

Analisis Variasi Kecepatan LRT Jabodebek terhadap *Ride Index* pada Longspan Menggunakan Simulasi *Longitudinal Train Dynamic*

Rendy Rosallino¹, rendyrosallino21@gmail.com

Rahayu Mekar Bisono², mekar@pnm.ac.id

Alfi Tranggono Agus Salim³, alfitranggono@pnm.ac.id

Yanuar Setiawan⁴, yanuar.setiawan@sipil.pnj.ac.id

Denna Maulana Achmad⁵, denna.maulana@inka.co.id

Program Studi Perkeretaapian^{1,2,3}, Politeknik Negeri Madiun^{1,2,3}

Program Studi Konstruksi Sipil⁴, Politeknik Negeri Jakarta⁴

Departemen Engineering⁵, PT INKA (Persero)⁵

ABSTRAK

Kecepatan salah satu faktor penunjang kenyamanan penumpang pada transportasi kereta api. Permasalahan yang terjadi saat kereta api melewati lengkungan longspan adalah kecepatan yang kurang efisien mempengaruhi tingkat kenyamanan penumpang. Solusi dari permasalahan ini adalah kereta api harus melalui proses simulasi dengan tujuan mengetahui kecepatan efisien yang diterima dengan memprioritaskan kenyamanan penumpang saat melewati lengkungan longspan. Simulasi yang dilakukan menggunakan metode *Longitudinal Train Dynamic (LTD)* dengan membandingkan nilai *ride index* hasil simulasi dengan nilai *ride index* yang diatur pada KP 765 tahun 2017 tentang Desain dan Spesifikasi LRT Jabodebek yang merujuk pada ISO 2631. Berdasarkan standar yang ditentukan peneliti melakukan simulasi dengan variasi kecepatan untuk mengetahui efek variasi kecepatan terhadap nilai *ride index*, sehingga diketahui kecepatan yang efisien pada longspan terpanjang terhadap kenyamanan penumpang. Kecepatan yang disimulasikan yaitu 10 kmh, 20 kmh, 30 kmh, 40 kmh, 50 kmh, dan 60 kmh. Data hasil dari penelitian ini adalah nilai *ride index* dari variasi kecepatan yang disimulasikan. Hasil dari penelitian ini adalah nilai *ride index* pada kecepatan 10 kmh sebesar 1.4747427, 20 kmh sebesar 1.6533716, 30 kmh sebesar 1.8409451, 40 kmh sebesar 2.2335365, 50 kmh sebesar 2.4009598, dan 60 kmh sebesar 2.6713053. Serta kecepatan optimal LRT Jabodebek berada pada rentang 30 hingga 40 kmh.

Kata Kunci: Longitudinal Train Dynamic, Simulasi, Ride Index, Kecepatan, Longspan.

ABSTRACT

Speed is one of the factors supporting passenger comfort in rail transportation. The problem that occurs when the train is on a longspan is that the speed does not affect passenger comfort. The solution to this problem is that the train must go through a simulation process with the aim of knowing the efficient speed received by prioritizing comfort when passing a longspan. The simulation was carried out using the Longitudinal Train Dynamic (LTD) method by comparing the ride index value of the simulation results with the ride index value set in KP 765 of 2017 concerning the Design and Specifications of the Jabodebek LRT which refers to ISO 2631 Jabodebek. Based on the standards determined, the researchers carried out simulations with variations in speed to determine the effect of speed variations on the travel index value, so that the efficient speed at the longest long span of passengers was known. The simulated speeds are 10 kmh, 20 kmh, 30 kmh, 40 kmh, 50 kmh, and 60 kmh. The data from this study is the ride index value of the simulated speed variation. The results of this study are the ride index value at a speed of 10 kmh is 1.4747427, 20 kmh is 1.6533716, 30 kmh is 1.8409451, 40 kmh is 2.2335365, 50 kmh is 2.4009598, and 60 kmh is 2.6713053. And the optimal speed of the Jabodebek LRT is in the range of 30-40 kmh.

Keywords: Longitudinal Train Dynamic, Simulation, Ride Index, Speed, Longspan

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kecepatan yang efisien didefinisikan sebagai kecepatan yang optimal dari kereta api saat melakukan perjalanan kereta api yang sesuai dengan kondisi *track*. Pada LRT Jabodebek terdapat lengkung *longspan* dengan panjang *longspan* 86,5 m - 148 m - 86,5 m dengan radius lengkung 115 m (Farozy, 2021). Hal ini perlu dilakukan perhitungan kecepatan yang optimal untuk melewati lengkung *longspan*, dikarenakan terdapat lengkung panjang dengan radius lengkung kecil yang mempengaruhi tingkat kenyamanan penumpang kereta api (Budiwanto et al., 2018).

Kecepatan yang optimal dapat dihitung menggunakan metode *Longitudinal Train Dynamic (LTD)*. *Longitudinal Train Dynamic (LTD)* atau dinamika gerak kereta api didefinisikan sebagai pergerakan kendaraan kereta api searah sepanjang lintasan (Budiwanto et al., 2018). Analisis ini dilakukan pada *tractive effort*, *braking effort*, *acceleration*, dan *speed* (Iwnicki et al., 2019). Analisis dengan metode *Longitudinal Train Dynamic (LTD)* ini dilakukan menggunakan *software universal mechanism*. Analisis ini ditujukan untuk mengetahui tingkat kenyamanan kereta api melalui variasi kecepatan untuk mendapatkan kecepatan yang sesuai dengan tingkat kenyamanan penumpang yang telah ditentukan berdasarkan standar yang ada (Sharma & Kumar, 2017). Standar yang digunakan untuk menentukan tingkat kenyamanan pada analisis ini telah diatur pada KP 765 Tahun 2017 tentang Penetapan Kriteria Desain dan Spesifikasi Teknis Pembangunan Kereta Api Ringan / *Light Rail Transit (LRT)* yaitu standar *International Organization for Standardization (ISO)* lebih tepatnya menggunakan ISO 2631 tentang perhitungan nilai *ride index* (Budiwanto et al., 2018). Variasi kecepatan yang digunakan yaitu 10 kmh, 20 kmh, 30 kmh, 40 kmh, 50 kmh dan 60 kmh berdasarkan batas kecepatan maksimum pada lengkung (Baharuddin, 2018).

Hasil penelitian berupa nilai *ride index* pada setiap variasi kecepatan LRT Jabodebek dan nilai kecepatan optimal LRT Jabodebek pada lengkung *longspan*.

1.2 Tujuan Penelitian

Simulasi variasi kecepatan terhadap nilai *ride index* pada *longspan* menggunakan *longitudinal train dynamic* ini memiliki tujuan sebagai berikut.

- a. Menganalisa pengaruh variasi kecepatan LRT Jabodebek terhadap nilai *ride index* pada *longspan*.
- b. Menganalisa kecepatan optimal yang perlu dicapai LRT Jabodebek pada *longspan*.

2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Longitudinal Train Dynamic

Longitudinal train dynamic atau dinamika gerak kereta api didefinisikan sebagai pergerakan kendaraan kereta api searah sepanjang lintasan (Budiwanto et al., 2018). Oleh karena itu, ini mencakup gerakan kereta api secara keseluruhan dan setiap gerakan relatif antara kendaraan yang diizinkan karena kelonggaran dan perjalanan yang diizinkan oleh sambungan pegas dan peredam antar kendaraan (Sharma & Kumar, 2017).

Untuk melakukan analisis *Longitudinal Train Dynamic (LTD)* ada beberapa parameter yang perlu diketahui (Iwnicki et al., 2019), antara lain *tractive effort* atau gaya traksi dan *braking effort* atau usaha pengereman.

2.2 Ride Index

Ride index, merupakan indeks turunan dari akselerasi dan frekuensi getaran (Lamma, 2013). Nilai *ride index* ini memberi isyarat tentang keamanan dan kenyamanan penumpang/muatan. Nilai *ride index* ini dapat dikelompokkan mulai dari yang paling baik, sampai yang paling buruk yang dapat dikategorikan menjadi beberapa kategori berdasarkan tingkat kenyamanan (Fajrul Amin, 2016). Berdasarkan standard ISO 2631 (International Standard, 1997). Nilai kenyamanan dapat dikategorikan melalui percepatan yang terjadi. Nilai kenyamanan terhadap percepatan terlihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Riding Quality

<i>Less than 0.315 m/s²</i>	<i>Not Uncomfortable</i>
<i>0.315 m/s² to 0.630 m/s²</i>	<i>A little Uncomfortable</i>
<i>0.500 m/s² to 0.100 m/s²</i>	<i>Fairly Uncomfortable</i>
<i>0.800 m/s² to 0.160 m/s²</i>	<i>Uncomfortable</i>
<i>1.25 m/s² to 2.50 m/s²</i>	<i>Very Uncomfortable</i>
<i>Greater than 2 m/s²</i>	<i>Extremely Uncomfortable</i>

Tabel 1. menunjukkan bahwa ada beberapa tingkatan percepatan yang berpengaruh terhadap tingkat ketidaknyamanan penumpang. Percepatan yang dapat diterima oleh penumpang yaitu dibawah 0,315 m/s².

Sedangkan untuk nilai *ride index* dapat dihitung melalui rumus (K. V. Gangadharan, 2020). Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai *ride index* dapat dilakukan berdasarkan persamaan 1 berikut (Budiwanto dkk., 2018):

$$W_z = \left(\int_{f_1}^{f_2} a^3 B^3 df \right)^{1/10} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan :

- W_z : Nilai *Ride Index*
- a : Percepatan (m/s^2)
- B : *Weighting factor*
- f : Frekuensi (Hz)

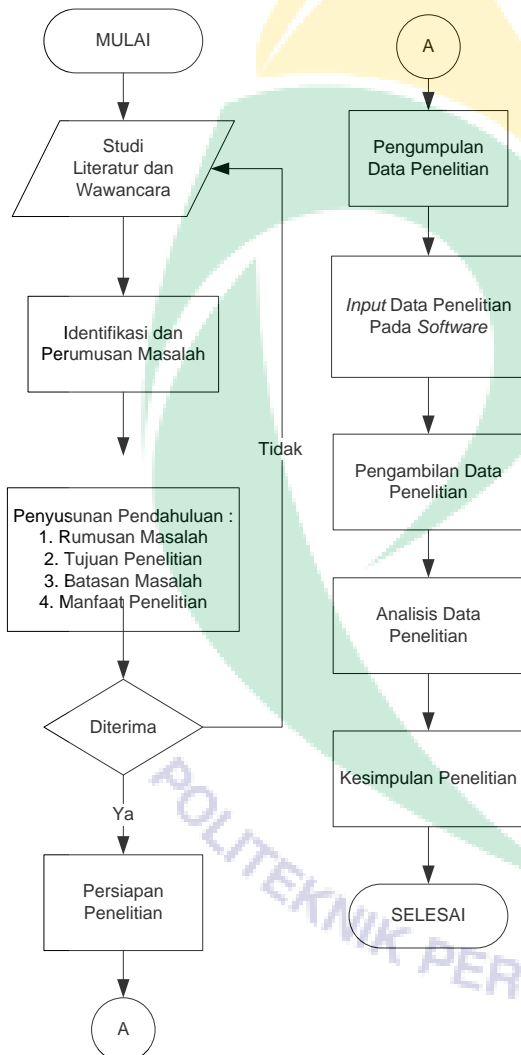
Tingkat kenyamanan *ride index* dijelaskan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Ride Index

W_z	Riding Quality
1	<i>Very Good</i>
2	<i>Good</i>
3	<i>Satisfactory</i>
4	<i>Acceptable for Running</i>
4,5	<i>Not Acceptable for Running</i>
5	<i>Dangerous</i>

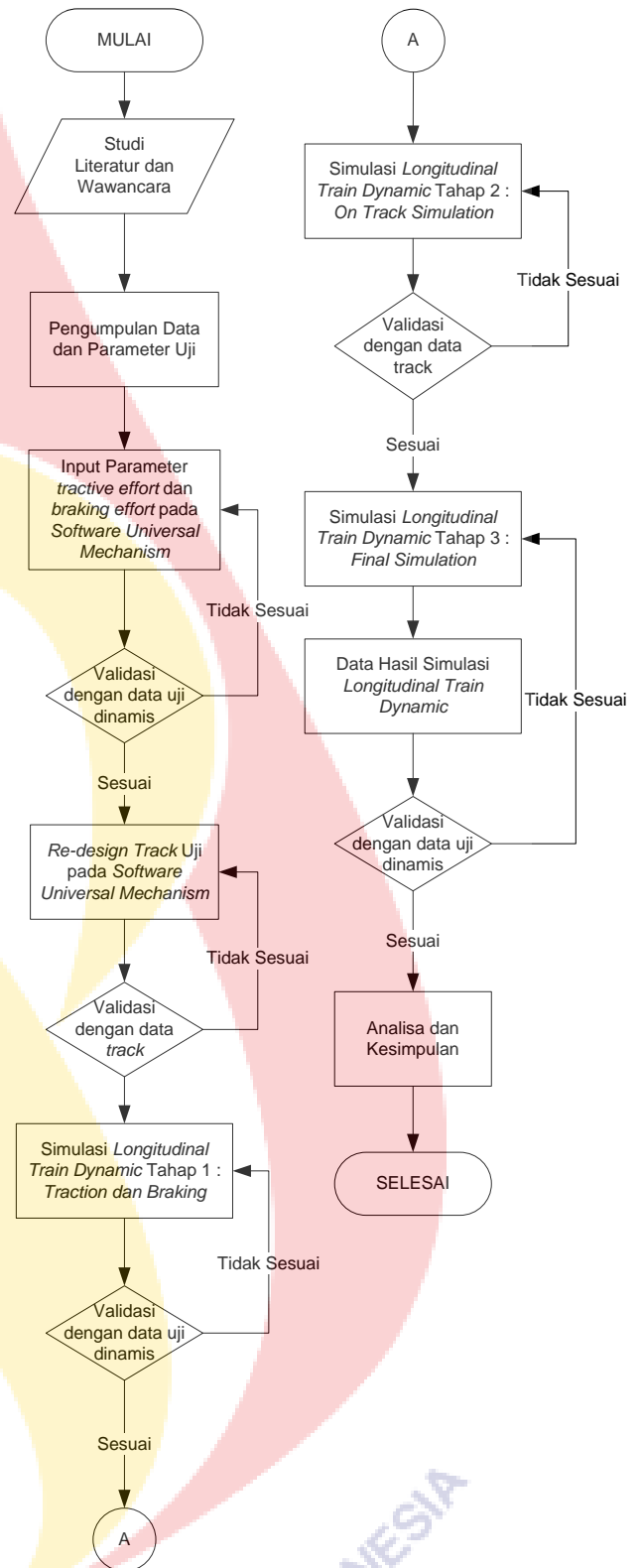
3 METODE PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian (Flowchart)



Gambar 1. Flowchart Tahapan Penelitian

3.2 Metodologi Penelitian (Flowchart)

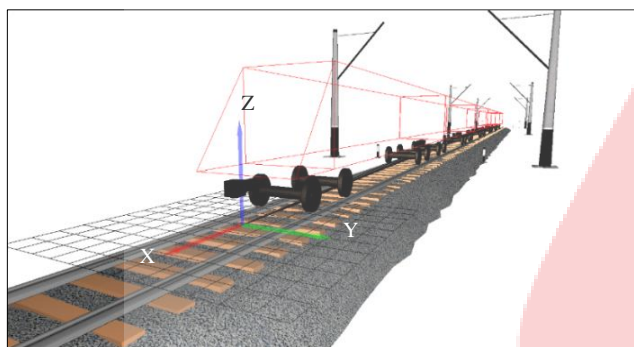


Gambar 2. Flowchart Metodologi Penelitian

3.3 Model LRT Jabodebek

Desain model LRT yang digunakan merupakan model yang disederhanakan dengan spesifikasi yang sama, seperti massa benda, ukuran benda, dan parameter

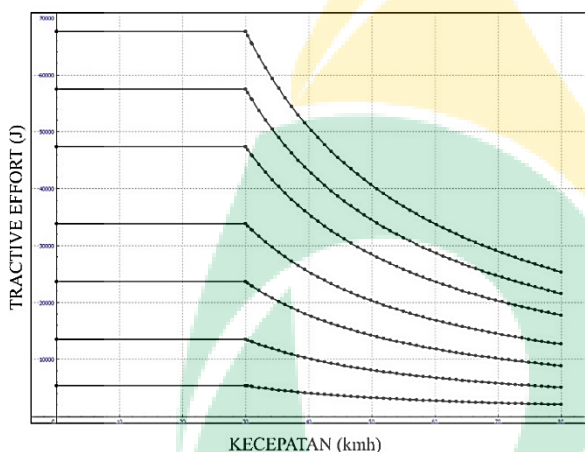
lainnya (Menteri Perhubungan, 2017). Model *LRT* Jabodebek terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Model *LRT* Jabodebek

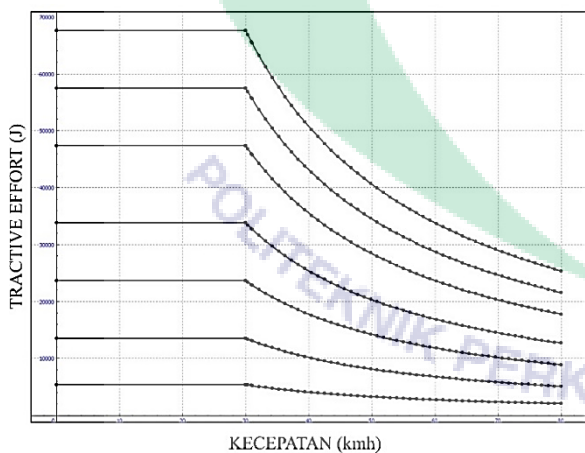
3.4 Parameter *LRT* Jabodebek

Parameter yang terdapat pada *LRT* Jabodebek terdiri dari parameter *tractive effort* dan *braking effort*. Parameter *tractive effort* model *LRT* Jabodebek terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Parameter *tractive effort*

Parameter *braking effort* model *LRT* Jabodebek terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Parameter *braking effort*

3.5 Validasi model *LRT* Jabodebek

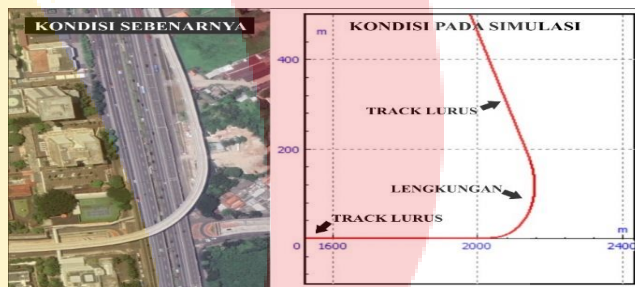
Sebelum melakukan simulasi dilakukan validasi model dengan membandingkan nilai dari perhitungan manual dengan data dari simulasi. Hal ini untuk mengetahui tingkat validitas model selama simulasi. Perbandingan antara data perhitungan dan simulasi ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 3. Validasi model *LRT* Jabodebek

Data Perhitungan	Data Simulasi	Error	Akurasi
5400	5409.6	0.2 %	99.8 %
13500	13524	0.2 %	99.8 %
23625	23667	0.2 %	99.8 %
33750	33810	0.2 %	99.8 %
47250	47334	0.2 %	99.8 %
57375	57477	0.2 %	99.8 %
66100	66217.5	0.2 %	99.8 %
Rata-rata		0.2 %	99.8 %

3.6 Model *track* simulasi

Model *track* yang digunakan sesuai dengan data spesifikasi *track* pada lengkungan longspan Kuningan. Gambar *track* yang digunakan untuk simulasi serta parameternya terlihat pada Gambar 3.



Gambar 6. Model *track* simulasi

Parameter *track* disesuaikan dengan data pada Tabel 2.

Tabel 4. Model *track* *LRT* Jabodebek

Panjang lengkungan	148	m
Radius lengkung	115	m
Lengkung masuk	86.5	m
Lengkung keluar	86.5	m
Peninggian rel (<i>Cant</i>)	70	mm
Pelebaran rel	20	mm

3.7 Alat dan Bahan

Dalam penelitian simulasi pengaruh variasi kecepatan LRT Jabodebek pada *longspan* terpanjang terhadap *ride index* ini diperlukan alat penunjang seperti Laptop digunakan untuk menjalankan *software* simulasi dan *Software Universal Mechanism* digunakan untuk membuat track uji, input parameter uji, dan simulasi *Longitudinal Train Dynamic (LTD)* serta analisis hasil simulasi.

Bahan yang diperlukan untuk melakukan simulasi ini adalah Model LRT Jabodebek, *track* berupa jalur *longspan* di daerah Kuningan, Jawa Barat, dan standar yang digunakan yaitu *ISO 2631*.

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi penelitian berupa grafik perbandingan nilai *ride index* terhadap kecepatan. Kriteria keberterimaan dari nilai *ride index* merujuk pada standar *ISO 2361* (International Standard, 1997).

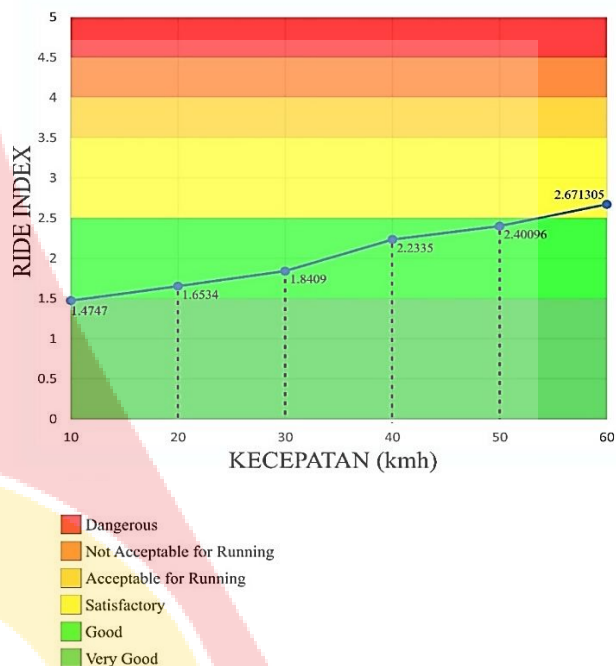
4.1 Ride Index

Berdasarkan simulasi yang dilakukan diketahui nilai *ride index* dan percepatan longitudinal pada setiap variasi kecepatan yang ditunjukkan pada Tabel 3 (Budiwantoro, 2018).

Tabel 5. Data Hasil Simulasi

Kecepatan (kmh)	Ride Index	Ride Quality	Comfort Quality
10	1,4747427	Good	Not Uncomfortable
20	1,6533716	Good	Not Uncomfortable
30	1,8409451	Good	Not Uncomfortable
40	2,2335365	Good	Not Uncomfortable
50	2,4009598	Good	Not Uncomfortable
60	2,6713053	Satisfactory	Not Uncomfortable

Dari data hasil simulasi diatas dihasilkan grafik untuk melihat letak kategori *ride index* (Budiwantoro, 2018) pada setiap variasi terlihat pada Gambar 4.

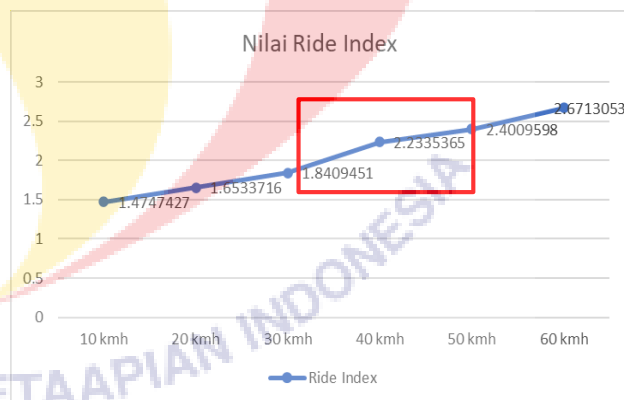


Gambar 7. Grafik nilai *ride index* terhadap kecepatan

Gambar 4. merupakan grafik dari nilai *ride index* terhadap kecepatan. Dapat diketahui bahwa letak variasi kecepatan 10 hingga 50 kmh berada pada zona hijau atau disebut kategori *good* (baik). Sedangkan letak variasi kecepatan 60 kmh berada pada zona kuning atau disebut kategori *satisfactory* (cukup baik). Berdasarkan grafik pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa semakin tinggi kecepatan dari suatu kereta maka tingkat kenyamanan penumpang semakin buruk atau tidak nyaman

4.2 Kecepatan Optimal

Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan dapat diketahui kecepatan optimal LRT Jabodebek saat melewati lengkungan *longspan* Kuningan (Farozy, 2021). Grafik kecepatan optimal terlihat pada Gambar 5.



Gambar 8. Grafik kecepatan optimal

Gambar 5. menunjukkan bahwa kecepatan optimal LRT Jabodebek berada di rentang kecepatan 30 hingga 40 kmh dikarenakan nilai *ride index* yang dihasilkan dari rentang kecepatan tersebut mendekati nilai yang disarankan dalam ISO 2631 (International Standard, 1997). Pada rentang kecepatan 30 hingga 40 kmh memiliki waktu tempuh yang efisien dikarenakan nilai *ride index* pada rentang kecepatan 30 hingga 40 kmh mendekati nilai 2. Dengan nilai *ride index* mendekati nilai 2 dan waktu tempuh yang efisien. Rentang kecepatan 30 hingga 40 kmh dapat disebut sebagai kecepatan optimal.

5 KESIMPULAN

Berdasarkan analisis hasil dari simulasi variasi kecepatan pada lengkungan *longspan* menggunakan metode *longitudinal train dynamic* disimpulkan dua hal berikut.

- a. Nilai data simulasi dengan 5 variasi kecepatan didapatkan nilai *ride index* berdasarkan ISO 2631 dengan menggunakan metode *longitudinal train dynamic*. Kecepatan LRT Jabodebek pada variasi 10 hingga 50 kmh telah memenuhi kriteria pada kategori good (baik) standar ISO 2631 (International Standard, 1997) dikarenakan nilai *ride index* masih dibawah 2.5. Tetapi pada kecepatan 10 hingga 20 kmh terjadi perlambatan yang menyebabkan kereta berhenti, jadi tidak dapat masuk dalam rekomendasi kecepatan pada saat melewati lengkungan *longspan*. Sedangkan untuk kecepatan 60 kmh belum memenuhi kategori good (baik) dikarenakan nilai *ride index* lebih dari 2.5. Dan percepatan *longitudinal* pada seluruh variasi masih berada di kategori *not uncomfortable* nyaman menurut ISO 2631 (International Standard, 1997).
- b. Kecepatan optimal LRT Jabodebek berdasarkan nilai *ride index* pada hasil simulasi berada di rentang 30 hingga 40 kmh. Dikarenakan nilai *ride index* pada kecepatan 30 kmh dan 40 kmh mendekati nilai 2 atau kategori good (baik). Jadi kecepatan pada rentang 30 hingga 40 kmh dapat dijadikan kecepatan rekomendasi pada saat operasional LRT Jabodebek.

REFERENSI

- Budiwanto, B., Masyhur, A. H., & Suganda, I. (2018). Testing of dynamic characteristic and comfort of Indonesia automated people mover from Bandung. *AIP Conference Proceedings*, 1977(June 2018). <https://doi.org/10.1063/1.5042985>
- Fajrul Amin, E. P. (2016). *Analisis Pengaruh Korugasi Pada Lengkung Lintas Stasiun Fatmawati Terhadap Ride Index Dan Usia Pakai Rel*. 1(July), 1–23.

- International Standard (1997). ISO 2631-1. Mechanical Vibration and Shock – Evaluation of human exposure to whole body vibration.
- Menteri Perhubungan (2017). KP 765. Penetapan Kriteria Desain Dan Spesifikasi Teknis Pembangunan Kereta Api Ringan / *Light Rail Transit* (LRT) Jabodebek
- Farozy, I. H. (2021). *Konstruksi Longspan LRT Jabodebek*.
- K. V. Gangadharan (2020). Experimental and Analytical Ride Comfort Evaluation of a Railway Coach.
- Lamma, M. (2013). Test Drive Result Of Ride Index Development System At Dynamic Test.
- Sharma, S. K., & Kumar, A. (2017). Impact of electric locomotive traction of the passenger vehicle Ride quality in longitudinal train dynamics in the context of Indian railways. *Mechanics and Industry*, 18(2). <https://doi.org/10.1051/meca/2016047>
- Simon Iwnicki, Maksym Spiriyagin, Colin Cole, T. M. (2019). *Handbook of Railway Vehicle Dynamic*.
- Abdullah, M. (2017). Fisika Dasar. <https://doi.org/10.4324/9780429279034-1>
- INKA. (2020). *Spesifikasi Lrt Jabodebek*. <https://www.inka.co.id/product/view/76>
- James, S. S., Anderson, S. R., & Lio, M. Da. (2020). Longitudinal Vehicle Dynamics: A Comparison Of Physical And Data-Driven Models Under Large-Scale Real-World Driving Conditions. *Ieee Access*, 8, 73714–73729. <https://doi.org/10.1109/access.2020.2988592>
- Subyanto, M. (1977). *Dinamika Kendaraan Rel*.
- Udemy. (2020). *Longitudinal Train Dynamic*. <https://www.udemy.com/course/rail-vehicle-engineering-101/learn/lecture/5664814#overview>
- Uyulan, C., & Arslan, E. (2020). Simulation And Time-Frequency Analysis Of The Longitudinal Train Dynamics Coupled With A Nonlinear Friction Draft Gear. *Nonlinear Engineering*, 9(1). <https://doi.org/10.1515/nleng-2020-0003>
- Wu, Q. (2015). *Rolling Resistance Curve*. https://www.researchgate.net/figure/longitudinal-train-dynamics-assume-that-there-are-i-i-i-i-3-vehicles-in-the_fig3_301887574
- Baharuddin, Musthofa (2018). Evaluasi Pengaruh Lengkung Kereta Api Di Km.1+065-Km.1+279 Terhadap Kecepatan Kereta Api. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.