



## Pengaruh Gradien 40‰ terhadap Jumlah LRV yang Ditarik Kereta Penolong untuk Menghindari terjadinya Slip pada LRT Jakarta

*Analysis the Number of LRV Pulled by the Maintenance Rail Vehicle at the Jakarta LRT at 40‰ Gradient to Avoid Slips*

Fadli Irnanda Saputra\* dan Ramon Trisno

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Indonesia

### Informasi artikel

Diterima:  
27/06/2021  
Direvisi:  
22/12/2021  
Disetujui:  
23/12/2021

### Abstract

*LRT Jakarta is one of the train operators in Indonesia. Apart from the passenger train (LRV), the Jakarta LRT also has a helper train (MRV). At the Jakarta LRT, the MRV operation has to pass a very steep incline, namely a 40‰ gradient. This can result in a high probability of slippage. Such an incident can be avoided if we know how much the adhesion pull of the tow cart and the total resistance of the tow cart. For that we need further calculations regarding the total resistance of the train to the adhesion tensile force. So that in this final project will produce the maximum number of trains that can be pulled by the locomotive so that no slip occurs. With quantitative methods, data collection and calculation / analysis, the expected results are obtained in this final report. So that it can be seen that the maximum MRV traction effort is 107 kN and the resistance by pulling 3 LRV is 99 kN. Slip occurs when the resistance exceeds maximum traction effort. So it can be concluded that the MRV can attract 3 LRV without any slip when on the 40‰ gradient path.*

*Keywords: rail, slip, calculation, tensile adhesion force, total resistance.*

### Abstrak

LRT Jakarta merupakan salah satu operator kereta api yang ada di Indonesia. Selain kereta penumpang (LRV) LRT Jakarta juga memiliki kereta penolong (MRV). Di LRT Jakarta pengoperasian MRV harus melewati tanjakan yang sangat terjal yaitu gradien 40‰. Hal ini dapat menyebabkan besar kemungkinan terjadinya slip. Kejadian seperti itu dapat dihindari jika kita mengetahui berapa besar gaya tarik adhesi kereta penarik dan besar perlawanan total dari kereta penarik tersebut. Untuk itu perlu perhitungan lebih lanjut mengenai besar perlawanan total dari kereta terhadap gaya Tarik adhesi. Sehingga dalam jurnal akan menghasilkan jumlah maksimal banyaknya kereta yang dapat ditarik lokomotif sehingga tidak terjadi slip. Dengan metode kuantitatif, pengumpulan data dan perhitungan/analisis maka didapatkan hasil yang diharapkan dalam jurnal ini. Sehingga dapat diketahui bahwa *traction effort* MRV maksimal adalah 107 kN dan perlawanan dengan menarik 3 LRV adalah 99 kN. Slip terjadi jika perlawanan melebihi *traction effort* maksimal. Sehingga dapat disimpulkan bahwa MRV dapat menarik 3 LRV tanpa terjadinya slip saat pada jalur tanjakan gradien 40‰.

**Kata kunci :** kereta api, slip, perhitungan, gaya tarik adhesi, perlawanan total.

\*Penulis Korespondensi. Tel: - ; Handphone: +62 896 5759 8482  
email : [fadlisaputra92@yahoo.com](mailto:fadlisaputra92@yahoo.com)



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

## 1. PENDAHULUAN

Permasalahan kemacetan lalu lintas yang disebabkan oleh peningkatan penggunaan sepeda motor merupakan permasalahan utama transportasi yang dialami oleh beberapa negara Asia, seperti Taiwan, Indonesia, Malaysia, dan Vietnam. Jumlah pengguna sepeda motor yang terus meningkat, terutama di beberapa negara Asia disebabkan karena sepeda motor memiliki beberapa keunggulan, yaitu: (1) mobilitas yang efektif terutama di daerah perkotaan yang memiliki lebar jalan sempit dan kecil; (2) harga sepeda motor yang sangat terjangkau oleh masyarakat ditambah dengan biaya operasional yang sangat murah; serta (3) desain sepeda motor yang kecil dibandingkan dengan kendaraan lainnya menyebabkan sepeda motor lebih fleksibel dan tidak menyebabkan ruang jalan menjadi sempit (Susanti, dkk., 2017).

Lintas Rel Terpadu atau LRT adalah salah satu sistem Kereta Api Penumpang yang beroperasi di kawasan perkotaan yang konstruksinya ringan dan bisa berjalan bersama lalu lintas lain atau dalam lintasan khusus. LRT juga dipopulerkan dengan istilah lain yaitu Kalayang atau juga dapat diartikan sebagai kendaraan Lintas Rel (Soebagyo, dkk., 2019). Terpadu LRT banyak di operasikan di negara-negara berkembang bahkan maju. Dari survey yang dilakukan Badan Pusat Statistik dari tahun 2014 sampai 2015 jumlah pengguna kereta api tiap bulannya mengalami peningkatan. Data ini meliputi pengguna di daerah Jawa dan Sumatera (Variano, 2017).

Salah satu persoalan yang memperlambat kemajuan adalah rendahnya investasi di bidang perkeretaapian. Setelah disahkannya UU No 23 tentang perkeretaapian, investasi diharapkan dapat meningkat melalui keikutsertaan swasta maupun pemerintah daerah dalam penyelenggaraan perkeretaapian (Dwiatmoko, 2018). Untuk itu, Indonesia sudah mulai menggunakan sistem kereta ini untuk daerah perkotaan. Untuk yang pertama kota Palembang kita mengenal dengan nama LRT Palembang. Kemudian dilanjut Kota Jakarta yang akan memiliki dua LRT yaitu LRT Jakarta yang sudah beroperasi dan LRT Jabodebek yang masih proses pembangunan.

LRT Jakarta merupakan anak perusahaan dari PT. Jakpro yang berbisnis di bidang sistem kereta api penumpang dengan konstruksi ringan yang beroperasi di daerah Jakarta. LRT Jakarta sendiri sekarang baru memiliki 6 stasiun pemberhentian dengan rute Kelapa Gading - Velodrome. Dalam pengoperasian yang dilakukan setiap hari tentu tentu membutuhkan *effort* yang tinggi untuk masing-masing *Light Rail Vehicle* (LRV) yang beroperasi sehingga kemungkinan terjadinya gangguan dalam lintas ataupun gangguan diluar lintas. Sehingga diperlukan sarana penolong untuk evakuasi LRV saat terjadi gangguan. Di LRT Jakarta sendiri memiliki sarana penolong yang biasa disebut *Maintenance Rail Vehicle* (MRV).

LRT Jakarta memiliki jalur operasi berada di atas permukaan jalan, sedangkan untuk depo/bengkel berada sejajar dengan permukaan jalan. Hal tersebut menyebabkan dalam perjalanan LRV atau MRV saat menuju Depo dari lintas atau sebaliknya harus melalui jalur tanjakan atau turunan. Jalur tersebut memiliki gradien yang cukup tinggi yaitu sebesar 40‰. Sehingga dalam pengoperasian LRV dan MRV dibutuhkan keterampilan dan kehati-hatian yang tinggi dalam mengoperasikannya. Banyak kemungkinan yang terjadi jika kurang terampil dalam mengoperasikan MRV saat berada di jalur bergradien 40‰ salah satunya yaitu terjadinya slip.

*Bogie* merupakan suatu kesatuan konstruksi yang terdiri dari dua perangkat roda atau lebih yang digabungkan oleh rangka yang dilengkapi dengan sistem pemegasan, pengereman, dengan atau tanpa peralatan penggerak (traksi motor atau *gear box*) dan slip protection device, serta berfungsi sebagai pendukung rangka dasar dari badan kereta (Alfian dan Sulistyowati, 2018). *Bogie* berfungsi untuk menopang dan menjaga gerak kereta sepanjang lintasan rel, sehingga berpengaruh terhadap faktor keselamatan dan kenyamanan pada operasional kereta api.

*Slip* merupakan kondisi dimana roda berputar tetapi kendaraan tidak berjalan atau bisa disebut dengan istilah jalan ditempat sehingga terjadi gesekan antara roda dan rel.

Semakin lama waktu gesek, akan menyebabkan semakin tinggi temperatur dan semakin lama penerapan panas itu, pada permukaan kontak, yang mana menyebabkan pelunakan pada material benda kerja (Pah, dkk., 2018). Sama seperti roda kereta api jika terjadi gesekan saat slip maka akan merubah bentuk fisiknya karena panas. Dalam perkeretaapian hal ini sangat merugikan karena dapat menyebabkan terjadinya benjol atau coakan pada roda kereta. Hal ini menimbulkan getaran yang besar saat sarana berjalan yang dampak paling buruknya dapat mengakibatkan terjadinya anjlokkan. Hasil studi terhadap kondisi poros kereta api diantaranya menurut Siswosuwarno, dan mardjono dalam penelitiannya pada tahun 2010 menjelaskan bahwa roda benjol menyebabkan terjadinya beban impact, baik kepada rel, maupun kepada roda (Supriyana dan Kholidin, 2016).

Jalur rel yang dilewati sarana LRT Jakarta memiliki beberapa turunan /tanjakan dan lengkungan. Pada suatu lengkungan dan tanjakan/turunan terdapat batas kecepatan yang sudah ditentukan (Fadillah, 2020). Untuk tanjakan/turunan 40‰ yang terdapat pada LRT Jakarta dibatasi dengan kecepatan 5 km/h. Maka besar sudut di kelandaian tersebut adalah 2,062°. Dengan kondisi seperti ini terjadinya slip sangat mungkin terjadi terutama pada MRV saat menarik LRV. Untuk itu tujuan dalam pembuatan karya tulis ini yaitu menganalisis jumlah maksimal LRV yang dapat ditarik MRV saat berjalan menanjak dengan gradien tanjakan 40‰ yang mengakibatkan terlalu besarnya perlawanan pergerakan MRV sehingga slip tidak terjadi.

Percobaan untuk menentukan faktor adhesi (fadh) juga dilakukan oleh PT. KAI yang pada saat itu masih bernama PJKA. Percobaan itu dilakukan secara stasioner di atas emplasemen dengan memilih tempat datar dan kering. Setelah itu lokomotif digandengkan dengan kereta ukur yang dinamakan DYNLU. Dibelakang kereta DYNLU digandengkan juga dua lokomotif yang dalam keadaan rem terikat. Pelaksanaan tes dilakukan dengan men trottle lokomotif yang akan di test secara pelan-pelan sampai lokomotif mengalami slip.

Pada Juli 1977 pengujian saat itu dilakukan menggunakan lokomotif CC201 berjenis Diesel elektrik yang dilakukan di atas rel datar dan kering. Hasil pengujian menunjukkan bahwa fadh yang dihasilkan bernilai 194 kg/ton. Hasil ini tidak jauh berbeda dengan pengalaman dari Deutsche Bundesbahn. Nantinya percobaan ini akan menjadi pedoman dalam pencapaian tujuan dari penelitian yang dilakukan.

## 2. Metodologi

Metode yang digunakan yaitu metode kuantitatif. Metode kuantitatif yang dilakukan yaitu metode Analisa dengan berpedoman pada rumus-rumus yang sudah ada (dari literatur/dokumen lainnya) dan nantinya rumus tersebut akan digunakan pada perhitungan. Hasil dari perhitungan ini nantinya berupa data numerik dan grafik sebagai bentuk informasi. Studi literatur dilakukan sebelum melakukan studi lapangan. Studi literatur yang dilakukan dengan mencari secara langsung sumber materi dari penelitian yang telah ada.

Studi lapangan dilakukan langsung di LRT Jakarta. Perawatan sarana lokomotif digunakan untuk menjaga supaya sarana lokomotif selalu dalam kondisi yang baik dan handal guna mencapai umur operasi sarana (Chotim, dkk., 2018). Sehingga lebih efektif dan pengetahuan yang didapatkan lebih banyak.

Metode pengumpulan data digunakan untuk mendukung referensi atau teori yang akan digunakan pada penelitian. Pengumpulan data ini terdiri dari data primer dan sekunder.

Sesuai dengan hukum adanya reaksi karena ada aksi, maka apabila ada Gerakan tentu ada perlawanan yang menentang Gerakan itu. Berikut beberapa perlawanan.

### 2.1. Perlawanan jalan dari lokomotif diatas jalan datar dan lurus (termasuk perlawanan angin)

Menurut formula dari Henschel, maka rumus perlawanan dari lokomotif Diesel adalah sebagai berikut:

$$W_L = C_1 \times C_2 \times G_L + C_3 \times F \left( \frac{V}{10} \right)^2 \quad (1)$$

Keterangan:

- $W_L$  = Perlawanan Total dari Lokomotif (kg)
- $G_L$  = Berat siap dari Lokomotif (ton)
- $F$  = Luas penampang dari badan ( $m^2$ )
- $V$  = kecepatan (km/jam)
- $C_1$  &  $C_2$  = angka-angka Konstanta
- $C_3$  = angka konstanta yang mempengaruhi perlawanan angin.

Rumus empiris Untuk Lok BB.200 :

$$W_L = 2,65 \times G_L + 0,54 \times F \left( \frac{V+10}{10} \right)^2 \quad (2)$$

### 2.2. Perlawanan jalan dari rangkaian/gerbong diatas jalan datar dan lurus (termasuk perlawanan angin)

Untuk perhitungan perlawanan rangkaian kereta/gerbong juga dipergunakan rumus-rumus empiris. Rumus empiris ini antara lain diperoleh dari hasil percobaan gelundung diatas jalur datar dan lurus. Rumus hasil percobaan, yaitu:

$$W_{spec} = 2,5 + \frac{0,75}{q} \left( \frac{V+10}{10} \right)^2 \quad (3)$$

Keterangan:

- $q$  = berat kereta kosong rata2 (ton)
- $V$  = Kec kereta api (km/jam)

Pada kenaikan kecepatan jalan kereta api itu, maka meningkatnya perlawanan kuadratis sebagai fungsi dari kecepatan angin relatif. Perlawanan angin ini dipengaruhi oleh luas penampang, semakin besar penampangnya semakin besar pula perlawanannya (Hafitsah, 2016). Struktur *carbody* lokomotif harus mampu menahan besarnya beban-beban yang bekerja pada konstruksi *carbody* (Soesilo, dkk., 2020). Kalau seandainya berat total dari seluruh rangkaian kereta atau gerbong, maka dengan memperhitungkan berat total dari seluruh rangkaian ini kita akan mendapatkan besarnya perlawanan total dari seluruh rangkaian, yaitu sebesar:

$$W_r = G_r \cdot W_{spec} \quad (kg) \quad (4)$$

### 2.3. Perlawanan tanjakan pada waktu menanjak

Angka gradien 40‰ memiliki arti bahwa tanjakan pada jarak 1000 meter, maka jalur

kereta api itu naik setinggi 40 meter. Hal ini dapat dituliskan dengan simbol  $l$  ‰ (meter).

$$P = G \sin \alpha = G \times \frac{l}{1000} \times 1000 = G \times l \quad (kg) \quad (5)$$

Jadi kalau perlawanan tanjakan (spesifik) =  $l$  (kg/ton) maka perlawanan tanjakan total adalah:

$$W_t = G \times l \quad (kg) \quad (6)$$

Keterangan :

- $W_t$  = perlawanan tanjakan (kg)
- $G$  = berat lok/kereta (ton)
- $l$  = besar tanjakan (‰)

### 2.4. Perlawanan percepatan dan perlawanan saat berangkat pada waktu “mula-gerak”

Pada saat kereta mau berangkat, yaitu pada  $V=0$ , perlawanan itu sebetulnya ada lebih besar, dan inilah yang dalam Bahasa asing disebut *brake away resistance*. Sehingga perlawanan yang berlaku:

$$W_o = G_r \times W_{spec} \quad (7)$$

Keterangan :

- $W_o$  = perlawanan saat berangkat (kg)
- $G_r$  = berat lok/kereta (ton)
- $W_{(spec)}$  = perlawanan spesifik saat berangkat (10-11 kg/ton)

### 2.5. Slip pada Kereta

Peristiwa terjadinya slip pada kereta akan terjadi apabila gaya tarik yang ditransfer dari tenaga mesin ke roda-roda penggerak itu lebih besar daripada batas gaya tarik adhesinya. Gaya tarik adhesi pada roda-roda penggerak ( $T_{adh}$ ) itu tergantung pada faktor koefisien adhesi antara roda dan rel ( $f_{adh}$ ) dan besarnya dibatasi oleh berat adhesi dari lokomotif ( $G_{adh}$ ) itu sendiri yaitu berat lokomotif yang didukung oleh roda-roda penggeraknya dan dinyatakan dalam bentuk rumus sebagai berikut:

$$W_{adh} = f_{adh} \times G_{adh} \quad (kg) \quad (8)$$

Keterangan :

- $T_{adh}$  = gaya Tarik adhesi (kg)
- $f_{adh}$  = koef adhesi roda an rel (kg/ton)
- $G_{adh}$  = berat adhesi lokomotif (ton)

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Apabila sebuah kendaraan rel berjalan di atas jalan baja (rel), maka akan mendapatkan suatu perlawanan. Perlawanan yang dialami oleh kereta penggerak harus dibatasi karena jika tidak sesuai dengan standar yang digunakan akan mengakibatkan terjadinya slip. Sehingga diperlukan data-data yang akan digunakan dalam perhitungan ini. Berikut pada Tabel 1 ditampilkan data parameter perhitungan:

Tabel 1. Besarnya Konstanta yang dibutuhkan

| No | Kriteria                        | Nilai     |
|----|---------------------------------|-----------|
| 1  | Berat MRV                       | 45.000 kg |
| 2  | Berat kosong LRV                | 47.808 kg |
| 3  | Panjang Tanjakan                | 143,515 m |
| 4  | Tinggi Tanjakan                 | 5.743 m   |
| 5  | Berat penuh LRV (270 penumpang) | 64.008 kg |
| 6  | Besar jari-jari lengkung (R)    | 60 m      |

Sehingga nilai perlawanan total dari MRV bisa didapatkan dari rumus nomor 2:

- Berat siap ( $G_L$ ) = 45.000 kg = 45 ton
- Kecepatan ( $V$ ) = 0 km/jam
- Luas penampang ( $F$ ) =  $0,54 \times 2,62 \times 3,4 \text{ m}^2$

$$W_L = 2,65 \times G_L + 0,54 \times F \left( \frac{V + 10}{10} \right)^2$$

$$W_{r,mrv} = 2,65 \times 45 \text{ ton} + 0,54 \times 2,62 \times 3,4 \text{ m}^2 \left( \frac{0 + 10}{10} \right)^2$$

$$W_{r,mrv} = 120,01032 \approx 120 \text{ kg}$$

Jadi untuk perlawanan total dari MRV adalah 120 kg.

#### 3.1. Perlawanan Jalan Dari LRV diatas Jalan Datar dan Lurus (Termasuk Perlawanan Angin)

Berikut perhitungan yang dapat dimasukan data-data yang sudah didapat dan dapat dicari besar perlawanan LRV menggunakan rumus nomor 3:

- $q$  = berat kereta kosong rata2 = 47.808 kg = 47,808 ton
- $V$  = Kec kereta api = 0 km/jam

$$W_{spec} = 2,5 + \frac{0,75}{47,808} \left( \frac{0+10}{10} \right)^2$$

$$W_{spec} = 2,515 \text{ kg/ton}$$

Untuk jumlah LRV kosong adalah satu maka nilai perlawanannya didapatkan dari rumus nomor 4 adalah:

$$W_r = 47,808 \text{ ton} \times 2,515 \text{ kg/ton}$$

$$W_r = 120,237 \text{ kg}$$

Untuk besar perlawanan dua LRV dan seterusnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Selanjutnya perlawanan LRV dengan kereta kosong. Sehingga besar perlawanannya didapatkan dari rumus nomor 3, yaitu:

- $q_1$  = berat kereta dengan penumpang penuh = 64.008 kg = 64,008 ton
- $V$  = Kec kereta api = 0 km/jam

$$W_{spec} = 2,5 + \frac{0,75}{64,008} \left( \frac{0+10}{10} \right)^2$$

$$W_{spec} = 2,511 \text{ kg/ton}$$

Selanjutnya setelah mendapatkan berat spesifik kereta maka nilai tersebut dikali kan dengan besar dari berat rangkaian kereta. maka didapatkan perhitungan dari rumus nomor 4:

$$W_{rp} = 64,008 \text{ ton} \times 2,511 \text{ kg/ton}$$

$$W_{rp} = 160,724 \text{ kg}$$

Untuk besar perlawanan dua LRV dan seterusnya dengan kondisi penumpang penuh dapat dilihat pada Tabel 2.

#### 3.2. Perlawanan Tanjakan

Untuk perlawanan tanjakan oleh MRV sendiri dibutuhkan data mengenai berat total MRV. Sehingga nilai perlawanan MRV pada tanjakan didapatkan dari rumus nomor 6 adalah sebagai berikut:

$$W_t = G \times l \text{ (kg)}$$

$$W_{tmrv} = 45 \text{ ton} \times 40 \text{ kg/ton}$$

$$W_{tmrv} = 1800 \text{ kg}$$

Setelah itu untuk perlawanan LRV juga dapat diketahui nilainya. Sehingga nilai perlawanannya adalah sebagai berikut:

$$W_t = G \times l \text{ (kg)}$$

$$W_{t,lr} = 47,808 \text{ ton} \times 40 \text{ kg/ton}$$

$$W_{t,lr} = 1912,32 \text{ kg}$$



Untuk jumlah LRV yang ditarik adalah 2, 3, dan 4 dengan penumpang kosong maka besar perlawanan dapat dilihat pada Tabel 2.

Selanjutnya perlawanan tanjakan dengan penumpang penuh yaitu:

$$W_t = G \times l \text{ (kg)}$$

$$W_{t,lrp}=64,008 \text{ ton} \times 40 \text{ kg/ton}$$

$$W_{t,lrp}=2560,32 \text{ kg}$$

Untuk jumlah LRV dengan penumpang yang ditarik adalah 2, 3, dan 4 maka besar perlawanan dapat dilihat pada Tabel 2.

### 3.3. Perlawanan Saat akan Berangkat

Perlawanan ini diakibatkan oleh posisi kereta saat akan bergerak yaitu kecepatan 0 km/jam. Perlawanan saat akan berangkat oleh MRV didapatkan dari rumus nomor 7, yaitu:

$$W_b = G_r \times W_{spec}$$

$$W_{b,mrv}=45 \text{ ton} \times 10 \text{ kg/ton}$$

$$W_{b,mrv}=450 \text{ kg}$$

Perlawanan saat akan berangkat oleh LRV dengan berat kosong:

$$W_b = G_r \times W_{spec}$$

$$W_{b,lrp}=47,808 \text{ ton} \times 10 \text{ kg/ton}$$

$$W_{b,lrp}=478,08 \text{ kg}$$

Untuk jumlah LRV yang ditarik adalah 2, 3, dan 4 dengan penumpang kosong maka besar perlawanan dapat dilihat pada Tabel 2.

Setelah itu menghitung perlawanan saat akan berangkat dengan LRV penuh dengan penumpang:

$$W_b = G_r \times W_{spec}$$

$$W_{b,lrp}=64,008 \text{ ton} \times 10 \text{ kg/ton}$$

$$W_{b,lrp}=640,08 \text{ kg}$$

Untuk jumlah LRV yang ditarik adalah 2, 3, dan 4 dengan penumpang kosong maka besar perlawanan dapat dilihat pada Tabel 2.

### 3.4. Perlawanan Total MRV

Perlawanan total MRV adalah jumlah perlawanan yang dialami oleh MRV. Dengan diketahui besar perlawanan MRV dari berbagai kondisi, selanjutnya menjumlahkan semua

perlawanan yang ada sehingga dapat diketahui batasnya jumlah LRV untuk menghindari terjadinya slip. Besarnya perlawanan total MRV dapat dilihat pada Tabel 2.

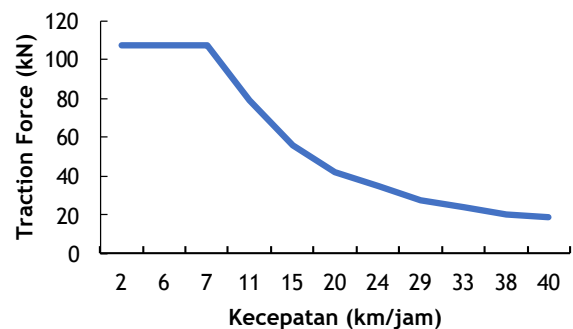
Tabel 2. Hasil perhitungan

| Jenis Perlawanan    | MRV (kg) | Satu LRV (kg) | Dua LRV (kg) | Tiga LRV (kg) |
|---------------------|----------|---------------|--------------|---------------|
| W <sub>r</sub>      | 120      | 120,237       | 240,474      | 360,711       |
| W <sub>rp</sub>     | -        | 160,724       | 321,448      | 482,172       |
| W <sub>t</sub>      | 1.800    | 1.912,32      | 3.824,64     | 5.736,96      |
| W <sub>tp</sub>     | -        | 2.560,32      | 5.120,64     | 7.680,96      |
| W <sub>b</sub>      | 450      | 478,08        | 956,16       | 1.432,24      |
| W <sub>bp</sub>     | -        | 640,08        | 1.280,6      | 1.920,24      |
| W <sub>total</sub>  | 2.470    | 4.880,637     | 7.391,274    | 9.901,911     |
| W <sub>totalp</sub> | -        | 5.731,124     | 9092,688     | 12.353,372    |

### 3.5. Batas Kekuatan Tarik Adhesi MRV

Mesin diesel merupakan salah satu mesin pembakaran dalam (*interval combustion engine*) yang proses pembakaran bahan bakarnya dilakukan dalam ruang bakar (Rahardjo, dkk., 2017). Kekuatan Tarik Adhesi MRV adalah kemampuan MRV untuk menarik kereta yang didukung oleh roda-roda penggerak. Kekuatan Tarik adhesi ini dibatasi oleh kekuatan tenaga mesin dan berat adhesi MRV. Berat adhesi ini juga membatasi kekuatan Tarik MRV untuk tidak terjadi slip.

Performance merupakan efektifitas kerja suatu perlatan dalam operasi produksi (Hendra, dkk., 2016). Dalam hal ini kita harus mengoperasikan MRV dengan performance yang baik dengan memperhatikan spesifikasi Teknik dari MRV itu sendiri. Dari data dibawah kita dapat mengambil menyimpulkan bahwa kekuatan Tarik (*Traction Force*) MRV yang dibatasi oleh kekuatan mesin bernilai 19 kN dengan maksimal kecepatan 40 km/jam. Untuk kekuatan Tarik MRV yang dibatasi oleh berat adhesinya yaitu bernilai 107 kN.



Gambar 1. Batas kekuatan tarik adhesi

Data pada Gambar 1 merupakan grafik batas kekuatan Tarik MRV. Pada kecepatan 0 - 7,3 km/jam MRV hanya dapat menarik dengan gaya Tarikan traksi sebesar 107kN yang dibatasi oleh berat MRV itu sendiri (jika melebihi gaya tersebut akan terjadi slip).

### 3.6. Jumlah LRV yang Dapat ditarik MRV

Dari perhitungan yang sudah dilakukan maka kita dapat menentukan jumlah LRV yang dapat ditarik MRV. Berikut hasil perhitungannya ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai hasil hitungan perlawanan MRV

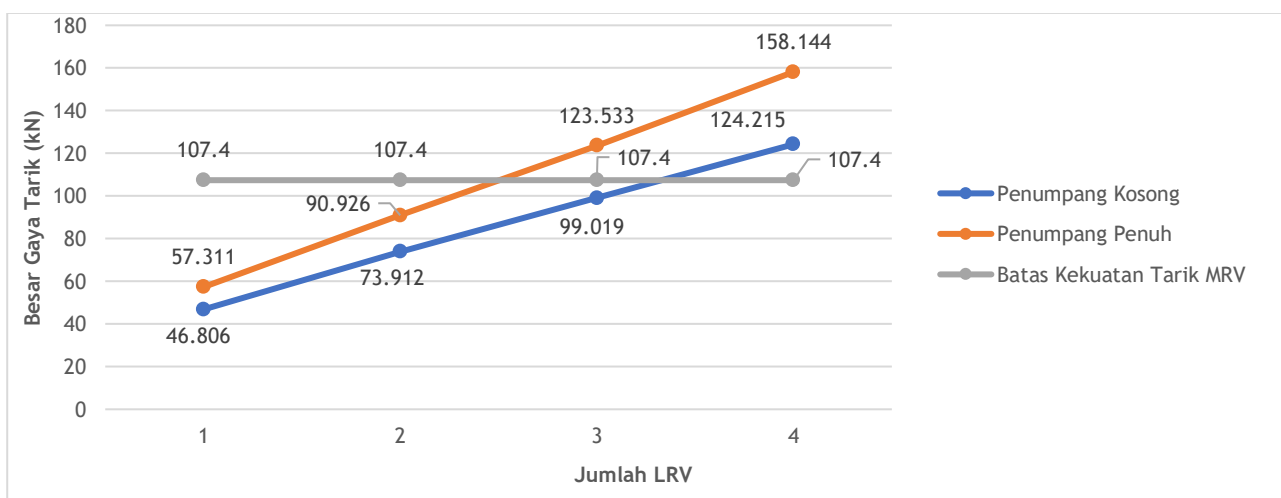
| No | Data perhitungan perlawanan         | Nilai perhitungan perlawanan (kg) |
|----|-------------------------------------|-----------------------------------|
| 1  | Perlawanan satu LRV kosong (Wtot1)  | 4.880,637                         |
| 2  | Perlawanan dua LRV kosong(Wtot2)    | 7.391,274                         |
| 3  | Perlawanan tiga LRV kosong (Wtot3)  | 9.901,911                         |
| 4  | Perlawanan empat LRV kosong (Wtot4) | 12.421,548                        |
| 5  | Perlawanan satu LRV penuh (Wtotp1)  | 5.731,124                         |
| 6  | Perlawanan dua LRV penuh (Wtotp2)   | 9.092,688                         |
| 7  | Perlawanan tiga LRV penuh (Wtotp3)  | 12.353,372                        |
| 8  | Perlawanan empat LRV penuh (Wtotp4) | 15.814,492                        |

Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai nilai perlawanan gerak (Wtot) yang tidak melebihi kekuatan Tarik MRV (Tadh) adalah Wtot1, Wtot2, dan Wtot3 dalam keadaan penumpang kosong, sedangkan dalam keadaan penuh penumpang (Wtotp) yang tidak melebihi kekuatan Tarik MRV (Tadh) adalah Wtotp1 dan Wtotp2. Jika di proyeksikan dalam grafik jumlah LRV yang dapat ditarik seperti pada Gambar 2.

### 4. SIMPULAN

Setelah dilakukan penelitian maka didapatkan kesimpulan yaitu besar putaran traksi maksimal yang diizinkan yaitu 107,4 kN. Selain itu didapatkan bahwa batas maksimal jumlah LRV dengan kondisi tidak ada penumpang yang dapat ditarik pada gradien tanjakan 40o/oo adalah 3 LRV. Sedangkan batas maksimal jumlah LRV dengan kondisi penumpang penuh yang dapat ditarik pada gradien tanjakan 40o/oo adalah 2 LRV Kondisi ini merupakan kondisi saat rel dalam keadaan kering.

Sebagai upaya penjegahan terbesar terjadinya slip pada pergerakan, sebaiknya penarikan jumlah LRV dilakukan dengan jumlah 2 kereta. Karena besarnya perlawanan gerak dengan jumlah 3 kereta memiliki nilai yang hamper mendekati besarnya berat adhesi MRV. Pada saat pergerakan sebisa mungkin tidak berhenti saat berada di tanjakan 40o/oo, sehingga besar perlawanan mula gerak (perlawanan saat kecepatan 0 m/s) bisa hilang dan kemungkinan terjadinya slip berkurang.



Gambar 2. Grafik jumlah LRV yang dapat ditarik

## DAFTAR PUSTAKA

- Supriyana, N. dan Kholidin, A., 2016. Analisa tegangan poros roda gerbong kereta api dengan metode elemen hingga. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro dan Ilmu Komputer*, 7(2), hal. 681-686.
- Alfian, I. dan Sulistiyowati I., 2018. Evaluasi Pembebanan Kereta Api Lokomotif Ganda Yang Beroperasi di Indonesia Terhadap Rencana Muatan 1921. *Prosiding Seminar Nasional Cendekiawan*, hal. 371-377.
- Hendra, F. dan Effendi, R., 2016. Perhitungan Overall Equipment Effectiveness (OEE) Untuk Alat Berat Pemeliharaan Jalan Rel PT. Kereta Api. *SINTEK JURNAL: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 10(1). hal. 22-30.
- Dwiatmoko, H., 2018. Peran perkeretaapian dalam menunjang sistem logistik nasional. *Jurnal Transportasi*, 18(2), hal. 87-96.
- Fadillah, I.R., 2020. Analisis Batas Kecepatan Kritis Keluar Rel Di Lengkungan R60 Dengan Kondisi Tidak Ada Pelebaran dan Peninggian Pada Proyek LRT. *Jurnal Teknik Sipil-Arsitektur*, 19(1), hal.105-112.
- Hafitsah, Y., 2016. Analias Geometri Bodi Mobil Dan Aerodinamis Material Berbahan Dasar Serat Fiber. *Skripsi*. Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
- Soebagyo, H., Kusuma, G.C. dan Hernadi, 2019. Pemeriksaan sambungan las aluminium pada struktur kereta api ringan dengan metode non-destructive test. *Jurnal ASIIMETRIK: Jurnal Ilmiah Rekayasa & Inovasi*, hal.58-64.
- Pah, J.C.A., Irawan, Y.S. dan Suprpto, W., 2018. Pengaruh Waktu dan Tekanan Gesek terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Paduan Aluminium dan Baja Karbon pada Pengelasan Gesek Continuous Drive. *Rekayasa Mesin*, 9(1), hal. 51-59.
- Rahardjo, A., Hakim, M. E. dan Wahab, A., 2017. Analisa Sistem Pembakaran Pada Mesin Diesel Lokomotif CC 201. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Islam Malang*, 3(2), hal. 44-47.
- Chotim, N., Boedi, H dan Zulkarnain A., 2018. Pembuatan Alat Ukur Digital untuk Pengukuran Tinggi Alat Perangkai Lokomotif Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno. *Prosiding Simposium Forum Studi Transportasi antar Perguruan Tinggi ke-21*. Universitas Brawijaya.
- Soesilo, A.H., Fadelan, F. dan Putra, W.T., 2020. Perancangan Dan Analisis Carbody Lokomotif Dengan Metode Elemen Hingga. *KOMPUTEK*, 4(2), hal. 8-18.
- Susanti, A., Suprayitno, H., dan Soemitro, R.A.A., 2017. Wilayah Pengaruh Kereta Api Komuter Terhadap Pengguna Sepeda Motor di Kota Surabaya. *Jurnal Transportasi*, 17(3), hal. 235-244.
- Variano, V., 2017. Pengaruh Citra Merek, Harga, dan Kualitas Layanan terhadap Loyalitas Merek Konsumen Kereta Api. *Agora*, 5(3). hal. 1-7.