

## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Beberapa penelitian telah menunjukkan pentingnya peran tekanan udara dalam memengaruhi keausan ban pada alat berat. Urfiandi dkk menyoroti bahwa ban merupakan komponen vital dalam operasional alat berat karena tidak hanya menopang beban, tetapi juga menyalurkan traksi, meredam getaran, dan mendukung stabilitas kendaraan. Penelitian ini menggunakan metode deskriptif dengan pendekatan observasi langsung, yang hasilnya menunjukkan bahwa performa ban sangat memengaruhi efisiensi operasional dan produktivitas alat berat secara keseluruhan (Urfiandi, 2018)

Mufarida dkk meneliti pengaruh tekanan udara terhadap keausan ban. Penelitian mereka menemukan bahwa tekanan udara yang tidak sesuai dapat menyebabkan distribusi beban yang tidak merata dan deformasi ban, sehingga mempercepat keausan (Mufarida et al., 2024). Tekanan udara terlalu tinggi, misalnya, mempercepat keausan di bagian tengah tapak, sementara tekanan yang terlalu rendah meningkatkan gesekan di tepi ban dan memperbesar risiko overheating.

Anshori dkk menggunakan parameter *Tread Utilization Rate*(TUR) untuk mengukur keausan ban (Anshori et al., 2018). Penelitian ini menerapkan pendekatan kuantitatif dengan menghitung TUR sebagai indikator pemanfaatan ketebalan tapak ban. TUR menunjukkan persentase pemanfaatan ketebalan tapak ban hingga mencapai batas optimal. Berdasarkan penelitian ini, tingkat pemakaian maksimal yang aman adalah 80% dari ketebalan awal ban.

Habibi dkk melakukan analisis pada ban *radial* dan menemukan hubungan signifikan antara tekanan udara yang konsisten dan pola keausan ban. Metode simulasi dan pengujian lapangan dilakukan untuk mengidentifikasi pola keausan ban pada berbagai tingkat tekanan udara. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tekanan udara optimal dapat memperpanjang umur ban, meningkatkan efisiensi bahan bakar, dan mengurangi risiko kerusakan fatal selama operasi alat berat (Habibi et al., 2018).

Incau dkk juga mendukung temuan ini melalui studi yang menggunakan metode analisis statistik berbasis data lapangan dari industri berat. Data dikumpulkan melalui simulasi tekanan udara pada alat berat dan analisis terhadap biaya operasional. Hasilnya menunjukkan bahwa pengaturan tekanan udara yang tepat dapat membantu meningkatkan efisiensi kendaraan dan mengurangi biaya operasional dengan meminimalkan keausan ban (Incau & Hartana, 2024).

Melanjutkan kajian ini, penelitian ini difokuskan untuk menganalisis pengaruh tekanan udara terhadap *rolling resistance* dan tingkat keausan ban pada unit *Slag hauler*, dengan tujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh tekanan udara pada ban terhadap *rolling resistance* (hambatan gulir) dan tingkat keausan ban pada unit alat berat *Slag hauler*, serta menentukan tekanan udara paling optimal untuk kondisi operasional di lapangan.

## 2.2 *Slag hauler*

*Slag hauler* adalah kendaraan atau alat berat yang dirancang khusus untuk mengangkut terak (*slag*) dari proses peleburan logam. Terak adalah material limbah yang dihasilkan dari peleburan logam, seperti tembaga atau besi. *Slag hauler* biasanya digunakan di industri logam dan baja untuk mengangkut terak yang telah didinginkan dari pabrik ke tempat pembuangan atau pengolahan lebih lanjut. Alat berat ini memiliki kapasitas besar dan dilengkapi dengan sistem yang memungkinkan penanganan terak yang aman dan efisien, seperti bak/pot yang dapat dimiringkan untuk memudahkan pembuangan terak. *Slag hauler* harus tahan terhadap kondisi berat, seperti panas tinggi dan lingkungan kerja yang kasar seperti pada gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2. 1 Unit *Slag hauler*

*Slag hauler* terdiri dari dua bagian yaitu *prime mover* (cabin) dan *slag pot carrier*. *Slag pot carriers* milik kress corporation ini tersedia dalam berbagai model

dan kapasitas hingga 250 ton (227 metrik ton) dan mampu menangani pot terak hingga 1589 kaki kubik (45 meter kubik). Setiap *carrier* dirancang khusus untuk menangani pot terak tertentu serta menyesuaikan dengan kebutuhan produksi dan keterbatasan dimensi setiap lokasi kerja. Alat berat ini didukung oleh modul tenaga standar dari caterpillar yang dilayani oleh jaringan dealer caterpillar di seluruh dunia. Dengan kontrol hidrolik yang positif, *ladle* atau pot dapat dimiringkan untuk menuangkan terak cair ke dalam pit untuk pendinginan dan pemrosesan. *Slag hauler* bekerja berdasarkan prinsip transportasi material dengan sistem hidrolik yang kuat dan kapasitas angkut yang besar 32 ton-154 ton. Spesifikasi bisa dilihat pada gambar 2.2 dibawah ini.

P-240CTE POT CARRIER	
EMPTY WEIGHT	99,462 LB (45,115 KG)
RATED WORKING LOAD	154,500 LB (70,080 KG)
<b>SPECIFICATIONS</b>	
P-240CTE POT CARRIER	
ENGINE (CATERPILLAR)	C13 ACERT DIESEL ENGINE TXX1 - Up
TRANSMISSION (CATERPILLAR)	8 SPEEDS (FORWARD) 1 SPEED (REVERSE) A4B1-Up

Gambar 2. 2 Spesifikasi Unit *Slag hauler type-P 240 CTE*

## 2.3 Ban ( *tire* )

Ban adalah peranti yang menutupi velg suatu roda. Ban adalah bagian penting dari kendaraan darat, dan digunakan untuk mengurangi getaran yang disebabkan ketidak teraturan permukaan jalan, melindungi roda dari aus dan kerusakan, serta memberikan kestabilan antara kendaraan dan tanah untuk meningkatkan percepatan dan mempermudah pergerakan (Urfiandi, 2018).

### 2.3.1 Fungsi-fungsi ban

Ban (*tire*) merupakan sejenis kantung udara berbentuk bulat dan terpasang pada kendaraan yang menghasilkan kontak area diantara kendaraan dan permukaan jalan. Ada 4 fungsi utama dari pada ban pneumatic :

- **Sebagai pengangkat beban**

Ban sebagai pengangkat berat unit dan beban muatan. Pada unit yang sedang bergerak, berat muatan yang ditanggung oleh ban akan bervariasi ketika melaju, mengerem dan berbelok. Pada kecepatan 50 km/jam saat berbelok ban pada sisi luar menanggung 70% dari berat total dan udara bertekanan yang memungkinkan ban membawa muatan.

- **Sebagai penerus traksi & Pengereman**

Sebuah ban harus memungkinkan pergerakan (mobilitas) suatu unit pada semua keadaan, pada kondisi jalan dan permukaan yang halus sekalipun. Dengan demikian ban akan berubah bentuk setiap saat akibat dari kontak areanya dan dapat mempengaruhi gaya traksinya.

- menyalurkan seluruh tenaga unit (kendaraan) ke permukaan jalan (kontak area).
- Tenaga mesin disalurkan sampai ke ban melalui momen putar pada rim pada saat melaju atau pengereman
- Struktur ban harus memindahkan tenaga putar dari bead ke telapak ban
- Ban harus mencengkram permukaan jalan untuk merubah tenaga putar menjadi tenaga dorong
- Ban harus menahan tenaga sentrifugal yang timbul

- **Peredam kejutan dari jalan**

Ban udara pada kenyataannya lentur sehingga dapat melindungi elemen-elemen mekanik pada unit dan si pengemudi dari permukaan jalan yang tidak rata. Ban juga berperan penting dalam kenyamanan pengemudi dan perlindungan bagian bagian kendaraan dalam kata lain sebagai suspension..

- **Mengendalikan arah gerak unit (*steering*)**

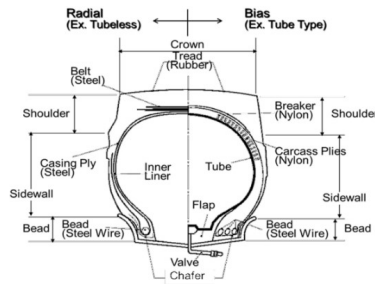
Fungsi ban selanjutnya adalah sebagai kontrol stir dan arah kendaraan. Kondisi ban akan sangat menentukan apakah arah kendaraan sesuai dengan keinginan pengemudi. Dalam pengendalian kendaran harus di dukung oleh system mekanikal yang baik dan benar agar dalam proses pengendaliannya dapat berjalan dengan baik. Sistem tersebut yaitu *toe in* dan *toe out*, sudut chamber dan sudut caster. Ban bisa menjalankan semua fungsi untuk mobilitas dan unit bisa berfungsi dengan layak sesuai kegunaannya.

### **2.3.2 Kontruksi dan struktur ban**

Ban tersusun atas empat bagian utama: Carcass, Tread , breaker, dan Bead. Atau pula dapat dibagi menjadi bagian-bagian yang mempunyai fungsi utama sebagai berikut: Crown, Shoulder, sidewall, dan Bead. (Krisbianto & Silalahi, 2022).



Pada gambar 2.3 menunjukkan bagian-bagian atau struktur ban (Widyatmoko et al., 2000)



Gambar 2. 3 Bagian-bagian ban (*tire*)

- ***Bead***

*Bead* merupakan salah satu komponen penting pada struktur ban yang berfungsi sebagai penghubung antara ban dan pelek (rim). Komponen ini dirancang agar dapat melekat kuat pada pelek sehingga mampu menjaga kestabilan posisi ban saat digunakan. Di dalam bead terdapat rangkaian kawat kuat yang dikenal sebagai bead wire, yang biasanya terdiri atas beberapa helai kawat baja yang dibundel. Setiap kawat ini dilapisi dengan karet semi-kaku (*semi hard rubber*) untuk meningkatkan kekuatan struktural dan daya rekat antara kawat dengan karet ban secara keseluruhan.

- ***Sidewall***

*Sidewall* merupakan lapisan karet yang menutupi sisi luar ban dan berfungsi untuk melindungi struktur carcass dari potensi kerusakan akibat pengaruh eksternal. Bagian ini merupakan area ban yang paling luas dan memiliki tingkat kelenturan tinggi, sehingga mampu secara konsisten beradaptasi terhadap beban dinamis selama kendaraan bergerak. Pada permukaan *sidewall* biasanya dicantumkan informasi penting seperti merek produsen, spesifikasi ukuran ban, serta detail teknis lainnya yang berkaitan dengan penggunaan ban tersebut.

- ***Telapak ban (tread)***

*Tread* adalah bagian karet paling tebal dari ban luar yang bersinggungan langsung dengan permukaan jalan.(Al Hakim, 2017) *Tread* merupakan bagian terluar ban yang terbuat dari karet dengan

tingkat elastisitas tinggi namun tetap tahan terhadap benturan. Komponen ini berperan penting dalam melindungi struktur internal ban dari kerusakan akibat benturan maupun tusukan benda asing. Untuk meningkatkan traksi dan mencegah selip, permukaan tread dirancang dengan berbagai pola khusus yang disesuaikan dengan kondisi jalan dan kebutuhan kendaraan. Misalnya, dengan membuat banyak pola seperti *pattern*.

- ***Casing (Carcass)***

*Casing* merupakan struktur utama pembentuk ban yang berfungsi sebagai rangka penopang dan wadah penampung udara bertekanan, sehingga memungkinkan ban untuk menopang beban kendaraan. Pada jenis ban radial, casing umumnya terbuat dari kawat baja (*steel cord*) yang disusun secara *radial* untuk memberikan kekuatan dan kestabilan. Sementara itu, pada ban tipe bias, material casing biasanya menggunakan benang serat seperti nilon yang disusun secara menyilang untuk memberikan fleksibilitas dan ketahanan terhadap deformasi.

- ***Breaker***

*Breaker* merupakan karet lembut yang melengkapi bagian dalam tread. Breaker dan belt adalah bagian lapisan benang (pada ban biasa terbuat dari tekstil, sedangkan pada ban *radial* terbuat dari kawat) yang diletakkan di antara tread dan casing. Fungsinya untuk melindungi serta meredam kejutan kejutan dari luar/benturan yang terjadi pada tread, agar tidak langsung diserap oleh casing

- ***Inner liner***

Salah satu komponen penting pada ban yang terletak di bagian paling dalam adalah inner liner. Komponen ini berfungsi sebagai pengganti ban dalam (inner tube) pada ban tubeless, dengan tujuan utama menjaga agar tekanan udara di dalam ban tetap stabil. *Inner liner* dibuat dari campuran karet khusus yang bersifat kedap udara, sehingga mampu mencegah kebocoran udara secara perlahan serta meningkatkan efisiensi dan keamanan penggunaan ban.

- ***Bead steel Wire***

komponen ini terdiri dari untaian kawat baja karbon yang dibungkus dengan lapisan karet keras, kemudian dibentuk menjadi lingkaran secara berlapis pada area bead. Fungsinya adalah untuk mengunci bagian body ply agar dapat menempel dengan kuat pada pelek (rim), sehingga ban tetap stabil dan tidak bergeser saat kendaraan bergerak.

- **Katup udara**

Katup udara (*air valve*) adalah lubang untuk memasukkan udara ke dalam ban dalam. Pentil (*valve cap*) dipasangkan pada katup udara, yang tidak memungkinkan udara dapat keluar

### **2.3.3 Pembuatan ban**

Bahan dasar *tire* modern adalah karet sintetis , karet alam , kain dan kawat, bersama dengan bahan kimia senyawa lainnya. Berikut susunan komposisi penyusun *tire* adalah:

- *Synthetic Rubber* / Karet Sintetis
- *Natural Rubber* / Karet Alam
- *Sulfur and sulfur compounds* / Sulfur dan belerang
- *Silica* / Silika
- *Phenolic resin* / Fenolik resin
- *Oil: aromatic, naphthenic, paraffinic* / Minyak : aromatik, naftenat, paraffin
- *Fabric: Polyester, Nylon, Etc.* / Bahan: Polyester, Nylon, Dll
- *Petroleum waxes* / Minyak lilin
- *Pigments: zinc oxide, titanium dioxide, etc.* / Pigmen: seng oksida, titanium dioksida, dll
  - *Carbon black* / Karbon hitam
  - *Fatty acids* / Asam lemak
  - *Inert materials* / Inert bahan
  - *Steel Wire* / Steel Wire

### 2.3.4 Jenis- jenis ban

Terdapat 2 jenis atau tipe Pada Ban :

- **Bias/Cross-Ply**

Ban dengan struktur bias adalah yang paling banyak dipakai untuk unit passenger / *light vehicle*. Dibuat dari banyak lembar cord yang digunakan sebagai rangka dari ban. Cord ditenun dengan cara zig-zag membentuk sudut 40 - 60 derajat sudut terhadap keliling lingkaran ban. Ban bias menghasilkan jalannya kendaraan lebih lembut, tetapi kemampuan belok dan ketahanan membelok dan ketahanan ausnya berkurang bila dibandingkan dengan ban *radial* (Rika Widianita, 2023). Pada gambar 2.4 menunjukan bentuk atau struktur ban bias (Habibi et al., 2018).



Gambar 2. 4 Ban Bias / *Cross Ply*

Prinsip kerja ban bias yaitu :

1. Kontak area (*ground contact*) yang berubah-ubah dapat mengurangi traksi. Kontak area yang dapat berubah-ubah pada saat unit berjalan sangat beresiko terjadinya slip antara ban dengan permukaan jalan, hal tersebut sangat berbahaya untuk keselamatan dalam hal untuk pengereman dan juga steering sehingga mengurangi kenyamanan dalam mengemudi. Selain hal tersebut di atas juga terjadi kerugian pada putaran mesin yang mengakibatkan kerugian pada bahan bakar.
2. *Sidewall* dan *crown* bekerja bersama sama meyebabkan ban cepat panas dan aus. Pada ban *bias sidewall* dan *crown* bekerja bersama-sama pada saat terjadinya *flexing* (gaya elastis akibat muatan) sehingga casing plies cenderung saling menggunting yang menyebabkan ban cepat panas. Perubahan bentuk pada kontak ban dengan permukaan jalan menyebabkan ban cepat aus.

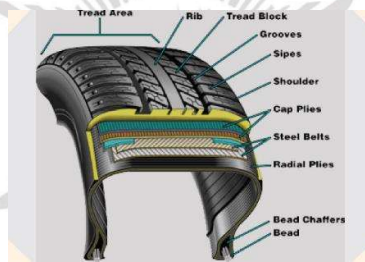
Kesimpulan ban bias :



1. Traksi kurang/mudah slip
2. Cenderung cepat panas
3. Konsumsi bahan bakar lebih tinggi
4. Ban cepat aus

- **Radial-ply**

Ban *radial* dengan aspek ratio yang kecil secara umum mempunyai kemampuan yang lebih besar sehingga mampu menahan gaya kesamping, serta ban *radial* yang umumnya mempunyai aspek ratio perbandingan tinggi dan lebar lebih kecil dari pada ban bias (Habibi et al., 2018). Untuk ban *radial*, konstruksi carcass cord membentuk sudut 90 derajat sudut terhadap keliling lingkaran ban. Jadi dilihat dari samping konstruksi cord adalah dalam arah *radial* terhadap pusat atau crown dari ban. Bagian dari ban berhubungan langsung dengan permukaan jalan diperkuat oleh semacam sabuk pengikat yang dinamakan "*Breaker*" atau "*Belt*". Pada gambar 2.5 menunjukkan bentuk atau struktur ban *radial* (Habibi et al., 2018).



Gambar 2. 5 Ban *radial* / *Radial ply*

Ban *radial* menghasilkan jalannya kendaraan kurang nyaman saat berjalan di jalan yang tidak rata dengan kecepatan rendah, tetapi kemampuan belok dan ketahanan membelok dan ketahanan ausnya lebih baik bila dibandingkan dengan ban bias (Rika Widianita, 2023).

Prinsip kerja ban *radial* yaitu:

Pada ban jenis *radial* sisi *sidewall* dan *crown* bekerja secara *independent* (terpisah). Sisi *sidewall* bekerja untuk menahan gaya *flexing* dari muatan dan sisi *crown* bekerja sebagai traksi sehingga menghasilkan jejak ban yang lebar.

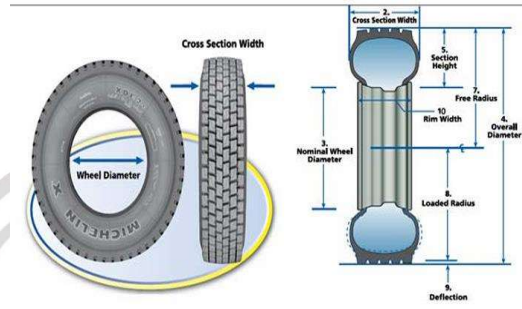
### 2.3.5 Kerusakan ban

Kerusakan yang terjadi pada ban diakibatkan dari kegiatan operasional tambang di lapangan (Puspitasari, 2020). Jenis kerusakan ban terdiri dari :

1. *Cut Separation* adalah kondisi terlepasnya bagian tread ban yang biasanya disebabkan oleh tekanan atau gaya gesek berlebih pada permukaan ban.
2. *Impact Break* mengacu pada kerusakan atau pecahnya struktur casing akibat benturan keras dari benda besar, yang menghasilkan tekanan mendadak pada dinding ban.
3. *Sidewall Cut* merupakan sobekan pada sisi ban yang terjadi akibat kontak langsung dengan benda tajam di permukaan jalan.
4. *Chucking Block* adalah kerusakan berupa terbukanya sebagian tread, yang sering kali diakibatkan oleh tekanan angin yang tidak stabil, penggunaan melebihi kecepatan maksimum, serta pengereman mendadak.
5. *Irregular Wear* merujuk pada keausan tidak merata pada bagian tread, biasanya disebabkan oleh suspensi kendaraan yang tidak seimbang atau rotasi ban yang tidak dilakukan secara berkala.
6. *Cut Chipping* ditandai dengan permukaan tread yang pecah seperti bersisik, umumnya disebabkan oleh kondisi jalan yang kasar atau berbatu.
7. *Cut Through* adalah luka potong pada area crown yang menembus ke dalam struktur ban, bahkan hingga ke casing, akibat melindas benda tajam seperti batu.
8. *Ply Separation* terjadi ketika lapisan ply pada ban terlepas, yang dapat disebabkan oleh tekanan angin rendah, beban berlebih, atau cacat produksi.
9. *Bead Bulging* merupakan kondisi di mana permukaan luar bead tampak menggelembung, biasanya karena tekanan udara rendah, kelebihan muatan, atau kesalahan produksi.
10. *Bead Separation* terjadi ketika bagian karet di sekitar bead terlepas, yang dapat diakibatkan oleh tekanan angin yang tidak sesuai, kelebihan beban, atau kesalahan dalam pemasangan rim.
11. *Run Flat* adalah kerusakan pada casing yang terjadi karena ban digunakan dalam kondisi tekanan angin yang sangat rendah atau bahkan tanpa tekanan sama sekali.
12. *Worn Out* menunjukkan kondisi keausan alami pada ban akibat penggunaan dalam jangka waktu panjang sesuai masa pakainya

### 2.3.6 Dimensi Ban

Ban kendaraan berat seperti ban bias dan *radial* memiliki ukuran serta struktur yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan spesifik berdasarkan jenis dan fungsi kendaraan. Pada gambar 2.6 menunjukkan ukuran atau dimensi ban.



Gambar 2. 6 Ukuran Ban

#### 1. *Tire size*

Ukuran dari tiap ban ditandai oleh lebar nominal dan garis tengah rim dalam satuan inci dan mm. Struktur *casing ply* untuk ban *radial* ditandai oleh kode “R”, dan untuk ban bias di tandai dengan kode “-“. kode pada ban telah mengikuti standart TRA (*Tire & Rim Association*) dan ISO (*International Standart Organitazion*).

Contoh : 295/80 R 22.5

295 : Lebar ban (dalam satuan mm)

80 : Aspek rasio

R : kontruksi ban *radial*

22.5 : Lebar rim (dalam satuan Inc)

#### 2. *Cross section width*

Lebar ban di ukur dari sisi paling luar dari sidewall ke sisi side sebelahnya pada kondisi terpasang di rim dan tanpa muatan/beban.

#### 3. *Wheel diameter*

Diameter whell/rim dapat di hitung pada bagian ban yaitu pada bead. Menggunakan ukuran dalam satuan inch.

#### 4. *Overall diameter*

Diameter keseluruhan ban di hitung dari permukaan tread

#### 5. *Section height*

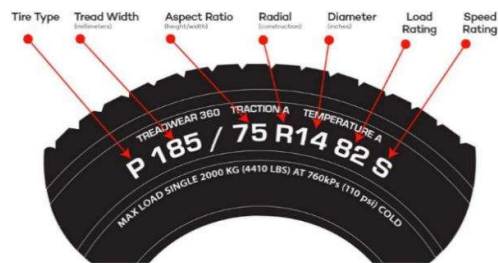
Tinggi ban di ukur dari kedudukan rim (*bead tire*) ke permukaan tread pada saat ban tidak mendapat beban/muatan.

#### 6. *Aspect ratio*

*Aspect ratio* adalah persentase section width/lebar ban dibandingkan dengan section height/tinggi dari tapak ban (tread) ke bibir ban (*bead tire*), diukur dari sebelah sisi ban. Bila di tuliskan pada marking ban 100/80 maka aspek ratio ban tersebut adalah 80% dari lebar ban (100mm) maka tinggi ban adalah 80mm.

### 2.3.7 Kode Identifikasi Ban

Ban adalah merupakan suku cadang dari sebuah kendaraan *type wheel* yang mempunyai fungsi khusus dan sangat penting dalam peranannya menentukan keselamatan dan kenyamanan dalam berkendara. Sehubungan dengan fungsi ban pada kendaraan yang sangat penting itu, maka perlu mengetahui cara membaca kode pada ban yang meliputi : ukuran ban, aspek rasio, type rangka/casing, compound ban, kecepatan maksimum ban, beban maksimum, *ply rating* dll. Pada gambar 2.12 menunjukkan contoh kode ban (Sulaeman & Rahman, 2013)



Gambar 2. 7 Kode identifikasi ban

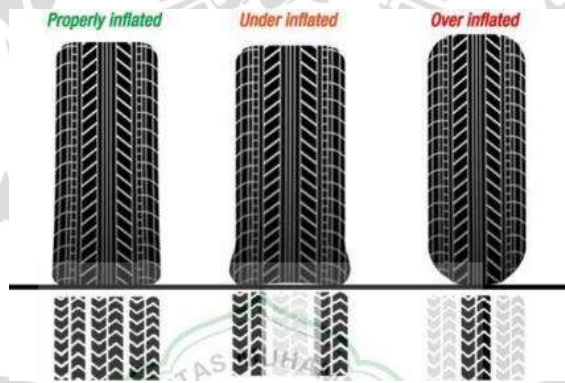
### 2.4 Tekanan udara ( *Inflated pressure* )

Ban merupakan komponen kendaraan yang bersentuhan langsung dengan aspal. Kualitas dan komposisi ban dari bagian luar hingga dalamnya sangat penting untuk diperhatikan. Tidak hanya kualitas komponen, tekanan udara ban juga perlu diperhatikan (Sulaeman & Rahman, 2013). Tekanan udara ban yang berlebih dapat



menyebabkan bantingan mobil lebih keras dan setir lebih bergetar, selain menimbulkan ketidaknyamanan saat berkendara (Rusliyawati & Wantoro, 2021).

Tekanan sangat mempengaruhi performa ban. Nilai tekanan yang ideal dipengaruhi total muatan yang diangkut unit truk, sehingga dibutuhkan nilai tekanan tertentu yang ideal sesuai rata-rata muatan yang diangkut oleh unit truk (Lesmana Putra & Yulhendra, 2021). Ban dengan tekanan udara yang tidak mencukupi dapat menyebabkan keausan tidak merata, khususnya pada bagian bahu atau sisi luar ban yang menjadi lebih cepat botak. Kondisi ini berpotensi membahayakan karena alur ban menjadi sempit, sehingga daya cengkeram terhadap permukaan jalan menurun. Penurunan traksi ini sangat berisiko terutama saat berkendara di jalan basah, karena air yang terhimpit oleh ban tidak dapat tersalurkan dengan baik melalui alur, dan menyebabkan terjadinya *aquaplaning* yakni kondisi di mana kendaraan kehilangan kontak dengan permukaan jalan dan seolah melayang, bahkan pada kecepatan yang relatif rendah. Sebaliknya tekanan ban yang terlalu tinggi akan menyebabkan ban menggelembung bagian tengahnya, akibatnya bidang sentuh ban dengan permukaan jalan berkurang serta bagian tengahnya lebih cepat mengalami kebotakan (Harahap, 2016). Pengaruh tekanan angin terhadap keausan ban dapat dilihat pada gambar 2.13 (Putri et al., 2023)



Gambar 2. 8 *Inflated pressure*

Tekanan udara yang berlebihan akan dapat mengakibatkan:

- Menyebabkan kontak ban dengan jalan terfokus pada bagian tengah tapak, sehingga mempercepat keausan pada bagian tersebut.
- Mengurangi kenyamanan berkendara karena bantingan menjadi lebih keras dan setir lebih bergetar (Putri et al., 2023)



- Potensi kerusakan meningkat jika terjadi tumbukan keras, seperti lapisan karet tread yang mudah terkelupas akibat panas terkonsentrasi di bagian tengah.

Tekanan ban yang terlalu rendah dapat mengakibatkan:

- Kontak tapak dengan permukaan jalan tidak merata, meningkatkan gesekan dan mempercepat keausan di tepi ban.
- Menyebabkan deformasi pada dinding ban sehingga menghasilkan panas berlebih dan meningkatkan risiko ban pecah
- Meningkatkan konsumsi bahan bakar karena *rolling resistance* (hambatan gulir) lebih besar (Setiyana, 2018)
- Ban menjadi terlalu lentur dan akan menyebabkan temperatur dalam bertambah dan dapat menyebabkan ban meletus.

Berikut beberapa tindakan yang harus dilakukan untuk meminimalkan ban beroperasi di bawah tekanan standar.

1. Pastikan tekanan udara ditentukan untuk setiap jenis kendaraan dengan dasar perhitungan dari hasil perhitungan langsung atau dari tabel spesifikasi teknis kendaraan dari pabrik.
2. Pemeriksaan tekanan udara secara berkala, setidaknya seminggu sekali, disarankan untuk mendeteksi penurunan tekanan yang dapat memengaruhi performa ban.
3. Penyesuaian tekanan dilakukan jika terjadi penurunan lebih dari 10% dari tekanan yang direkomendasikan (Rusliyawati & Wantoro, 2021).

## 2.5 ***Rolling resistance* (hambatan gulir)**

*Rolling resistance* (hambatan gulir) adalah gaya tolak ketika sebuah ban bergulir pada permukaan (Jawad et al., 2022). Dalam kehidupan sehari-hari, fenomena ini sering dikenal dengan istilah gaya gesek. Nilai *rolling resistance* (hambatan gulir) dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti dimensi, desain bentuk, jenis material, serta tekanan udara (*inflated pressure*) pada ban. Selain itu, faktor eksternal seperti kondisi permukaan jalan, temperatur, dan pembebanan (*load*) juga berperan penting dalam memengaruhi besar nilai *rolling resistance* (hambatan gulir).

Pengaruh kondisi jalan terhadap koefisien hambatan gulir dapat dilihat pada Gambar 2.9 (Mukherjee, 2014)

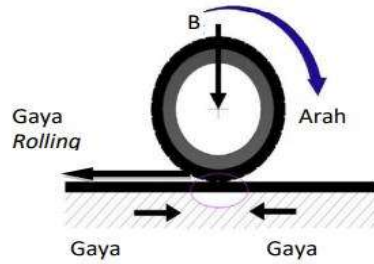
<u>Road surface</u>	<u>Rolling resistance coefficient</u>
<b>Car tyre</b>	
Concrete, asphalt	0.013
Rolled gravel	0.02
Tarmacadam	0.025
Unpaved Road	0.05
Field	0.1-0.35
<b>Truck tyres</b>	
Concrete, asphalt	0.006-0.01

Gambar 2. 9 Koefisien *Rolling resistance* (hambatan gulir) Akibat Pengaruh Permukaan Jalan

Perilaku kontak ini yang menentukan laju keausan dan umur ban akibat keausan abrasi dengan jalan (Eindhoven & Version, 2021). Disisi lain, untuk mengendalikan jalannya kendaraan harus dibutuhkan gaya gesek yang cukup (Budi Setiyana, 2013). Makin besar nilai *rolling resistance* (hambatan gulir), secara umum makin besar nilai gaya geseknya. Besar gaya gesek akan berpengaruh pada perilaku kontak antara ban dan jalan (Budi Setiyana, 2013).

*Rolling resistance* (hambatan gulir) pada prinsipnya adalah momen yang digunakan roda untuk melawan arah gerakan, setara dengan gaya yang dibutuhkan untuk menggerakkan roda bergerak maju (Al Hakim, 2017).

Pada Gambar 2.10 dibawah ini dijelaskan tentang Gaya berat ( $W$ ) yang bekerja secara vertikal ke bawah pada titik B, menyebabkan deformasi pada area kontak antara ban dan permukaan jalan. Akibat deformasi ini, pusat distribusi tekanan bergeser ke belakang dari sumbu roda, menghasilkan momen tahanan yang menghambat rotasi. Arah rotasi roda ditunjukkan oleh panah searah jarum jam, sedangkan gaya *rolling resistance* bekerja berlawanan dengan arah gerak kendaraan. Hambatan gulir yang tinggi tidak hanya meningkatkan kebutuhan energi untuk mempertahankan gerak kendaraan, tetapi juga memperbesar gaya gesek pada area kontak, sehingga berkontribusi terhadap peningkatan keausan ban dalam jangka waktu operasional tertentu. Skema gaya berat, gaya gesek, dan *rolling resistance* (hambatan gulir) (Jawad et al., 2022)



Gambar 2. 10 Skema gaya berat, gaya gesek, dan *rolling resistance*(hambatan gulir)

Dalam penelitian ini, *rolling resistance* (hambatan gulir) diukur menggunakan metode *coast down*, metode *coast down* adalah sebuah metode yang digunakan untuk mengukur *rolling resistance* atau hambatan gulir kendaraan (Isbahuddin et al., 2020). Teknik ini digunakan untuk mengestimasi gaya tahan total, yang merupakan gabungan dari gaya hambat aerodinamis dan gaya hambat gulir. Dalam penelitian ini, teknik tersebut digunakan secara khusus untuk mengestimasi gaya hambat gulir (Suyabodha, 2017). Di mana alat berat dipacu hingga kecepatan tertentu, kemudian mesin dimatikan dan alat berat dibiarkan meluncur hingga berhenti. Waktu yang dibutuhkan untuk berhenti digunakan untuk menghitung perlambatan ( $a$ ),

Karena kondisi kendaraan tetap sama selama pengujian, satu-satunya faktor yang diubah adalah tekanan ban. Oleh karena itu, perbedaan gaya tahan total yang dihasilkan akibat perubahan tekanan ban dianggap sebagai perubahan gaya hambat gulir, berdasarkan teknik ini gaya tahan total dikonversi menjadi gaya *rolling resistance*(hambatan gulir) ( $F_r$ ) menggunakan rumus :

$$F_r = m \cdot a$$

Di mana:

- $F_r$  = Gaya *rolling resistance* (hambatan gulir) (N)
- $m$  = massa kendaraan (kg)
- $a$  = Perlambatan (m/s)

Metode *coast down* dilakukan dengan langkah-langkah berikut:

1. Alat berat dipacu hingga mencapai kecepatan tertentu (misalnya, 6 km/jam).

2. Mesin dimatikan, dan alat berat dibiarkan meluncur hingga berhenti.
3. Waktu yang dibutuhkan untuk berhenti ( $t$ ) diukur menggunakan *stopwatch*.
4. Menghitung perlambatan,

$$a = \frac{V_{awal} - V_{akhir}}{t}$$

Di mana:

- $V_{awal}$  = Kecepatan awal (m/s)
- $V_{akhir}$  = Kecepatan akhir (m/s)
- $t$  = Selang waktu (s)

5. Gaya *rolling resistance* (hambatan gulir) ( $F_r$ ) dihitung menggunakan rumus:

$$F_r = m \cdot a$$

Di mana:

- $F_r$  = Gaya *rolling resistance* (hambatan gulir) (N)
- $m$  = massa kendaraan (kg)
- $a$  = Perlambatan (m/s)

6. Untuk menghitung koefisien *rolling resistance* ( $C_r$ ) menggunakan rumus sederhana :

$$C_r = \frac{F_r}{W}$$

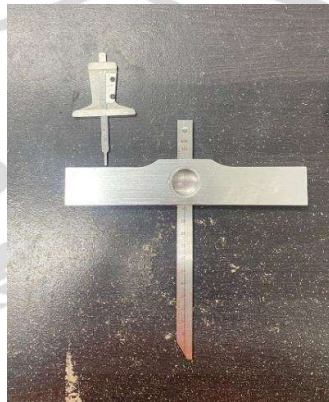
Di mana:

- $F_r$  adalah gaya tahan total (N)
- $W$  adalah berat kendaraan dalam Newton

## 2.6 *Tread Utilization Rate*(TUR)

Tingkat penggunaan tapak ban atau yang lebih dikenal dengan *Tread Utilization Rate* merupakan salah satu parameter KPI yang menunjukkan persentase,

sampai seberapa optimum penggunaan atau pemakaian tebal tapak ban dari ban tersebut dipasang sampai dinyatakan *scrab*. Penentuannya berdasarkan kecepatan penurunan ketebalan Kembangan atau tapak ban. Persentase batas tingkat penggunaan tapak ban adalah 80 % sesuai dengan standar internasional terhadap *Tread Utilization Rate*(TUR) (Yudiono et al., 2020) . Alat yg digunakan untuk mengukur tingkat keausan ban disebut dengan *treat depth gauge* , bisa dilihat pada Gambar 2.11 dibawah ini



Gambar 2. 11 *treat depth gauge*

Perhitungan *Tread Utilization Rate*(TUR) menghitung perbandingan antara penggunaan tread yang di pakai dengan tread baru (Anshori et al., 2018). Pada perhitungan tingkat keausan akan diperoleh nilai (%) dari pengukuran awal sampai pengukuran akhir.

$$TUR = \frac{OTD - RTD}{OTD} \times 100 \%$$

Keterangan:

TUR = *Tread Utilization Rate* yaitu untuk menghitung tingkat pemanfaatan tapak ban (%).

OTD = *Original Tread Depth* yaitu kedalaman tapak ban asli / baru (mm).

RTD = *Remaining Tread Depth* yaitu Kedalaman tapak ban yang tersisa (mm).