

ANALISIS LOKASI RAWAN KECELAKAAN REM BLONG

Regita Intan Permatasari
Program Studi Rekayasa Sistem
Transportasi Jalan
Politeknik Keselamatan
Transportasi Jalan
Jl. Perintis Kemerdekaan No.17,
Kota Tegal, Jawa Tengah
regitaintan2@gmail.com

Anton Budiharjo
Program Studi Rekayasa Sistem
Transportasi Jalan
Politeknik Keselamatan
Transportasi Jalan
Jl. Perintis Kemerdekaan No.17,
Kota Tegal, Jawa Tengah
anton@pktj.ac.id

Agus Budi Purwantoro
Program Studi Rekayasa Sistem
Transportasi Jalan
Politeknik Keselamatan
Transportasi Jalan
Jl. Perintis Kemerdekaan No.17,
Kota Tegal, Jawa Tengah
agusbp.88@gmail.com

Abstract

Repeated brake failure accidents occur on the Buntu-Banyumas Road section, which features a 1 km downhill geometric condition. The braking force required increases with a vehicle's weight, speed, and elevation. This research aims to identify the causes of brake failure accidents related to the long downhill geometric condition of the road. The methods include fault tree analysis, road accident mapping, and safe speed calculation. The data used have road geometric data, vehicle speed, and vehicle weight. The research findings indicate that brake failure accidents on the Buntu-Banyumas Road section are caused by driver behavior, repeatedly applying brakes on a road with a slope exceeding the critical maximum gradient, leading to overheating and brake failure. Road authorities must maintain guardrails, install speed limit signs, and implement emergency escape ramps.

Keywords: accident, fault tree analysis, road accident mapping.

Abstrak

Kecelakaan rem blong terjadi secara berulang pada ruas Jalan Buntu-Banyumas yang memiliki kondisi geometrik berupa turunan sepanjang 1 km. Semakin berat suatu kendaraan, semakin tinggi kecepatan kendaraan dan semakin tinggi posisi kendaraan maka semakin besar daya pengereman yang dibutuhkan. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui penyebab kecelakaan rem blong terkait dengan kondisi geometrik jalan berupa turunan panjang. Metode yang digunakan berupa *Fault Tree Analysis*, *Road Accident Mapping* dan perhitungan kecepatan aman. Data yang digunakan berupa data geometrik jalan, kecepatan kendaraan, dan berat kendaraan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penyebab kecelakaan rem blong pada ruas Jalan Raya Buntu-Banyumas disebabkan karena perilaku pengemudi yang melakukan pengereman secara berulang pada kondisi jalan yang menurun melebihi batas maksimal kelandaian kritis sehingga menimbulkan overheat dan rem blong. Penanggung jawab jalan perlu memelihara *guardrail*, pemasangan rambu batas kecepatan dan *emergency escape ramp*.

Kata-kata kunci: kecelakaan, rem blong, *fault tree analysis*, *road accident mapping*.

PENDAHULUAN

Kegagalan pengereman bisa disebabkan karena kondisi geometrik jalan, keterampilan atau pengetahuan pengemudi, dan kerusakan pada sistem pengereman (Off The Record.com, 2019). Kecelakaan rem blong pada ruas Jalan Raya Buntu-Banyumas tercatat selalu terjadi secara berulang tiap tahunnya. Salah satu kasus kecelakaan rem blong pada lokasi penelitian terjadi pada tanggal 4 Juli 2022 berupa kecelakaan truk *diesel double* dengan kejadian rem tiba-tiba tak berfungsi, kendaraan tidak bisa dikendalikan sampai menabrak *guardrail* dan masuk jurang sedalam 15 meter (Masitoh, 2022).

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini yakni untuk mengetahui penyebab

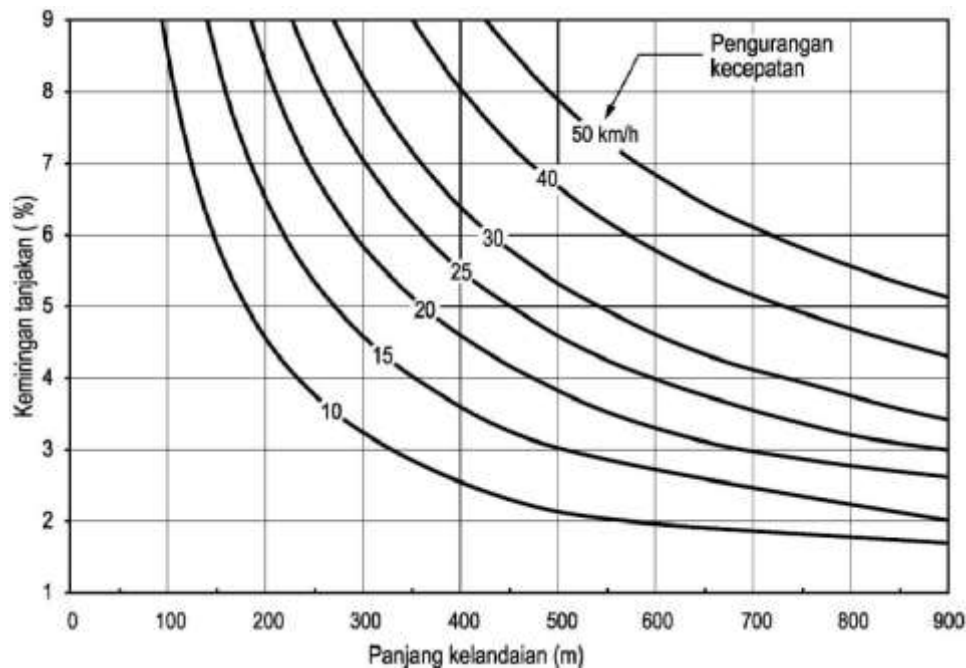
kecelakaan rem blong yang berkaitan dengan kondisi geometrik jalan berupa turunan panjang disertai dengan rekomendasi batas kecepatan aman yang disesuaikan dengan suhu maksimal kampas rem dan titik didih minyak rem. Lokasi penelitian hanya dilakukan pada ruas Jalan Raya Buntu-Banyumas sepanjang 1 km sebagai lokasi dengan jumlah kecelakaan terbanyak dan dengan kelandaian kritis terpanjang di wilayah Kabupaten Banyumas. Kendaraan yang diteliti berupa kendaraan truk dengan Jumlah Berat Bruto (JBB) kurang dari 7000 kg yang merupakan kendaraan yang paling sering terlibat dalam kecelakaan rem blong di ruas Jalan Raya Buntu-Banyumas.

Analisis lokasi rawan kecelakaan rem blong diharapkan bisa bermanfaat bagi semua pihak, dalam memberikan pengetahuan mengenai sistem pengereman dan kondisi geometrik jalan yang bisa menyebabkan kecelakaan. Sementara itu manfaat bagi penanggung jawab jalan adalah untuk memberikan informasi mengenai kondisi geometrik jalan, rambu dan perlengkapan jalan pada kondisi eksisting. Dengan mengetahui informasi tersebut, nantinya dapat merencanakan pemeliharaan serta penambahan rambu dan perlengkapan jalan lain yang pada akhirnya diharapkan dapat membantu untuk mencegah dan mengurangi kecelakaan rem blong, serta meminimalisir tingkat fatalitas kecelakaan rem blong apabila tetap terjadi.

METODE PENELITIAN

Alinyemen vertikal menggambarkan bentuk dari geometri jalan dalam arah vertikal, garis-garis alinyemen vertikal akan dituangkan pada bidang kertas gambar dan akan diperlihatkan ketinggian dari setiap titik dan bagian penting yang dimiliki suatu jalan. Gambar tersebut biasa disebut dengan penampang memanjang jalan dengan rangkaian garis-garis lurus yang satu sama lain akan dihubungkan dengan lengkung vertikal. Garis-garis lurus dalam penampang memanjang jalan dapat berupa jalan datar, mendaki, atau menurun. Jalan mendaki dan menurun disebut dengan landai jalan yang dapat dinyatakan dalam persen (%). Pendakian pada gambar rencana jalan dari kiri ke kanan diberi tanda (+) sedangkan penurunan diberi tanda (-) (Rees, 2021).

Panjang kelandaian kritis menggambarkan kelandaian maksimal di mana dalam kondisi truk dengan muatan penuh masih memiliki kemampuan untuk bergerak dengan jumlah penurunan kecepatan tidak lebih dari setengah kecepatan awal yang digunakan dengan tidak melakukan penurunan gigi atau pindah ke gigi rendah. Kelandaian maksimal yang disediakan berfungsi guna memberikan kekuatan pada kendaraan untuk mempertahankan kecepatannya sehingga penurunan kecepatan yang dialami tidak lebih dari kecepatan rencana. Istilah tersebut biasa disebut dengan panjang landai kritis. Apabila terkendala terkait biaya yang terbatas dan kondisi memaksa untuk melampaui panjang kritis maka hal itu diperbolehkan tetapi harus disediakan lajur pendakian khusus yang digunakan oleh kendaraan-kendaraan berat yang pada umumnya menggunakan kecepatan rendah sehingga tidak mengganggu kendaraan lain dan bisa mendahului tanpa menggunakan jalur lawan (Rees, 2021).



Gambar 1 Panjang Kelayakan Kritis

Pengurangan kecepatan truk dalam penentuan panjang kelayakan kritis direkomendasikan agar pengurangan hanya sebesar 15 sampai dengan 25 Km/jam. Tabel 1. menyajikan ringkasan panjang kelayakan kritis berdasarkan penurunan kecepatan sebesar 25 Km/jam (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2021).

Tabel 1 Panjang Kelayakan Kritis

Kelayakan Memanjang (%)	Panjang Kelayakan Kritis (m)
4	600
5	450
6	350
7	300
8	250
9	230
≥ 10	200

Sumber: PUPR, 2021

Energi yang terjadi pada kendaraan apabila berada di jalan menurun yaitu energi mekanik. Energi mekanik ini terdiri dari energi potensial dan kinetik (Titin, 2004). Selain itu, terdapat beberapa hal yang saling berhubungan, antara lain usaha yang diperoleh dari perkalian gaya dan perpindahan, perlambatan, serta kalor (Noerdin, 2007).

- 1) Energi kinetik (E_k dalam *Joule*) berdasarkan persamaan (1) dengan m (kg) adalah massa dan v (m/s) adalah kecepatan:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \tag{1}$$

- 2) Energi potensial (E_p dalam *Joule*), berdasarkan persamaan (2) dengan g adalah percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$) dan h (m) adalah ketinggian objek:

$$E_p = m \cdot g \cdot h \quad (2)$$

3) Energi mekanik (E_m) dengan satuan *Joule*

$$E_m = E_k + E_p \quad (3)$$

4) Nilai gaya berdasarkan energi kinetik dan besaran usaha

$$E_k = W \text{ atau } \frac{1}{2} \cdot m v^2 = F \cdot s \quad (4)$$

5) Perlambatan dihitung dengan persamaan 5

$$F = m \cdot a \quad (5)$$

6) Kecepatan aman ditentukan dengan persamaan 6

$$a = \frac{(v_t - v_o)}{t} \quad (6)$$

7) Besaran suhu berdasarkan kecepatan aman terkait perubahan energi sesuai hukum Termodinamika I dihitung dengan persamaan 7

$$E_m = Q \quad (7)$$

8) Jumlah pengereman dengan suhu yang dihasilkan pada kecepatan aman

$$Q = C \rho \cdot m \cdot \Delta T \quad (8)$$

Kegagalan pengereman merupakan peristiwa berkurangnya atau bahkan hilangnya daya pengereman pada suatu kendaraan. Terdapat beberapa tanda atau indikator kegagalan pengereman yaitu waktu yang dibutuhkan untuk menghentikan kendaraan lebih lama dari sebelumnya, terdapat bunyi tertentu misalnya berdecit pada saat melakukan pengereman. Pengereman atau penekanan pada pedal rem terasa lebih dalam dari biasanya yang disebabkan oleh kampas rem aus, lampu indikator sistem rem menyala, adanya minyak rem yang bocor dan tercium bau benda terbakar pada saat mengemudi (Off The Record.com, 2019).



Gambar 2 Selang Rusak (Kiri) dan Selang Kondisi Baik (Kanan)



Gambar 3 *Master Cylinder* Rusak (Kiri) dan Kondisi Baik (Kanan)

Menurut Offtherecord.com (2019), kegagalan pengereman terbagi menjadi 3 yaitu *brake fading*, *vapor lock*, dan kualitas bagian sistem rem berupa selang rem dan *master cylinder* yang buruk, akan tetapi terdapat faktor pengetahuan juga, yang menjadi salah satu penyebab terjadinya kegagalan pengereman. *Brake fading* dan *vapor lock* bisa terjadi karena kondisi geometrik jalan yang berupa turunan panjang atau kelandaian maksimalnya melebihi batas dan juga keterampilan pengemudi yang kurang paham akan cara pengereman atau teknik pengereman pada jalan menurun misalnya menggunakan gigi tinggi dan terlalu banyak melakukan pengereman.



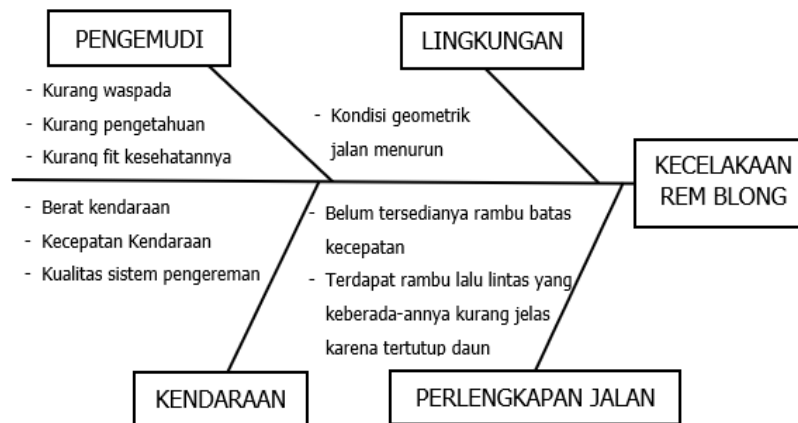
Gambar 4 Kampas Rem (Kiri) dan Minyak Rem (Kanan)

Brake fading terjadi karena kampas rem sudah kehilangan daya geseknya sehingga rem tidak berfungsi sedangkan *vapor lock* terjadi akibat adanya uap air yang mengendap pada selang rem yang menimbulkan angin palsu, sehingga waktu pedal rem diinjak tidak ada tenaga atau ngempos (Shelton, 2022). Uap air dihasilkan dari peristiwa mendidihnya minyak rem. Titik didih dipengaruhi oleh kandungan air yang ada pada minyak rem. Semakin banyak kandungan air pada minyak rem maka titik didihnya akan semakin rendah. Semakin lama minyak rem digunakan maka air yang terkandung akan semakin besar. Hal ini disebabkan minyak rem bersifat *higroskopis* atau dapat menyerap air di sekitarnya. Titik didih minyak rem DOT 3 yang paling sering digunakan pengemudi Truk JBB kurang dari 7.000 kg yakni sebesar 205°C (Erjavec, 2009).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Fault Tree Analysis

Metode ini dilakukan untuk mengetahui penyebab kecelakaan rem blong. Analisis menggunakan diagram *fishbone* dan *five why analysis* (Hanif et al., 2015), seperti dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Diagram *Fishbone*

Berdasarkan Diagram Fishbone, maka disusunlah lima pertanyaan sebagai analisis penyebab untuk menemukan akar permasalahan dari rem blong, seperti yang tersaji pada Tabel 2.

Tabel 2 *Five Why Analysis* Kasus Kecelakaan Rem Blong

No.	Pertanyaan	Jawaban
1.	Mengapa kecelakaan rem blong bisa terjadi?	Kondisi geometrik jalan berupa turunan panjang
2.	Mengapa dikatakan rem blong, apa karakteristiknya?	Pedal diinjak tidak ada tenaga
3.	Mengapa pedal diinjak tidak ada tenaga?	Turunan panjang, beban overload, kecepatan tinggi
4.	Mengapa hal itu bisa menyebabkan rem blong?	Semakin tinggi letak suatu kendaraan dengan kemiringan yang besar akan menghasilkan kalor atau panas yang semakin besar, semakin berat beban kendaraan dan semakin besar kecepatan akan membuat kerja sistem pengereman semakin berat
5.	Mengapa?	Kurangnya pemahaman pengemudi terkait penyebab rem blong yang bisa disebabkan karena muatan, kecepatan dan ketinggian suatu lokasi ruas jalan
<i>Root Cause</i>		Perilaku pengemudi dengan sering melakukan pengereman dan kurangnya pemahaman pengemudi sehingga pengemudi kurang melakukan perawatan pada sistem pengereman (jarang mengganti minyak rem), menggunakan kecepatan tinggi dan cenderung membawa muatan yang melebihi kapasitas untuk memperoleh keuntungan

Road Accident Mapping

Road Accident Mapping dilakukan untuk mengetahui titik-titik kecelakaan, disertai dengan tipe tabrakan, korban, dan waktu kejadian serta jenis kecelakaannya, apakah

menyebar atau mengumpul di suatu titik tertentu (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2004). Hasil ini bisa digunakan untuk merekomendasikan tempat pemasangan *emergency escape ramp* apabila titik kecelakaan mengumpul dalam suatu titik seperti pada kasus-kasus kecelakaan rem blong di ruas Jalan Raya Buntu-Banyumas. Lokasi rawan kecelakaan pada Ruas Jalan Raya Buntu-Banyumas yang akan dianalisis terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Lokasi Rawan Kecelakaan Ruas Jalan Raya Buntu-Banyumas

Berdasarkan data kecelakaan pada objek penelitian yang terlihat pada Gambar 6, maka dapat dibuat *Road Accident Mapping* pada titik-titik kecelakaan tersebut, seperti yang terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Road Accident Mapping

Perhitungan Perubahan Energi

Perhitungan perubahan energi dilakukan untuk menentukan kecepatan aman dan suhu dalam satu kali pengereman yang kemudian akan dikaitkan dengan titik didih minyak rem apabila terjadi rem blong. Berdasarkan data yang diperoleh diketahui bahwa:

- 1) Berat kendaraan : 3302 kg
- 2) Panjang jarak : 1000 m
- 3) *Slope* : 18,3 %
- 4) Gravitasi : 10 m/s²
- 5) Kalor jenis : 450 J/kg°C
- 6) Suhu awal kampas rem : 10°C
- 7) Suhu maksimum kampas rem : 200 °C
- 8) Titik didih minyak rem DOT 3 : 205 °C
- 9) Kecepatan rata-rata : 42 Km/jam : 11,63 m/s
- 10) Kecepatan tertinggi : 60 Km/jam : 16,67 m/s
- 11) Kecepatan percentil-85 : 46 Km/jam : 12,78 m/s
- 12) Waktu tempuh rata-rata : 4,41 s



Sumber: Google Earth

Gambar 8 Panjang Slope atau Kemiringan Ruas Jalan Raya Buntu – Banyumas

Tahapan perhitungan batas kecepatan aman dan suhu kampas Rem dapat disajikan sebagai berikut:

- 1) Menghitung energi potensial
 $E_p = m \cdot g \cdot h = 4823 \times 10 \times 88 = 4.244.240 \text{ Joule}$
- 2) Menghitung energi kinetik
 $E_k = 1/2 \cdot m \cdot v^2 = 1/2 \times 4823 \times 11,67^2 = 328.419,53 \text{ Joule}$
- 3) Menghitung nilai gaya pada kendaraan berdasarkan energi kinetik dan besaran usaha yang dihasilkan kendaraan ketika melakukan pengereman
 $E_k = W$ setara dengan $1/2 \cdot m \cdot v^2 = F \cdot s$

$$(1/2) \times 4823 \times 11,67^2 = F \cdot 1000$$

$$F = 328,42 \text{ N}$$

- 4) Menghitung perlambatan

$$F = m \cdot a$$

$$328,42 \text{ N} = 4823 \times a$$

$$a = 0,06 \text{ m/s}^2$$

- 5) Menghitung kecepatan aman

$$a = (V_t - V_o) / t$$

$$0,06 = (11,67 - V_o) / 4,41$$

$$V_o = 11,41 \text{ m/s} = 41 \text{ Km/jam}$$

- 6) Menghubungkan hasil kecepatan aman dengan suhu yang dihasilkan kampas rem (konsep hukum termodinamika I)

$$E_m = Q$$

$$E_p + E_k = C_p \cdot m \cdot \Delta T$$

$$(m \cdot g \cdot h) + (1/2 \cdot m \cdot v^2) = C_p \cdot m \cdot (t_2 - t_1)$$

$$(4823 \times 10 \times 88) + (1/2 \times 4823 \times 11,41^2) = 450 \times 4823 \times (10 - t_1)$$

$$4244240 + 313948,61 = 1485900 \times (10 - t_1)$$

$$4558188,61 = 14859000 - 1485900 \cdot t_1$$

$$1485900 \cdot t_1 = 10300811,39$$

$$t_1 = 6,93 \text{ }^\circ\text{C}$$

- 7) Menghubungkan suhu yang dihasilkan apabila menggunakan kecepatan aman dengan titik didih minyak rem DOT 3 untuk mengetahui jumlah injakan pengereman

$$t_1 = 6,93 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_d = 205 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$I_p = 205 / 6,93 \text{ }^\circ\text{C} = 29,58 \text{ kali}$$

Penyebab kecelakaan rem blong berdasarkan diagram *fishbone* terdiri dari beberapa aspek, antara lain lingkungan yaitu turunan panjang dengan kelandaian melebihi standar, pengemudi kurang pengetahuan atau keterampilan, kendaraan memiliki muatan berlebih dan kecepatan tinggi, dan perlengkapan jalan belum tersedia rambu batas kecepatan. Dari aspek tersebut kemudian dianalisis dengan tabel *five why analysis* dengan hasil berupa penyebab kecelakaan rem blong Ruas Jalan Raya Buntu-Banyumas dikarenakan perilaku pengemudi yang melakukan pengereman berkali-kali. Titik kecelakaan terletak diantara STA 0.700 - STA 1.100 sesuai dengan *Road Accident Mapping* pada Gambar 7.

Energi mekanik yang dihasilkan pada ruas Jalan Raya Buntu-Banyumas sebesar 4.558.188,61 Joule dan kecepatan aman sebesar 41 km/jam. Energi mekanik ini sudah mengandung energi tambahan berupa energi potensial yang tidak dimiliki oleh jalan datar yang menyebabkan jalan menurun memiliki potensi kecelakaan rem blong yang lebih besar dibandingkan dengan jalan datar. Energi mekanik dan kecepatan aman tersebut, bisa dilakukan perhitungan menggunakan persamaan (7) sebesar 6,93°C, dengan suhu ini bisa ditemukan bahwa kecelakaan rem blong bisa terjadi apabila pengemudi melakukan pengereman sebanyak 29 kali. Hal ini berkaitan dengan titik didih minyak rem sebesar 205°C

dengan lokasi penelitian sepanjang 1 Km. Jika 29 kali pengereman dilakukan pada lintasan sepanjang 1 Km maka pengemudi akan melakukan pengereman setiap 34 meter. Jarak pengereman 34 meter merupakan jarak yang sangat pendek untuk dilakukan pengereman dan peluang besar tidak akan dilakukan oleh pengemudi. Dalam arti lain, pengemudi tidak mungkin melakukan pengereman setiap 300 meter. Jadi, kecelakaan rem blong tidak akan terjadi apabila pengemudi menggunakan kecepatan aman yang direkomendasikan.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan perhitungan yang sudah dilakukan, energi mekanik yang dihasilkan pada ruas Jalan Raya Buntu-Banyumas sebesar 4.558.188,61 Joule dan kecepatan aman sebesar 41 Km/jam. Dengan titik didih minyak rem sebesar 205°C dengan lokasi penelitian sepanjang 1 Km, maka kecelakaan rem blong dapat terjadi jika pengemudi melakukan pengereman 29 kali. Penyebab kecelakaan rem blong pada ruas Jalan Raya Buntu Banyumas disebabkan karena perilaku pengemudi melakukan pengereman berkali-kali. Kondisi geometrik jalan yang melebihi batas standar kelayakan kritis, muatan berlebih dan kecepatan tinggi menambah risiko terjadinya kecelakaan rem blong. Perlunya dilakukan pemeliharaan dan penambahan rambu, perbaikan *guardrail*, dan penambahan *emergency escape ramp*.

DAFTAR PUSTAKA

- Departemen Perhubungan dan Prasarana Wilayah. 2004. *Penanganan Lokasi Rawan Kecelakaan Lalu Lintas*, Dep. Kimpraswil- Kementerian PUPR. Jakarta.
- Erjavec, J. 2009. *Automotive Technology: A Systems Approach*. 5th Edition. Delmar Cengage Learning. Springdale, Arkansas.
- Hanif, R.,Y., Rukmi, H.,S., dan Susanty, S. 2015. Perbaikan Kualitas Produk Keraton Luxury di PT. X dengan Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dan Fault Tree Analysis (FTA). *Reka Integra Jurnal Teknik Industri*. Juli. 03 (03) :137–147.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2021. *Pedoman Desain Geometrik Jalan*, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR), Jakarta.
- Masitoh. 2022. *Diduga Rem Blong, Truk Bermuatan Besi Balok Terjun ke Jurang di Jalur Banyumas-Buntu di Kejawar*. *tribunnews.com*. (online). (<https://banyumas.tribunnews.com/2022/07/04/diduga-rem-blong-truk-bermuatan-besi-balok-terjun-ke-jurang-di-jalur-banyumas-buntu-di-kejawar>, diakses 10 September 2022).
- Noerdin, B. 2007. *Analisis Gaya pada Rem Cakram (Disk Brake) untuk Kendaraan Roda Empat*. Skripsi tidak dipublikasikan. Program Studi Teknik Mesin. Universitas Gunadarma.
- Offtherecord.com, 2019. *Brake Failure*. (Online). (<https://offtherecord.com/blog/causes-of-brake-failure> diakses 04 November 2022).

- Rees, S. 2021. *Tinjauan Alinyemen Vertikal pada Ruas Jalan*. Jurnal Akrab Juara, 6 (5) : 84–96.
- Shelton, N. 2021. *What Is Vapor Lock, And Why Does It Happen?* Boldmethod.com (online). (<https://www.boldmethod.com/learn-to-fly/systems/what-is-vapor-lock-and-how-does-it-happen/>, diakses 22 November 2022).
- Titin, S. 2004. *Usaha, Energi dan Daya*. Bahan Ajar Modul SMK. Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan. Jakarta.