

Analisis Jarak Pengereman Laju Kereta Api untuk Mencapai Kecepatan Minimum Pada Saat *Emergency on Track*

Wahyu Adi Pratama¹, Yudhi Arnandha², Evi Puspitasari³
Program Studi Teknik Sipil, Universitas Tidar, Magelang
Email: wahyuadi441@gmail.com

ABSTRAK

Proses perjalanan lalu lintas kereta api tentu tidak mungkin bisa lepas dari kemungkinan adanya permasalahan baik itu di lapangan maupun di track kereta api tersebut. Tentunya hal tersebut bersifat emergency bagi lalu lintas kereta api. Pada dasarnya kereta api tidak bisa melakukan pengereman secara mendadak karena kereta api membutuhkan jarak yang relatif jauh untuk dapat melakukan pengereman secara efektif sehingga terlambatnya kereta api dalam melakukan pengereman saat kondisi emergency tersebut dapat berpotensi kecelakaan. Untuk mengetahui jarak pengereman kereta api, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Minden. Penelitian ini membahas tentang jarak pengereman dengan beberapa macam tipe lokomotif dengan rangkaian kereta penumpang maupun gerbong barang sampai berhenti yang dihitung dengan persamaan Minden, serta menghitung jarak perlambatan untuk melintas dengan kecepatan aman yaitu antara 5 km/jam sampai dengan 30 km/jam. Hasil dari perhitungan tersebut ditampilkan dalam grafik.

Kata kunci: Persamaan Minden, Pengereman, Kereta Api

ABSTRACT

Process traffic of train can't be separated from any problem on surrounded area or it's track. Course that is an emergency situation for the train's traffic. Basically, the trains can't doing a hard braking with sudden because a trains require relative long distance to be able to brake effectively so the delayed in trains braking during this emergency situation potentially can be making an accident. To find out of train braking distance, it can be calculated with Minden's equation. The writing of this research discusses braking distance with several types of locomotives with the series of passenger trains nor boxcar until it stops that is calculated by Minden equation, and calculates deceleration distance for passing at a safe speed, between 5 km / hour to 30 km / hour. The results of that calculation are displayed in the graph.

Keywords: *Minden's Equation, Braking, Train*

Pendahuluan

Indonesia sebagai negara berpenduduk 200 juta jiwa lebih sangat membutuhkan moda transportasi masal seperti kereta api. Menurut Hapsoro (2005) dalam Aditya (2017) popularitas moda transportasi kereta api ini semakin meningkat karena kereta api memiliki beberapa keunggulan dibanding moda transportasi lain seperti kehandalandalam hal keselamatan perjalanan, ketepatan waktu, lebih minim polusi dan kebisingan minimal serta memiliki kapasitas angkut yang besar serta memiliki harga yang terjangkau. Oleh karena itu, setiap sarana dan prasarana harus direncanakan untuk kapasitas yang akan datang., dalam lalu lintas jalan raya maupun jalan rel tentu tidak bisa lepas dari terjadinya masalah. Dari adanya permasalahan tersebut, tentu akan mengakibatkan suatu kondisi yang sifatnya *emergency on track*. Hal yang sifatnya *emergency* tersebut dapat terjadi pada sarana dan prasarana penunjang lalu lintas kereta api seperti persilangan, jembatan, *box culvert*, viaduk, dan lainnya.

Menurut Peraturan Menteri Perhubungan PM Nomor 60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api merupakan beban yang diterima oleh jalan rel dari satu buah gandar pada suatu rangkaian kereta api. Beban gandar maksimal untuk rel dengan lebar 1067 mm adalah sebesar 18 ton dan lebar 1435 sebesar 22,5 ton.

Menurut Atmaja (2013), masyarakat memberikan beberapa parameter pertimbangan dalam pemilihan moda angkutan. Berikut ini adalah beberapa pertimbangan yang biasanya digunakan oleh masyarakat dalam memilih moda angkutan, khususnya pertimbangan pemilihan angkutan kereta api dibandingkan dengan moda lainnya.

1. Kecepatan dan waktu tempuh (*travel time*), merupakan faktor yang banyak dituntut oleh masyarakat terutama pada komunitas bermobilitas tinggi
2. Ketepatan waktu dapat diinterpretasikan sebagai indikator ketepatan keberangkatan dan kedatangan suatu moda transportasi
3. Kemudahan lebih difokuskan pada kepastian pengguna jasa transportasi untuk mendapatkan pelayanan yang baik, seperti tiket, fasilitas komunikasi, fasilitas tempat tunggu, jadwal perjalanan, ketersediaan hotel atau tempat istirahat dan restoran (kafetaria)
4. Kenyaman perjalanan dapat diukur dari kenyamanan penumpang dalam menggunakan moda tersebut mulai dari saat menunggu sampai ke tempat tujuan. Kenyamanan juga merupakan salah satu fungsi dari ketersediaan dan kemudahan pelayanan yang diberikan dalam moda angkutan termasuk fasilitas dan prasarana pendukung.

Dalam perhitungan, digunakan spesifikasi pembebanan untuk lebar jalan rel 1067 mm yang pada semua kelas jalur memiliki kapasitas beban maksimal sebesar 18 ton. Untuk beban gandar maksimal kereta penumpang sebesar 15 ton dan gerbong barang 18 ton. Tipe lokomotif yang akan digunakan dalam perhitungan yaitu CC204, CC205, CC206 dan CC300 dengan rangkaian kereta penumpang dan gerbong barang. Panjang rangkaian yang akan dihitung untuk kereta penumpang yaitu 10 rangkaian sampai 14 rangkaian, dan gerbong barang sebanyak 10 rangkaian samapi 16 rangkaian. Setelah mendapatkan hasil jarak pengereman

sampai kereta benar-benar berhenti, akan dihitung jarak perlambatan yang dibutuhkan untuk melintas dengan kecepatan 5 km/jam sampai 30 km/jam.

Metode Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui jarak aman pengereman kereta api apabila terdapat permasalahan yang *emergency on track*. Untuk mendapatkan hasil tersebut, maka diperlukan tahapan dalam proses perhitungan yaitu sebagai berikut.

- Tahap pertama dari penelitian ini yaitu identifikasi masalah tentang berapa perlambatan laju dan jarak aman pengereman untuk kereta api pada saat melakukan pengereman agar aman dan efektif.
- Tahap pertama dari proses penelitian ini yaitu tinjauan pustaka dengan cara melakukan beberapa *review* terhadap *text book*, *e-book*, makalah maupun jurnal yang berkaitan dengan kereta api.
- Pada tahap ini adalah pelaksanaan pengumpulan data tentang kereta api dan bebannya. Salah satu sumber berkaitan dengan data spesifikasi teknis kereta api antara lain PT KAI Sarana Gerbong dan PT Inka.
- Melakukan analisis dari data yang telah diperoleh dengan literasi yang sesuai penggunaan teori dan persamaan. Pada tahap ini, dari seluruh data yang terkumpul akan dianalisis berdasarkan beban tonase sesuai jenis kereta dan persamaan yang ada.
- Pada tahap ini, dilakukan perhitungan secara konvensional dari hasil analisis data yang diperoleh. Pada tahap ini dilakukan perhitungan konvensional dengan persamaan dari Minden tentang jarak pengereman.
- Hasil dari perhitungan konvensional yang telah dilaksanakan sebelumnya selanjutnya dibuat dalam bentuk grafik dan tabel.
- Pada tahap ini akan ditarik suatu kesimpulan berdasarkan hasil analisis dan perhitungan.

Hasil dan Pembahasan

Penggunaan rumus persamaan Minden pada perhitungan jarak pengereman kereta api digunakan untuk menghitung jarak pengereman kereta api sampai kereta tersebut benar-benar pada kecepatan 0 km/jam atau hingga berhenti.

Persamaan untuk kereta penumpang :

$$L = \frac{3,85.V^2}{6,1.\Psi.(1+\lambda_r/10)\pm i_r} \quad (1)$$

Persamaan untuk gerbong barang :

$$L = \frac{3,85.V^2}{5,1.\Psi.\sqrt{\lambda_r} - 5 \pm i_r} \quad (2)$$

Dimana:

- V = Kecepatan kereta api dalam km/jam
 λ = Prosentase pengereman (%)
 i = Lereng/kemiringan (%)
 Ψ = Faktor kecepatan dan jenis rem
 $i_r = C_i \cdot I$
 C_i = Faktor koreksi tanjakan
 $\lambda_r = C_1 \cdot \lambda$
 C_1 = Faktor koreksi panjang rangkaian

Tabel 1. Nilai Ψ

Kecepatan (V) km/jam	Rem Posisi (R atau P)	Rem Posisi (G)
40	0,84	0,85
50	0,90	0,92
60	0,94	0,97
70	0,96	1,00
80	0,99	1,06
90	1,00	1,06
100	1,00	-

Tabel 2. Nilai C_1

Rem Posisi R/P	Jumlah Gandar	$n \leq 24$	$24 \leq n \leq 48$	$48 \leq n \leq 60$	$60 \leq n \leq 80$	$80 \leq n \leq 100$
	C_1	1,10	1,05	1,0	0,97	0,92
Rem Posisi G	Jumlah Gandar	$n \leq 40$	$40 \leq n \leq 80$	$80 \leq n \leq 100$	$100 \leq n \leq 120$	$120 \leq n \leq 150$
	C_1	1,12	1,06	1,0	0,95	0,9

Tabel 3. Nilai C_i

Kecepatan (V) km/jam	40	50	60	70	80	90	100
Rem Posisi R/P	0,77	0,81	0,84	0,87	0,89	0,90	0,90
Rem Posisi G	0,66	0,68	0,70	0,72	0,74	0,75	-

Persamaan Minden digunakan untuk menghitung jarak pengereman sampai kereta benar-benar berhenti berdasarkan jumlah dan jenis rangkaian yang ditarik lokomotif. Tabel 1 merupakan nilai hubungan antara kecepatan dan rem yang digunakan sesuai kecepatan melintas dalam perhitungan. Tabel 2 merupakan faktor koreksi jumlah gandar, semakin panjang rangkaian maka semakin banyak jumlah gandar tersebut. Tabel 3 merupakan faktor koreksi kemiringan lereng.

1. Perhitungan untuk kereta penumpang :
 - a. Lokomotif CC 206 melaju dengan kecepatan 100 km/jam
 - b. Berat lokomotif yaitu 90 ton, dengan beban gandar maksimal 15 ton
 - c. Jumlah rangkaian sebanyak 10 kereta penumpang dengan beban gandar maksimal masing-masing yaitu 14 ton

Perhitungan beban :

- a. Berat setiap kereta penumpang = 14 ton x 4 gandar = 56 ton
- b. Berat total kereta penumpang = 56 ton x 10 = 560 ton
- c. Berat total seluruh rangkaian (G)= 560 ton + 90 ton = 650 ton

Perhitungan jumlah gandar yang bekerja

- a. Jumlah gandar tiap kereta penumpang = 4 gandar
- b. Jumlah gandar lokomotif CC 206 = 6 gandar
- c. Jumlah gandar total = (4 gandar x 10) + 6 gandar= 46 gandar (Tabel C1 : 1,05)
- d. Persentase pengereman (λ)= 85%
- e. Kontur jalan datar
- f. Nilai faktor kecepatan (Ψ) untuk 100 km/jam yaitu 1
- g. Berat pengereman (B) = Berat tiap kereta x λ = 56 ton x 0,85 = 47,6 ton/kereta
- h. Berat pengereman total (Bt) = 47,6 ton/kereta x 10 = 476 ton

$$\lambda_{r1} = \frac{Bt}{G} \times 100 = \frac{476 \text{ ton}}{650 \text{ ton}} \times 100 = 73,23$$

$$L = \frac{3,85.V^2}{6,1.\Psi.(1+\lambda_r/10)^{\pm i_r}} = \frac{3,85.100^2}{6,1.1.(1+\frac{1,05.73,23}{10})^{\pm i_r}} = 726,36 \text{ m}$$

2. Perhitungan untuk gerbong barang
 - a. Lokomotif CC 206 melaju dengan kecepatan 90 km/jam
 - b. Berat lokomotif yaitu 90 ton, dengan beban gandar maksimal 15 ton
 - c. Jumlah rangkaian sebanyak 10 gerbong barang dengan beban gandar maksimal masing-masing yaitu 18 ton

Perhitungan beban :

- a. Berat setiap gerbong barang = 18 ton x 4 gandar = 72 ton
- b. Berat total gerbong barang = 72 ton x 10 = 720 ton
- c. Berat total seluruh rangkaian (G) = 720 ton + 90 ton = 810 ton

Perhitungan jumlah gandar yang bekerja

- a. Jumlah gandar tiap gerbong barang = 4 gandar
- b. Jumlah gandar lokomotif CC 206 = 6 gandar
- c. Jumlah gandar total= (4 gandar x 10) + 6 gandar= 46 gandar (Tabel C1 : 1,06)
- d. Persentase pengereman (λ)= 85%

Kontur jalan datar

- a. Nilai faktor kecepatan (Ψ) untuk 90 km/jam yaitu 1,060
- b. Berat pengereman (B)= Berat tiap kereta x λ = 72 ton x 0,85 = 61,2 ton/kereta
- c. Berat pengereman total (Bt)= 61,2 ton/kereta x 10 = 612 ton

$$\lambda_{r1} = \frac{Bt}{G} \times 100 = \frac{612 \text{ ton}}{810 \text{ ton}} \times 100 = 75,55$$

$$L = \frac{3,85.V^2}{5,1.\Psi.\sqrt{(\lambda_r)-5} \pm i_r} = \frac{3,85 \times 90^2}{5,1 \times 1,06 \sqrt{(1,06 \times 75,55) - 5}} = 665,7 \text{ m}$$

Dari perhitungan konvensional diatas, keseluruhan tipe lokomotif beserta kombinasi rangkaian kereta penumpang dan gerbong barang dihitung secara menyeluruh sehingga didapatkan hasil jarak pengereman kereta api hingga berhenti dari berbagai kombinasi tipe lokomotif dengan rangkaian kereta penumpang dan gerbong barang.

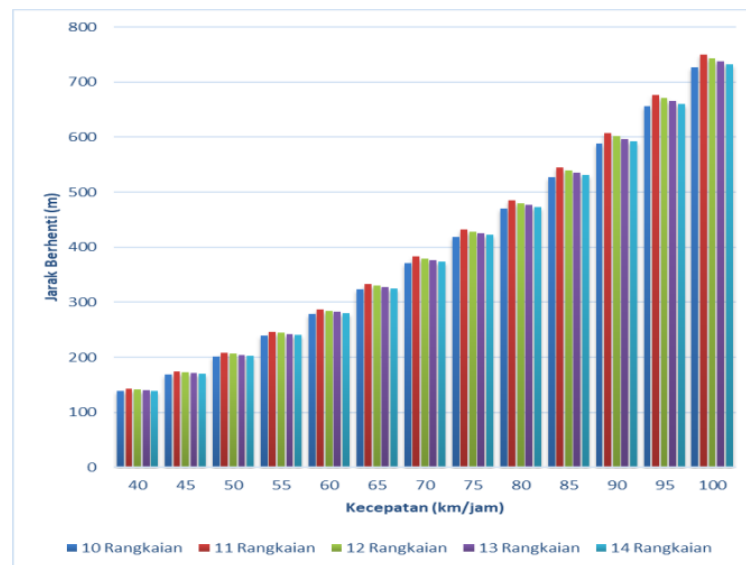
Tabel 4. Rekapitulasi Perhitungan Jarak Pengereman Kereta Api

No.	Jenis Rangkaian	Type Lokomotif	Jumlah Rangkaian	Jarak Pengereman (m)												
				40 km/j	45 km/j	50 km/j	55 km/j	60 km/j	65 km/j	70 km/j	75 km/j	80 km/j	85 km/j	90 km/j	95 km/j	100 km/j
1	Kereta Penumpang	CC 206	10.00	138.35	169.07	201.77	238.83	278.18	323.04	370.74	419.05	469.56	527.43	588.35	655.54	726.36
			11.00	142.84	174.55	208.31	246.57	287.20	333.51	382.76	432.63	484.78	544.52	607.42	676.78	749.90
			12.00	141.50	172.91	206.35	244.26	284.50	330.38	379.17	428.58	480.24	539.42	601.73	670.44	742.87
			13.00	140.36	171.52	204.70	242.30	282.22	327.73	376.13	425.14	476.39	535.09	596.90	665.06	736.91
			14.00	139.39	170.33	203.27	240.62	280.26	325.45	373.52	422.19	473.08	531.37	592.75	660.44	731.79
			10.00	137.22	167.68	200.12	236.88	275.90	320.40	367.71	415.62	465.72	523.12	583.54	650.18	720.42
		CC 300	11.00	141.77	173.24	206.74	244.72	285.04	331.01	379.89	429.39	481.15	540.44	602.86	671.71	744.28
			12.00	140.52	171.71	204.92	242.56	282.53	328.08	376.54	425.60	476.90	535.67	597.54	665.78	737.70
			13.00	139.45	170.41	203.37	240.73	280.39	325.61	373.69	422.38	473.30	531.62	593.03	660.75	732.13
			14.00	138.54	169.30	202.04	239.15	278.56	323.48	371.25	419.62	470.20	528.15	589.15	656.43	727.34
		CC 205	10.00	141.73	173.20	206.69	244.66	284.97	330.93	379.80	429.29	481.03	540.31	602.72	671.55	744.10
			11.00	146.04	178.46	212.97	252.09	293.63	340.98	391.33	442.32	495.64	556.72	621.02	691.94	766.70
			12.00	144.44	176.50	210.64	249.34	290.42	337.25	387.05	437.49	490.22	550.63	614.23	684.38	758.31
			13.00	143.08	174.85	208.67	247.00	287.69	334.08	383.42	433.38	485.62	545.47	608.47	677.95	751.19
			14.00	141.92	173.42	206.97	244.99	285.35	331.37	380.30	429.85	481.67	541.03	603.52	672.44	745.08
			10.00	137.98	168.61	201.22	238.18	277.42	322.16	369.73	417.91	468.28	525.99	586.75	653.75	724.38
		CC 204	11.00	142.48	174.11	207.79	245.95	286.48	332.68	381.81	431.55	483.57	543.17	605.90	675.09	748.03
			12.00	141.17	172.51	205.87	243.69	283.84	329.62	378.30	427.59	479.13	538.17	600.33	668.89	741.15
			13.00	140.06	171.15	204.25	241.78	281.61	327.02	375.32	424.22	475.36	533.94	595.61	663.62	735.32
			14.00	139.11	169.99	202.86	240.13	279.69	324.80	372.76	421.33	472.12	530.30	591.55	659.10	730.31

Hasil dari perhitungan jarak pengereman dibuat grafik untuk melihat fluktuasi kenaikan dan penurunan jarak pengereman yang dihasilkan pada perhitungan.

No.	Jenis Rangkaian	Tipe Lokomotif	Jumlah Rangkaian	Jarak Pengereman (m)												
				40 km/j	45 km/j	50 km/j	55 km/j	60 km/j	65 km/j	70 km/j	75 km/j	80 km/j	85 km/j	90 km/j	95 km/j	100 km/j
2	Gerbong Barang	CC 206	10.00	163.98	199.34	236.73	278.87	323.32	373.67	426.87	475.76	525.99	593.79	665.71	741.11	
			11.00	163.10	198.26	235.45	277.36	321.58	371.66	424.57	473.19	523.15	590.59	662.11	736.71	
			12.00	162.36	197.36	234.38	276.10	320.12	369.64	422.44	471.08	520.78	587.91	659.11	733.71	
			13.00	161.73	196.60	233.48	275.03	318.88	368.42	421.49	469.24	518.76	585.63	656.11	730.71	
			14.00	161.19	195.94	232.70	274.11	317.81	367.31	419.60	467.65	517.03	583.67	654.11	727.71	
			15.00	160.72	195.37	232.02	273.32	316.89	366.24	418.38	466.29	515.52	581.98	652.11	724.71	
							7	2	2	9	24	38	9	2	8	46

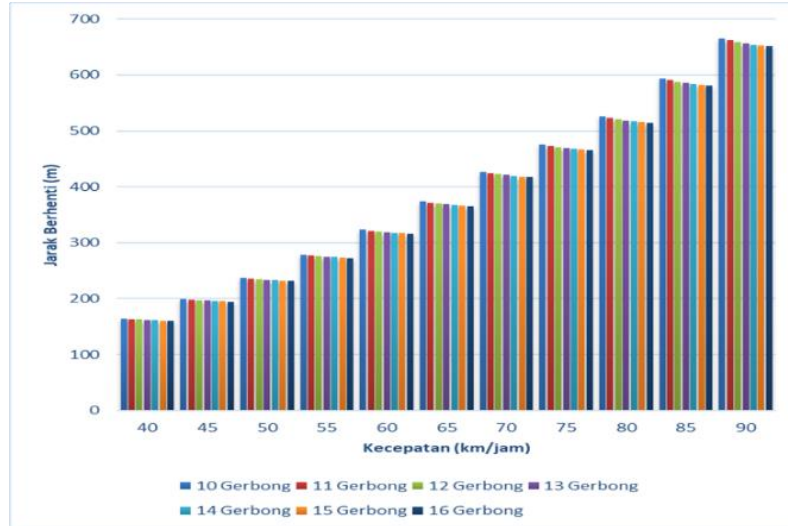
CC 300	16.00	160.31	194.8	231.4	272.6	316.0	365.	417.	465.1	514.2	580.4	650.
			7	3	2	7	30	31	0	0	9	79
	10.00	163.34	198.5	235.7	277.7	322.0	372.	425.	473.8	523.9	591.4	663.
			5	9	6	4	20	18	8	1	4	07
	11.00	162.51	197.5	234.6	276.3	320.4	370.	423.	471.4	521.2	588.4	659.
			4	0	5	1	31	03	7	5	4	71
	12.00	161.81	196.7	233.6	275.1	319.0	368.	421.	469.4	519.0	585.9	656.
			0	0	8	4	73	22	6	3	3	90
	13.00	161.23	195.9	232.7	274.1	317.8	367.	419.	467.7	517.1	583.8	654.
			8	5	8	8	39	69	6	4	1	51
14.00	160.72	195.3	232.0	273.3	316.8	366.	418.	466.2	515.5	581.9	652.	
		7	2	2	9	24	38	9	2	8	46	
15.00	160.28	194.8	231.3	272.5	316.0	365.	417.	465.0	514.1	580.3	650.	
		3	9	7	2	24	24	2	1	9	68	
16.00	159.90	194.3	230.8	271.9	315.2	364.	416.	463.9	512.8	578.9	649.	
		7	3	2	6	36	23	0	8	9	11	
10.00	165.92	201.6	239.5	282.1	327.1	378.	431.	481.3	532.2	600.8	673.	
		9	2	6	4	08	91	7	0	0	56	
11.00	164.87	200.4	238.0	280.3	325.0	375.	429.	478.3	528.8	596.9	669.	
		1	0	7	6	68	17	2	2	8	28	
12.00	163.98	199.3	236.7	278.8	323.3	373.	426.	475.7	525.9	593.7	665.	
		4	3	7	2	67	87	6	9	9	71	
13.00	163.24	198.4	235.6	277.5	321.8	371.	424.	473.5	523.5	591.0	662.	
		3	5	9	4	97	92	9	9	8	67	
14.00	162.59	197.6	234.7	276.5	320.5	370.	423.	471.7	521.5	588.7	660.	
		4	2	0	8	50	25	2	2	5	05	
15.00	162.03	196.9	233.9	275.5	319.4	369.	421.	470.1	519.7	586.7	657.	
		6	1	5	7	23	79	0	3	2	78	
16.00	161.54	196.3	233.2	274.7	318.5	368.	420.	468.6	518.1	584.9	655.	
		7	0	1	0	11	51	7	5	5	79	



Gambar 1. Grafik Jarak Pengereman Kereta Penumpang

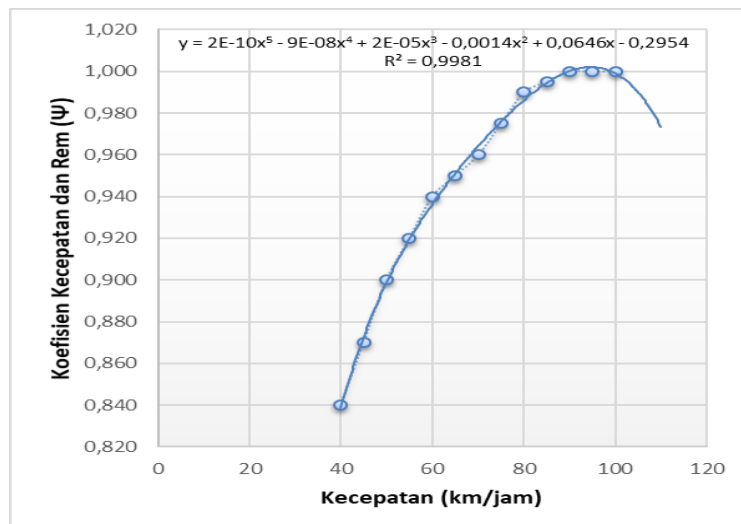
Gambar 1 menampilkan hubungan antara kecepatan melintas dengan jarak pengereman yang dibutuhkan berdasarkan banyaknya jumlah rangkaian. Semakin tinggi kecepatan melintas maka semakin jauh pula jarak pengereman yang dibutuhkan. Penambahan jarak pengereman tersebut tidak berlaku pada adanya penambahan jumlah rangkaian. Didapatkan hasil bahwa perhitungan dengan persamaan Minden mendapatkan hasil jarak pengereman terjauh pada 11 rangkaian. Adanya fluktuasi kenaikan dan penurunan hasil pada perhitungan

dipengaruhi oleh nilai koefisien pengereman (Ψ) dan faktor koreksi jumlah rangkaian (C_1) karena fungsinya sebagai faktor perbagi.

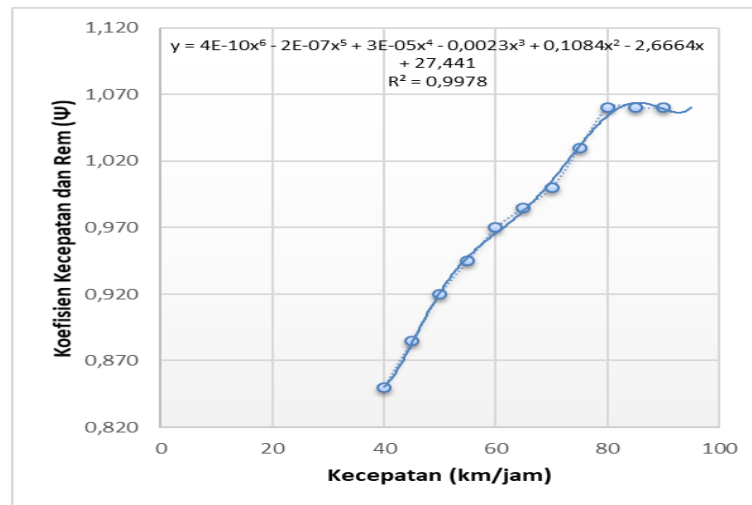


Gambar 2. Grafik Jarak Pengereman Gerbong Barang

Gambar 2 menampilkan hubungan antara kecepatan melintas dengan jarak pengereman untuk gerbong barang. Diperoleh hasil bahwa semakin tinggi kecepatan melintas, maka semakin jauh jarak pengereman yang dibutuhkan. Namun apabila dilihat hubungan antara penambahan jumlah rangkaian dengan jarak pengereman maka hal tersebut tidak berbanding lurus. Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa semakin panjang jumlah rangkaian, dengan kecepatan yang sama maka jarak pengereman tersebut akan mengalami penurunan



Gambar 3. Trendline koefisien pengereman kereta penumpang



Gambar 4. Trendline koefisien pengereman gerbong barang

Semakin tinggi kecepatan, maka semakin besar nilai koefisien pengereman (Ψ) yang digunakan. Dari hasil analisis trendline didapatkan hasil bahwa pada periode tertentu nilai koefisien tersebut akan mengalami penurunan. Pada koreksi jumlah gandar (C1), semakin panjang rangkaian maka semakin kecil koefisien yang digunakan.

Menurut Shcrader (2007), adanya fluktuasi kenaikan dan penurunan jarak pengereman dikarenakan adanya koefisien gesekan pada kampas rem akibat beban dari kombinasi antara kecepatan dan peningkatan tekanan panas yang sangat tinggi sehingga menyebabkan pelunakan kampas rem. Beban dari kombinasi tersebut yang menyebabkan hasil dari cengkraman kampas menjadi lebih kuat, bahkan karena tingginya panas yang dihasilkan.

Jarak pengereman kereta api sampai kereta benar-benar berhenti dari perhitungan persamaan Minden selanjutnya digunakan untuk menghitung jarak perlambatan yang dibutuhkan kereta api untuk melintas pada kecepatan 5 km/jam sampai 30 km/jam menggunakan metode konsep gerak dengan percepatan kostan. Berikut adalah contoh perhitungan jarak perlambatan. Kereta melintas dengan kecepatan 100 km/jam membutuhkan jarak sejauh 756,26 meter untuk berhenti. Dari data tersebut dapat dihitung jarak perlambatan untuk melaju pada kecepatan 30 km/jam.

Kondisi I

$$\begin{aligned}
 St_1 &= 756,26 \text{ meter} \\
 V_0 &= 1000 \text{ km/jam} \\
 V_{t1} &= 0 \text{ km/jam} \\
 V_{t2} &= V_0^2 - 2 \cdot a \cdot St_1 \\
 V_0^2 &= 100^2 - 2 \cdot a \cdot 756,26 \\
 a &= -6,611 \text{ m/s}^2
 \end{aligned}$$

Kondisi II

$$\begin{aligned}
 V_0 &= 100 \text{ km/jam} \\
 V_{t2} &= 30 \text{ km/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a &= -6,611 \text{ m/s}^2 \\
 V_{t_2} &= V_0^2 - 2.a.St_2 \\
 30^2 &= 100^2 - 2.(-6,611).St_2 \\
 S &= 688,19 \text{ meter}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan jarak perlambatan dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6 berikut ini.

Tabel 5. Jarak Perlambatan Kereta Penumpang

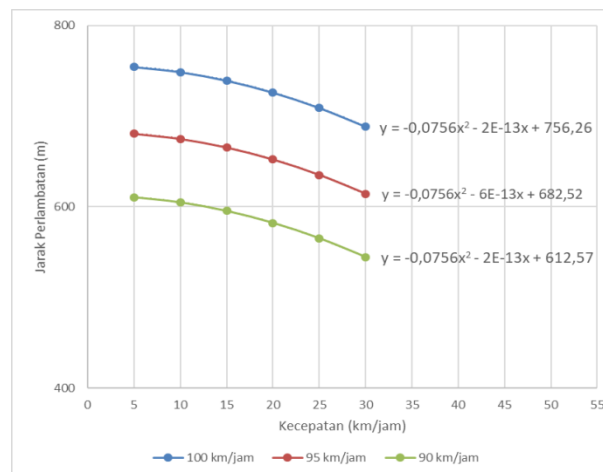
No.	Kecepatan Awal (Vt) (km/jam)	Kecepatan Akhir (V0) (km/jam)	St1 (m)	Perlambatan (a) (m/s ²)	St2 (m)
1	100	5	756.26	6.611483	754.3694
		10	756.26	6.611483	748.6974
		15	756.26	6.611483	739.2442
		20	756.26	6.611483	726.0096
		25	756.26	6.611483	708.9938
		30	756.26	6.611483	688.1966
2	95	5	682.52	6.611528	680.6294
		10	682.52	6.611528	674.9575
		15	682.52	6.611528	665.5043
		20	682.52	6.611528	652.2698
		25	682.52	6.611528	635.2541
		30	682.52	6.611528	614.4571
3	90	5	612.57	6.611489	610.6794
		10	612.57	6.611489	605.0074
		15	612.57	6.611489	595.5542
		20	612.57	6.611489	582.3196
		25	612.57	6.611489	565.3038
		30	612.57	6.611489	544.5067

Tabel 6. Jarak Perlambatan Gerbong Barang

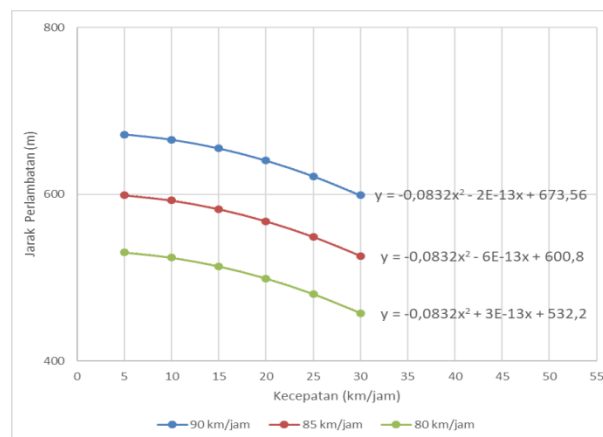
No.	Kecepatan Awal (Vt) (km/jam)	Kecepatan Akhir (V0) (km/jam)	St1 (m)	Perlambatan (a) (m/s ²)	St2 (m)
1	90	5	673.56	6.012827	671.4811
		10	673.56	6.012827	665.2444
		15	673.56	6.012827	654.8500
		20	673.56	6.012827	640.2978
		25	673.56	6.012827	621.5878
		30	673.56	6.012827	598.7200

2	85	5	600.8	6.012816	598.7211
		10	600.8	6.012816	592.4844
		15	600.8	6.012816	582.0900
		20	600.8	6.012816	567.5377
		25	600.8	6.012816	548.8277
		30	600.8	6.012816	525.9599
3	80	5	532.2	6.012777	530.1211
		10	532.2	6.012777	523.8844
		15	532.2	6.012777	513.4898
		20	532.2	6.012777	498.9375
		25	532.2	6.012777	480.2273
		30	532.2	6.012777	457.3594

Hasil dari perhitungan jarak perlambatan jalu kereta api selanjutnya dianalisis dengan trendline untuk mendapatkan persamaan matematis berkaitan dengan jarak perlambatan.



Gambar 4. Jarak Perlambatan Kereta Penumpang



Gambar 5. Jarak Perlambatan Gerbong Barang

Hasil dari perhitungan jarak perlambatan laju kereta api pada Tabel 5 dan Tabel 6 dapat diterapkan dilapangan apabila dalam suatu perjalanan kereta api terdapat kondisi dimana kereta tersebut harus menurunkan kecepatan ke angka tertentu dengan cara memasang rambu darurat sebelum titik dimana kereta harus melintas dengan kecepatan yang relatif rendah disesuaikan dengan jarak perlambatan yang dibutuhkan. Dengan adanya pemasangan rambu darurat dengan jarak yang sesuai, dapat menggantikan peran petugas pemberi rambu darurat di stasiun terdekat.

Simpulan

Hasil perhitungan jarak pengereman kereta menggunakan persamaan Minden menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan melintas maka semakin jauh jarak pengereman yang dibutuhkan. Namun, apabila dilihat dari penambahan jumlah rangkaian antara kereta penumpang maupun gerbong barang menunjukkan pola hasil akhir yang berbeda. Pada kereta penumpang, setiap ada penambahan jumlah rangkaian jarak pengereman tersebut tidak berbanding lurus dengan penambahan jumlah rangkaian. Hal tersebut dikarenakan adanya faktor koreksi jumlah rangkaian (C_1). Pada gerbong barang, setiap ada penambahan jumlah rangkaian jarak pengereman tersebut akan berbanding terbalik dengan penambahan jumlah rangkaian tersebut. Pada perhitungan hasil perlambatan, diperoleh hasil bahwa semakin rendah kecepatan yang akan dituju maka semakin jauh jarak perlambatan yang dibutuhkan untuk melakukan pengereman sehingga kereta dapat melaju pada kecepatan rencana.

Daftar Pustaka

- Aditya, R., 2017. Tugas Makalah Riset Oprasir Makalah Tugas 2 dan 3 (Moda Transportasi). Universitas Gunadarma
- Atmaja, S. PJNN., 2015. Rekayasa Jalan Kereta Api. Yogyakarta: LP3M Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
- Association of American Railroads (AAR), 2017, National Rail Freight Infrastructure
- Barney, D., 2012. Calculating Train Braking Distance. Signal and Operational System Queensland Rail. Australian Computer Society, Inc. Australia. Volume 3, Nomor 1.
- Degrande, G., 2012. Free Field Vibrations During The Passage of a Thalys High-Speed Train at Variable Speed. Journal of Sound and Vibration. Belgium. Volume 247, Nomor 1.
- Faisal, Z., 2011. Soft Braking System Pada Roda Prototip Kereta Api Dengan Menggunakan Fuzzy Logic Controller [Thesis]. Semarang. Universitas Diponegoro.

- Galvin, P., 2014. Fully Three-dimensional Analysis of High-speed-train-track-soil-structure Dynamic Interaction. *Journal of Sound and Vibration*. Spain. Volume 329, Nomor 24.
- Pambudy, A., 2013. Analisis Display Sinyal Kereta Api di Stasiun Langen. *Jurnal Ilmiah, Keilmuan dan Penerapan Teknik Industri*. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Volume 1, Nomor 1.
- Peraturan Pemerintah Nomor 69 Tahun 1998 tentang Prasarana dan Sarana Kereta Api
- Praditha, E., 2012. Desain Dan Analisa Gerbong Kereta Api Pengangkut Batu Ballast Dengan Metode Elemen Hingga [thesis]. Semarang. Universitas Diponegoro. Republik Indonesia, 2012. Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api
- Prakosa, B., 2015. Tanggung Jawab Hukum Pt. Kereta Api Indonesia Terhadap Kerugian Penumpang Akibat Kecelakaan Kereta Api. Yogyakarta. Universitas Atma Jaya.
- Salim, A. 2014. Manajemen Transportasi, Jakarta: Radja Grafindo
- Schrader, Herman J., 2017. The Friction of Railway Brake Shoes at High Speed and High Pressure. *University of Illinois Bulletin*. Illinois. Volume XXXV, Nomor 72.