

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

Fungsi utama jalan angkut adalah untuk menunjang kelancaran operasional pengangkutan dalam kegiatan penambangan. Alat angkut umumnya berdimensi besar, oleh sebab itu, geometri jalan harus sesuai dengan dimensi alat angkut yang digunakan agar dapat bergerak leluasa pada kecepatan normal dan aman. Berikut geometri jalan angkut yang harus diperhatikan pada umumnya, yaitu:

#### **3.1 Lebar Jalan Angkut**

Lebar jalan angkut yang diharapkan akan membuat lalulintas pengangkutan lancar dan aman. Namun, karena keterbatasan dan kesulitan yang muncul di lapangan, maka lebar jalan minimum harus diperhitungkan dengan cermat. Perhitungan lebar jalan angkut yang lurus dan belok (tikungan) berbeda, karena pada posisi membelok kendaraan akan membutuhkan ruang gerak yang lebih lebar akibat jejak ban depan dan belakang yang ditinggalkan di atas jalan melebar. Di samping itu, perhitungan lebar jalan pun harus mempertimbangkan jumlah lajur, yaitu lajur tunggal untuk jalan satu arah atau lajur ganda untuk jalan dua arah.

##### **3.1.1 Lebar jalan angkut pada jalan lurus**

Lebar jalan minimum pada jalan lurus dengan lajur ganda atau lebih, menurut *The American Association of State Highway and Transportation*

*Officials (AASHTO) Manual Rural High Way Design 1973*, harus ditambah dengan setengah lebar alat angkut pada bagian tepi kiri dan kanan jalan (lihat gambar 3.1). Dari ketentuan tersebut dapat digunakan cara sederhana untuk menentukan lebar jalan angkut minimum, yaitu menggunakan rule of thumb atau angka perkiraan, dengan pengertian bahwa lebar alat angkut sama dengan lebar lajur.

**Tabel 3.1**  
Lebar Jalan Angkut Minimum

JUMLAH LAJUR TRUCK	PERHITUNGA N	LEBAR JALAN ANGKUT MIN.
1	$1 + (2 \times \frac{1}{2})$	2,00
2	$2 + (3 \times \frac{1}{2})$	3,50
3	$3 + (4 \times \frac{1}{2})$	5,00
4	$4 + (5 \times \frac{1}{2})$	6,50

Sumber: Suwandhi, Awang, (2004)

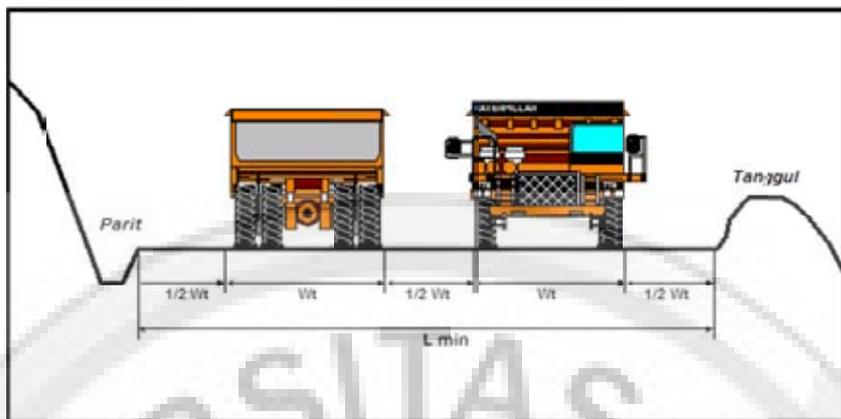
Dari kolom perhitungan pada Tabel 3.1 dapat ditetapkan rumus lebar jalan angkut minimum pada jalan lurus. Seandainya lebar kendaraan dan jumlah lajur yang direncanakan masing-masing adalah  $W_t$  dan  $n$ , maka lebar jalan angkut pada jalan lurus dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$L_{\min} = n.W_t + (n + 1) (\frac{1}{2}.W_t) \dots \dots \dots (1)$$

Dimana :  $L_{\min}$  = lebar jalan angkut minimum (m)

$n$  = jumlah lajur

$W_t$  = lebar alat angkut,(m)



Sumber: Suwandhi, Awang, (2004)

Gambar 3.1  
Lebar Jalan Angkut Dua Lajur pada Jalan Lurus

### 3.1.2 Lebar jalan angkut pada Tikungan

Lebar jalan angkut pada tikungan selalu lebih besar daripada lebar jalan lurus. Untuk lajur ganda, maka lebar jalan minimum pada belokan didasarkan atas:

- Lebar jejak ban;
- Lebar jantai atau tonjolan (*overhang*) alat angkut bagian depan dan belakang pada saat membelok;
- Jarak antar alat angkut atau kendaraan pada saat bersimpangan;
- Jarak dari kedua tepi jalan.

Dengan menggunakan ilustrasi pada Gambar 3.2 dapat dihitung lebar jalan minimum pada belokan, yaitu seperti terlihat di bawah ini:

$$W_{\min} = 2(U + Fa + Fb + Z) + C \dots\dots\dots(2)$$

$$Z = \frac{U + Fa + Fb}{2}$$

Dimana :  $W_{\min}$  = lebar jalan angkut minimum pada belokan, m

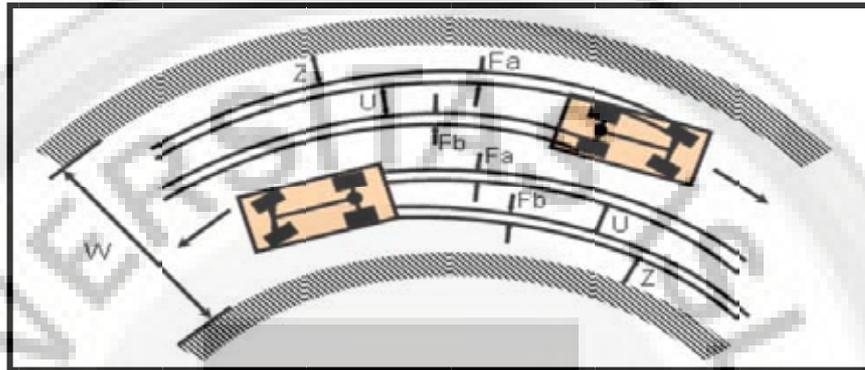
$U$  = lebar jejak roda (*center to center tires*), m

$F_a$  = lebar jantai (*overhang*) depan, m

$F_b$  = lebar jantai belakang, m

$Z$  = lebar bagian tepi jalan, m

$C$  = jarak antar kendaraan (*total lateral clearance*), m



Sumber: Suwandhi, Awang, (2004)

Gambar 3.2  
Lebar Jalan Angkut Dua Lajur pada Tikungan

### 3.2 Jari-Jari Tikungan dan Superelevasi

Pada saat kendaraan melalui tikungan atau belokan dengan kecepatan tertentu akan menerima gaya sentrifugal yang menyebabkan kendaraan tidak stabil. Untuk mengimbangi gaya sentrifugal tersebut, perlu dibuat suatu kemiringan melintang ke arah titik pusat tikungan yang disebut superelevasi ( $e$ ). Gaya gesek (friksi) melintang yang cukup berarti antara ban dengan permukaan jalan akan terjadi pada daerah superelevasi. Implementasi matematisnya berupa koefisien gesek melintang ( $f$ ) yang merupakan perbandingan antara besar gaya gesek melintang dengan gaya normal.

Jari-jari tikungan jalan angkut berhubungan dengan konstruksi alat angkut yang digunakan, khususnya jarak horizontal antara poros roda depan

dan belakang. Gambar 3.3 memperlihatkan jari-jari lingkaran yang dijalani oleh roda belakang dan roda depan berpotongan di pusat C dengan besar sudut sama dengan sudut penyimpangan roda depan. Dengan demikian jari-jari belokan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

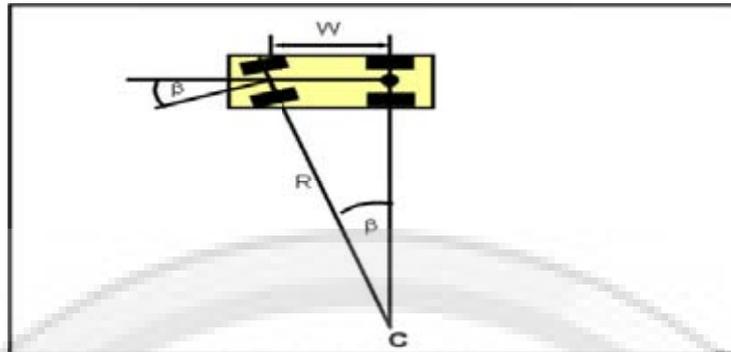
$$R = \frac{W}{\sin \beta} \dots\dots\dots(3)$$

- Dimana : R = jari-jari belokan jalan angkut, m  
W = jarak poros roda depan dan belakang, m  
β = sudut penyimpangan roda depan, °

Namun, rumus di atas merupakan perhitungan matematis untuk mendapatkan lengkung belokan jalan tanpa mempertimbangkan faktor-faktor kecepatan alat angkut, gesekan roda ban dengan permukaan jalan dan superelevasi. Apabila ketiga faktor tersebut diperhitungkan, maka rumus jari-jari tikungan menjadi sebagai berikut:

$$R = \frac{V^2}{127(e + f)} \dots\dots\dots(4)$$

$$D = \frac{25 \times 360^0}{2\pi R} \dots\dots\dots(5)$$



Sumber: Suwandhi, Awang, (2004)

Gambar 3.3

**Sudut Maksimum Penyimpangan Kendaraan**

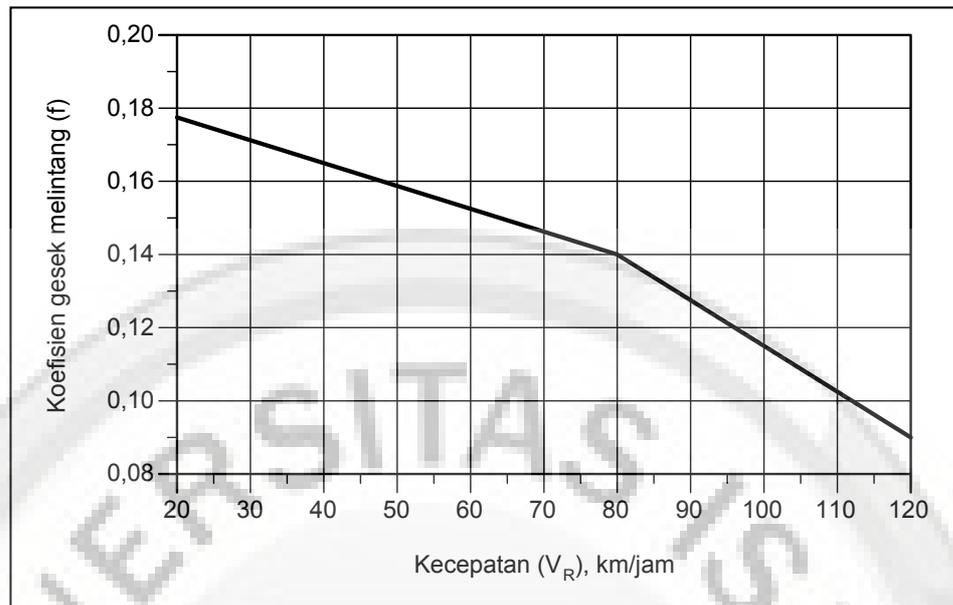
Di mana  $V$ ,  $e$ ,  $f$  dan  $D$  masing-masing adalah kecepatan (km/jam), super-elevasi (%), koefisien gesek melintang dan besar derajat lengkung. Agar terhindar dari kemungkinan kecelakaan, maka untuk kecepatan tertentu dapat dihitung jari-jari minimum untuk superelevasi maksimum dan koefisien gesek maksimum.

$$R = \frac{V_R^2}{127(e_{mak} + f_{mak})} \dots\dots\dots(6)$$

$$D_{mak} = \frac{181913,53(e_{mak} + f_{mak})}{V_R^2} \dots\dots\dots(7)$$

Tabel 3.2  
Jari-Jari Tikungan Minimum untuk  $e_{mak} = 10\%$

$V_R$ , km/jam	120	100	90	80	60	50	40	30	20
$R_{min}$ , m	600	370	280	210	113	77	48	27	13



**Gambar 3.4**

**Kurva Koefisien Gesek untuk  $e_{\text{mak}}$  6%, 8% dan 10% (AASHTO, 1973)**

### 3.3 Kemiringan Jalan Angkut

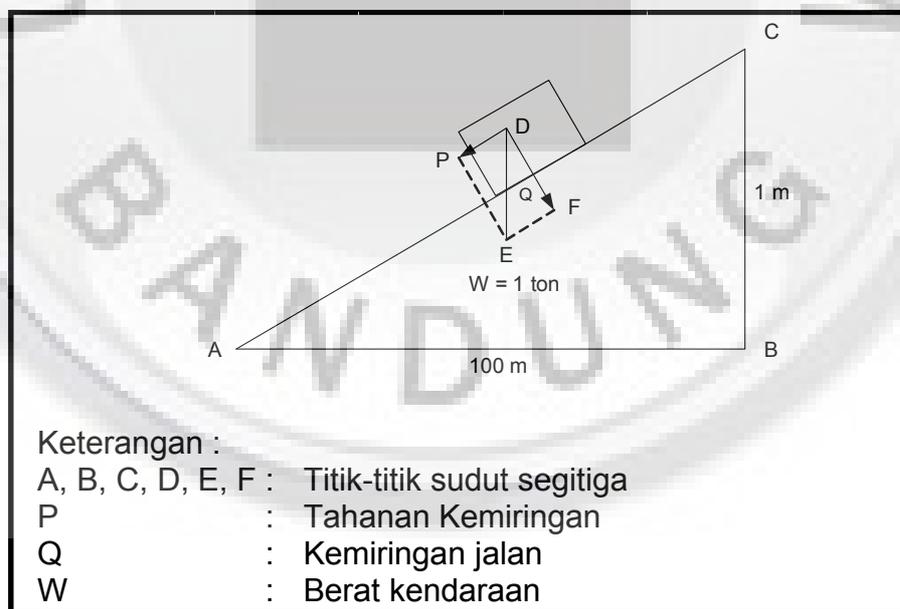
Kemiringan jalan berhubungan langsung dengan kemampuan alat angkut baik dalam pengereman maupun dalam mengatasi tanjakan. Kemiringan jalan umumnya dinyatakan dalam persen (%). Kemiringan jalan maksimum yang dapat dilalui dengan baik oleh alat angkut truck berkisar antara 10% – 15% atau sekitar  $6^\circ$  –  $8,50^\circ$ . Akan tetapi untuk jalan naik atau turun pada lereng bukit lebih aman bila kemiringan jalan maksimum sekitar 8% (=  $4,50^\circ$ ). Kemiringan jalan berhubungan langsung dengan kemampuan alat angkut, baik dalam pengereman maupun dalam mengatasi tanjakan. Kemampuan dalam mengatasi tanjakan untuk setiap alat angkut tidak sama, tergantung pada jenis alat angkut itu sendiri.

Tahanan kemiringan (*grade resistance*) ialah besarnya gaya berat yang melawan atau membantu gerak kendaraan karena kemiringan jalan yang dilaluinya. Tahanan kemiringan tergantung dua faktor, yaitu :

- Besarnya kemiringan yang biasanya dinyatakan dalam persen
- Berat kendaraan itu sendiri yang dinyatakan dalam ton

Besarnya tahanan kemiringan rata-rata dinyatakan dalam 20 lb dari *rimpull* untuk tiap *gross ton* berat kendaraan beserta isinya pada kemiringan 1 %. Alat- alat pemindahan tanah jarang yang dapat mengatasi kemiringan lebih dari 15 %. Jadi kalau dipakai tahanan kemiringan 20 lb/ton/%, maka angka-angkanya tidak akan terlalu menyimpang sampai kemiringan 15 %.

Untuk mengetahui tahanan kemiringan suatu kendaraan dapat dihitung sebagai berikut :



Sumber: Suwandhi, Awang, (2004)

Gambar 3.5  
Penentuan Tahanan Kemiringan

Berdasarkan Gambar 3.5 dapat dilihat bahwa  $\Delta DEF$  sebangun dengan  $\Delta ABC$ , maka :

$$\frac{EF}{DE} = \frac{BC}{AC} \Rightarrow \frac{P}{W} = \frac{BC}{AC} \Rightarrow P = W \cdot \frac{BC}{AC}$$

$$\cos \theta = \frac{AB}{AC} \quad ; \quad \text{maka } AC = \frac{AB}{\cos \theta}$$

$$\Rightarrow P = \frac{W \cdot BC}{AB \cos \theta}$$

$$\text{tg } \theta = \frac{\sin \theta}{\cos \theta} \quad , \quad \text{untuk sudut kecil } \sin \theta = \text{tg } \theta$$

$$\sin \theta = \frac{\sin \theta}{\cos \theta} \quad , \quad \text{maka } \cos \theta = \frac{\sin \theta}{\sin \theta} \quad \text{sehingga:}$$

$$\Rightarrow P = \frac{W \cdot BC}{AB}$$

Bila  $W = 1 \text{ ton} = 2000 \text{ lb}$ , sedangkan  $1 \% = 1 : 100$  maka persamaan di atas menjadi :

$$P = 2000 \text{ lb/ton} \cdot \left[ \frac{1/100}{1/100} \right]$$

$$= 2000 \text{ lb/ton} \cdot \left[ \frac{1/100}{\%} \right]$$

$$= 20 \text{ lb/ton/\%}$$

Jadi P (tahanan kemiringan) dapat dinyatakan dengan 20 lb/ton/%.

### 3.4 Jarak Henti

Jarak pandang diartikan sebagai luas daerah yang dapat dilihat oleh operator kendaraan. Keamanan dan kenyamanan pengemudi alat angkut untuk dapat melihat dengan jelas dan menyadari situasinya pada saat mengemudi tergantung pada jarak yang dapat dilihat dari tempat

kedudukannya. Sedangkan jarak berhenti adalah jarak yang ditempuh pengemudi selama menyadari rintangan sampai menginjak rem ditambah jarak pengereman.

Rumus yang digunakan untuk jarak berhenti adalah :

$$D = D_1 + D_2$$

$$D_1 = 0,278 V \cdot t$$

$$t = t_1 + t_2$$

$$D_2 = \frac{V^2}{254 \cdot (f \pm L)}$$

Dimana :

D = Jarak Henti (m)

$D_1$  = Jarak yang ditempuh saat melihat sampai menginjak rem (m)

$D_2$  = Jarak yang ditempuh sampai berhenti setelah menginjak rem (m)

V = Kecepatan rencana (km/jam)

t = Waktu untuk menempuh  $D_1$ , (detik)

$t_1$  = Waktu sadar (1,5 detik)

$t_2$  = Waktu reaksi mengerem (1 detik)

f = Koefisien gesekan ban (0,6)

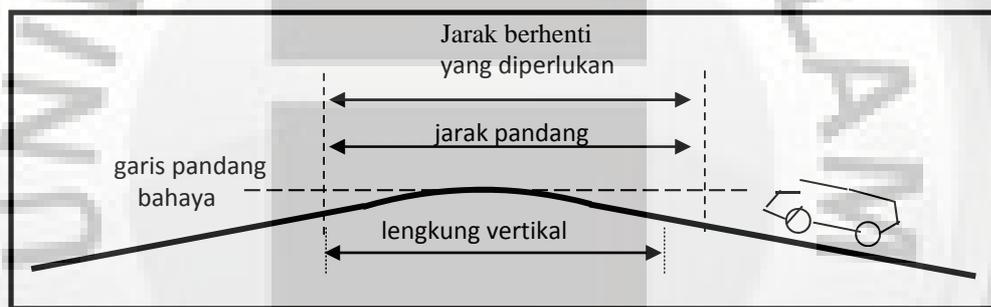
+ = Untuk jalan mendaki

- = Untuk jalan menurun

L = Besarnya landai jalan (%)

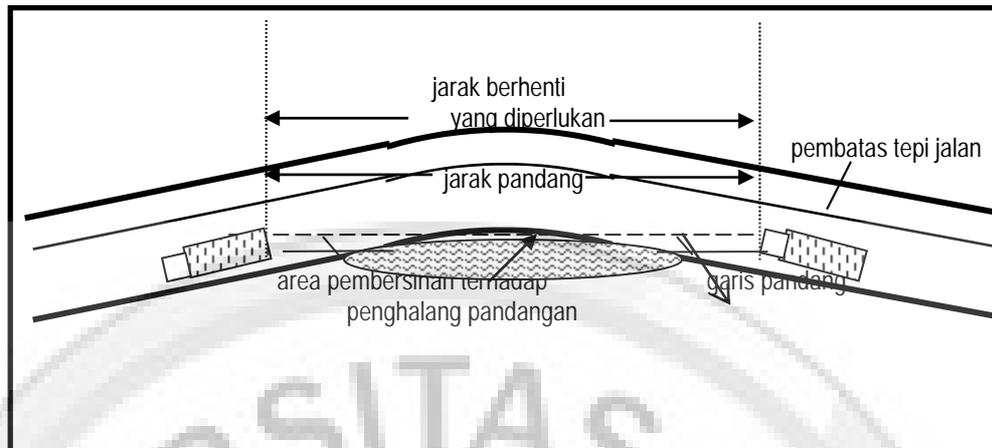
Jarka pandang vertikal adalah jarak bebas pandangan pengemudi untuk mampu melihat kendaraan yang berlawanan arah maupun yang berada di depannya di daerah tanjakan.

Jarak padang yang terlalu pendek akan mengurangi kecepatan truk, selain itu juga akan berpengaruh pada masalah *safety* (keselamatan) karena banyak truk yang akan terjebak dan kaget saat melihat kendaraan lain dari depan. Dalam perencanaan jarak pandang pengemudi, harus diperhitungkan terhadap kendaraan terkecil yang. Jarak pandang vertikal dapat dilihat pada Gambar 3.6



**Gambar 3.6**  
**Jarak Pandang Vertikal**

Jarak pandang horisontal adalah jarak bebas pandangan pengemudi untuk mampu melihat kendaraan yang berlawanan arah maupun yang berada di depannya di daerah tikungan. Jarak pandang tersebut mempengaruhi pengereman kendaraan. Jarak pandang horisontal dapat dilihat pada Gambar 3.7

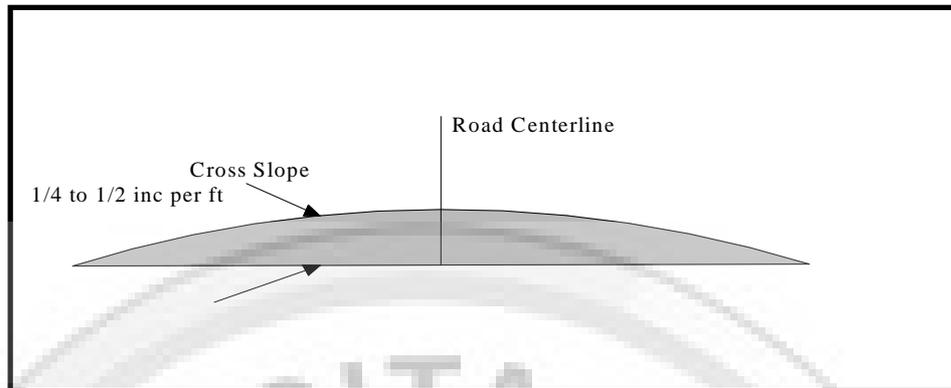


**Gambar 3.7**  
**Jarak Pandang Horizontal**

### 3.5 *Cross Slope*

*Cross Slope* adalah perbedaan ketinggian sisi jalan dengan bagian tengah permukaan jalan. Pada umumnya jalan angkut mempunyai bentuk penampang melintang cembung. Dibuat demikian dengan tujuan untuk memperlancar penirisan. Apabila turun hujan atau sebab lain maka air yang ada di permukaan jalan akan mengalir ke tepi jalan angkut, tidak berhenti atau mengumpul di permukaan jalan. Hal ini penting karena air yang menggenang akan membahayakan kendaraan yang lewat dan mempercepat kerusakan jalan.

Dengan pembuatan *cross slope* ini, maka pada saat terjadi hujan yang masuk ke badan jalan akan segera mengalir ke tepi jalan angkut sehingga aliran air tidak terhenti dan berada terlalu lama di badan jalan, karena selain mengakibatkan jalan angkut menjadi becek dan licin akibat genangan air, juga membahayakan alat angkut yang melintas dan mempercepat kerusakan pada jalan.



**Gambar 3.8**  
**Penampang Melintang Desain Cross Slope**

Besarnya angka *cross slope* pada jalan angkut dinyatakan dalam perbandingan jarak vertikal dan jarak horisontal. Pada konstruksi jalan angkut tambang terbuka besarnya *cross slope* yang dianjurkan mempunyai ketebalan antara  $\frac{1}{4}$  sampai  $\frac{1}{2}$  inci untuk tiap feet jarak horisontal, atau  $\frac{1}{48}$  sampai  $\frac{1}{24}$  feet untuk tiap feet jarak horisontal, yaitu sekitar 20 mm sampai 40 mm untuk tiap meter.

### 3.6 Daya Dukung Jalan Terhadap Beban

Daya dukung jalan adalah kemampuan jalan untuk menopang beban yang ada di atasnya. Menentukan daya dukung tanah secara tepat hanya dapat dilakukan oleh seorang ahli mekanika tanah yang berkualifikasi. Walaupun demikian, informasi umum daya dukung tanah untuk berbagai jenis tanah telah tersedia seperti terlihat pada tabel 3.4. Untuk keperluan pembuatan jalan angkut, daya dukung tanah harus disesuaikan dengan jumlah beban yang didistribusikan melalui roda. Jika daya dukung tanah dasar suatu jalan angkut lebih rendah dari jumlah beban yang melintas di atasnya maka dapat dilakukan usaha-usaha antara lain :

- Pemadatan,
- Penambahan lapisan di atas tanah dasar.

Distribusi beban pada roda dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain : jumlah ban, ukuran ban, tekanan dalam ban serta berat total kendaraan. Beban pada roda untuk tiap kendaraan dapat diketahui berdasarkan spesifikasi dari pabrik pembuatnya. Untuk roda ganda digunakan beban ekuivalen yang besarnya 20 % lebih tinggi dari beban roda tunggal.

Distribusi beban pada roda dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{Distribusi beban pada roda ( lb/in}^2 \text{ )} = \frac{\text{Berat pembebanan pada roda (lb)}}{\text{Bearingarea ( in}^2 \text{ )}}$$

$$\text{Bearing area} = \frac{0,9 \times \text{Berat Pembebanan pada roda (lb)}}{\text{Tekanan dalam ban ( psi )}}$$

**Tabel 3.3**  
**Daya Dukung Material**

<b>Material</b>	<b>1,000 psf</b>
Hard, sound rock	120
Medium hard rock	80
Hard pan Overlying rock	24
Compact gravel and boulder-gravel formation; very compact sandy gravel	20
Soft rock	16
Loose gravel and sandy gravel; compact sand and gravelly sand; very compact-inorganic silt soil	12
Hard dry consolidated clay	10
Loose coarse to medium sand; medium compact fine sand	8
Compact sand-clay soils	6
Loose fine sand; medium compact sand- inorganic silt soils	4
Firm or stiff clay	3
Loose saturated sand clay soils, medium soft clay	2

Sumber : Society of Mining Design of Surface Mine Haulage Road- A manual, United States Department of The Interior, Bureau of Mine, 1977

Dalam setiap perhitungan, beban pada roda yang terbesar yang digunakan sebagai dasar penentuan kesesuaian daya dukung tanah dengan beban yang melintas di atasnya.

### 3.7 Kemampuan Alat Angkut dalam Mengatasi Tanjakan

Kemampuan suatu alat angkut dalam mengatasi tanjakan sangat tergantung pada gaya tarik maksimum yang biasa disediakan oleh mesin untuk menarik beban yang ada pada alat angkut tersebut. Suatu gaya tarik maksimum yang biasa disediakan oleh mesin disebut dengan *rimpull*. *Rimpull* merupakan suatu istilah yang hanya diterapkan pada peralatan yang beroda ban (*rubber tired equipment*). Besar kecilnya *rimpull* tergantung pada kecepatan atau gear yang di pakai.

Untuk menghitung besarnya *rimpull* dapat digunakan rumus di bawah ini :

$$\text{Rimpull tersedia (lb)} = \frac{375 \times \text{HP} \times \text{Efisiensi Mekanis}}{\text{kecepatan (mph)}}$$

Di mana :

RP = Rimpull, (lb)

HP = daya mesin, (HP)

EM = efisiensi mekanis (%)

V = kecepatan truk, (mph)

### **3.8 Hal-Hal Pendukung Keamanan dan Keselamatan Kerja pada Jalan Angkut**

Aspek-aspek teknis yang telah diuraikan sebelumnya, di samping diarahkan untuk meraih umur layanan jalan sesuai yang direncanakan, juga harus memenuhi persyaratan keselamatan, keamanan dan kenyamanan pengemudi. Beberapa aspek keselamatan sepanjang jalan angkut yang akan diuraikan meliputi :

- jarak pandang yang aman,
- rambu-rambu pada jalan angkut,
- lampu penerangan, dan

#### **3.8.1 Tanggul Pengaman (*Safety Berm*)**

Perawatan pada tanggul harus selalu dilakukan dan bilamana diperlukan harus membuat tanggul baru pada daerah yang dianggap rawan terutama bagian tikungan jalan dan jalan yang berbatasan dengan jurang.

Standar Tanggul :

- Tinggi minimal adalah setinggi setengah ban kendaraan terbesar yang beroperasi.
- Pada beberapa tempat terutama ditikungan tajam, dan disampingnya jurang bisa dipasang patok ( cat beruas-ruas hitam dan putih ) setiap 5 meter.
- Lebar dasar tanggul minimal 50 cm.

- Tanggul ditempatkan 1,5 m dari badan jalan atau dibatas luar bahu jalan
- Tanggul dibuat sedemikian rupa sehingga dapat menghambat material lapisan atas terbawa aliran air.
- Untuk tanggul-tanggul yang permanen, untuk lebih memperkuat dan sebagai bagian dari penghijauan, bisa ditanami pohon-pohon.

Tujuan dibuatnya tanggul pengaman adalah untuk menghindari tergulingnya kendaraan pada tepi jalan dan juga untuk menghindari segala bahaya yang dapat mengancam keselamatan pekerja dan peralatan. Dengan demikian secara tidak langsung tanggul tersebut dapat mengembalikan posisi kendaraan pada badan jalan dan menjauhkan dari tepi-tepi jalan yang berbahaya.

Tanggul yang umum digunakan adalah tanggul berbentuk *triangular* dan *trapezoidal*. Untuk tanggul tersebut, pedoman untuk rancangannya adalah paling tidak tingginya harus sama atau lebih besar dari nilai *Static Rolling Radius* (SRR) roda kendaraan. Persamaan untuk menghitung besarnya nilai *Static Rolling Radius* dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{SRR} = \text{TH}/2.1$$

Dimana :

SRR = *Static Rolling Stone*,

TH = Tinggi roda kendaraan,

### 3.8.2 Penerangan

Lampu penerangan perlu dipasang apabila jalan angkut akan digunakan pada malam hari. Pemasangan bisa dilakukan berdasarkan jarak maupun tingkat bahayanya. Lampu-lampu tersebut dipasang antara lain pada:

- Tikungan (belokan),
- Perempatan atau pertigaan jalan,
- Jembatan,
- Tanjakan maupun turunan yang cukup tajam.

### 3.8.3 Rambu-Rambu Jalan Angkut

Untuk lebih menjamin keamanan sehubungan dengan dioperasikannya jalan angkut, maka perlu dipasang rambu-rambu lalu-lintas terutama pada tempat-tempat berbahaya baik terhadap :

- Pengemudi maupun kendaraan itu sendiri
- Orang atau karyawan
- Kendaraan lain yang lewat pada jalan tersebut
- Bangunan yang mungkin ada di sekitar jalan tersebut dan sebagainya
- Rambu-rambu yang perlu dipasang adalah :
- Lampu penerangan pada daerah-daerah rawan, misalnya tikungan dan persimpangan jalan
- Tanda peringatan karena ada belokan, persimpangan, tanjakan, turunan, jalan licin, jembatan dan sebagainya.

### 3.9 Dump Truck

*Tipe off High Way Dump Truck* terdapat perbedaan-perbedaan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.4

Tabel 3.4  
Karakteristik off High Way Dump Truck

Karakteristi	Deskripsi
Power Train	Sederhana, engine terpasang di depan penggerak pada roda belakang, mekanis atau electric.
Distribusi Berat	Beban di bawah pada bagian belakang truck. Pada muatan penuh, 67% beban berada pada roda belakang (4 ban) dan 33% pada roda depan. Pada saat kosong distribusi beban adalah 50 : 50.
Grade Ability	Memiliki rasio daya beban yang tinggi, dapat melewati slope sampai dengan 18%.
Maneuver Ability	Baik, memiliki wheel base yang pendek sehingga memudahkan manuver.
Kekokohan	Struktur cocok untuk kondisi kerja yang berat dan beban kejut yang berat.
Tipe Material	Semua ukuran batu. Material dengan kerapatan yang tinggi memberikan distribusi berat yang baik.
Dumping	Baik pada lokasi dumping, pada hopper memerlukan manuver mundur, waktu dumping berkisar 40 – 60 detik.

Loading	Memiliki loading height yang tinggi sehingga agak menyulitkan pemuatan dengan front and loader seperti wheel loader atau track loader.
Breaking	Baik, jarak antara axle yang pendek memiliki tendensi skid pada jalan yang licin.

Sumber : Rochmanhadi (1985)

