,15
IV	Buruk, Musim Hujan Tinggi (Hari Hujan 150-200), durasi hujan 400-700 jam/tahun	1,20
V	Sangat Buruk, Musim Hujan Sangat Tinggi (Hari Hujan >200), durasi hujan >700 jam/tahun	1,25

Keterangan: jika semakin baik jumlah hari hujan & jam hujan, maka akan semakin tinggi

Tabel 14. Penentuan Faktor x5 Luas Area Pit dan Disposal

Kelas	Deskripsi Kondisi	Nilai x5
I Baik	Luas Pit dan Disposal Relatif Luas dan Terdapat Banyak Fleet Serta Jenis/Tipe Peralatan (30 - 60 ton) dan Jumlah Alat (≤100 Unit) serta alat penunjang tersedia	1,05
II Sedang	Luas Pit dan Disposal Relatif Sedang dan Terdapat Beberapa Fleet Serta Jenis/Tipe Peralatan (60 - 100	1,10

	ton) dan Jumlah Alat Relatif Banyak (≤ 100 Unit) serta alat penunjang tersedia	
III Sedang	Luas Pit dan Disposasi Relatif Terbatas dan Jumlah Fleet Terbatas Serta Jenis/Tipe Peralatan (50 - 100 ton) dan Jumlah Alat Relatif Banyak (≤ 100 Unit) serta alat penunjang terbatas	1,15
IV Buruk	Luas Pit dan Disposasi Relatif Terbatas dan Jumlah Fleet Terbatas Serta Jenis/Tipe Peralatan (50 - 100 ton) dan Jumlah Alat Relatif Banyak (≥ 100 Unit) serta alat penunjang terbatas	1,20

Keterangan: Jika luas Area, Jenis/Tipe Serta Jumlah Peralataan semakin baik maka akan semakin tinggi.

Hubungan setiap variabel dalam persamaan (3) untuk WKE dapat dituliskan sebagai:

$$WKE = \frac{(a.x1+b.x2+c.x3+d.x4+e.x5)}{5} \quad (4)$$

$$\text{Faktor Koreksi WKE} = \frac{(0,17 x1+0,419 x2+0,061 x3+0,293 x4 + 0,057 x5)}{5} \quad (5)$$

$$WKE \text{ Model} = (1 - \text{Index WKE}) \times 100\% \quad (6)$$

Dimana

$$a + b + c + d + e = 1 \quad (7)$$

dimana koefisien $a - e$ merupakan nilai pembobotan dari variabel $x1 - x5$. Apabila variabel $x1 - x5$ memiliki bobot yang sama (pengaruh yang sama besar terhadap WKE), maka $a - e$ bernilai 1. Dengan demikian, persamaan (4) dapat ditulis ulang sebagai:

$$WKE = \frac{(x1+x2+x3+x4+x5)}{5} \quad (8)$$

dimana

- $x1$:faktor disiplin (-)
- $x2$:faktor *maintenance & repair* (-)
- $x3$:faktor isi BBM (-)
- $x4$:faktor cuaca/hujan (-)
- $x5$:faktor *slippery time* (pembersihan front & disposasi)(-)

Cycle Time

Dalam menghitung *cycle time* dapat menggunakan persamaan berikut :

$$CT = f(z1, z2, z3, z4, z5, th, tmr, ttp) \quad (9)$$

$$CT = \frac{(a.Z1+b.Z2+c.Z3+d.Z4+e.Z5)}{5} \quad (10)$$

$$\text{Faktor Koreksi CT} = \frac{(0,351 z1+0,327 z2+0,174 z3+0,074 z4+0,75 z5)}{5} \quad (11)$$

$$\text{Cycle Time Model} = (1 + \text{Index CT}) \times CT \text{ Aktual} \quad (12)$$

dimana

- $z1$: faktor topografi /grade jalan (jalur ganda, lebar, super elevasi dan radius standart)
- $z2$: factor *slippery time* (perawatan jalan)
- $z3$: faktor kepadatan jalan
- $z4$: faktor jarak pandang
- $z5$: faktor penyiraman jalan

Asumsi untuk menentukan *index cycle time* terhadap pengaruh faktor topografi, faktor *manintanance & repair*, faktor isi bbm, dan faktor cuaca serta faktor luas area pit dan disposasi seperti tertera pada Tabel 15. Penentuan Faktor $z1$ Topografi/Grade Jalan, Tabel 16. Penentuan Faktor $z2$ Slippery, Tabel 17. Penentuan Faktor $z3$ Kepadatan Jalan, Tabel 18. Penentuan faktor $z4$ Jarak Pandang, Tabel 19. Penentuan Faktor $z5$ Jalan Disiram. Adapun faktor-faktor $z1 - z5$ ditentukan berdasarkan klasifikasi dalam Tabel 15-19.

Tabel 15. Penentuan Faktor $z1$ Topografi/Grade Jalan

Kelas	Deskripsi Kondisi	Nilai $z1$
I	Jalur Ganda (grade nol bermuatan/ Kosong)	1,05
II	Jalur Ganda 50 - 70% (grade negatif bermuatan $\geq 8\% - 18\%$)	1,10
III	Jalur Ganda 50 - 70% (grade negatif bermuatan $< 8\%$)	1,15
IV	Jalur Ganda 30 - 50% (grade positif bermuatan $< 8\%$)	1,20
V	Jalur Ganda 30 - 50% (grade positif bermuatan $\geq 8\% - 18\%$)	1,25

Keterangan: jika grade jalan semakin landai atau negatif, maka waktu tempuh shovel-DT akan semakin cepat sehingga faktor $z1$ semakin kecil

Tabel 16. Penentuan Faktor $z2$ Slippery

Kelas	Deskripsi Kondisi	Nilai $z2$
I	Frekuensi dan slippery 75% setiap pasca hujan	1,10
II	Frekuensi dan slippery 50% dari pasca hujan	1,20
III	Frekuensi dan slippery 25 % setiap pasca hujan	1,30
IV	Frekuensi dan tidak dilakukan sliperry pasca hujan	1,40

Keterangan: jika frekuensi slippery semakin kecil (nilai RR semakin besar), maka waktu tempuh shovel-DT akan semakin lambat sehingga faktor $z2$ semakin besar

Tabel 17. Penentuan Faktor z3 Kepadatan Jalan

Kelas	Deskripsi Kondisi	Nilai z3
I	Kepadatan kendaraan (lalu lintas) sangat rendah (< 50 kendaraan/ jam kapasitas < 30 ton)	1,05
II	Kepadatan kendaraan (lalu lintas) rendah 50 – 100 kendaraan/ jam kapasitas ≤ 50 ton)	1,10
III	Kepadatan kendaraan (lalu lintas) sedang (50 – 100 kendaraan/ jam kapasitas 50 - 100 ton)	1,15
IV	Kepadatan kendaraan (lalu lintas) tinggi (100 - 200 kendaraan/jam kapasitas 50 – 100 ton)	1,20
V	Kepadatan kendaraan (lalu lintas) sangat tinggi (> 200 kendaraan/jam kapasitas > 100 ton)	1,25

Keterangan: jika kepadatan jalan semakin rendah, maka waktu tempuh shovel-DT akan semakin cepat sehingga faktor z3 semakin rendah.

Tabel ini tidak dapat digunakan sebagai acuan karena jalan raya relatif datar, sedangkan untuk kondisi suatu tambang topografi/grade jalan naik turun dengan jarak relatif dekat dan jenis/tipe kendaraan digunakan berupa dumptruck kapasitas relatif sedang dan besar, oleh karena itu perlu diasumsikan klasifikasi kepadatan jalan khusus.

Tabel 18. Penentuan faktor z4 Jarak Pandang (kering/berdebu)

Kelas	Deskripsi Kondisi	Nilai z4
I	Jarak pandang >400m; Kepadatan jalan < 50 kend/jam (kapasitas 30 - 50 ton)	1,10
II	Jarak pandang 200m – 400m; Kepadatan jalan 50 - 100 kend/jam (kapasitas 50 – 100 ton)	1,20
III	Jarak pandang <200m; Kepadatan jalan > 100 kend/jam (kapasitas 50 – 100 ton)	1,30

Keterangan: jika semakin tinggi kepadatan jalan dan jarak pandang semakin pendek, maka waktu tempuh shovel-DT akan semakin lambat sehingga faktor z4 semakin besar.

Tabel 19. Penentuan Faktor z5 Jalan Disiram (Musim Kemarau)

Kelas	Deskripsi Kondisi	Nilai z5
I	Frekuensi penyiraman (6x pershift) jumlah kend > 100 kend/jam kapasitas 50 – 100 ton	1,05
II	Frekuensi penyiraman (4x pershift) jumlah kend > 100 kend/jam kapasitas 50 – 100 ton	1,10

Kelas	Deskripsi Kondisi	Nilai z5
III	Frekuensi penyiraman (6x pershift) jumlah kend < 100 kend/jam kapasitas 50 – 100 ton	1,15
IV	Tidak dilakukan penyiraman jalan / 4x pershift, jumlah kend < 100 kend/jam kapasitas 50 – 100 ton	1,20

Keterangan: jika semakin banyak frekuensi penyiraman maka waktu tempuh shovel-DT akan semakin cepat sehingga faktor z5 semakin rendah

Catatan:

- Persamaan (5) dan (7) dikembangkan berdasarkan logika dasar sehingga perlu diteliti bagaimana sesungguhnya hubungan setiap variabel yang saling mempengaruhi, kebenaran secara dimensi satuan, dan dibuktikan dengan data uji lapangan.
- Nilai klasifikasi faktor-faktor z1 – z5 perlu diteliti dan dikaitkan dengan kondisi lapangan (hasil survei dan pengukuran di lapangan).

Pengamatan *cycle time* secara pengamatan aktual dan estimasi *cycle time* secara teoritis dilakukan pada jalan angkut sistem *shovel-dumptruck* yang terdiri dari beberapa segmen seperti tertera pada Gambar 2.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Waktu Kerja Efektif (WKE)

Penentuan kriteria pembobotan

Penentuan bobot kriteria berdasarkan rata-rata data kuisioner matriks perbandingan berpasangan (Tabel 20) untuk menentukan tingkat kepentingan (dominasi) multivariabel yang mempengaruhi waktu kerja efektif (Tabel 21) .

Tabel 20. Matriks Perbandingan Berpasangan

Kriteria	X1	X2	X3	X4	X5
X1	1.000	0.380	3.352	0.434	3.400
X2	2.632	1.000	6.296	1.728	6.417
X3	0.298	0.159	1.000	0.228	1.076
X4	2.304	0.579	4.385	1.000	5.131
X5	0.294	0.156	0.929	0.195	1.000
Jumlah (ΣMK)	6.528	2.273	15.96	3.585	17.02
			2		4

Tabel 21. Normalisasi Matriks Perbandingan

Kriteria	X1	X2	X3	X4	X5	Jumlah	Bobot Kriteria (BK)
X1	0.15 3	0.16 7	0.2 10	0.1 21	0.2 00	0.85 1	0.170
X2	0.40 3	0.44 0	0.3 94	0.4 82	0.3 77	2.09 6	0.419
X3	0.04 6	0.07 0	0.0 63	0.0 64	0.0 63	0.30 5	0.061
X4	0.35 3	0.25 5	0.2 75	0.2 79	0.3 01	1.46 3	0.293
X5	0.04 5	0.06 9	0.0 58	0.0 54	0.0 59	0.28 5	0.057
Jumlah	1.00 0	1.00 0	1.0 00	1.0 00	3.0 00	5.00 0	1.000

Nilai Eigen
Amaks = 5.057

Consistency Index
CI = 0.014

Randomness Index
RI = 1.120
Consistency Ratio
CR = 0.013 < 0,1

Faktor Koreksi WKE = 0,24 (5)

Perbandingan hasil pemodelan

WKE Aktual = 69,20 %
WKE Model = (1-Faktor Koreksi WKE) x WKE Aktual
= (1 - 0,24) x 69,20%
= 52,57 %.

Persamaan pemodelan matematik untuk faktor koreksi WKE persamaan 5 dapat digunakan untuk menentukan WKE permodelan dengan menyesuaikan pembobotan variabel x1, x2, x3, x4, x5 (Tabel 10-11) sesuai dengan kondisi lapangan setempat.

Tabel 22. Rekapitulasi Waktu Kerja Efektif

No	Pengamatan	Waktu Kerja Efektif (%)
1	Aktual	69,20
2	Pemodelan	52,57
3	Realisasi Tahunan Rata-rata	47,08
	Maksimum	60
	Minimum	32

Waktu kerja efektif pemodelan lebih kecil 24,03% dari waktu kerja efektif aktual (Tabel 22). Besarnya beda nilai WKE aktual terhadap WKE model dikarenakan antara

lain oleh asumsi pemodelan tidak sesuai dengan asumsi pengamatan waktu kerja efektif aktual.

Pendekatan pemodelan WKE dengan mempertimbangkan multivariabel menggunakan metode AHP sebesar 52,57% didapatkan selisih WKE pemodelan lebih mendekati WKE realisasi tahunan yaitu berkisar 32% - 60% (Tabel 14). Data waktu kerja efektif tahunan pada umumnya relatif lebih kecil dari waktu kerja efektif yang diestimasi. Hal ini dikarenakan estimasi beberapa variabel tidak diperhitungkan.

Cycle Time (CT)

Penentuan kriteria pembobotan

Penentuan bobot kriteria berdasarkan rata-rata data kuisioner matriks perbandingan berpasangan (Tabel 23) untuk menentukan tingkat kepentingan (dominasi) multivariabel yang mempengaruhi cycle time (Tabel 24).

Tabel 23. Matriks Perbandingan Berpasangan

Kriteria	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
Z1	1.000	1.451	2.002	4.926	3.615
Z2	0.689	1.000	2.876	4.870	3.673
Z3	0.499	0.348	1.000	1.929	3.702
Z4	0.203	0.205	0.518	1.000	1.016
Z5	0.277	0.272	0.270	0.984	1.000
Jumlah (ΣMK)	2.668	3.276	6.667	13.709	13.005

Tabel 24. Normalisasi Matriks Perbandingan

Kriteria	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Jumlah	Bobot Kriteria (BK)	Prioritas/ Ranking
Z1	0.37 5	0.44 3	0.30 0	0.35 9	0.27 8	1.755	0.351	1
Z2	0.25 8	0.30 5	0.43 1	0.35 5	0.28 2	1.633	0.327	2
Z3	0.18 7	0.10 6	0.15 0	0.14 1	0.28 5	0.869	0.174	3
Z4	0.07 6	0.06 3	0.07 8	0.07 3	0.07 8	0.368	0.074	4
Z5	0.10 4	0.08 3	0.04 1	0.07 2	0.07 7	0.376	0.075	5
Jumlah	1.00 0	1.00 0	1.00 0	1.00 0	1.00 0	5.000	1.000	

Nilai Eigen
Amaks = 5,151

Consistency Index
CI = 0.038
Randomness Index
RI = 1.120
Consistency Ratio
CR = 0.034 < 0,1

Perbandingan hasil pemodelan

Faktor Koreksi CT = 0,38 (11)

Cycle time model = (1 + Faktor Koreksi CT) x CT teoritis
 = (1 + 0,38) x 11,24 = 15,59 menit

Tabel 25. Cycle Time Aktual

Keterangan	Segmen	Jarak (m)	Kecepatan (km/jam)	Waktu (Jam)	Waktu (Menit)
Bermuatan	Front	692	14,40	0,048	2,88
	U1	457	12,10	0,037	2,22
	U2	404	15,15	0,026	1,56
	U3	300	9,56	0,031	1,86
	U4	354	12,87	0,027	1,62
	U5	332	13,59	0,024	1,44
JUMLAH U1-U5		2539	77,67	0,145	8,7
RATA-RATA U1-U5		423,16	12,94	0,029	1,74
JUMLAH FRONT – U5		3231			
Kembali Kosong	U5	251	14,34	0,017	1,02
	U4	345	14,29	0,024	1,44
	U3	298	15,12	0,019	1,14
	U2	432	17,65	0,024	1,44
	U1	449	17,21	0,026	1,56
	Front	735	16,24	0,045	2,7
JUMLAH U5-U1		2510	94,85	0,11	6,6
RATA-RATA U5-U1		418,33	15,80	0,022	1,32
JUMLAH U5-FRONT		3245			
JUMLAH FRONT		692	14,40	0,048	5,58
RATA-RATA FRONT		735	16,24	0,045	2,79
RATA-RATA FRONT				0,046	2,79

Jarak *front* bermuatan sebesar 692 meter dengan kecepatan sebesar 14,40 km/jam (*grade* positif)

Jarak *front* kosong sebesar 735 meter dengan kecepatan 16,24 km/jam (*grade* negatif)

CT Aktual = Tloaded + Tempty + Tfront + Tisi
 CT Aktual = 8,7 + 6,6 + 5,58 + 2,18 = 23,06 menit

Mengingat data kecepatan aktual Tabel 25. yang tertinggi pada saat bermuatan kosong 17,65 km/jam sedangkan asumsi pembatasan kecepatan maksimum yang diizinkan untuk keselamatan kerja yaitu 40 km/jam hasilnya masih berbeda relatif signifikan terhadap kondisi aktual, maka dengan pendekatan pemodelan, diperoleh selisih perbedaan *cycle time* teoritis lebih kecil 32,28% terhadap aktual seperti yang tertera pada Tabel 26.

Tabel 26. Cycle Time Teoritis

Keterangan	Segmen	Jarak (m)	Teoritis (km/jam)			
			Gear	V	V diizinkan	T diizinkan
Bermuatan	Front	692	2	14,40	14,40	2,88
	U1	457	4	33,60	33,6	0,81
	U2	404	5	49,80	40	0,60
	U3	300	2	16,90	16,9	1,06
	U4	354	4	33,60	33,6	0,63
	U5	332	7	65,10	40	0,49
JUMLAH U1-U5		2539			163,8	3,59
RATA-RATA U1-U5		423,16			32,7	0,71
Kembali Kosong	U5	251	7	65,10	40	0,37
	U4	345	7	65,10	40	0,51
	U3	298	7	65,10	40	0,44
	U2	432	7	65,10	40	0,64
	U1	449	7	65,10	40	0,67
	Front	735	2	16,24	16,24	2,71
JUMLAH U5-U1		2510			200	2,63
RATA-RATA U5-U1		418,33			40	0,52
JUMLAH FRONT					30,64	2,79
RATA-RATA FRONT					15,32	1,39

Faktor yang menyebabkan perbedaan selisih *cycle time* teoritis terhadap aktual dikarenakan antara lain oleh asumsi nilai *rolling resistance* jalan angkut pada perhitungan teoritis dianggap sama untuk semua segmen jalan, sedangkan pada praktiknya ada perbedaan ada nilai *rolling resistance* untuk masing-masing *segmen*. Selain itu, pengaruh penggunaan kecepatan *dump truck* menggunakan kecepatan maksimum pada *gear* yang tersedia berdasarkan perhitungan *rimpull dump truck*, serta asumsi pembatasan kecepatan yang diizinkan dan penurunan pembatasan kecepatan sehingga *cycle time* teoritis mendekati *cycle time* aktual.

Dalam rangka untuk menentukan *cycle time* teoritis mendekati kondisi aktual dapat dilakukan dengan pemodelan multivariabel yang dominan yang mempengaruhi *cycle time* teoritis untuk mendekati kondisi aktual.

Jarak *front* ke segmen U1 bermuatan sebesar 692 meter dengan kecepatan sebesar 14,40 km/jam (*grade* positif). Jarak dari segmen U1 ke *front* kosong sebesar 735 meter dengan kecepatan 16,24 km/jam (*grade* negatif).

$Cycle\ time\ teoritis = T_{loaded} + T_{empty} + T_{front} + T_{isi}$
 $Cycle\ time\ teoritis\ asumsi = 3,59 + 2,63 + 2,79 + 2,23 = 11,24\ menit$

Persamaan pemodelan matematik untuk faktor koreksi *cycle time* persamaan 11 dapat digunakan untuk menentukan *cycle time* permodelan dengan menyesuaikan pembobotan variabel z_1, z_2, z_3, z_4, z_5 (Tabel 15-19) sesuai dengan kondisi lapangan setempat.

Berdasarkan hasil pengamatan *cycle time* aktual di lapangan (Tabel 25) dan estimasi *cycle time* secara teoritis (Tabel 26), didapat *cycle time* aktual dan teoritis seperti tertera pada Tabel 27.

Tabel 27. Rekapitulasi *Cycle Time*

No	Pengamatan	Cycle Time (Menit)
1	Aktual	23,06
2	Teoritis	11,24
3	Model	15,59

Cycle time teoritis relatif lebih kecil 51,25% dibandingkan dengan *cycle time* aktual. *Cycle time* pemodelan mendekati *cycle time* aktual yaitu lebih kecil 32,38% dibandingkan dengan *cycle time* aktual (Tabel 27). Hal ini dikarenakan antara lain oleh faktor topografi, asumsi nilai RR, nilai kecepatan *dumpruck* (secara teoritis) berdasarkan kecepatan maksimum pada *gear* yang tersedia, pengaruh faktor fluktuasi cuaca, kepadatan jalan, serta frekuensi penyiraman dan perawatan jalan.

Dalam perencanaan perhitungan *cycle time* sistem *shovel dumpruck* secara teoritis agar sesuai atau mendekati *cycle time* aktual di lapangan dapat dilakukan pemodelan multivariabel yang mempengaruhi *cycle time* dengan metode AHP serta dapat menentukan pengaruh faktor variabel yang dominan.

KESIMPULAN

Hasil pengamatan waktu kerja efektif aktual pada kegiatan pengupasan *overburden* sebesar 69,20% dan berdasarkan pemodelan waktu kerja efektif 52,57%, dengan faktor koreksi 0,24 mendekati realisasi tahunan 30%-60%. Hasil pengamatan *cycle time* aktual sebesar 23,18 menit dan *cycle time* teoritis sebesar 11,24 menit. Untuk menentukan *cycle time* teoritis mendekati *cycle time* aktual diperoleh *cycle time* pemodelan sebesar 15,59 menit dengan faktor koreksi 0,38.

Untuk mengoptimalkan waktu kerja efektif dan *cycle time* mendekati kondisi aktual realisasi tahunan, disarankan dilakukan pemodelan matematik untuk menentukan faktor koreksi waktu kerja efektif menggunakan persamaan 5 dan 6 dan *cycle time* menggunakan persamaan 11 dan 12.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Toha, M. T., Nofanda, R., & Busyaf, R. (2019). Analisis Efisiensi Kerja dan Produktivitas Pengangkutan Batubara Sistem Shovel-Dump Truck. *Jurnal Pertambangan*, 3(4), 34–39.
- [2] Choudhary, R. P. (2015). Optimasi Sistem Penambangan Haul-Dump Load oleh OEE dan Match Factor untuk Tambang Terbuka. *Jurnal Internasional Teknik Terapan dan Teknologi*, 5(1), 96-102.
- [3] Ilahi, R. R., Ibrahim, E., Suwardi, F. S. (2014). Kajian Teknis Produktivitas Alat Gali Muat (Excavator) Dan Alat Angkut (Dumpruck) Pada Pengupasan Tanah Penutup Bulan September 2013 Di Pit 3 Banko Barat PT Bukit Asam (Persero) Tbk UPTE. *Jurnal Ilmu Teknik*.
- [4] Pramana, D. P., Sudiyanto, A., Setyowati, I. (2015). Kajian Teknis Produksi Alat Gali-Muat dan Alat Angkut Untuk Memenuhi Target Produksi Pengupasan Overburden Penambangan Batubara PT Citra Tobindo Sukses Perkasa Kabupaten Sarolangun Provinsi Jambi. *Jurnal Teknologi Pertambangan*, 1(2), 61-68
- [5] Toha. M.T., Pradatama. D., (2017). Analisis Produktivitas Excavator Sistem Dispatch Dan Perhitungan Pengamatan Langsung Di Pit Pinang South PT Kaltim Prima Coal, Sangatta, Kalimantan Timur, *Jurnal Pertambangan*, 1(5).
- [6] Nugroho, M. W. (2021), Penerapan Analytical Hierarchy Process (AHP) Dalam Pemetaan of Open-Pit Mines Using AHP, *Environmental Earth Sciences*, 52, 663-672.
- [7] Operator Dump Truck Perusahaan Pertambangan Menggunakan Metode AHP dan Rating Scale (Studi Kasus pada PT Pama Indo Mining), *Industrial Engineering Online Journal*, 4(1).
- [8] Nugraha. R., Shary. A. Lusiana. (2021), *Buku Ajar Sistem Pendukung Keputusan*, Pustaka Galeri Mandiri.
- [9] Supriadi. A, dkk (2018), Analytical Hierarchy Process (AHP) Teknik Penentu Strategi Daya Saing Kerajinan Bordir. DEEPBLISH, Yogyakarta.
- [10] Xin, W., & Lei, Z. (2022), A Multicriteria Decision Model Based on Analytic Hierarchy Process for Managing Safety in Coal Mines, *Hindawi Geofluids*, 2022(1-9).
- [11] Thomas L. Saaty., Luis G. Vargas. (2022), *Model, Methods, Concept & Applications Of The Analytic Hierarchy Process*.
- [12] Kepmen ESDM No. 1827K/30/MEM/2018, Tentang pedoman kaidah praktek pertambangan yang baik. Kementerian ESDM Republik Indonesia.