

Rancangan Jalan Angkut Untuk Mencapai Target Produktivitas Alat Angkut Komatsu Hd785-7 Pada Pengangkutan Overburden Di Pit Kgu Pt Putra Perkasa Abadi Jobsite Pt Borneo Indobara, Tanah Bumbu, Kalimantan Selatan

Naomita Salsavilla Nova Regiana^{1a}, Barlian Dwinagara¹, Rika Ernawati¹ Indri Lesta Siwidiani¹

¹Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, UPN “Veteran” Yogyakarta,
Jl. SWK 104 (Lingkar Utara), Yogyakarta 55283 Indonesia

^aemail: 112190045@student.upnyk.ac.id

ABSTRACT

PT Putra Perkasa Abadi (PPA) is one of the contractor companies at PT Borneo Indobara (BIB) which is engaged in coal mining. The mining system used in this company is an open pit mining method. The mining activities include digging, loading and hauling. Overburden hauling is one of the important factors to achieve the production targets. One of the requirements for hauling activity is a good road condition. The actual productivity of dump truck with hauling distance about 2.3 km was only 84,38% of the company's target. This condition was affected by the cycle time of dump truck, especially during the traveling activity. This condition affected the speed of dump truck, so it did not reach the minimum speed requirement. Mine sequence in March 2023 will push the haul road segment. The aims of this research are to design the haul road geometry according to the company's standard parameters and to find out the hauler productivity after the improvement. The minimum straight road width is 25 m and minimum curve road width is 28 m. In this design, the new haul road will be made with straight and curve road width is 30 m with the consideration that it does not interfere with haulage traffic when road maintenance are carried out. The horizontal curve radius will be made at 50 m according to company standards, superelevation 4% with different height in edge and in curve is 1.2 m according to the horizontal curve radius and maximum speed of 40 km/hour, cross slope 2% with different height in the center of the road is 30 cm, and maximum road gradient is 7% according to topographic conditions. The method used is cut and fill with cut volume 75,354.12 BCM and fill volume 8,022.51 BCM, and the over cut 67,331.61 is overburden will be thrown away into disposal area. After the improvement was made using theoretical approach, the productivity of dump truck increase to 116.45 BCM/hour, which reached 103.62% of the productivity target 112.38 BCM/hour..

Keywords: Haul Road Geometry, Productivity, Cycle Time, Overburden Hauling.

ABSTRAK

PT Putra Perkasa Abadi (PPA) merupakan salah satu perusahaan kontraktor pada PT Borneo Indobara (BIB) yang bergerak di bidang pertambangan batubara. Sistem penambangan yang diterapkan adalah sistem tambang terbuka dengan metode open pit. Aktivitas penambangan meliputi pembongkaran, pemuatan, dan pengangkutan. Pengangkutan overburden menjadi salah satu faktor yang penting dalam mencapai target produksi. Salah satu syarat pada kegiatan pengangkutan yaitu dibutuhkan jalan angkut yang baik. Produktivitas alat angkut aktual dengan jarak angkut 2,3 km hanya mencapai 84,38% dari target produktivitas yang ditentukan perusahaan. Faktor penyebab tidak tercapainya target produktivitas adalah pada waktu edar alat angkut, terutama pada waktu pengangkutan muatan dan kembali kosong. Hal ini dikarenakan terdapat segmen jalan angkut dengan geometri tidak standar menyebabkan rata-rata kecepatan alat angkut tidak dapat memenuhi target kecepatan. Rencana kemajuan penambangan pada bulan Maret 2023 juga akan mendesak segmen jalan angkut tersebut. Tujuan penelitian ini adalah membuat rancangan geometri jalan angkut sesuai standar parameter perusahaan dan mengetahui produktivitas alat angkut setelah dilakukan alternatif pembuatan jalan baru. Lebar minimum pada jalan lurus diperoleh sebesar 25 m dan lebar minimum pada jalan tikungan sebesar 28 m. Pada rancangan jalan angkut baru ini direncanakan dengan geometri lebar lurus dan tikungan sebesar 30 m dengan pertimbangan agar tidak mengganggu lalu lintas pengangkutan ketika dilakukan perbaikan jalan. Geometri radius tikungan dibuat sebesar 50 m sesuai standar perusahaan, superelevasi 4% dengan beda tinggi tepi dan dalam tikungan sebesar 1,2 m menyesuaikan dengan radius tikungan dan kecepatan maksimum yang direncanakan sebesar 40 km/jam, cross slope sebesar 2% dengan beda tinggi pada bagian tengah jalan sebesar 30 cm, dan grade jalan maksimum 7% menyesuaikan kondisi topografi. Pembentukan jalan angkut menggunakan metode cut and fill dengan volume material hasil pemangkasan sebesar 75.354,12 BCM, sedangkan kebutuhan volume untuk penimbunan adalah sebesar 8.022,51 BCM, dan sisa material hasil pemangkasan sebesar 67.331,61 BCM dibuang pada disposal. Produktivitas alat angkut setelah dilakukan alternatif pembuatan jalan angkut baru berdasarkan simulasi rimpull sebesar 116,45 BCM/jam atau mencapai 103,62% dari target produktivitas sebesar 112,38 BCM/jam.

Kata kunci: Geometri Jalan Tambang, Produktivitas, Waktu Edar, Pengangkutan Overburden.

I. PENDAHULUAN

PT Putra Perkasa Abadi (PPA) merupakan salah satu perusahaan kontraktor pada PT Borneo Indobara (BIB) yang terletak di Kecamatan Kusan Hulu dan Kecamatan Kuranji, Kabupaten Tanah Bumbu, Provinsi Kalimantan Selatan. Meningkatnya permintaan batubara di pasar domestik dan internasional mendorong perusahaan tambang untuk meningkatkan target produksi guna memenuhi permintaan tersebut.

Sistem penambangan yang digunakan adalah tambang terbuka dengan metode open pit. Aktivitas penambangan meliputi kegiatan pembongkaran, pemuatan, dan pengangkutan. Kegiatan pengangkutan overburden menjadi faktor yang penting untuk mencapai target produksi. Salah satu syarat pada kegiatan pengangkutan yaitu dibutuhkan jalan angkut yang baik pada lokasi kerja. Kegiatan pengangkutan overburden dari Front Selatan Pit Kusan Girimulya Utara (KGU) RL+50 menuju Disposal Highwall menggunakan jalan angkut dengan dua jalur. Target produktivitas alat angkut Komatsu HD785-7 yang ditentukan oleh perusahaan dengan jarak pengangkutan 2,3 km dan target kecepatan rata-rata pada kondisi jalan standar 22 km/jam adalah 112,38 BCM/jam.

Pada lokasi penelitian terdapat segmen jalan dengan geometri jalan yang belum memenuhi standar parameter perusahaan, yaitu lebar jalan lurus <25 m, lebar jalan tikungan <28 m, dan grade jalan >8%. Pada kondisi jalan tidak standar ini, produktivitas maksimal yang dapat dicapai alat angkut sebesar 106,42 BCM/jam. Kondisi jalan yang tidak standar menyebabkan alat angkut tidak mampu mencapai target kecepatan. Kecepatan ideal berdasarkan kemampuan maksimal alat angkut pada kondisi jalan tidak standar sebesar 20,11 km/jam, sedangkan rata-rata kecepatan aktualnya sebesar 18,98 km/jam. Produktivitas alat angkut aktual sebesar 94,83 BCM/jam.

Kemajuan penambangan pada bulan Maret 2023 akan menuju ke arah barat menyesuaikan dengan seam batubara. Rancangan tersebut akan mendesak sebagian segmen jalan angkut yang saat ini digunakan untuk kegiatan pengangkutan. Sehubungan dengan hal tersebut, diperlukan rancangan jalan angkut yang sesuai dengan standar parameter yang ditetapkan sehingga mampu mendukung kegiatan pengangkutan dan meningkatkan kecepatan alat angkut, sehingga target produktivitas alat angkut dapat tercapai.

Masalah yang didapatkan pada penelitian ini adalah tidak tercapainya target produktivitas alat angkut Komatsu HD785-7 pada kegiatan pengangkutan overburden dari Front Selatan Pit KGU RL+50 menuju Disposal Highwall. Produktivitas alat angkut

aktual mencapai 89,11% dari produktivitas maksimal pada kondisi jalan tidak standar dan hanya mencapai 84,38% dari target produktivitas yang ditentukan perusahaan pada kondisi jalan standar. Terdapat faktor hambatan berupa geometri jalan yang tidak standar yang menyebabkan alat angkut tidak dapat mencapai target kecepatan. Selain itu, rencana kemajuan penambangan pada bulan Maret 2023 akan mendesak segmen sebagian jalan angkut yang digunakan untuk pengangkutan, sehingga tidak dapat dilakukan perbaikan pada jalan angkut yang ada. Oleh karena itu, diperlukan rancangan jalan angkut dengan geometri yang sesuai standar untuk mendukung kegiatan pengangkutan dan mencapai target produktivitas alat angkut yang ditentukan oleh perusahaan. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk membuat rancangan geometri jalan angkut sesuai standar parameter perusahaan, kemudian menganalisis produktivitas alat angkut setelah dilakukan alternatif pembuatan jalan baru.

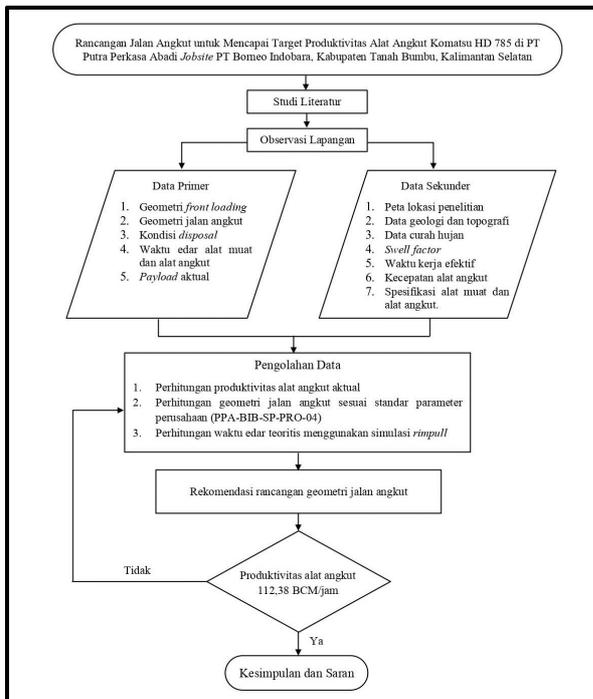
II. METODE/METHOD

Metode penelitian yang dilaksanakan adalah studi literatur, observasi lapangan dan pengambilan data, pengolahan dan analisis data. Studi literatur bertujuan untuk mencari informasi yang berhubungan dengan penelitian yang akan digunakan sebagai acuan penelitian. Studi literatur dilakukan dengan mempelajari teori yang berhubungan dengan topik penelitian yang berasal dari literatur dan laporan penelitian terdahulu, serta referensi dari perusahaan yang dapat digunakan sebagai data sekunder untuk membantu penelitian. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 1.

Observasi lapangan dilakukan dengan pengamatan terhadap kondisi kerja yang sedang berlangsung untuk mengetahui permasalahan yang terjadi pada kegiatan penambangan serta menentukan batasan area yang akan diteliti. Data yang diperoleh berdasarkan observasi lapangan dibagi menjadi dua, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer yang didapatkan berupa geometri dan kondisi front loading, geometri dan kondisi jalan angkut, kondisi disposal, waktu edar alat gali-muat dan alat angkut, serta payload aktual. Data sekunder berupa peta lokasi penelitian, data geologi dan topografi lokasi penelitian, data curah hujan, swell factor, waktu kerja efektif bulan Februari 2023, kecepatan aktual alat angkut bulan Februari 2023, dan spesifikasi alat gali-muat dan alat angkut.

Pengolahan data dilakukan dengan mengolah data primer dan data sekunder yang telah diperoleh berdasarkan teori dan metode yang berkaitan sehingga diperoleh pemecahan masalah. Data waktu edar, swell factor, bucket fill factor, spesifikasi alat, dan efisiensi kerja digunakan untuk mengetahui produktivitas alat angkut. Data spesifikasi alat angkut digunakan untuk menghitung geometri jalan angkut. Data kondisi dan grade jalan, payload aktual

digunakan untuk menghitung rimpull yang dibutuhkan alat angkut sehingga diperoleh estimasi waktu edar secara teoritis. Analisis data dilakukan dengan membahas hasil pengolahan data untuk mengetahui faktor penyebab tidak tercapainya target produktivitas alat angkut. Selanjutnya adalah menentukan yang akan dilakukan untuk mencapai target produktivitas alat angkut.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian difokuskan pada alat gali-muat Komatsu PC2000-8 dan alat angkut Komatsu HD785. dengan asumsi bahwa kemampuan setiap operator alat mekanis; kinerja setiap alat mekanis, dan nilai swell factor lapisan overburden pada kondisi yang sama.

III. HASIL/RESULT

Untuk mengetahui produktivitas alat angkut, maka perlu dilakukan pengamatan terhadap faktor-faktor yang mempengaruhinya. Berdasarkan pengamatan dan tinjauan terhadap kegiatan kerja di lapangan didapatkan hal-hal sebagai berikut.

Front Penambangan

Front penambangan merupakan area dalam suatu wilayah pertambangan yang terdapat kegiatan pembongkaran dan pemuatan. Geometri front penambangan pada Front Selatan Pit KGU RL+50 memiliki lebar front sebesar 35,4 m dan tinggi front sebesar 4,3 m (lihat Gambar 2). Lebar front tersebut sudah mencukupi dari standar lebar front untuk alat angkut Komatsu HD785-7 yaitu 34 meter, sedangkan tinggi front 4,3 m sudah memenuhi standar

perusahaan dikarenakan posisi track alat gali-muat sejajar dengan vessel alat angkut.



Gambar 2. Front Selatan PC2000-8 Pit KGU RL+50

Lebar front yang mencukupi akan memudahkan alat angkut untuk melakukan reposisi sebelum dilakukannya pemuatan (*maneuver loading*). Sebaliknya, front penambangan yang sempit akan menyebabkan alat angkut sulit bermanuver. Kemudahan dalam bermanuver tersebut akan memperkecil waktu edar alat angkut. Sedangkan tinggi jenjang yang standar akan memudahkan kinerja alat gali-muat dalam melakukan penggalian dan pemuatan. Apabila jenjang kerja tidak standar, maka alat gali-muat membutuhkan waktu yang lebih lama pada saat *swing* bermuatan sehingga memperbesar waktu edar alat gali-muat.

Pola pemuatan pada pengupasan *overburden* di Front Selatan Pit KGU RL+50 berdasarkan posisi/kedudukan alat gali-muat adalah pola *top loading*, yaitu kedudukan alat gali-muat lebih tinggi daripada alat angkut. Sedangkan dilihat berdasarkan jumlah dan posisi alat angkut, pola pemuatan pada lokasi penelitian termasuk dalam pola *single side loading*, yaitu penempatan posisi alat angkut berada hanya pada satu sisi alat gali-muat. Pola pemuatan pada lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3. Adapun *passing* atau jumlah pengisian yang dilakukan alat gali-muat Komatsu PC2000-8 untuk memenuhi vessel alat angkut Komatsu HD785-7 yaitu rata-rata 5 kali pengisian.

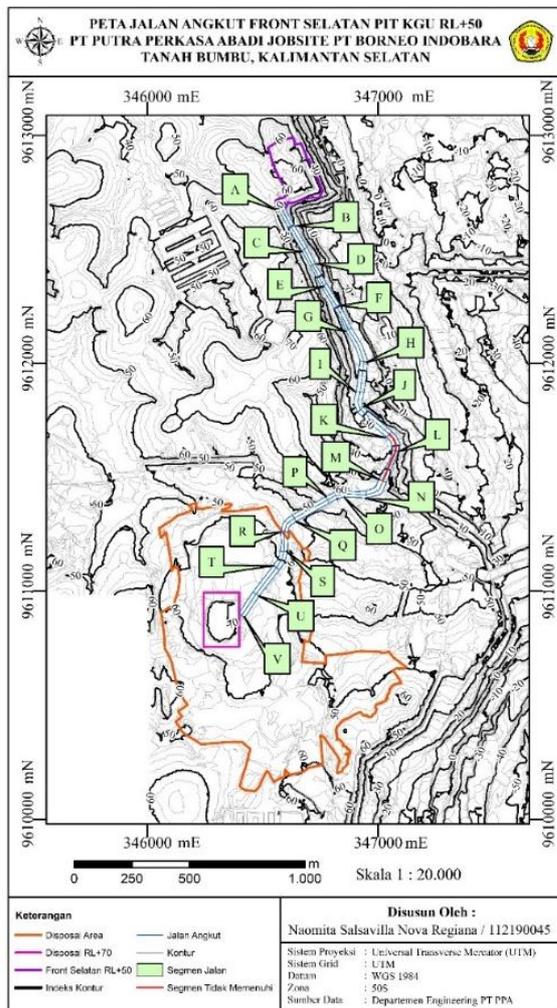


Gambar 3. Pola Pemuatan Top Loading dengan Single Side Loading

Pola pemuatan dan umlah passing memengaruhi waktu edar alat mekanis. Pola pemuatan *top loading* dengan *single side loading* memudahkan pada waktu pemuatan sehingga memperkecil waktu edar alat gali-muat. Sedangkan jumlah *passing* berpengaruh pada *loading time*, yaitu lamanya waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pemuatan pada satu alat angkut.

Geometri Jalan Angkut Aktual

Jalan angkut merupakan tempat berlangsungnya kegiatan pengangkutan. Jarak pengangkutan dari *Front Selatan Pit* KGU RL+50 menuju Disposal *Highwall* sebesar 2,3 km. Jalan angkut pada lokasi penelitian memiliki dua jalur. Jalan yang dilewati ketika pengangkutan muatan dan kembali kosong melewati rute jalan yang sama, yaitu Jalan Abimanyu, Jalan Bisma, dan Jalan *Highwall*. Peta segmen jalan angkut dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Peta Jalan Angkut Aktual

Lebar jalan terdiri dari lebar jalan lurus dan tikungan. Lebar jalan minimum berdasarkan spesifikasi alat angkut terbesar untuk jalan lurus sebesar 25 m dan untuk jalan tikungan sebesar 28 m. Pada satu rute jalan angkut dari *front* penambangan menuju disposal, terdapat dua segmen dengan lebar yang tidak

memenuhi standar, yaitu pada ST K-L sebesar 23,1 m dan pada SL L-M sebesar 17,8 m. Lebar jalan angkut aktual dapat dilihat pada Tabel 1. Adanya penyempitan pada jalan angkut menimbulkan adanya hambatan berupa waktu tunggu bagi salah satu alat angkut. Pada lokasi penelitian, jalur yang diutamakan adalah jalur muatan, sehingga pada kondisi tertentu apabila terdapat dua alat angkut yang berpapasan pada segmen jalan sempit, alat angkut yang berada pada jalur kosong harus menunggu terlebih dahulu. Hal ini menyebabkan waktu edar alat angkut semakin besar, terutama pada waktu kembali kosong.



Gambar 5. Motor Grader Melakukan Maintenance Jalan

Berdasarkan standar parameter yang ditetapkan perusahaan, *grade* jalan angkut maksimum yang diizinkan adalah sebesar 8%. *Grade* yang bertanda negatif merupakan kondisi jalan menurun, sedangkan *grade* bertanda positif merupakan kondisi jalan menanjak. Pada satu rute jalan angkut dari *front* penambangan menuju disposal, terdapat dua segmen dengan *grade* yang tidak memenuhi standar, yaitu pada ST K-L sebesar 8,52% dan pada SL L-M sebesar 9,14%. *Grade* jalan angkut aktual dapat dilihat pada Tabel 2.

Grade jalan angkut mempengaruhi waktu edar karena berhubungan dengan kemampuan alat angkut untuk melewati tanjakan. Kondisi *grade* jalan yang tinggi menyebabkan alat angkut tidak dapat mencapai target kecepatan, sehingga memperbesar waktu edar alat angkut, terutama ketika pengangkutan muatan. Radius tikungan minimum berdasarkan standar parameter perusahaan sebesar 50 m. Radius tikungan pada lokasi penelitian sudah memenuhi standar parameter perusahaan (Tabel 3).

Berdasarkan standar parameter perusahaan, superelevasi maksimum yang diizinkan sebesar 5%. Superelevasi pada lokasi penelitian sudah memenuhi standar parameter perusahaan (lihat Tabel 4).

Kemiringan melintang (*cross slope*) adalah perbedaan ketinggian sisi jalan dengan bagian tengah permukaan jalan angkut. *Cross slope* tidak berpengaruh secara langsung terhadap kecepatan dan waktu edar alat

angkutan, namun berpengaruh terhadap keawetan jalan angkutan. Hal ini karena pembentukan *cross slope* bertujuan untuk mengalirkan air ke tepi jalan sehingga air tidak menggenang di permukaan jalan

ketika hujan. Pada lokasi penelitian, *monitoring cross slope* dilakukan dengan *maintenance* jalan secara rutin menggunakan *motor grader*.

Tabel 1. Lebar Jalan Angkut Aktual

Segmen Jalan	Keterangan	Panjang Segmen (m)	Lebar (m)
SL A-B		100	28,2
SL B-C		115	27,5
SL C-D		77	25,2
SL D-E	Segmen Jalan Abimanyu	103	26,6
SL E-F		110	30
SL F-G		117	28,3
ST G-H		156	33,5
SL H-I		135	34
ST I-J		91	35
SL J-K		166	34
ST K-L	Segmen Jalan Bisma	82	23,1
SL L-M		143	17,8
ST M-N		108	30,9
SL N-O		93	28,9
ST O-P		80	32
SL P-Q		165	31,8
ST Q-R		80	32
SL R-S	Segmen Jalan <i>Highwall</i>	85	30,8
ST S-T		81	32
SL T-U		144	32
SL U-V		114	32
Ket :	SL	Segmen Jalan Lurus	
	ST	Segmen Jalan Tikungan	
		Tidak Memenuhi Standar Parameter	

Tabel 2. *Grade*Jalan Angkut Aktual

Segmen Jalan	Keterangan	Panjang Segmen (m)	Elevasi (m)		Grade (%)
			Awal	Akhir	
SL A-B		100	46	40	-6,09
SL B-C		115	40	37	-2,6
SL C-D		77	37	34	-3,86
SL D-E	Segmen Jalan Abimanyu	103	34	27	-6,86
SL E-F		110	27	20	-6,37
SL F-G		117	20	12	-7,17
ST G-H		156	12	17	3,21
SL H-I		135	17	27	7,41
ST I-J		91	27	29	2,47
SL J-K		166	29	35	3,62
ST K-L	Segmen Jalan Bisma	82	35	42	8,52
SL L-M		143	42	55	9,14
ST M-N		108	55	57	1,91
SL N-O		93	57	56	-1,07
ST O-P		80	56	55	-1,25
SL P-Q		165	55	52	-1,67
ST Q-R		80	52	56	5,13
SL R-S	Segmen Jalan <i>Highwall</i>	85	56	58	2,36
ST S-T		81	58	62	4,96
SL T-U		144	62	65	2,08
SL U-V		114	65	68	2,64
Ket :	SL	Segmen Jalan Lurus			
	ST	Segmen Jalan Tikungan			
		Tidak Memenuhi Standar Parameter			

Tabel 3. Radius Tikungan Aktual

Segmen Jalan	Keterangan	Radius Tikungan (m)
ST G-H	Segmen Jalan Abimanyu	288
ST I-J		78
ST K-L		79
ST M-N	Segmen Jalan Bisma	94
ST O-P		138
ST Q-R		79
ST S-T	Segmen Jalan <i>Highwall</i>	151
Ket :	ST	Segmen Jalan Tikungan

Tabel 4. Superelevasi Aktual

Segmen Jalan	Keterangan	Lebar (m)	Beda Tinggi (m)	Superelevasi (%)
ST G-H	Segmen Jalan Abimanyu	33,5	1,5	0,045
ST I-J	Segmen Jalan Bisma	35	1,4	0,040
ST K-L		23,1	1	0,043
ST M-N		30,9	1,3	0,042
ST O-P		32	1,4	0,044
ST Q-R	Segmen Jalan <i>Highwall</i>	32	1,3	0,041
ST S-T		32	1,4	0,044
Ket :	ST	Segmen Jalan Tikungan		

Disposal

Disposal merupakan area penumpahan (*dumping*) material setelah diangkut dari *front* penambangan. Material yang diangkut dari *Front Selatan Pit KGU RL+50* dipindahkan pada Disposal *Highwall*. Pada disposal terdapat unit *support* yaitu *bulldozer* Komatsu DZ85 dan Komatsu DZ155 yang bertugas untuk merapikan tumpukan material.

Disposal pada lokasi penelitian tersusun dari material yang lunak hingga keras. Material ini dicampur (*blending*) menggunakan *bulldozer* untuk menghindari terjadinya amblasan ketika alat angkut melakukan penumpahan muatan. Selain itu area disposal cukup luas sehingga memudahkan alat angkut ketika bermanuver untuk menumpahkan muatan (*maneuver dumping*). Kemudahan dalam penumpahan muatan ini akan memperkecil waktu edar alat angkut.



Gambar 6. Disposal *Highwall*

Waktu Edar Aktual

Waktu edar merupakan jumlah total waktu yang diperlukan oleh sebuah alat mekanis untuk

menyelesaikan satu siklus kerja dari awal hingga akhir operasi. Waktu edar pada penelitian ini terdiri dari waktu edar alat gali-muat dan waktu edar alat angkut sebagai berikut.

Waktu siklus pemuatan digunakan untuk menilai kinerja sistem pemuatan material. Pengambilan data waktu edar alat gali-muat didapatkan melalui pengamatan di *front* penambangan. Waktu edar alat gali-muat dimulai dari waktu penggalian (*digging*), waktu ayunan bermuatan (*swing load*), waktu penumpahan muatan (*dumping*), dan waktu ayunan kosong (*swing empty*).

Waktu edar alat gali-muat Komatsu PC2000-8 di *Front Selatan Pit KGU RL+50* sebesar 32,45 detik (lihat Tabel 5). Waktu edar alat gali-muat yang diperoleh merupakan waktu edar alat gali-muat rata-rata saat pengamatan di *front loading*.

Tabel 5. Waktu Edar Alat Gali-Muat

Waktu Edar (detik)				
Tm ₁	Tm ₂	Tm ₃	Tm ₄	CTm
16,72	6,45	4,55	4,73	32,45

Keterangan :

- Tm₁ = Waktu penggalian (detik)
- Tm₂ = Waktu ayunan bermuatan (detik)
- Tm₃ = Waktu penumpahan muatan (detik)
- Tm₄ = Waktu ayunan kosong (detik)
- CTm = Total waktu edar alat gali-muat (detik)

Waktu edar alat gali-muat mempengaruhi lama waktu pemuatan pada alat angkut. Apabila waktu edar alat

gali-muat semakin besar, maka waktu pemuatan pada alat angkut semakin besar pula. Waktu pemuatan (*loading time*) berpengaruh terhadap waktu edar dan produktivitas alat angkut. Semakin kecil waktu pemuatan, waktu edar alat angkut semakin kecil dan produktivitas alat angkut semakin besar.

Pengamatan waktu edar alat angkut disaat penelitian diperoleh dari pengamatan lapangan. Pengamatan lapangan tersebut terdiri dari pengamatan pada *front*, jalan, dan disposal. Waktu edar alat angkut terdiri dari pengambilan posisi untuk pemuatan (*maneuver loading*), pemuatan (*loading*), pengangkutan muatan (*travel load*), pengambilan posisi untuk penumpahan (*maneuver dumping*), penumpahan muatan (*dumping*), dan kembali kosong (*travel empty*).

Waktu edar alat angkut dengan jarak pengangkutan 2,3 km dari *Front Selatan Pit KGU RL+50* menuju Disposal *Highwall* sebesar 20,31 menit (lihat Tabel 6). Waktu edar alat angkut yang diperoleh merupakan waktu edar alat angkut rata-rata saat pengamatan di lapangan.

Tabel 6. Waktu Edar Alat Angkut

Waktu Edar (menit)						
Ta ₁	Ta ₂	Ta ₃	Ta ₄	Ta ₅	Ta ₆	CTa
0,39	2,68	9,13	0,36	0,70	7,05	20,31

Keterangan :

- Ta₁ = Waktu pengambilan posisi untuk pemuatan (menit)
- Ta₂ = Waktu pemuatan (menit)
- Ta₃ = Waktu pengangkutan muatan (menit)
- Ta₄ = Waktu pengambilan posisi untuk penumpahan (menit)
- Ta₅ = Waktu penumpahan muatan (menit)
- Ta₆ = Waktu kembali kosong (menit)
- CTa = Total waktu edar alat angkut (menit)

Target rata-rata kecepatan alat angkut yang ditentukan perusahaan pada kondisi jalan standar adalah sebesar 22 km/jam, dengan kecepatan saat bermuatan sebesar 18 km/jam dan kecepatan saat kembali kosong sebesar 26 km/jam. Pada hasil simulasi *rimpull*, didapatkan kecepatan sesuai kemampuan maksimum alat angkut pada kondisi jalan aktual (tidak standar) sebesar 20,11 km/jam, dengan kecepatan saat bermuatan sebesar 17,88 km/jam dan kecepatan saat kembali kosong sebesar 22,34 km/jam (lihat Lampiran L).

Berdasarkan data yang diperoleh dari Divisi *Dispatch*, Departemen COE PT PPA *jobsite* PT BIB, rata-rata kecepatan aktual alat angkut sebesar 18,98 km/jam, dengan rincian kecepatan saat bermuatan sebesar 16,10 km/jam dan kecepatan saat kembali kosong sebesar 21,86 km/jam. Kecepatan rata-rata alat angkut belum mencapai target yang ditentukan,

baik kecepatan pada saat pengangkutan muatan maupun saat kembali kosong.

Kecepatan alat angkut berpengaruh terhadap waktu edar alat angkut. Apabila kecepatan pada saat pengangkutan semakin cepat, maka waktu edar alat angkut akan semakin kecil. Waktu edar alat angkut mempengaruhi produktivitas alat angkut. Semakin kecil waktu edar alat angkut maka produktivitas alat angkut semakin besar.

Efisiensi Kerja

Efisiensi kerja merupakan perbandingan antara waktu yang digunakan untuk bekerja dengan waktu yang tersedia. Efisiensi kerja dipengaruhi oleh kehilangan waktu kerja (hambatan kerja). Berdasarkan data waktu kerja dari Divisi *Monitoring Control*, Departemen COE, diperoleh efisiensi kerja aktual pada bulan Februari 2023 sebesar 72,33%.

Swell Factor

Swell factor atau faktor pengembangan material merupakan perubahan (penambahan) volume material yang sudah berubah dari kondisi aslinya (*insitu*). *Swell factor* material *overburden* pada lokasi penelitian yaitu sebesar 0,67 atau dapat diartikan apabila volume tanah asli sebesar 0,67 m³ maka volume tanah lepas sebesar 1 m³.

Nilai *swell factor* mempengaruhi produktivitas alat angkut. Semakin besar nilai *swell factor* akan memperbesar produktivitas alat angkut. Nilai *swell factor* dipengaruhi oleh jenis material. Besarnya *swell factor* tidak dapat dilakukan perubahan dikarenakan nilai *swell factor* merupakan bawaan dari material tersebut.

Bucket Fill Factor

Faktor pengisian mangkuk (*bucket fill factor*) merupakan perbandingan dari volume nyata yang diperoleh bucket dengan volume bucket teoritis berdasarkan spesifikasi alat. *Bucket fill factor* dipengaruhi oleh kondisi tumpukan, jenis material dan kemampuan operator dalam mengoperasikan alat gali-muat. Rata-rata nilai *bucket fill factor* alat gali-muat Komatsu PC2000-8 pada lokasi penelitian yaitu sebesar 97,4%. Nilai *bucket fill factor* tersebut sudah memenuhi ketentuan minimum berdasarkan Kepmen ESDM No. 1827 K/30/MEM/2018.

Nilai *bucket fill factor* mempengaruhi produktivitas alat angkut. Semakin besar nilai *bucket fill factor*, maka muatan pada alat angkut semakin besar, sehingga produktivitas alat angkut akan semakin besar pula.

Produktivitas Alat Angkut Aktual

Produktivitas alat angkut adalah besarnya produksi yang dapat dicapai dalam kenyataan kerja alat angkut. Produktivitas alat angkut memiliki satuan BCM/jam. Produktivitas alat angkut diperoleh dari perhitungan beberapa parameter seperti waktu edar

alat angkut, kapasitas *bucket*, jumlah *passing*, *swell factor*, *bucket fill factor*, dan efisiensi kerja.

Target produktivitas alat angkut Komatsu HD785-7 pada kondisi jalan standar dengan jarak pengangkutan 2,3 km yaitu sebesar 112,38 BCM/jam, sedangkan produktivitas maksimal pada kondisi jalan tidak standar sebesar 106,42 BCM/jam. Produktivitas alat angkut aktual berdasarkan waktu edar rata-rata sebesar 94,83 BCM/jam. Produktivitas alat angkut aktual mencapai 89,11% dari produktivitas maksimal pada kondisi jalan tidak standar dan hanya mencapai 84,38% dari target produktivitas yang ditentukan perusahaan pada kondisi jalan standar. Tidak tercapainya target produktivitas alat angkut dikarenakan adanya hambatan berupa kondisi jalan yang tidak standar.

Match Factor Aktual

Match factor merupakan parameter yang menunjukkan keserasian kerja antara alat gali-muat dengan alat angkut yang didapatkan berdasarkan parameter waktu edar alat dan jumlah alat mekanis. Nilai *match factor* aktual untuk 1 unit alat gali-muat Komatsu PC2000-8 dengan 6 unit alat angkut Komatsu HD785-7 sebesar 0,8 (lihat Tabel 7). Nilai *match factor* sebesar 0,8 menunjukkan alat gali-muat tidak bekerja maksimal, dimana terdapat waktu tunggu bagi alat gali-muat karena menunggu alat angkut yang belum datang.

Tabel 7. Match Factor Aktual

Jenis Alat	Waktu Edar (menit)	Jumlah Unit	Jumlah Passing	Match Factor
Backhoe Komatsu PC2000-8	0,54	1	5	0,8
Heavy Dump Truck Komatsu HD785-7	20,31	6		

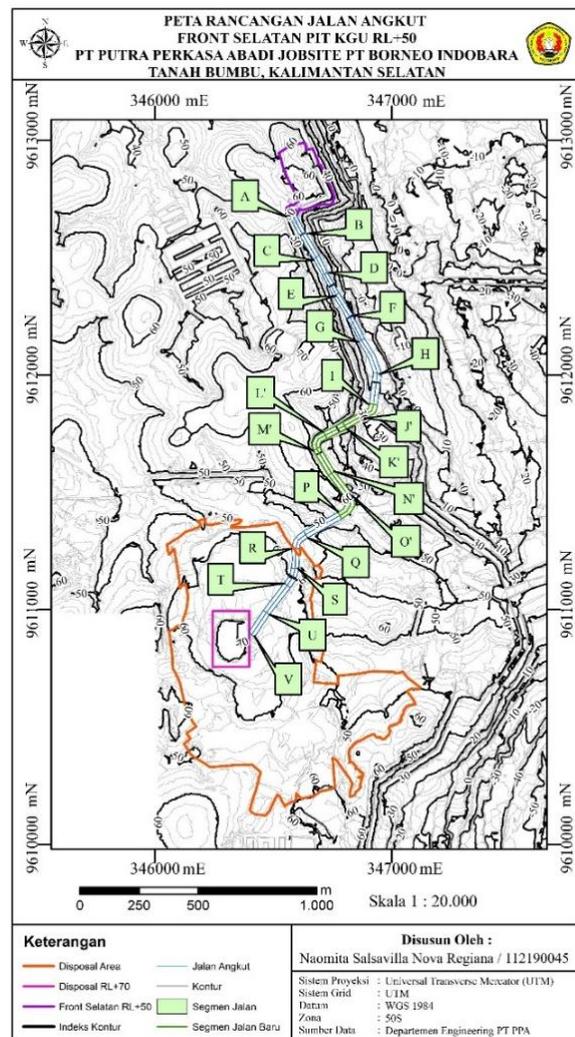
IV. PEMBAHASAN/DISCUSSION

Berdasarkan tinjauan lokasi penambangan dan parameter produktivitas, tidak tercapainya target produktivitas alat angkut disebabkan oleh adanya segmen jalan dengan geometri yang tidak sesuai dengan standar. Kondisi ini menyebabkan alat angkut tidak dapat mencapai target kecepatan sehingga memperbesar waktu edar alat angkut. Selain itu, rencana kemajuan penambangan pada bulan Maret 2023 akan mendesak segmen jalan tersebut. Oleh karena itu, diperlukan rancangan jalan angkut baru untuk mendukung kegiatan pengangkutan dan mencapai target produktivitas alat angkut.

Rancangan Geometri Jalan Angkut

Peranan jalan angkut dalam kegiatan pengangkutan sangatlah penting, sehingga perancangan jalan angkut

yang benar akan menunjang kegiatan pengangkutan. Rancangan geometri jalan angkut dibuat berdasarkan dimensi alat angkut terbesar, yaitu Komatsu HD785-7. Jalan tersebut direncanakan memiliki dua jalur. Lokasi jalan angkut baru direncanakan di sisi barat dari jalan angkut lama. Area tersebut dipilih karena memiliki topografi yang lebih landai, sehingga mampu meningkatkan kemampuan kerja alat angkut. Selain itu, pemilihan lokasi tersebut juga mempertimbangkan rencana kemajuan penambangan yang menuju ke arah barat – utara mengikuti *seam* batubara. Berikut merupakan peta rancangan jalan angkut (Gambar 7).

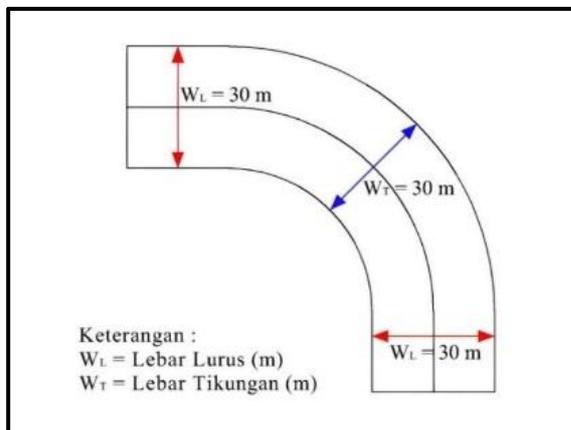


Gambar 7. Peta Rancangan Jalan Angkut

Penentuan lebar jalan tambang minimum didasarkan pada *rule of thumb* yang dikemukakan oleh AASHTO dan menyesuaikan standar parameter perusahaan. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh lebar jalan lurus sebesar 25 m dan lebar jalan tikungan sebesar 28 m. Hasil perhitungan menunjukkan lebar jalan angkut pada tikungan lebih besar daripada lebar jalan angkut lurus karena alat angkut memerlukan area yang lebih luas untuk melewati tikungan. Lebar minimum pada tikungan didasarkan pada lebar atau

jarak jejak roda kendaraan, lebar tonjolan atau jantai truk bagian depan dan belakang pada saat membelok.

Pada rancangan jalan angkut ini, lebar jalan direncanakan sebesar 30 m, baik pada jalan lurus maupun tikungan. Hal ini dikarenakan pertimbangan pembuatan tanggul, median pada jalan, dan agar ketika dilakukan *maintenance* jalan menggunakan *motor grader* tidak mengganggu lalu lintas pengangkutan. Perancangan jalan dengan dimensi yang terlalu kecil dapat menimbulkan risiko terjadinya kecelakaan. Semakin lebar jalan angkut maka lalu lintas pengangkutan akan semakin aman dan alat angkut dapat bergerak lebih leluasa, sehingga mampu mencapai target kecepatan yang ditentukan dan memperkecil waktu edar alat angkut, terutama pada waktu pengangkutan muatan dan kembali kosong. Berikut merupakan rancangan lebar jalan angkut (Gambar 8).



Gambar 8. Rancangan Lebar Jalan Angkut

Kemiringan jalan angkut atau *grade* dapat berupa jalan menanjak ataupun jalan menurun, yang disebabkan perbedaan tinggi pada jalur jalan. *Grade* jalan yang ditetapkan berdasarkan standar parameter perusahaan maksimum sebesar 8% dan direkomendasikan kurang dari 8%. Rancangan kemiringan jalan angkut dibuat tidak melebihi batas tersebut menyesuaikan dengan kondisi topografi. *Grade* terkecil pada rancangan jalan angkut ini sebesar -4% dan *grade* terbesar yaitu 7% (lihat Tabel 8). Penampang melintang rancangan jalan angkut dapat dilihat pada Gambar 9.

Tabel 8. Rancangan *Grade* Jalan Angkut

Segmen Jalan	Keterangan	Panjang Segmen (m)	Elevasi (m)		Grade (%)
			Awal	Akhir	
ST I-J'	Segmen Jalan Bisma	60	27	31	6,63
SL J'-K'		100	31	37	6,84
SL K'-L'		90	37	44	6,84
ST L'-M'		75	44	49	6,32
SL M'-N'		120	49	55	5
SL N'-O'		120	55	60	4,11
ST O'-P		104	60	55	-4,8
Ket	SL	Segmen Jalan Lurus			
	ST	Segmen Jalan Tikungan			

Berikut merupakan penampang melintang rancangan jalan angkut (Gambar 9).



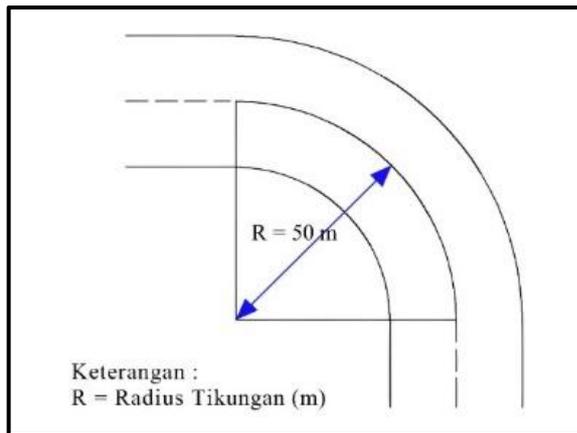
Gambar 9. Penampang Melintang Rancangan Jalan Angkut

Pada rancangan jalan angkut ini, lokasi jalan baru dipilih pada area dengan kondisi yang lebih landai dan bertujuan agar alat angkut dapat melaju lebih cepat. *Grade* jalan dimaksimalkan sebesar 7% karena sudah memenuhi standar parameter jalan angkut. Selain itu, apabila *grade* dibuat lebih landai akan menyebabkan volume material yang harus dibongkar lebih besar, sehingga waktu pembongkaran material lebih lama.

Semakin tinggi *grade* jalan, maka kecepatan alat angkut semakin rendah. Hal ini dikarenakan pada *grade* tinggi, alat angkut harus menggunakan mode gigi rendah. Kecepatan alat angkut mempengaruhi waktu edar alat angkut. Semakin besar kecepatan alat angkut, maka waktu edar alat angkut pada waktu pengangkutan muatan dan kembali kosong akan lebih kecil.

Kemampuan alat mekanis untuk melewati tikungan terbatas, maka dalam pembuatan rancangan jalan harus memperhatikan besarnya radius tikungan, kecepatan laju kendaraan, dan superelevasi jalan tikungan agar alat mekanis tidak terguling karena adanya gaya sentrifugal. Dalam pembuatan jalan menikung, radius tikungan dibuat lebih besar dari radius lintasan alat angkut atau minimal sama. Hasil perhitungan secara matematis diperoleh radius tikungan minimum untuk alat angkut Komatsu HD785-7 adalah 7,6 m atau setara dengan radius putar truk. Sedangkan radius tikungan minimum berdasarkan standar parameter perusahaan sebesar 50 m. Berikut merupakan ilustrasi radius tikungan yang direncanakan (Gambar 10).

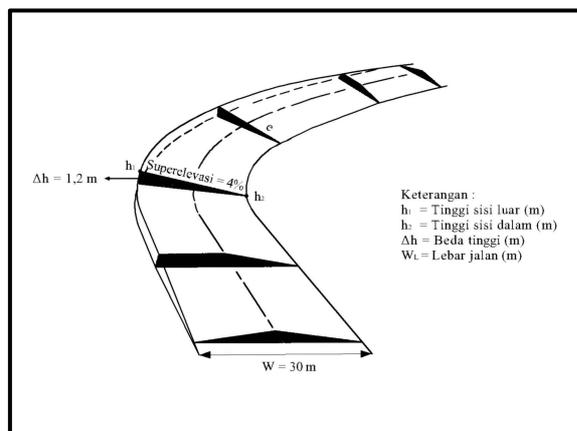
Radius tikungan berpengaruh terhadap kemudahan alat angkut dalam melewati tikungan sehingga berpengaruh juga terhadap waktu edar alat angkut. Semakin besar radius tikungan, maka alat angkut dapat lebih leluasa dalam bergerak, sehingga tidak perlu menurunkan kecepatan secara signifikan dan waktu edar alat angkut semakin kecil.



Gambar 10. Rancangan Radius Tikungan Jalan Angkut

Superelevasi adalah kemiringan jalan pada tikungan yang terbentuk karena perbedaan ketinggian antara tepi jalan bagian dalam dengan tepi jalan terluar. Superelevasi dibuat supaya pada saat melewati tikungan, alat angkut tidak terlempar keluar dari jalan pada kecepatan yang direncanakan. Superelevasi maksimum yang ditetapkan perusahaan sebesar 5%. Pada rancangan jalan baru ini, penentuan superelevasi didasarkan pada besarnya radius tikungan jalan angkut dan kecepatan rencana menurut Kaufman & Ault (1977).

Pada rancangan jalan angkut, radius tikungan yang direncanakan sebesar 50 m dan kecepatan maksimum alat angkut yang direncanakan sebesar 40 km/jam, sehingga besarnya superelevasi yang direkomendasikan sebesar 0,04 ft/ft atau setara dengan 4%. Adapun untuk membentuk superelevasi sebesar 4% dengan lebar jalan 30 m, diperlukan beda tinggi antara sisi tepi tikungan dan sisi dalam tikungan sebesar 1,2 m Berikut merupakan ilustrasi superelevasi yang direncanakan (lihat Gambar 11).



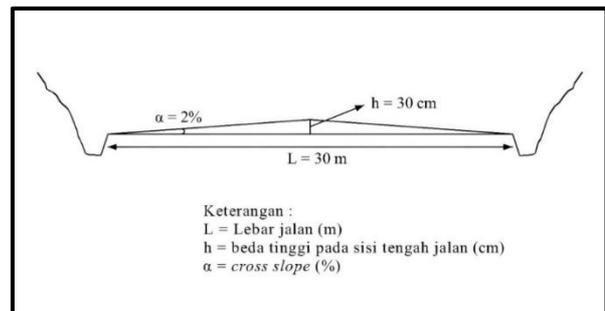
Gambar 11. Rancangan Superelevasi Jalan Angkut

Superelevasi berhubungan dengan keamanan alat angkut ketika melewati tikungan. Akan tetapi, superelevasi yang terlalu besar menyebabkan alat

angkut tidak bisa mencapai kecepatan maksimal yang direncanakan pada saat melewati tikungan, sehingga waktu edar alat angkut semakin besar.

Kemiringan melintang atau *cross slope* dibuat untuk menghindari genangan air hujan pada badan jalan. Angka *cross slope* pada jalan angkut dinyatakan dalam perbandingan jarak vertikal dan horizontal. Pembuatan *cross slope* dilakukan dengan membuat bagian tengah jalan lebih tinggi daripada bagian tepi jalan.

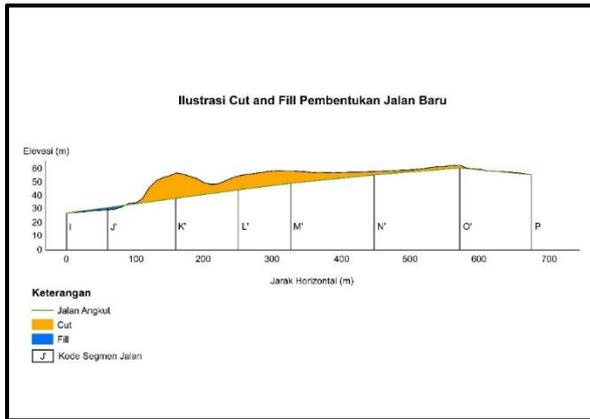
Pada rancangan jalan ini, besarnya *cross slope* yang direkomendasikan sebesar 2% sesuai dengan ketentuan minimum pada Kepmen ESDM No. 1827 K/30/MEM/2018. Perhitungan disesuaikan dengan rancangan lebar jalan yaitu 30 m, sehingga dengan nilai *cross slope* 2% diperlukan beda tinggi pada bagian tengah jalan sebesar 30 cm. Ilustrasi rancangan *cross slope* dapat dilihat pada Gambar 12 sebagai berikut.



Gambar 12. Rancangan Cross Slope Jalan Angkut

Pembentukan jalan angkut baru ini dapat menggunakan metode pemangkasan dan penimbunan material (*cut and fill*). Volume pemangkasan material untuk membentuk badan jalan pada Jalan Bisma Baru sebesar 75.354,12 BCM, sedangkan kebutuhan volume material untuk penimbunan adalah sebesar 8.022,51 BCM. Material yang digunakan untuk penimbunan jalan menggunakan hasil dari pemangkasan material. Lokasi yang direncanakan untuk area jalan baru merupakan bekas *front* penambangan sehingga terdapat sisa material hasil pemangkasan sebesar 67.331,61 BCM dan direncanakan dibuang ke disposal karena merupakan material *overburden*.

Teknis pemangkasan material dimulai dari elevasi yang lebih tinggi menuju elevasi yang lebih rendah, begitu pula untuk penimbunan material. Hal tersebut bertujuan untuk memaksimalkan kinerja alat gali-muat *backhoe* dan kemudahan kinerja *dozer* dalam penimbunan. Ilustrasi pemangkasan dan penimbunan pada pembentukan jalan angkut baru adalah sebagai berikut (Gambar 13).



Gambar 13. Ilustrasi Cut and Fill Pembentukan Jalan Angkut Baru

Estimasi waktu yang diperlukan untuk pembentukan jalan angkut baru diperoleh dengan membagi volume material cut dengan produksi harian dari alat gali-muat. Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh produksi harian alat gali-muat Komatsu PC2000-8 sebesar 17.064,83 BCM/hari, sehingga estimasi waktu yang diperlukan untuk pembentukan badan jalan berdasarkan lamanya waktu pemangkasan material yaitu selama ±5 hari.

Produktivitas Alat Angkut Setelah Perbaikan

Produktivitas akan mengalami perubahan apabila terdapat parameter produktivitas yang diubah, yaitu pada waktu edar. Pembuatan jalan angkut baru dengan geometri yang standar menyebabkan adanya peningkatan kecepatan alat angkut, sehingga waktu edar alat angkut lebih kecil.

Kecepatan dan waktu edar alat angkut secara teoritis disimulasikan menggunakan *rimpull* berdasarkan kemampuan maksimal alat angkut. Alternatif pembuatan jalan angkut baru hanya memperbaiki waktu edar pada waktu pengangkutan muatan dan kembali kosong, sehingga besarnya waktu pengambilan posisi untuk pemuatan, waktu pemuatan, waktu pengambilan posisi untuk penumpahan, dan waktu penumpahan muatan diasumsikan sama dengan kondisi aktual.

Tabel 9. Simulasi Rimpull Jalur Muatan

Segmen Jalan	Keterangan	Panjang Jalan		Grade Jalan (%)	RP RR (lb)	RP GR (lb)	RP a (lb)	Total Rimpull	Gear	Kecepatan (km/jam)	Waktu Tempuh (menit)
		m	km								
SL A-B	Segmen Jalan Abimanyu	100	0,1	-6,09	11836,50	-22179,78	3642,00	-6701,28	1	10,5	0,57
SL B-C		115	0,115	-2,6	11836,50	-9469,20	3642,00	6099,30	2	14,2	0,49
SL C-D		77	0,077	-3,86	11836,50	-14038,12	3642,00	1420,38	3	19,8	0,23
SL D-E		103	0,103	-6,86	11836,50	-24084,12	3642,00	-9505,62	4	26,5	0,23
SL E-F		110	0,11	-5,37	11836,50	-23190,54	3642,00	-7721,04	4	26,5	0,25
SL F-G		117	0,117	-7,17	11836,50	-26113,14	3642,00	-10634,64	4	26,5	0,24
SL G-H		156	0,156	3,21	11836,50	11690,82	3642,00	27169,57	3	19,8	0,44
SL H-I		135	0,135	7,41	11836,50	26987,22	3642,00	42465,72	2	14,2	0,27
SL I-J		60	0,06	6,63	11836,50	24146,46	3642,00	38624,96	2	14,2	0,25
SL J-K		100	0,1	6,84	11836,50	24911,28	3642,00	40389,78	2	14,2	0,42
SL K-L	90	0,09	6,84	11836,50	24911,28	3642,00	40389,78	2	14,2	0,38	
SL L-M	75	0,075	6,32	11836,50	23017,44	3642,00	38495,94	2	14,2	0,32	
SL M-N	120	0,12	5	11836,50	18210,00	3642,00	33688,50	3	19,8	0,36	
SL N-O	120	0,12	4,11	11836,50	14968,62	3642,00	30847,12	4	26,5	0,27	
ST O-P	104	0,104	-4,8	11836,50	-17481,60	3642,00	-2003,10	4	26,5	0,24	
SL P-Q	165	0,165	-1,67	11836,50	-6682,14	3642,00	9396,36	4	26,5	0,37	
SL Q-R	80	0,08	5,13	11836,50	18983,66	3642,00	14161,96	3	19,8	0,24	
SL R-S	85	0,085	2,16	11836,50	8395,12	3642,00	24073,62	3	19,8	0,26	
ST S-T	81	0,081	4,06	11836,50	18064,32	3642,00	33542,82	3	19,8	0,25	
SL T-U	144	0,144	2,08	11836,50	7275,36	3642,00	23953,86	3	19,8	0,44	
SL U-V	114	0,114	2,84	11836,50	9614,88	3642,00	25093,38	2	14,2	0,48	
Travel Load Time											7,30

Ket: SL Segmen Jalan Lurus

Tabel 10. Simulasi Rimpull Jalur Kosongan

Segmen Jalan	Keterangan	Panjang Jalan		Grade Jalan (%)	RP RR (lb)	RP GR (lb)	RP a (lb)	Total Rimpull	Gear	Kecepatan (km/jam)	Waktu Tempuh (menit)
		m	km								
SL V-U	Segmen Jalan Highway	114	0,114	-2,64	2984,82	-3801,60	1440,00	633,22	1	10,5	0,65
SL U-T		144	0,144	-2,08	2984,82	-2995,20	1440,00	1429,62	2	14,2	0,61
ST T-S		81	0,081	-4,06	2984,82	-7142,40	1440,00	-2717,58	3	19,8	0,25
SL S-R		85	0,085	-2,26	2984,82	-3398,40	1440,00	1026,42	4	26,5	0,14
ST R-Q		80	0,08	-5,13	2984,82	-7387,20	1440,00	-2962,38	5	35	0,12
SL Q-P		165	0,165	1,67	2984,82	2404,80	1440,00	6829,62	5	35	0,28
ST P-O		104	0,104	4,8	2984,82	6350,40	1440,00	10775,22	4	26,5	0,24
SL O-N		120	0,12	-4,11	2984,82	-3614,40	1440,00	810,42	5	35	0,21
SL N-M		120	0,12	-5	2984,82	-4049,60	1440,00	-3624,78	5	35	0,21
ST M-L		75	0,075	-6,32	2984,82	-7689,60	1440,00	-3264,78	5	35	0,13
SL L-K	90	0,09	-6,84	2984,82	-11016,00	1440,00	-6591,18	5	35	0,15	
SL K-J	100	0,1	-6,84	2984,82	-11016,00	1440,00	-6591,18	5	35	0,17	
ST O-P	104	0,104	-4,8	11836,50	-17481,60	3642,00	-2003,10	4	26,5	0,24	
SL I-H	125	0,125	-7,41	2984,82	-10670,40	1440,00	-6245,58	5	35	0,19	
ST H-G	156	0,156	-3,21	2984,82	-1843,20	1440,00	2381,62	5	35	0,23	
SL G-F	117	0,117	7,17	2984,82	10324,80	1440,00	14749,62	3	19,8	0,21	
SL F-E	110	0,11	6,37	2984,82	9727,80	1440,00	13557,62	3	19,8	0,19	
SL E-D	103	0,103	6,86	2984,82	9878,40	1440,00	14353,22	3	19,8	0,15	
SL D-C	77	0,077	3,86	2984,82	5558,40	1440,00	9983,22	4	26,5	0,17	
SL C-B	115	0,115	2,6	2984,82	3744,00	1440,00	8168,82	4	26,5	0,26	
SL B-A	100	0,1	6,09	2984,82	8769,60	1440,00	13194,42	2	14,2	0,42	
Travel Empty Time											5,11

Ket: SL Segmen Jalan Lurus
ST Segmen Jalan Tikungan

Berdasarkan simulasi *rimpull*, diperoleh rata-rata kecepatan alat angkut setelah perbaikan jalan angkut sebesar 23,17 km/jam dengan rincian kecepatan pada waktu pengangkutan muatan sebesar 19,40 km/jam dan kecepatan pada waktu kembali kosong sebesar 26,93 km/jam (lihat Tabel 9 dan 10).

Perbandingan kecepatan alat angkut sebelum dan setelah pembuatan jalan angkut baru dapat dilihat lihat Tabel 11 sebagai berikut.

Tabel 11. Perbandingan Kecepatan Alat Angkut

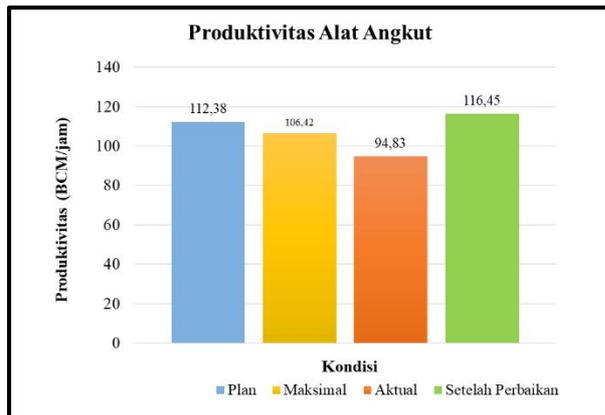
Keterangan	Kondisi Jalan	Kecepatan (km/jam)		
		Muatan	Kosongan	Rata-rata
Plan Perusahaan	Standar	18	26	22
Prediksi Maksimal	Tidak Standar	17,88	22,34	20,11
Aktual	Tidak Standar	16,10	21,86	18,98
Setelah Perbaikan	Standar	19,40	26,93	23,17

Kecepatan alat angkut secara teoritis kemudian digunakan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan untuk pengangkutan muatan dan waktu kembali kosong dengan membagi panjang segmen terhadap kecepatan alat angkut. Berdasarkan simulasi *rimpull*, diperoleh waktu pengangkutan muatan sebesar 7,30 menit dan waktu kembali kosong sebesar 5,11 menit. Total waktu edar alat angkut setelah pembuatan jalan angkut baru sebesar 16,54 menit. Waktu edar alat angkut menurun sebesar 3,77 menit dari waktu edar alat angkut aktual. Berikut merupakan perbandingan waktu edar alat angkut sebelum dan setelah pembuatan jalan angkut baru (lihat Tabel 12).

Tabel 12. Perbandingan Waktu Edar Alat Angkut

Keterangan	Kondisi Jalan	Waktu Edar Alat Angkut (menit)						
		Ta1	Ta2	Ta3	Ta4	Ta5	Ta6	CTa
Plan Perusahaan	Standar	0,33	2,5	7,67	0,33	1,00	5,31	17,14
Prediksi Maksimal	Tidak Standar	0,33	2,5	8,17	0,33	1,00	5,76	18,10
Aktual	Tidak Standar	0,39	2,68	9,13	0,36	0,7	7,05	20,31
Setelah Perbaikan	Standar	0,39	2,68	7,30	0,36	0,7	5,11	16,54

Hasil simulasi menggunakan *rimpull* menghasilkan produktivitas alat angkut setelah dilakukan alternatif pembuatan jalan angkut baru sebesar 116,45 BCM/jam. Produktivitas alat angkut berdasarkan hasil simulasi *rimpull* mencapai 103,62% dari target produktivitas sebesar 112,38 BCM/jam. Terdapat kenaikan sebesar 19,24% dari produktivitas alat angkut aktual. Berikut merupakan perbandingan produktivitas alat angkut sebelum dan setelah dilakukan alternatif pembuatan jalan angkut baru (lihat Gambar 14).



Gambar 14. Perbandingan Produktivitas Alat Angkut

Nilai *match factor* setelah dilakukan alternatif pembuatan jalan angkut baru diperoleh sebesar 0,98. Berikut merupakan nilai *match factor* sebelum dan setelah dilakukan alternatif pembuatan jalan angkut baru (lihat Tabel 13).

Tabel 13. *Match Factor* Setelah Perbaikan

Jenis Alat	Waktu Edar (menit)	Jumlah Unit	Jumlah Passing	Match Factor
<i>Backhoe Komatsu PC2000-8</i>	0,54	1	5	0,8
<i>Heavy Dump Truck Komatsu HD785-7</i>	20,31	6		

Alternatif pembuatan jalan angkut baru dapat mencapai produktivitas alat angkut. Hal ini karena dengan kondisi jalan yang standar mampu meningkatkan kecepatan alat angkut, sehingga waktu edar alat angkut menurun. Semakin kecil waktu edar alat angkut, maka produktivitas alat angkut semakin besar.

V. KESIMPULAN

Rancangan geometri jalan angkut direkomendasikan memiliki lebar pada jalan lurus dan tikungan sebesar 30 m, radius tikungan 50 m, superelevasi 4% dengan beda tinggi tepi dan dalam tikungan sebesar 1,2 m, cross slope sebesar 2% dengan beda tinggi pada bagian tengah jalan sebesar 30 cm, dan grade jalan maksimum 7% menyesuaikan kondisi topografi. Produktivitas alat angkut setelah dilakukan alternatif

pembuatan jalan angkut baru berdasarkan simulasi *rimpull* sebesar 116,45 BCM/jam atau mencapai 103,62% dari target produktivitas sebesar 112,38 BCM/jam. Perlunya pembuatan jalan angkut baru dengan geometri usulan untuk mendukung kegiatan pengangkutan dan mencapai target produktivitas alat angkut. Disamping itu, diperlukan juga kajian kepadatan lalu lintas pada jalan tambang untuk mengoptimalkan kecepatan alat angkut.

VI. DAFTAR PUSTAKA

Anisari, R. (2016). Produktivitas Alat Muat dan Angkut pada Pengupasan Lapisan Tanah Penutup di Pit 8 Fleet D PT Jhonlin baratama Jobsite Satu Kalimantan Selatan. *Jurnal ITEKNA*, Vol. 16 No. 1.

Burt, C. N., & Caccetta, L. (2018). *Equipment Selection for Mining: With Case Studies*. Springer.

Hustrulid, W., Kuchta, M., & Martin, R. (2013). *Open Pit Mine Planning & Design (3rd ed., Vol. I)*. United States of America: CRC Press, Taylor & Francis Group.

Kaufman, W. W., & Ault, J. C. (1977). *Design of Surface Mine Haulage Roads—A Manual*. Washington: United States Department of Interior, Bureau of Mines.

Nichols, H. L., & Day, D. A. (2005). *Moving The Earth: The Workbook of Excavation 5th Edition*. New York: McGraw-Hill.

Novita, D., & Kusumah, K. D. (2016). Karakteristik dan Lingkungan Pengendapan Batubara Formasi Warukin di Desa Kalumpang, Binuang, Kalimantan Selatan. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, Vol.17 No. 3.

Peurifoy, R. L., Schexnayder, C. J., & Shapira, A. (2006). *Construction Planning, Equipment, and Methods Seventh Edition*. New York: McGraw-Hill.

Prodjosumarto, P. (1996). *Pemindahan Tanah Mekanis*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.

Rochim, N., Triantoro, A., & Hakim, R. N. (2021). Evaluasi Kondisi Jalan Tambang Berdasarkan Geometri Untuk Meningkatkan Produktivitas Alat Angkut pada PT Madhani Talatah Nusantara. *Jurnal Himasapta*, Vol. 6 No. 1, Hal. 27-32.

Rochmanhadi. (1992). *Alat-alat Berat dan Penggunaannya*. Jakarta: Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum.

Schiess, P., & Whitaker, C. A. (1986). *Road Design and Construction In Sensitive Watersheds*. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Sukirman, S. (1999). *Dasar-dasar Perencanaan Geometrik Jalan*. Bandung: Nova.

Suwandhi, A. (2004). *Diklat Perencanaan Tambang Terbuka: Perencanaan Jalan Tambang*. Bandung, Indonesia: Universitas Islam Bandung.

- Tannant, D. D., & Regensburg, B. (2001). *Guidelines for Mine Haul Road Design*. Vancouver: University of British Columbia.
- Thompson, R. J. (2011). *Mining Roads: Mine Haul Road Design, Construction & Maintenance Management*. Australia: Curtin University.
- Wedhanto, S. (2009). *Alat Berat dan Pemindahan Tanah Mekanis*. Malang: Universitas Negeri Malang.
- Yusup, D., Purnomo, H., Mohamad, M. A., & Putra, B. P. (2022). Kajian Teknis Geometri Jalan Angkut Tambang pada Kegiatan Pengupasan Overburden PT Bara Prima Pratama Kabupaten Indragiri Hilir Provinsi Riau. *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi*, Vol. 17, Hal. 652-663.
- _____. (2018). Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia No. 1827 K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik. Jakarta: Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia.
- _____. (2005). *Specifications & Application Handbook* (26th ed.). Japan: Komatsu.
- _____. (2016). *Off Highway Dump Truck HD 785-7*. Japan: Komatsu.
- _____. (2019). *Hydraulic Excavator PC 2000-8*. Japan: Komatsu.