



Kajian Teknis Efisiensi Pengangkutan Dengan (Articulated Dump Truck) ADT VOLVO A40F Terhadap Produksi Excavator Volvo EC-750DL Pada Penambangan Emas Pit Toka PT. Meares Soputan Mining

Khairunnisa^{#a}, Arthur H. Thambas^{#b}

[#]Program Profesi Insinyur, Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia
^akhairunnisa.07305@gmail.com, ^barthur.thambas@unsrat.ac.id

Abstrak

PT. Meares Soputan Mining (PT. MSM) merupakan perusahaan tambang emas di Indonesia. PT. Meares Soputan Mining (PT. MSM) bersama PT. Tambang Tondano Nusajaya (PT. TTN). PT. MSM menggunakan metode tambang terbuka (Surface Mining). Untuk daerah yang sudah termasuk dalam Izin Usaha Pertambangan (IUP) PT. MSM area Northern Pit yaitu Pit Toka dan area Southern Pit, yaitu Pit Araren. Kegiatan pemuatan dan pengangkutan termasuk dalam operasi produksi yang mana bertujuan untuk memindahkan material mineral dari daerah tambang. Dalam kegiatan pemuatan dan pengangkutannya di Pit Toka, PT. Meares Soputan Mining menggunakan kombinasi alat muat utama yaitu Excavator Volvo EC-750DL dan alat angkut (Articulated Dump Truck) ADT Volvo A40F. Ada beberapa yang perlu diperhatikan dalam kegiatan pemuatan dan pengangkutan seperti loading point, geometri jalan, jenis materil yang mempengaruhi *swell faktor*, lebar jalan lurus, lebar jalan pada saat tikungan, kemiringan dan lebar jalan, faktor isian bucket, waktu edar alat angkut dan alat muat karena hal ini mempengaruhi keserasian alat. Oleh karena itu pengoptimal waktu edar alat angkut dan faktor isian bucket excavator mempengaruhi efisiensi kegiatan pengangkutan.

Kata kunci: alat muat, alat angkut, waktu edar alat angkut, waktu edar alat muat, kondisi material, faktor isian bucket, kondisi dan lebar jalan

1. Pendahuluan

Kegiatan pemuatan dan pengangkutan merupakan kegiatan yang penting dalam kegiatan usaha pertambangan, kegiatan pemuatan dan pengangkutan termasuk dalam operasi produksi yang mana bertujuan untuk memindahkan material mineral dari daerah tambang. Kegiatan operasi produksi di Proyek Toka Tindung dilakukan oleh PT. Samudera Mulia Abadi (PT. SMA) yang merupakan salah satu kontraktor yang bergerak dalam bidang jasa pertambangan dan bertanggung jawab penuh terhadap produksi dari PT. MSM. Dalam kegiatan pemuatan dan pengangkutannya di Pit Toka, PT. Meares Soputan Mining menggunakan kombinasi alat muat utama yaitu Excavator Volvo EC-750DL dan alat angkut (Articulated Dump Truck) ADT Volvo A40F.

Suatu unit kegiatan produksi termasuk dalam kegiatan operasi produksi usaha pertambangan selalu diusahakan untuk menghasilkan output maksimum dengan menggunakan kombinasi input minimum, sehingga mendapatkan keuntungan yang optimum, hal ini dapat dicapai dengan meningkatkan efisiensi kegiatan pemuatan dan pengangkutan. Menurut Shone Rinald (1981) efisiensi merupakan perbandingan output dan input yang berhubungan dengan tercapainya output maksimum dengan sejumlah input, yang berarti jika perbandingan output dan input besar maka efisiensi dikatakan semakin tinggi. Dapat dikatakan bahwa efisiensi adalah penggunaan input yang terbaik dalam memproduksi output. Menurut Kost and Rosenwig (1979) 3 Kondisi dapat dikatakan tercapainya efisiensi bila dengan menggunakan input yang sama dapat menghasilkan output yang lebih besar, dengan menggunakan input yang lebih kecil, bisa

menghasilkan output yang sama, dan dengan menggunakan input yang lebih besar, dapat menghasilkan output yang lebih besar.

Dari observasi di lapangan terhadap kegiatan pemuatan dan pengangkutan terdapat kondisi tidak efisien yang mana faktor keserasian alat tidak seimbang sehingga memengaruhi produktivitas (output) karena terdapat waktu tunggu alat mekanis sehingga penggunaan sumberdaya (input) tidak dipergunakan sepenuhnya. Match factor (faktor keserasian) alat mekanis sendiri dipengaruhi oleh jumlah alat mekanis dan cycle time. Oleh karena itu perlu dilakukan kajian teknis efisiensi pengangkutan dengan Articulated Dump Truck (ADT) A40F dan upaya meningkatkan efisiensi pengangkutan dengan rekomendasi jumlah kombinasi alat mekanis yang optimal setelah perbaikan.

1.1. Dasar Ketentuan / Peraturan Terkait

Keputusan Menteri ESDM Republik Indonesia No. 1827 K/ 30/ MEM/ 2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang baik. Halaman 137 dan 138 poin 2 tentang efisiensi pengangkutan dengan Truk.

1.2. Tujuan dan Sasaran

Tujuan yang ingin dicapai dari kajian teknis ini antara lain :

1. Menganalisis tingkat efisiensi pada proses pengangkutan waste dari Pit Blambangan menuju waste dump inpit Pajajaran menggunakan truck ADT A40F.
2. Memberikan rekomendasi upaya peningkatan efisiensi, jika hasil kajian menunjukkan bahwa kegiatan pengangkutan yang dilakukan saat ini kurang efisien.

1.3. Waktu Pelaksanaan Kajian

Pelaksanaan kajian dilakukan selama 2 bulan, mulai 8 Juli 2022 sampai 14 September 2022

2. Metode, Peralatan dan Pengumpulan Data

2.1. Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dapat diperoleh secara langsung di PT. MSM dan PT. SMA. Data yang diperoleh merupakan data primer dan data sekunder. Data yang diperlukan dalam kajian ini adalah sebagai berikut :

1. Data Primer, yaitu : Kondisi jalan angkut, waktu edar alat, alat muat dan geometri jalan.
2. Data sekunder, yaitu : Spesifikasi alat angkut, data curah hujan daerah penelitian, jarak jalan angkut dan data waktu efektif kerja alat.

2.2. Metodologi

Dalam rangka penyusunan laporan ini, ada tahapan penelitian yang perlu dilakukan, antara lain adalah :

1. Pengumpulan Data
 - a. Melakukan studi literatur, yaitu dari buku, laporan penelitian terdahulu, serta data penunjang lainnya sebagai referensi awal dalam melakukan kegiatan penelitian.
 - b. Melakukan observasi lapangan, yaitu dengan melakukan pengamatan secara langsung di area penambangan, jalan angkut, dan area waste dump inpit dump pajajaran.
 - c. Melakukan pengambilan data, dalam proses ini data diperoleh dari data primer yang diambil secara langsung dari lapangan dan data sekunder yang didapat dari perusahaan atau literatur.
2. Pengolahan Data
 - a. Pengolahan data yang dilakukan secara perhitungan teoritis dengan menggunakan rumus perhitungan efisiensi kerja, faktor pengembangan (swell Factor), match factor, efisiensi mekanis, dan rumus produktivitas alat mekanis.
 - b. Hasil dari pengolahan data berupa nilai efisiensi kerja, faktor pengembangan (swell Factor), match factor, efisiensi mekanis, dan produktivitas aktual alat gali-muat.

3. Analisis Data

Analisa data menggunakan metode komparatif.

Melakukan analisa hasil dari pengolahan data untuk mengetahui efisiensi dari kegiatan pengangkutan, serta melakukan upaya peningkatan efisiensi dengan rekomendasi yang diberikan.

4. Kesimpulan

Kesimpulan didapatkan dari pengolahan dan analisis data, diambil sebagai solusi pemecahan masalah.

3. Analisis

3.1. Pengolahan Data

Material ore pada penambangan emas di Pit Toka diangkut menuju ROM PAD, Jarak angkut dalam pengangkutan ore dari loading point Pit Toka menuju ROM PAD adalah 1680,73 meter.

3.1.1. Efisiensi

Konsep efisiensi merupakan konsep yang mendasar dan lahir dari konsep ekonomi. Di dalam Adiwirman A. Karim (2006), dibahasakan bahwa "Efficient is doing the things right", yang berarti bahwa melakukan segala hal dengan cara yang tepat untuk mendapatkan hasil yang optimal.

Menurut Dinc dan Haynes (1999) (dalam Komaryatin, Nurul: 2006), efisiensi merupakan kriteria dalam menentukan seberapa besar input yang digunakan untuk menghasilkan output yang diinginkan. Suatu unit kegiatan ekonomi dikatakan efisien secara teknis apabila menghasilkan output maksimal dengan sumber daya tertentu atau memproduksi sejumlah output tertentu menggunakan sumber daya yang minimal. Efisiensi teknis merupakan suatu ukuran yang membandingkan antara keluaran (output) dan masukan (input), atau jumlah yang dihasilkan dari sejumlah input yang digunakan (Suseno, Priyonggo, 2008).

Menurut Kast and Rosenzweig (1979) 3 Kondisi dapat dikatakan tercapainya efisiensi bila dengan menggunakan input yang sama dapat menghasilkan output yang lebih besar, dengan menggunakan input yang lebih kecil, bisa menghasilkan output yang sama, dan dengan menggunakan input yang lebih besar, dapat menghasilkan output yang lebih besar.

3.1.2. Kondisi Front Penambangan

Lokasi Penelitian dan pengambilan data berada di Pit Toka PT Meares Sopotan Mining, pembongkaran material ore menggunakan metode pemboran dan peledakan. Pada beberapa kondisi terdapat front penambangan yang sempit namun juga ada front penambangan yang relatif luas.



Gambar 1. Kondisi *Front* Penambangan Saat Kegiatan *Loading* Material

3.1.3. Kondisi Jalan Angkut

Kondisi jalan angkut yang digunakan untuk pengangkutan ore menuju ROM PAD cukup baik, namun pada segmen jalan menuju Loading Point (Segmen T1-T2) kondisinya relatif bergelombang karena banyak terdapat material clay, selain itu pada cuaca hujan kondisi jalan menjadi berlumpur dan cenderung licin, sehingga ketika cuaca sedang hujan operasi dihentikan.



Gambar 2. Kondisi Jalan Angkut

3.1.4. Faktor Pengembangan (Swell Factor)

Pengembangan (swell) pada tanah atau batuan terjadi ketika material tersebut dilakukan penggalian atau diledakan dari tempat aslinya. Kegiatan tersebut menghasilkan ruang atau pori yang menyebabkan meningkatnya volume dari keadaan asli (bank) di lapangan, menjadi material dalam kondisi lepas (loose). Berdasarkan data dari grade control PT. Meares Sopotan Mining density in bank (insitu) pada Pit Toka adalah 2,32 ton/m³ dan loose density adalah 1,9 ton/m³, sehingga nilai swell factor adalah 0,82.

3.1.5. Geometri Jalan Angkut

Berikut ini merupakan geometri jalan angkut pengangkutan ore menuju ROM PAD.

3.1.5.1. Lebar Jalan Angkut Lurus

Jalan angkut yang ada dilokasi tambang Pit Toka PT. Meares Sopotan Mining dari Loading Point Pit Toka menuju ROM PAD. Berdasarkan hasil pengamatan, untuk jalur lurus memiliki jalan terkecil 13,32 m dan terlebar 18,24 m.

3.1.5.2. Lebar Jalan Angkut Pada Tikungan

Pada pengangkutan ore menuju ROM PAD terdapat tikungan pada segmen T5-T6 yaitu dengan lebar tikungan 15,26 m.

3.1.5.3. Kemiringan dan Lebar Jalan Angkut

Kemiringan jalan angkut berkaitan dengan kemampuan alat dalam pengereman dan mengatasi tanjakan. Pada saat periode penelitian dilakukan kemiringan jalan angkut terbesar adalah 7,71 %, sehingga masih dibawah 12% yang disyaratkan Keputusan Menteri ESDM Republik Indonesia nomor 1827 K/30/MEM/2018 kemiringan (grade) jalan tambang/produksi dibuat tidak boleh lebih 12% (dua belas persen) dengan memperhitungkan: (a) spesifikasi kemampuan alat angkut; (b) jenis material jalan; dan (c) fuel ratio penggunaan bahan bakar dan

dibawah kemampuan minimum alat mengatasi tanjakan.

Tabel 1. Geometri Jalan Angkut Aktual

Segmen	Jarak Datar (m)	Beda Tinggi (m)	Grade (%)	Lebar Jalan Aktual (m)	Lebar Jalan Minimum (m)	Lebar Tikungan Aktual (m)
T1-T2	293,07	-4,93	-1,68	15,12	12,04	-
T2-T3	168,88	-1,54	-0,91	18,24	12,04	-
T3-T4	556,74	9,76	1,35	14,74	12,04	-
T4-T5	368,47	28,40	7,71	13,32	12,04	-
T5-T6	291,81	0,99	1,18	15,26	12,04	15,26

3.1.6. Faktor Isian Mangkuk (Bucket Fill Factor)

Faktor Pengisian Mangkuk (Bucket Fill Factor) merupakan suatu faktor yang menunjukkan besarnya kapasitas nyata dari kapasitas mangkuk (bucket) alat muat. Besarnya nilai faktor isian mangkuk (bucket fill factor) tergantung dari beberapa faktor yaitu kondisi material yang digali, ukuran material dan kemampuan operator.

3.1.7. Pola Pemuatan

Pola pemuatan yang digunakan pada kegiatan pemuatan material *Pit* Toka PT. Meares Sopotan Mining adalah sebagai berikut.

3.1.7.1. Berdasarkan dari kumlah penempatan posisi truck untuk dimuati terhadap posisi alat muat.

Teknik pemuatan yang digunakan untuk proses pemuatan material ke alat angkut ADT volvo A40F, dari jumlah penempatan posisi *truck* untuk dimuati terhadap posisi alat muat digunakan teknik *single back up*, yaitu *truck* memposisikan diri untuk dimuati pada satu tempat, sedangkan alat angkut berikutnya dalam posisi siap untuk *manuver* menunggu alat angkut sebelumnya yang sedang dimuati sampai penuh dan seterusnya.

3.1.7.2. Berdasarkan Kedudukan Alat Muat terhadap Material dan Truck

Dari pengamatan yang dilakukan dilapangan pola penggalian yang diterapkan adalah dengan menggunakan pola *Top Loading*, yaitu alat muat melakukan pemuatan berada di lantai keja yang lebih tinggi dari alat angkut (Gambar 3).



Gambar 3. Pola Pemuatan *Top Loading*

3.1.8. Waktu Edar (Cycle Time) Alat Muat

Waktu edar alat muat adalah waktu edar rata-rata yang ditempuh oleh alat muat mulai dari saat menggali sampai pada posisi mulai menggali kembali. Setiap alat berat yang bekerja akan mempunyai kemampuan memindah material tiap siklus. Siklus kerja adalah proses gerakan suatu alat dari gerakan mulanya sampai kembali lagi pada gerakan mula tersebut. Adapun waktu yang diperlukan untuk melakukan satu siklus kegiatan di atas disebut waktu edar. Berikut adalah waktu edar alat muat:

Tabel 2. Cycle Time Excavator

Cycle Time	Waktu (detik)
Tm1 (Waktu Menggali)	11,4
Tm2 (Waktu Mengayun isi)	3,7
Tm3 (Waktu Menumpahkan)	3,65
Tm4 (Mengayun Kosong)	3,52
Cta (Waktu Edar alat angkut)	22,28

3.1.9. Waktu Edar (Cycle Time) Alat Angkut

Kegiatan pengamatan waktu edar dilapangan dilakukan saat kegiatan produksi. Waktu edar adalah waktu yang dibutuhkan oleh suatu alat mekanis untuk melakukan suatu pekerjaan dari mulai sampai akhir. waktu edar alat angkut adalah waktu edar rata-rata yang ditempuh oleh alat angkut mulai dari waktu mengatur posisi untuk dimuati oleh alat muat sampai pada saat jalan kosong kembali ke tempat pemuatan.

3.1.10. Waktu Kerja Efektif

Waktu kerja efektif adalah waktu kerja yang sesungguhnya yang digunakan pada waktu operasi. Kegiatan penambangan di Pit Toka, PT. Meares Sopotan Mining menerapkan kegiatan penambangan dalam dua shift kerja. Shift pertama yaitu pukul 06.00-18-00 WITA dan Shift kedua yaitu pukul 18.00-06.00 WITA.

3.1.11. Efisiensi Kerja Alat

Efisiensi kerja digunakan untuk mengetahui sejauh mana efektifitas penggunaan waktu. Dalam perhitungan efisiensi kerja alat adalah hasil perbandingan antara waktu kerja efektif dan total waktu kerja tersedia, efisiensi kerja alat muat pada saat penelitian berlangsung adalah 51,47 %.

3.1.12. Keserasian Alat (Match Factor)

Faktor keserasian Alat (Match Factor) adalah nilai keserasian alat muat dengan alat angkut, nilai keserasian kerja dipengaruhi oleh jumlah alat dan waktu edar.

Bila hasil perhitungan diperoleh :

1. $MF < 1$
 - Produksi alat angkut lebih kecil dari produksi alat gali-muat
 - Waktu tunggu alat angkut (W_{ta}) = 0
 - Waktu tunggu alat gali-muat (W_{tm})
 - $W_{tm} = ((C_{ta} \times N_m) / N_a) - C_{tm}$
 - Faktor kerja alat angkut (F_{ka}) = 100%
 - Faktor kerja alat gali-muat (F_{km}) = $MF \times 100\%$
2. $MF > 1$
 - Produksi alat angkut lebih besar dari produksi alat gali-muat
 - Waktu tunggu alat gali-muat (W_{tm}) = 0
 - Faktor kerja alat gali-muat (F_{km}) = 100%
 - Faktor kerja alat angkut (F_{ka}) = $(1/MF) \times 100\%$
3. $MF = 1$
 - Produksi alat angkut sama dengan produksi alat gali-muat

- Waktu tunggu alat gali-muat (W_{tm}) = 0
 - Waktu tunggu alat angkut (W_{ta}) = 0
 - Faktor kerja alat gali-muat sama dengan faktor kerja alat angkut ($F_{km} = F_{ka}$)
- Nilai Match factor Articulated Dump Truck (ADT) A40F dengan Excavator Volvo A40F yang di peroleh dari hasil pengamatan adalah : 0,95

3.1.13. *Produksi Alat Muat Aktual*

Kemampuan produksi Excavator saat dilakukan penelitian dengan kombinasi 1 Excavator dengan 8 ADT menghasilkan nilai match factor 0,95 adalah 181,42 cm/jam.

3.1.14. *Rekomendasi Upaya Perbaikan*

Upaya perbaikan dilakukan untuk meningkatkan efisiensi kegiatan pengangkutan, ada 3 faktor yang bisa ditingkatkan dari pengamatan dilapangan yaitu kecepatan rata-rata ADT, mengoptimalkan Cycle time ADT dan mengoptimalkan faktor isian bucket Excavator untuk mengisi bak ADT.

a. Perbaikan Kecepatan Rata-rata

Rekomendasi kecepatan rata-rata dengan dasar kecepatan maksimum yang masih dapat dicapai dan kecepatan maksimum yang diijinkan pada jalan yang dilewati. Kecepatan maksimum ADT yang dapat dicapai dapat ditentukan ketika berat truk dan total resistance dalam % (effective grade) diketahui. Berat ADT dari spesifikasi alat berat kosong dan berat bermuatan, untuk jalan yang menanjak, besar total effective grade (Total resistance) ditambah rolling resistance dalam persen.

b. Rekomendasi Kecepatan Rata-rata (*Travel Speed*)

Dari hasil pengamatan di lapangan terdapat kecepatan (*travel speed*) yang bisa di tingkatkan, dengan meningkatkan kecepatan. Peningkatan kecepatan dapat dilakukan pada ruas jalan angkut segmen T2-T3 , T3-T4, T4-T5. Geometri jalan pada ketiga segmen tersebut sudah sesuai standar dari hasil perhitungan dan kondisi cukup baik, Segmen jalan tersebut adalah jalan diluar area *loading point* dan *dumping point*, karena pada area *loading point* dan *dumping point* terdapat banyak kegiatan pekerjaan selain *loading* dan *hauling* untuk itu karena mempertimbangkan keamanan, kecepatan alat angkut tidak direkomendasikan untuk ditambah. Selain itu juga mempertimbangkan batas kecepatan yang diijinkan pada jalan tersebut yaitu tidak boleh lebih dari 40 km/jam, yang mana kecepatan rencana masih dibawah batas tersebut.

Tabel 3. Kecepatan yang diperbolehkan, Kecepatan Aktual dan Kecepatan Rencana

No	Pengangkutan	Segmen	Kecepatan yang masih dapat dicapai (km/jam)	Kecepatan Aktual (km/jam)	Kecepatan Rencana (km/jam)
1	Bermuatan	T2-T3	51	20,40	30
2	Bermuatan	T3-T4	31	23,89	27
3	Kosong	T3-T2	51	21,43	33
4	Kosong	T4-T3	51	24,53	33
5	Kosong	T5-T4	43	16,49	33

a) Perbaikan *Cycle time* ADT berdasarkan Rekomendasi Kecepatan

Perhitungan detail perbaikan *cycle time* dapat dilihat pada perhitungan teknis, *Cycle time* alat angkut ADT setelah dilakukan perbaikan berdasarkan peningkatan kecepatan.

Tabel 4. Cycle Time Alat Angkut setelah Perbaikan berdasarkan Kecepatan

Cycle Time	Perbaikan (Detik)	
	Sebelum	Sesudah
Ta1 (Waktu mengambil posisi)	38,4	38,4
Ta2 (Waktu diisi muatan)	147,4	147,4
Ta3 (Waktu mengangkut muatan)	453	433,84
Ta4 (Mengambil posisi penumpahan)	34	34
Ta5 (Waktu ditumpahkan)	38,8	38,8
Ta6 (Waktu kembali kosong)	413,6	341,92
Cta (Waktu Edar alat angkut)	1125,2	1034,36

Waktu edar setelah dilakukan perbaikan kecepatan berdasarkan kecepatan maksimum alat angkut yang masih dapat dicapai dan berdasarkan kondisi jalan serta batas kecepatan yang diijinkan menjadi 1034,36 detik, atau berkurang 90,84 detik.

b) Rekomendasi Mengoptimalkan Faktor Isian *Bucket*

Mengoptimalkan faktor isian bucket dengan mengisi penuh *bucket* tiap loading material, dengan nilai estimasi 75%.

3.1.15. Perhitungan Jumlah ADT Ideal Setelah Rekomendasi

Rekomendasi jumlah unit ADT berdasarkan perhitungan nilai *match factor* setelah perbaikan kecepatan dan rekomendasi jumlah curah. Dengan diinginkan nilai *match factor* = 1, yang mana faktor kerja *Excavator* dan ADT adalah 100%, maka jumlah unit ADT yang direkomendasikan berdasarkan perhitungan *match factor* dengan nilai 1 adalah 6,77 unit atau dengan tujuan agar faktor kerja *Excavator* 100% maka jumlah ADT adalah 7 unit.

3.1.16. Kemampuan Produksi Setelah Rekomendasi Perbaikan

Data kemampuan produksi alat pada pemuatan dan pengangkutan diperoleh dari pengukuran *cycle time*, kapasitas *bucket* alat, faktor pengisian, faktor pengembangan dan waktu efisiensi kerja. Kegiatan pemuatan material *ore* pada Pit Toka PT. Meares Sopotan Mining menggunakan alat muat yaitu *Excavator* Volvo EC750-DL. Berikut adalah kemampuan produksi aktual *Excavator*

Tabel 5. Perbandingan Produksi *Excavator* Sebelum dan Setelah Rekomendasi Perbaikan

(Input) Jumlah ADT	MF	Waktu tunggu <i>Excavator</i>	(Output) Kemampuan Produksi <i>Excavator</i> (BCM/jam)
		Waktu (detik)	
8	0,95	6,97	181,42
7	0,9	14,08	185,17

Kemampuan produksi alat muat dengan kombinasi 1 alat muat dan 8 alat angkut dengan nilai faktor keserasian alat 0,95, menghasilkan produksi *Excavator* 181 bcm/jam. Kemampuan produksi alat muat dengan kombinasi 1 alat muat dan 7 alat angkut dengan nilai faktor keserasian alat 0,9 menghasilkan produksi *Excavator* 185 bcm/jam.

3.1.17. Equipment Utilization and Availability *Excaavator* Volvo EC-750DL

a. Mechanical Availability (MA)

Faktor availability yang menunjukkan kesiapan alat dari waktu yang hilang dikarenakan kerusakan atau gangguan alat. Nilai MA selama penelitian dilakukan adalah = 67,45 %

b. Physical Availability (PA)

Faktor yang menunjukkan berapa jam suatu alat dipakai selama jam total kerjanya. Nilai PA

selama penelitian dilakukan adalah = 76,7 %

c. Used Of Availability (UA)

UA menggambarkan apakah pengelolaan alat berjalan dengan baik atau tidak. Nilai UA selama penelitian dilakukan adalah = 71,81%

d. Effective Utilization (EU)

Total % penggunaan waktu kerja terhadap total waktu kerja tersedia. Nilai EU selama penelitian dilakukan adalah = 55,09%

3.2. Perhitungan Teknis

3.2.1. Geometri Jalan Angkut

3.2.1.1. Lebar Jalan Angkut Minimum Pada Jalan Lurus

Penentuan lebar jalan angkut minimum untuk jalan lurus didasarkan pada rule of thumb yang dikemukakan AASTHO (American Association of State Transportation Highway Officials) Manual rural highway design, dengan mempertimbangkan lebar alat terbesar yang melintasi jalan tersebut. $L = (n \times Wt) + (n + 1) \times (\frac{1}{2}Wt)$

Keterangan :

Wt = lebar alat angkut terbesar = 3,44 m

n = jumlah jalur angkut = 2 jalur

Sehingga lebar minimum jalan angkut lurus sebagai berikut :

$$L = (2 \times 3,44) + (2 + 1) \times (\frac{1}{2} \times 3,44) = 12,04 \text{ m}$$

Jadi lebar jalan angkut minimum untuk jalan lurus adalah 12,04 m.

3.2.1.2. Lebar Jalan Angkut Minimum Pada Tikungan

Berdasarkan spesifikasi ADT Volvo A40F dengan GWV sebesar 69700 kg atau 153662 lb, masuk kendaraan kategori 2, kemudian pada pengangkutan menuju ROM PAD menggunakan jalan dengan 2 jalur, dan radius tikungan pada segmen T5-T6 adalah 97,6 m atau 320,21 ft. Sehingga lebar jalan angkut minimum pada tikungan adalah 44 ft atau 13,4 m.

3.2.1.3. Kemiringan Jalan Angkut

Kemiringan jalan angkut berhubungan dengan kemampuan suatu alat angkut untuk mengatasi jalan angkut. Jarak dan kemiringan jalan angkut untuk pengangkutan jalan angkut dibagi menjadi beberapa ruas, untuk setiap jalan angkut kemiringannya dapat diketahui dengan persamaan berikut: $GR = \Delta H / L \times 100\%$

3.2.2. Faktor Pengembangan (Swell Factor)

Swell adalah pengembangan volume suatu material setelah digali dari tempatnya. Pengembangan volume suatu material perlu diketahui karena yang diperhitungkan pada penggalian selalu didasarkan pada "insitu". Dari data PT. Meares Sopotan Mining, density in bank (insitu) pada Pit Toka adalah 2,32 ton/m³ dan loose density adalah 1,9 ton/m³.

3.2.3. Efisiensi Kerja Alat

Efisiensi kerja alat digunakan untuk menghitung produksi kegiatan operasi secara aktual (Peurifoy,2006).

$$\text{Efisiensi Kerja} = We/Wt \times 100\%$$

Keterangan :

We = Waktu kerja efektif

Wt = Waktu kerja tersedia

$$\text{Efisiensi Kerja} = 370,65/720 \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi Kerja} = 51,48 \%$$

3.2.4. Waktu Edar Alat Angkut

Waktu edar adalah waktu yang diperlukan oleh suatu alat mekanis untuk melakukan kegiatan tertentu dari awal sampai akhir dan siap untuk memulai lagi. Kondisi jalan angkut, kondisi tempat kerja, kondisi alat itu sendiri dan juga pola pemuatan yang dilakukan sangat mempengaruhi waktu edar dari alat muat dan alat angkut.

Waktu edar alat angkut dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$Cta = Ta1 + Ta2 + Ta3 + Ta4 + Ta5 + Ta6$$

Keterangan :

Cta : Waktu edar alat angkut
 Ta1 : Waktu mengambil posisi siap dimuati
 Ta2 : Waktu diisi muatan
 Ta3 : Waktu mengangkut muatan
 Ta4 : Waktu mengambil posisi untuk penumpahan
 Ta5 : Waktu muatan ditumpahkan
 Ta6 : Waktu kembali kosong

Hasil penelitian dilapangan didapatkan nilai rata-rata cycle time yaitu :

Ta1 : 38,4 detik
 Ta2 : 147,4 detik
 Ta3 : 453,0 detik
 Ta4 : 34,0 detik
 Ta5 : 39,2 detik
 Ta6 : 413,6 detik
 Cta = 38,4 + 147,4 + 453,0 + 34,0 + 39,2 + 413,6
 Cta = 1125,2 detik

3.2.5. Waktu Edar Alat Muat

Waktu edar adalah waktu yang diperlukan oleh suatu alat mekanis untuk melakukan kegiatan tertentu dari awal sampai akhir dan siap untuk memulai lagi. Kondisi jalan angkut, kondisi tempat kerja, kondisi alat itu sendiri dan juga pola pemuatan yang dilakukan sangat mempengaruhi waktu edar dari alat muat dan alat angkut.

Waktu edar alat muat dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$Ctm = Tm1 + Tm2 + Tm3 + Tm4$$

Keterangan :

Ctm : Total waktu edar alat muat, menit
 Tm1 : Waktu untuk menggali muatan, detik
 Tm2 : Waktu curah bermuatan, detik
 Tm3 : Waktu untuk menumpahkan muatan, detik
 Tm4 : Waktu curah tidak bermuatan, detik

Dari hasil pengukuran dilapangan didapatkan nilai rata-rata cycle time dari alat muat adalah sebagai berikut:

Tm1 = 11,41 detik
 Tm2 = 3,7 detik
 Tm3 = 3,65 detik
 Tm4 = 3,52 detik
 Ctm = 22,28 detik

3.2.6. Faktor Keserasian (Match Factor)

Faktor keserasian kerja (Match Factor) merupakan suatu persamaan matematis yang digunakan untuk menghitung tingkat keselarasan kerja antara alat muat dan alat angkut untuk setiap kondisi kegiatan pemuatan dan pengangkutan. Untuk mendapatkan hubungan kerja yang serasi antara alat muat dan alat angkut, maka produksi alat muat harus sesuai dengan produksi alat angkut. Faktor keserasian alat muat dan alat angkut dinyatakan dalam match factor (MF).

Untuk menilai keserasian alat muat dan alat angkut dapat digunakan rumus Match Factor adalah sebagai berikut (Morgan & Peterson, 1968) :

$$MF = (Na \times Ctm) / (Nm \times Cta)$$

Keterangan :

Na = Jumlah alat angkut
 Ctm = Cycle time mengisi bak ADT
 Nm = Jumlah alat muat
 Cta = Cycle time alat angkut

Nilai match factor adalah sebagai berikut:

Na = 8
 Nm = 1
 Ctm = 22,28 detik
 MF = 1
 Jumlah Curah = 6
 Cta = 1125,3 detik
 $MF = (8 \times (6 \times 22,28)) / (1 \times 1125,2)$
 MF = 0,95

Karena nilai MF < 1, maka faktor kerja alat muat (Excavator) kurang dari 100% yang berarti ada waktu menunggu dari alat muat tersebut. Mencari waktu menunggu dari alat muat dapat menggunakan back analisis dengan mengasumsikan keserasian alat sama dengan 1 (satu).

Waktu tunggu alat muat adalah :

$$1 = (8 \times (Ctm)) / (1 \times 1125,2)$$

$$Ctm = 1125,2 / (8) = 140,65 \text{ detik}$$

Cycle time dari Excavator ditambah dengan waktu menunggu ialah 140,65 detik, sedangkan untuk cycle time untuk mengisi sebanyak 1 ADT ialah 133,68 detik, sehingga waktu tunggu Excavator ialah :

$$Wtm = 140,65 - 133,68 = 6,97 \text{ detik}$$

3.2.7. Produksi Alat Muat Aktual

Dari data–data yang diperoleh di lapangan, untuk menentukan produksi alat muat dapat menggunakan persamaan berikut.

$$\text{Produksi Excavator} = 3600 / CT \times KB \times FF \times [FK] \times [Fk]$$

Keterangan :

CT = Cycle Time alat muat, (Detik)

KB = Kapasitas bucket, (m3)

FF = Bucket fill factor (faktor pengisian bucket), (%)

FK = Faktor Koreksi, (Efisiensi Kerja (%))

Fk = Faktor Konversi (Swell Factor)

Dari perhitungan match factor terdapat waktu tunggu sebesar 6,97 detik pada alat muat. Waktu tunggu tersebut adalah waktu tunggu pada saat mengisi muatan ke dalam bak ADT, dengan jumlah penumpahan sebanyak enam kali, sehingga dalam satu cycle time alat muat terdapat waktu tunggu sebesar 1,16 detik.

Cycle time alat muat :

$$CTm = Ctm + \text{waktu tunggu}$$

$$CTm = 22,28 \text{ detik} + 1,16 \text{ detik}$$

$$CTm = 23,44 \text{ detik}$$

Produksi Excavator :

$$CTm = 23,44 \text{ detik}$$

$$\text{Kapasitas bucket (Cam)} = 4 \text{ m}^3$$

$$\text{Faktor pengisian bucket (F)} = 70 \%$$

$$\text{Efisiensi kerja (Ek)} = 51,48 \%$$

$$\text{Swell factor (SF)} = 0,82$$

$$\text{Produksi Excavator} = 3600 / CT \times KB \times FF \times [FK] \times [Fk]$$

$$\text{Produksi Excavator} = 3600 / 23,44 \times 4 \times 70\% \times 51,48\% \times 0,82$$

$$\text{Produksi Excavator} = 181,53 \text{ Bcm/jam}$$

3.2.8. Perubahan Cycle Time Setelah Rekomendasi Kecepatan

Mengoptimalkan waktu edar berdasarkan kecepatan (Travel Speed) alat angkut dengan perhitungan sebagai berikut:

Pengangkutan Bermuatan

Segmen T2-T3

$$\text{Jarak angkut} = 168,88 \text{ m}$$

$$\text{Kecepatan rencana} = 30 \text{ km/jam}$$

$$\text{Waktu Tempuh} = (168,88 \text{ m}) / (30000 \text{ m/jam})$$

$$\text{Waktu Tempuh} = 0,0056 \text{ jam}$$

$$\text{Waktu Tempuh} = 20,26 \text{ detik}$$

Segmen T3-T4

$$\text{Jarak angkut} = 556,72 \text{ m}$$

$$\text{Kecepatan rencana} = 27 \text{ km/jam}$$

$$\text{Waktu Tempuh} = (556,72 \text{ m}) / (27000 \text{ m/jam})$$

$$\text{Waktu Tempuh} = 0,0202 \text{ jam}$$

$$\text{Waktu Tempuh} = 74,23 \text{ detik}$$

Pengangkutan tanpa bermuatan

Segmen T2-T3

$$\text{Jarak angkut} = 168,88 \text{ m}$$

$$\text{Kecepatan rencana} = 33 \text{ km/jam}$$

$$\text{Waktu Tempuh} = (168,88 \text{ m}) / (33.000 \text{ m/jam})$$

$$\text{Waktu Tempuh} = 0,0051 \text{ jam}$$

$$\text{Waktu Tempuh} = 18,4 \text{ detik}$$

Segmen T3-T4

$$\text{Jarak angkut} = 556,72 \text{ m}$$

$$\text{Kecepatan rencana} = 33 \text{ km/jam}$$

$$\text{Waktu Tempuh} = (556,72 \text{ m}) / (33.000 \text{ m/jam})$$

$$\text{Waktu Tempuh} = 0,0168 \text{ jam}$$

$$\text{Waktu Tempuh} = 60,48 \text{ detik}$$

Perbaikan Cycle time alat angkut ADT setelah perbaikan berdasarkan kecepatan rencana adalah:
 T3 (Cycle Time Bermuatan) = 114,29 + 20,26 + 74,23 + 101,87 + 123,18 = 433,84 detik

$$T3 \text{ (Cycle Time Kosong)} = 112,16 + 18,4 + 60,48 + 40,38 + 110,50 = 341,92 \text{ detik}$$

$$\text{Cycle Time alat angkut setelah perhitungan rekomendasi kecepatan rata-rata}$$

$$= 38,4 + 147,4 + 433,84 + 34 + 38,8 + 341,92 = 1034,36 \text{ detik}$$

3.2.9. Perhitungan Jumlah ADT Setelah Rekomendasi Perbaikan

Rekomendasi jumlah alat angkut ideal setelah rekomendasi adalah :

$$Nm = 1 \qquad \qquad \qquad MF = 1$$

$$Ctm = 22,28 \text{ detik} \qquad \qquad \qquad Cta = 1034,36 \text{ detik}$$

$$Na = (MF \times Cta \times Nm) / ((\text{Jumlah curah} \times Ctm))$$

$$Na = (1 \times 1034,36 \times 1) / ((7 \times 22,28))$$

$$Na = 6,63 \text{ unit ADT} \sim 7 \text{ unit ADT}$$

Dengan 7 unit ADT maka nilai match factor adalah :

$$MF = (Na \times Ctm) / (Nm \times Cta)$$

Keterangan :

Na = Jumlah alat angkut

Ctm = Cycle time mengisi bak ADT

Nm = Jumlah alat muat

Cta = Cycle time alat angkut

Nilai match factor adalah sebagai berikut:

Na = 7

Nm = 1

Ctm = 22,28 detik

Jumlah Curah = 6

Cta = 1034,36 detik

MF = $(7 \times (6 \times 22,28)) / (1 \times 1034,36)$

MF = 0,904

Karena nilai MF < 1, maka faktor kerja alat muat (Excavator) kurang dari 100% yang berarti ada waktu menunggu dari alat muat tersebut. Mencari waktu menunggu dari alat muat dapat menggunakan back analysis dengan mengasumsikan keserasian alat sama dengan 1 (satu).

Waktu tunggu alat muat adalah :

$$1 = (7 \times (Ctm)) / (1 \times 1034,36)$$

$$Ctm = 1034,36 / (7) = 147,76 \text{ detik}$$

Cycle time dari Excavator ditambah dengan waktu menunggu ialah 147,76 detik, sedangkan untuk cycle time untuk mengisi sebanyak 1 ADT ialah 133,68 detik, sehingga waktu tunggu Excavator ialah :

$$Wtm = 147,76 - 133,68 = 14,08 \text{ detik}$$

3.2.10. Produksi Alat Muat Setelah Rekomendasi Perbaikan

Dari data – data yang diperoleh di lapangan dapat menggunakan persamaan.

$$\text{Produksi Excavator} = 3600 / CT \times KB \times FF \times [FK] \times [Fk]$$

Keterangan :

CTm = Cycle Time alat muat, (Detik)

KB = Kapasitas bucket, (m³)

FF = Bucket fill factor (faktor pengisian bucket), (%)

FK = Faktor Koreksi, (Efisiensi Kerja (%))

Fk = Faktor Konversi (Swell Factor)

Dari perhitungan match factor terdapat waktu tunggu sebesar 14,08 detik pada alat muat.

Waktu tunggu tersebut adalah waktu tunggu pada saat mengisi muatan ke dalam bak ADT, dengan jumlah penumpahan sebanyak enam kali, sehingga dalam satu cycle time alat muat terdapat waktu tunggu sebesar 2,34 detik. Jadi cycle time alat muat adalah :

$$CTm = Ctm + \text{waktu tunggu}$$

$$CTm = 22,28 \text{ detik} + 2,34 \text{ detik}$$

$$CTm = 24,62 \text{ detik}$$

Produksi Excavator :

$$CTm = 24,62 \text{ detik}$$

$$\text{Kapasitas bucket (Cam)} = 4 \text{ m}^3$$

$$\text{Faktor pengisian bucket (F)} = 75 \%$$

$$\text{Efisiensi kerja (Ek)} = 51,48 \%$$

$$\text{Swell factor (SF)} = 0,82$$

$$\text{Produksi Excavator} = 3600 / CT \times KB \times FF \times [FK] \times [Fk]$$

$$\text{Produksi Excavator} = 3600 / 24,62 \times 4 \times 75\% \times 51,48\% \times 0,82$$

$$\text{Produksi Excavator} = 185,17 \text{ Bcm/jam}$$

3.3. *Benefit & Cost Analisis Untuk Pemerintah dan IUP/IUPK*

Berikut adalah manfaat dari kajian ini :

Untuk Pemerintah:

- Sebagai kajian teknis yang di persyaratkan pada Keputusan Menteri ESDM Republik Indonesia No. 1827 K/ 30/ MEM/ 2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik

Untuk Pemegang IUP:

- Memberikan masukan dan saran mengenai usaha yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi pengangkutan. Memberi masukan mengenai jumlah unit Articulated Dump Truck dengan efisiensi yang optimal dengan rekomendasi kecepatan rata-rata dan jumlah curah bucket untuk mengisi penuh bak ADT.

3.4. *Analisis Risiko*

Faktor risiko yang diidentifikasi adalah risiko terhadap biaya, Risiko biaya timbul apabila jumlah ADT yang lebih banyak dari seharusnya sehingga menimbulkan cost operasional produksi bertambah, berdasarkan rekomendasi perbaikan yang diberikan dengan menggunakan jumlah unit ADT yang lebih sedikit menghasilkan kemampuan produksi alat muat sama. Untuk analisis risiko biaya perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.

3.5. *Rencana Pelaksanaan dan Monitoring*

Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 39 Tahun 2006, disebutkan bahwa monitoring merupakan suatu kegiatan mengamati secara seksama suatu keadaan atau kondisi, termasuk juga perilaku atau kegiatan tertentu, dengan tujuan agar semua data masukan atau informasi yang diperoleh dari hasil pengamatan tersebut dapat menjadi landasan dalam mengambil keputusan tindakan selanjutnya yang diperlukan. Tindakan tersebut diperlukan seandainya hasil pengamatan menunjukkan adanya hal atau kondisi yang tidak sesuai dengan yang direncanakan semula.

4. **Penutup**

4.1. *Kesimpulan*

- 1) Rekomendasi untuk meningkatkan efisiensi kegiatan pengangkutan adalah dengan perbaikan kecepatan rata-rata, mengoptimalkan waktu edar alat angkut berdasarkan rekomendasi kecepatan rata-rata dan mengoptimalkan faktor isian *bucket*.
- 2) Efisiensi kegiatan pemuatan dan pengangkutan meningkat yaitu dengan input (Jumlah ADT) yang lebih kecil dengan output (Kemampuan produksi Excavator) yang lebih besar setelah rekomendasi perbaikan kecepatan, waktu edar dan jumlah curah bucket untuk mengisi bak ADT. jumlah ADT Ideal setelah rekomendasi adalah 7 unit artinya menghemat 1 unit ADT dan kemampuan produksi Excavator lebih besar.

4.2. *Rekomendasi Hasil Kajian*

- 1) Perbaikan kecepatan rata-rata, mengoptimalkan waktu edar alat angkut berdasarkan rekomendasi kecepatan rata-rata dan mengoptimalkan faktor isian bucket excavator untuk mengisi bak ADT untuk meningkatkan efisiensi kegiatan pemuatan dan pengangkutan.
- 2) Mengoptimalkan peran alat support motor grader untuk menjaga kondisi jalan agar tetap baik dan Dozer untuk membersihkan loading point agar jalan menuju loading point tidak bergelombang, serta water truck agar jalan tidak berdebu yang membuat jarak pandang berkurang.
- 3) Meminimalkan hambatan tidak rutin yang terjadi saat loading material seperti membersihkan oli yang tumpah diatas ore, alat muat merapihkan loading point , refueling atau delay survey.

Referensi

Couzens, T.R. (1979). *Aspects of Production Planning: Operating Layout and Phase Plans*. In: *Open Pit*

- Mine Planning and Design. (J.T. Crawford and W.A. Hustrulid, editors)*
- Hartman, Howard L. (1987). *Introductory Mining Engineering. New York: John Wiley and Sons, Inc.* 591 hal.
- Hustrulid, W. and M. Kuchta. (1998). *Open Pit Mine and Design, Vol 1: Fundamentals. Rotterdam: A.A. Balkema.* 1288 hal.
- Kast, F.E and Rosenzweig, J.E, (1995). *Organisasi dan manajemen , Jakarta : Bumi Aksara*
- Kaufman, W.W., and Ault J.C, (1977), *Design of Surface Mine Haulage Roads-A Manual. U.S Dept. of The Interior, Bureau Mines.*
- Nicols, H.L., and Day D.A, (1999), *Moving the Earth – The Workbook of Excavation 4th ed, McGraw-Hill, New York.*
- Peurifoy, R.L., et. (2006), *Construction Planning, Equipment, and Methods 7th edition, McGraw-Hill, Boston.*
- Pfleider, E.P., (1972). *Surface Mining 1st Edition, America Institute of Minin, Metallurgical, and Petroleum Engineers, New York.*
- Tannant, Dwayne. And Regenbug, bruce. (2001). *Guideline For Mine Haul Road Design , Okanagan : University of British Columbia*
- Volvo.(2014), *Volvo Construction Equipment North America, Inc, Asheville*
- Waterman S.B, (2017), *Perencanaan Tambang, Prodi Teknik Pertambangan. Yogyakarta.*
- Yanto Indonesianto, (2013), *Pemindahan Tanah Mekanis, Program Studi Teknik Pertambangan, UPN “Veteran” Yogyakarta, Yogyakarta*