

BATAS AMAN MUATAN SUMBU RODA DAN TEMPERATUR TROMOL DITINJAU DARI AMBANG BATAS EFISIENSI REM MOBIL PICK UP FUTURA

Setya Wijayanta^{1*}, Sutarjo², Nadziba Shafa AF³, Kurniawan Pambudi⁴, Gigih Bahtiar⁵

¹Program Studi Pengujian Kendaraan Bermotor

²Program Studi Pengujian Kendaraan Bermotor

³Program Studi Pengujian Kendaraan Bermotor

⁴Program Studi Teknik Keselamatan Otomotif

⁵Program Studi Teknik Keselamatan Otomotif

Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan

Jl. Semeru No 3, Kampus Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan, Tegal, Jawa Tengah, Indonesia 52125

E-mail: s.wijayanta@gmail.com

ABSTRAK

Kegagalan pengereman (rem blong) sering menjadi penyebab kecelakaan. Kelebihan muatan (Over loading) dan Temperatur tromol yang berlebihan (Over heating) sering diduga menjadi penyebab terjadinya kegagalan pengereman. Penelitian ini dibatasi pada pengaruh muatan sumbu roda dan temperatur tromol terhadap efisiensi rem mobil pick up futura. Metode yang digunakan adalah eksperimen dengan variasi kanvas original dan tiruan.

Dari penelitian ini diperoleh hasil bahwa tinggi rendahnya muatan sumbu roda dan temperatur tromol berpengaruh signifikan terhadap efisiensi pengereman. Semakin tinggi muatan sumbu roda dan temperatur tromol, maka semakin kecil efisiensi pengeremannya. Rumus empiris hubungan antara muatan sumbu roda dengan efisiensi rem adalah $y = -0,0003x + 0,7891$ dengan $R^2 = 0,9737$. Dari rumus empiris tersebut diperoleh nilai muatan kritis sumbu roda (x) 963,67 Kg. Rumus empiris hubungan antara temperatur tromol dengan efisiensi rem adalah $y = -0,0034x + 0,8516$ dengan $R^2 = 0,9041$. Dari rumus empiris tersebut diperoleh nilai temperatur kritis luar tromol (x) 103,410 C. Ditinjau dari efisiensi rem yang dihasilkan dengan variasi muatan sumbu roda dan temperatur tromol serta kecepatan kenaikan temperatur tromol, maka kanvas original lebih baik dibandingkan kanvas tiruan (KW).

Kata kunci: rem blong, over loading, over heating, efisiensi rem, temperatur tromol, kanvas

PENDAHULUAN

Menurut Kepala Korps Lalu Lintas Kepolisian Republik Indonesia, Irjen Royke Lumawa, Angka kematian akibat kecelakaan di Indonesia mencapai 28 – 38 ribu pertahun. Angka tersebut disoroti oleh Perserikatan Bangsa-Bangsa dikarenakan merupakan angka kematian akibat kecelakaan tertinggi di dunia (Divianta, 2017). Dari hasil investigasi Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT) dari tahun 2007 sampai dengan 2016, faktor penyebab kecelakaan lalu lintas antara lain yaitu faktor manusia/SDM Sumber Daya Manusia), faktor sarana, faktor prasarana dan faktor lingkungan. Dari hasil investigasi tersebut, faktor sarana (kendaraan) menempati urutan kedua setelah faktor manusia sebagai penyebab terjadinya kecelakaan lalu lintas. Kendaraan bermotor sebagai hasil produksi pabrik telah

dirancang dengan nilai faktor keamanan untuk menjamin keselamatan bagi pengendaranya. Namun demikian, kendaraan akan rentan menjadi pemicu terjadinya kecelakaan manakala prosedur penyiapan/pemeliharaan tidak diikuti sesuai ketentuan. Penyimpangan prosedur itu meliputi: kurangnya perawatan teknis kendaraan oleh pengemudi dan pemilik kendaraan, kondisi teknis kendaraan yang tidak laik jalan, kurangnya fasilitas keselamatan kendaraan, kurangnya pengawasan mengenai kelaikan kendaraan dan beroperasi di lapangan, belum adanya standarisasi untuk spare part kendaraan oleh regulator dan penggunaan kendaraan yang tidak sesuai ketentuan (kendaraan dimuati berlebihan). Selain faktor-faktor di atas, adanya regulasi/kebijakan yang tidak tepat merupakan faktor penyebab khusus kecelakaan lalu lintas jalan. Sebagai contoh adalah pemberian toleransi kelebihan muatan yang dikaitkan dengan retribusi (denda rupiah/kilogram kelebihan muatan) (Saputra, 2017). Di Indonesia, kendaraan dengan muatan berlebihan (over loading) merupakan kasus yang beberapa tahun terakhir ini menjadi perhatian banyak kalangan. Hal ini dikarenakan sangat banyaknya pelanggaran terhadap batas dimensi dan muatan yang dikenal dengan istilah ODOL (Over Dimension dan Over Loading). Di dalam beberapa kasus kecelakaan yang terjadi di jalan, kegagalan sistem pengereman yang dikenal dengan istilah "rem blong" akibat kendaraan kelebihan muatan (over loading) sering sekali menjadi penyebab terjadinya kecelakaan. Ditinjau dari aspek keselamatan, seharusnya tidak ada toleransi terhadap kelebihan muatan karena menyangkut nyawa. Akan tetapi, penentuan batas muatan kendaraan tersebut sampai sekarang masih terus menjadi perdebatan dari para pemangku kepentingan. Menurut Dirjen perhubungan darat Kementerian Perhubungan Republik Indonesia yang disampaikan melalui KOMPAS.com Rabu (1/8/2018), bahwa menurut aturan UU, kelebihan muatan masih diperbolehkan sebesar 5 persen dari total muatan. Namun demikian, mengingat keterlambatan angkutan barang dapat menimbulkan efek domino terhadap perekonomian nasional, maka pihak Kementerian Perhubungan masih memberikan perlakuan khusus. Misalnya, khusus untuk truk yang mengangkut sembilan bahan pokok akan diberikan toleransi kelebihan muatan sampai 50 persen. Kelebihan muatan untuk truk sembilan bahan pokok di atas 50 persen baru dilakukan penindakan. Toleransi ini diberikan dalam waktu 1 tahun. Sementara itu, angkutan barang yang mengangkut semen dan pupuk juga diberikan toleransi kelebihan muatan hingga 40 persen dan diberikan batas waktu toleransi hingga 6 bulan ke depan (Kurniasih, 2018).

Penentuan batas muatan yang diijinkan untuk kendaraan angkutan barang di Indonesia selama ini selalu menimbulkan polemik dan perdebatan karena tidak didasarkan pada hasil penelitian yang berkaitan dengan keselamatan khususnya kemampuan sistem rem atau efisiensi rem. Penelitian atau kajian eksperimental mengenai penentuan batas muatan kendaraan yang didasarkan atas efisiensi rem sangat diperlukan, mengingat banyaknya kasus kecelakaan akibat kegagalan system rem (rem blong) yang disebabkan oleh over loading sebagaimana telah dibahas di paragraf sebelumnya. Kajian ekseperimental tersebut tentunya perlu dilakukan dengan menggunakan variasi jenis kanvas rem, baik original maupun tiruan. Hal ini dikarenakan di Indonesia banyak dijual kanvas tiruan dengan harga jauh lebih murah dibandingkan dengan kanvas original sehingga pemilik kendaraan lebih banyak yang menggunakan kanvas tiruan. Lemahnya kebijakan dan pengawasan pemerintah terhadap kewajiban pemakaian spare part kendaraan sesuai standar, khususnya

kanvas rem tentunya berpotensi menambah kasus kecelakaan. Selain diperoleh batas aman muatan, dari hasil penelitian ini diharapkan dapat diperoleh perbedaan unjuk kerja antara kanvas yang asli dan tiruan. Dengan demikian, diharapkan hasil penelitian ini dapat dijadikan referensi pemerintah di dalam membuat kebijakan mengenai penentuan dan pengawasan terhadap batas muatan kendaraan dan penggunaan kanvas rem untuk mengurangi kasus kecelakaan akibat kegagalan sistem rem.

LANDASAN TEORI

Efisiensi Rem

Untuk mencegah kegagalan sistem rem ketika kendaraan dioperasikan atau untuk menjamin kondisi rem laik jalan, pada umumnya di berbagai negara termasuk di Indonesia dilakukan pengujian rem secara berkala setiap 6 bulan sekali. Salah satu aspek penting di dalam pengujian rem adalah efisiensi rem. Rumus efisiensi disampaikan oleh (Amedorme and Fiagbe, 2013), yaitu rasio antara retardation (a) atau perlambatan (deceleration) kendaraan terhadap percepatan (acceleration) gravitasi (g) yang dituangkan dalam persen. Rumusnya sebagai berikut:

$$\text{Brake Efficiency (BE)} = a/g \times 100 \quad (1)$$

Rumus tersebut merupakan turunan dari rumus berikut:

$$BE = \frac{\text{braking force}}{\text{weight of vehicle}} \times 100 \quad (2)$$

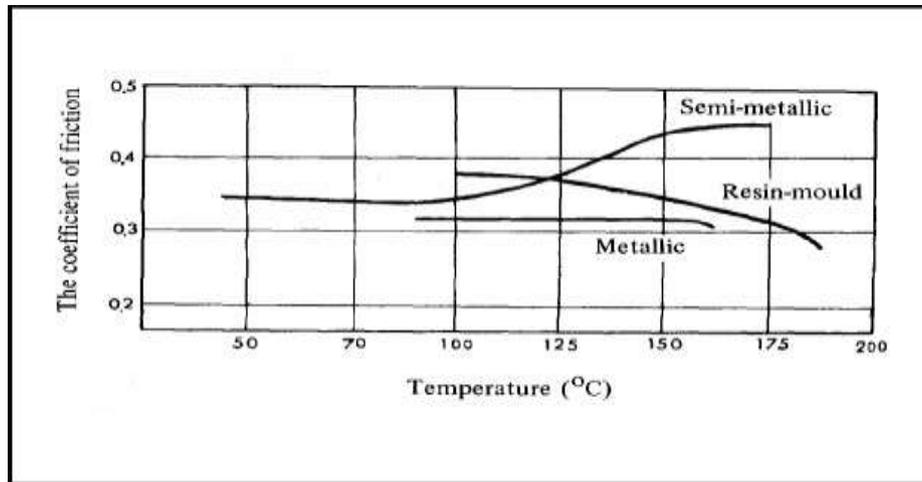
Pada pasal 67 Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 55 tahun 2012 disebutkan bahwa efisiensi rem utama harus memenuhi hasil pengukuran dengan perlambatan paling sedikit 5 (lima) meter per detik (Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 55 Tahun 2012 tentang Kendaraan, 2012)(Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 55 Tahun 2012 tentang Kendaraan, 2012). Jika batas minimal perlambatan 5 m/s² dimasukkan ke dalam rumus di atas, maka batas minimal efisiensi adalah

$$BE = \frac{5 \text{ m/s}^2}{10 \text{ m/s}^2} \times 100\% = 50\% \quad (3)$$

Gaya pengereman yang dihasilkan sangat ditentukan oleh koefisien gesekan antara kanvas rem (brake lining) dan tromol (brake drum). Koefisien gesekan antara kanvas rem (brake lining) dan tromol (brake drum) bervariasi tergantung dari bahan/material kanvas dan tromol, tekanan hidrolis, kecepatan luncur temperatur rem, komponen yang mengatur sirkuit dan lain-lain.

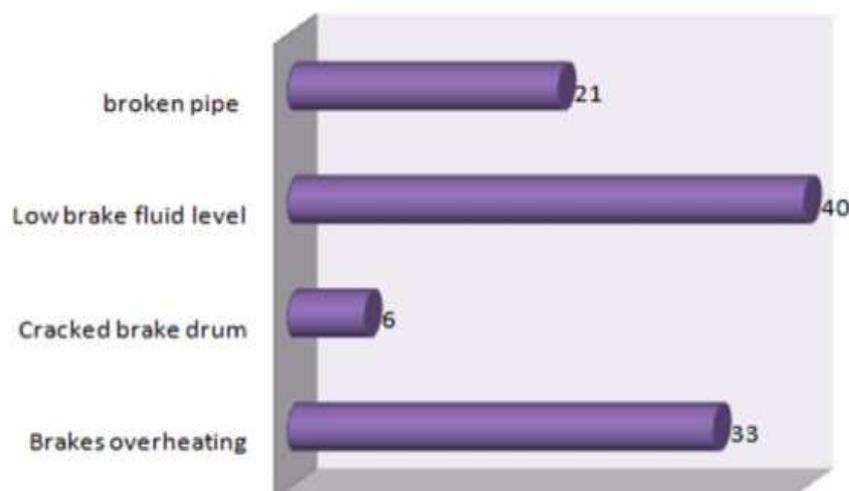
Pada umumnya, hubungan antara temperature dan koefisien gesekan dari rem bervariasi tergantung pada bahan kanvas rem (brake lining). Koefisien gesek

harusnya stabil terhadap variasi temperature. Kanvas rem yang mengalami penurunan koefisien gesek yang drastis saat temperature yang tinggi akan sangat berbahaya karena efisiensi pengereman juga akan mengalami penurunan drastis. Grafik hubungan antara temperature dan koefisien gesek rem dari tiga jenis material atau bahan kanvas rem dapat dilihat pada grafik 1



Gambar 1. Hubungan Antara Temperature dan Koefisien Gesek Rem dari Tiga Jenis Material Kanvas Rem Sumber: (Isuzu Training Centre Basic, no date)

Dari grafik tersebut terlihat bahwa kanvas rem dengan bahan resin mould mengalami penurunan koefisien gesek yang drastis saat temperature yang tinggi. Hal ini sangat berbahaya karena efisiensi pengereman juga akan mengalami penurunan drastis yang berpotensi terjadi kegagalan sistem rem. Pengaruh temperature terhadap kegagalan sistem rem dikemukakan oleh (Oduro, 2012) melalui hasil survei terkait dengan kegagalan sistem rem dan efeknya pada kecelakaan lalu lintas di jalan Kumasi Metropolis Ghana, bahwa 40% dari 485 pengguna kendaraan setuju bahwa kegagalan pengereman disebabkan oleh rendahnya atau kehabisan minyak rem dan 33% disebabkan oleh panas berlebihan pada sistem rem. Secara lebih jelas dapat dilihat pada grafik 2



Gambar 2 Penyebab Kegagalan Pengereman
Sumber: (Oduro, 2012)

Selain penyebab kegagalan pengereman, hasil survei tersebut juga menampilkan penyebab ketidakefektifan pengereman yang dapat dilihat pada tabel 1

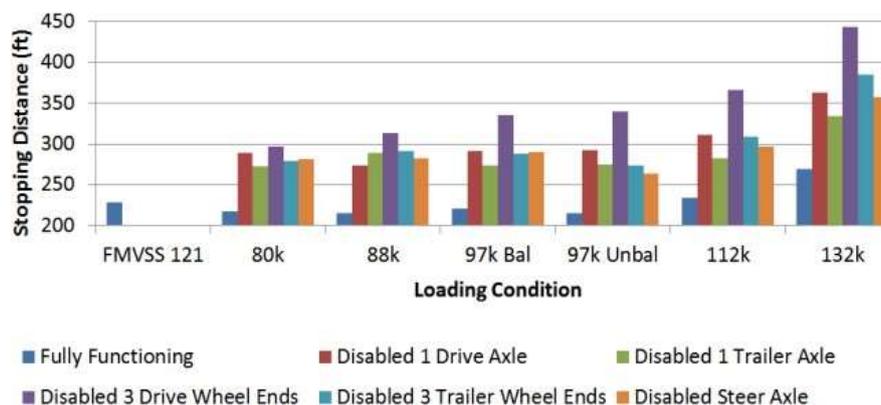
Tabel 1. Penyebab Ketidakefektifan Pengereman

Causes of brake ineffectiveness	Number of respondents	Percentage (%)
Air in the braking system	195	40
Grease or brake fluid on lining	45	9
Incorrect brake adjustment	60	12
Uneven tyre pressure	52	11
Automatic brake adjuster not working	22	5
Vehicle overloading	111	23
Total	485	100

Dari tabel 1 tersebut dapat dilihat, sebanyak 40% dari 485 responden menjawab bahwa penyebab ketidakefektifan pengereman diakibatkan oleh adanya udara di dalam sistem rem hidrolis. Urutan ke dua sebanyak 23% diakibatkan oleh muatan yang berlebihan (overloading)

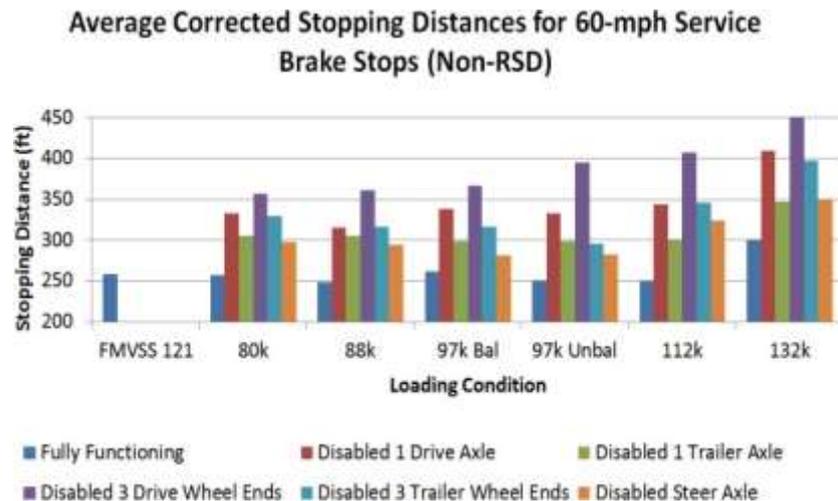
Hasil survei terkait pengaruh muatan atau beban terhadap efisiensi rem tersebut di atas diperkuat oleh hasil pengujian rem yang dilakukan oleh Federal Motor Carrier Safety Administration, U.S.Department of Transportation (2017: 21-23) pada kendaraan berat (Heavy and Overweight Vehicle) menggunakan RSD (Reduced Stopping Distance) dimana hasilnya dapat ditunjukkan pada gambar di bawah

Average Corrected Stopping Distances for 60-mph Service Brake Stops (RSD)



Gambar 3. Comparison of stopping distances for 60 mph service brake stops (RSD) (Federal Motor Carrier Safety Administration, 2017)

Dari grafik di atas terlihat bahwa pada kendaraan dengan RSD pada kecepatan 60 mph, beban yang diangkut berpengaruh terhadap jarak pengereman sampai kendaraan berhenti. Semakin besar beban yang diangkut, maka semakin panjang jarak pengeremannya. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa semakin besar beban yang diangkut, perlambatannya semakin kecil atau efisiensi pengeremannya semakin kecil



Gambar 4. Comparison of stopping distances for 60 mi/h service brake stops (non-RSD) (Federal Motor Carrier Safety Administration, 2017)

Untuk hasil pengujian kendaraan tanpa RSD pada kecepatan 60 mph juga menunjukkan hal serupa, beban yang diangkut berpengaruh terhadap jarak pengereman sampai kendaraan berhenti. Semakin besar beban yang diangkut, maka semakin panjang jarak pengeremannya. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa semakin besar beban yang diangkut, perlambatannya semakin kecil atau efisiensi pengeremannya semakin kecil

Dari beberapa penelitian baik yang dilakukan dengan eksperimen maupun survei tersebut di atas terlihat bahwa penambahan beban atau muatan berpengaruh terhadap penurunan efisiensi pengereman. Dengan demikian dapat diambil hipotesis penelitian "Semakin bertambah muatan pada sumbu roda dan temperature tromol, maka semakin berkurang efisiensi remnya". Akan tetapi, dari beberapa hasil penelitian tersebut tidak diketahui rumus empiris hubungan antara variasi beban dengan efisiensi pengeremannya, sehingga tidak dapat diketahui batas maksimal muatan atau beban pada efisiensi rem 50%. Selain itu, di dalam penelitian tersebut tidak digunakan variasi kanvas di dalam eksperimen pengujian efisiensi remnya, sehingga tidak diketahui unjuk kerja antara kanvas asli dengan tiruan. Di dalam penelitian ini batas maksimal muatan sumbu roda dan temperature kritis tromol pada efisiensi rem 50% dapat ditentukan dari rumus empiris. Selain itu, perbandingan unjuk kerja antara kanvas asli dengan tiruan juga dikaji.

METODE PENELITIAN

Bahan:

- 1) Mobil Pick Up Suzuki Futura tahun 2016 Berat Kosong (860 Kg), Panjang (3750 mm), Lebar (1560 mm), Tinggi (1825 mm), Jumlah Berat yang diperbolehkan/JBB (2085 Kg), Jumlah Berat yang diijinkan/JBI (2085 Kg), MuatanSumbu Terberat/MST(1276 Kg)
- 2) kanvas rem tromol mobil Pick Up Suzuki Futura tahun 2016 (original, tiruan1 dan 2)



Gambar 5. Kanvas Rem

Alat

1. Brake Pedal Force Meter



2. Brake Tester



Gambar 7. Brake Tester

3. Boggie Roll Speedometer



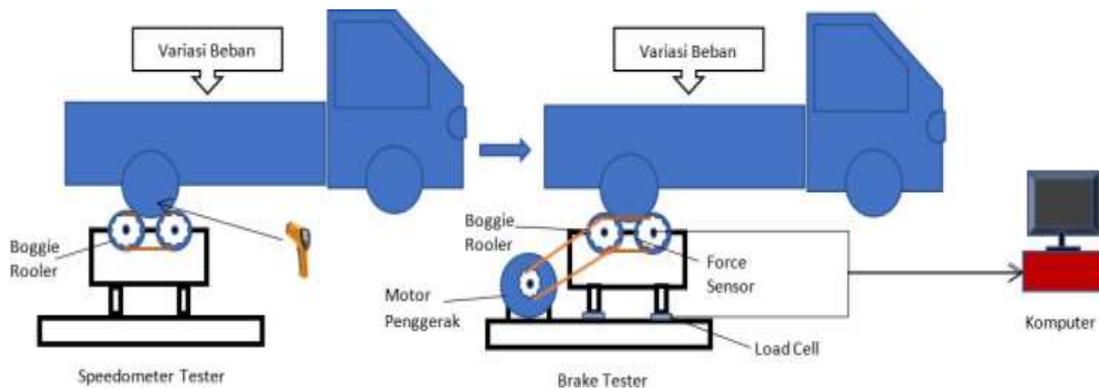
Gambar 8. Boggie Roll Speedometer

4. Infrared Thermometer



Gambar 9. Infrared Thermometer

Ekperimental Set Up



Gambar 10. Skema Eksperimental Set Up

langkah-langkah pengambilan data:

- 1) Memastikan bahwa *brake tester* telah terkalibrasi. Jika masa berlaku kalibrasi sudah lebih dari satu tahun, maka dilakukan kalibrasi ulang
- 2) Kalibrasi *infrared thermometer* dengan thermometer air raksa
- 3) Pasang kanvas rem jenis OES pada mobil
- 4) Tempatkan mobil pada boggie rooler speedometer tester tanpa muatan (berat kosong) selanjutnya turunkan pengangkatnya sehingga roda ditumpu oleh boggie roller
- 5) Jalankan kendaraan pada kecepatan 40 KM/Jam
- 6) Lakukan penginjakan pedal rem sebesar 100 N yang diukur menggunakan brake pedal force meter sambil dilakukan pengukuran temperatur luar tromol menggunakan thermometer infrared sampai temperatur luar tromol mencapai suhu 75o C.
- 7) Naikkan pengangkat roda pada speedometer tester lalu gerakkan kendaraan maju ke depan di atas boggie roller brake tester
- 8) Operasikan brake tester sesuai prosedur dan boggie roller brake tester berputar
- 9) Lakukan penginjakan pedal rem sesuai tanda yang diberikan pada display brake tester sampai roda mobil berhenti berputar. Catat besarnya gaya injakan pedal

rem, save dan print hasil pengukuran efisiensi brake tester. Besarnya gaya injakan pedal rem tersebut dijadikan acuan untuk menyamakan besarnya gaya injakan pedal rem pada pengambilan data dengan variasi temperatur dan beban berikutnya serta jenis kanvas lainnya

- 10) Ulangi langkah 5) sampai dengan 9) sebanyak 3 kali dan dicatat hasilnya
- 11) Lakukan kembali langkah 5) sampai dengan 10) dengan memvariasikan temperatur pada langkah 6) sebesar 100o C dan 125o C.
- 12) Lakukan kembali langkah 5) sampai dengan 11) dengan 5 variasi beban muatan sumbu roda belakang yang diperoleh dengan cara memberikan muatan orang di atas bak (tanpa beban/5 orang/10 orang/15 orang/20 orang) atau (377,56 Kg/638,89 Kg/847,44 Kg/1112,89 Kg/1393,11 Kg)
- 13) Lakukan kembali langkah 3) sampai dengan 12) untuk jenis kanvas tiruan KW 1 dan KW 2

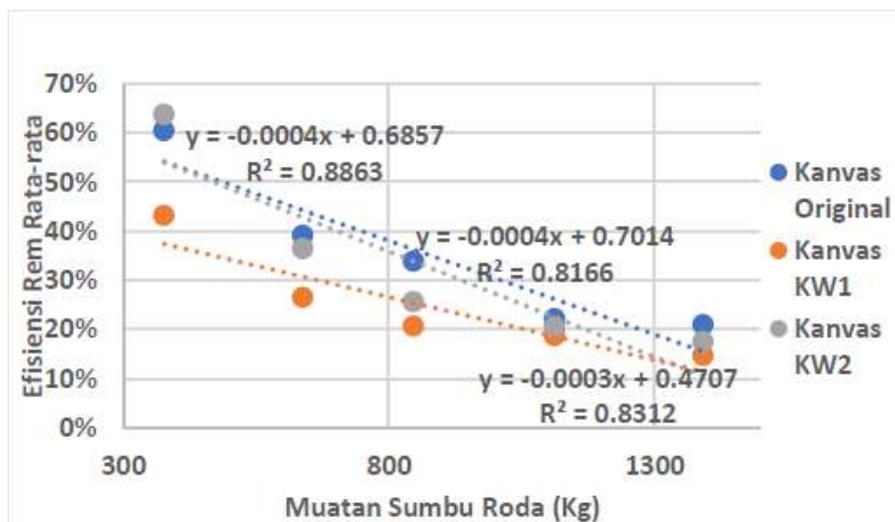
Begitu halnya pengambilan data untuk mendapatkan muatan kritis sumbu roda dan temperatur kritis tromol yang didasarkan pada ambang batas efisiensi rem dilakukan melalui langkah-langkah yang hampir sama dengan langkah-langkah tersebut di atas. Perbedaannya terletak pada langkah 9), dimana pada langkah tersebut menginjak pedal rem maksimal dilaksanakan sampai boggie roller berhenti yang dilakukan untuk semua variasi muatan sumbu roda dan variasi temperatur tromol. Dengan demikian, gaya injakan pedal rem maksimal sampai boggie roller berhenti untuk masing-masing variasi muatan sumbu roda dan temperatur tromol juga bervariasi



Gambar 11. Pengambilan Data

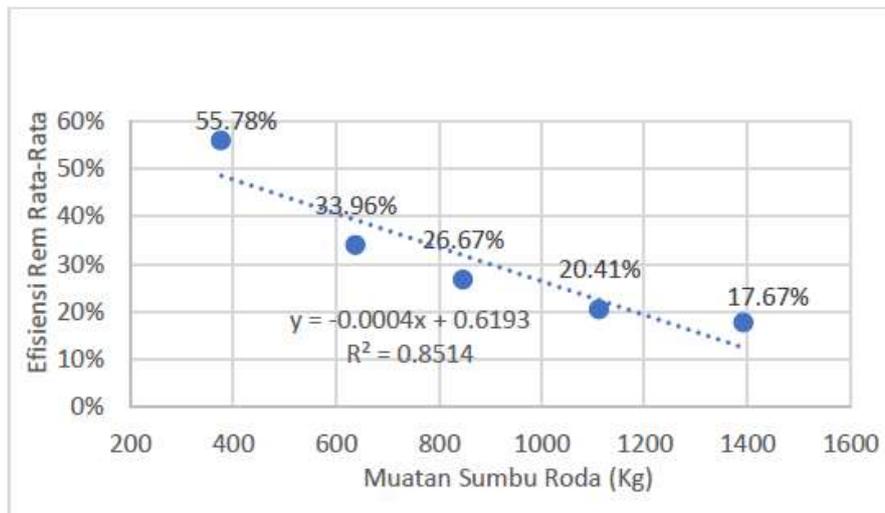
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh muatan sumbu terhadap efisiensi rem tromol dengan variasi kanvas rem



Gambar 12. Muatan Sumbu vs Efisiensi Rem Rata- Rata dengan dengan Gaya Injakan Pedal 140 N

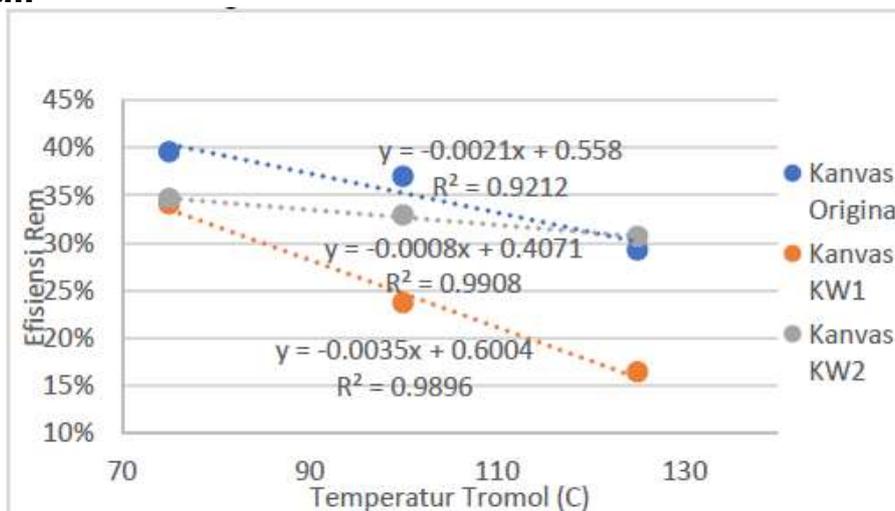
Dari gambar di atas terlihat bahwa hasil eksperimen pengukuran efisiensi rem rata-rata dengan 3 variasi temperatur tromol (750C, 1000C dan 1250C) pada 3 jenis kanvas rem (original, KW 1 dan KW2), muatan sumbu roda memiliki pengaruh terhadap efisiensi pengereman. Semakin bertambah muatan sumbu roda, maka semakin berkurang efisiensi pengeremannya. Dari grafik tersebut juga terlihat bahwa kanvas original paling tinggi efisiensinya dibandingkan dengan jenis kanvas tiruan (KW1 dan KW2)



Gambar 13. Muatan Sumbu vs Efisiensi Rem Rata-Rata dengan 3 Variasi Kanvas Rem dan Temperatur Tromol dengan Gaya Injakan Pedal 140 N

Dari gambar di atas terlihat bahwa hasil eksperimen pengukuran efisiensi rem rata-rata dengan 3 variasi temperatur tromol (750C, 1000C dan 1250C) dan 3 jenis kanvas rem (original, KW 1 dan KW2), muatan sumbu roda memiliki pengaruh terhadap efisiensi pengereman. Semakin bertambah muatan sumbu roda, maka semakin berkurang efisiensi pengeremannya. Dari hasil uji dengan SPSS 16.0, nilai Sig/significance adalah 0,025 dan probabilitasnya di bawah 0,05. Dengan demikian, besarnya muatan sumbu roda memiliki pengaruh yang signifikan terhadap efisiensi rem, sehingga hipotesis penelitian ini terbukti bahwa semakin bertambah muatan sumbu roda, maka semakin berkurang efisiensi pengeremannya.

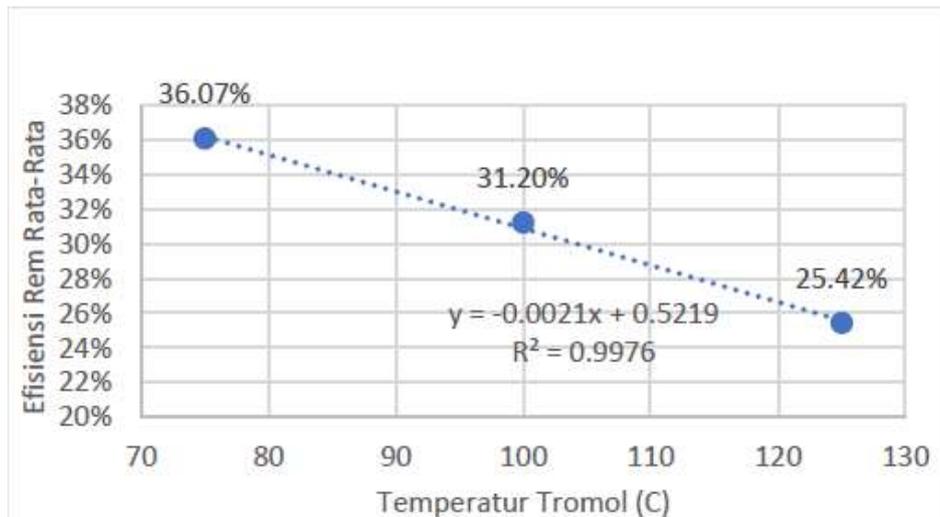
Pengaruh temperatur tromol terhadap efisiensi rem tromol dengan variasi kanvas rem



Gambar 14. Temperatur Tromol VS Efisiensi Rem Rata- Rata pada 3 Variasi Kanvas

Dari gambar di atas terlihat bahwa hasil eksperimen pengukuran efisiensi rem tromol rata-rata dengan 3 jenis kanvas (Original, KW1 dan KW2) pada 3 variasi temperatur

(750C, 1000C dan 1250C), Semakin bertambah temperatur tromol, maka semakin berkurang efisiensi pengeremannya. Dari grafik tersebut juga terlihat bahwa kanvas original paling tinggi efisiensinya dibandingkan dengan kanvas tiruan (KW1 dan KW2) pada 3 variasi temperatur tromol



Gambar 15. Temperatur Tromol VS Efisiensi Rem Rata- Rata dengan Gaya Injakan Pedal 140 N

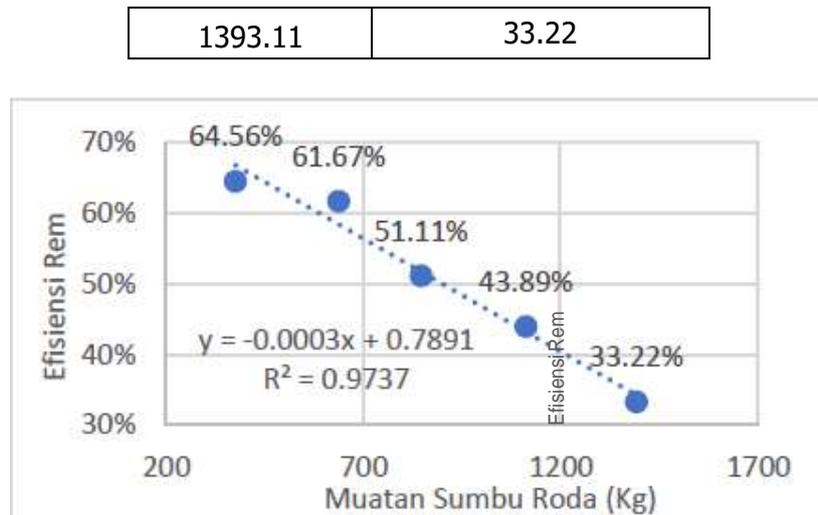
Dari gambar di atas terlihat bahwa hasil eksperimen pengukuran efisiensi rem tromol rata-rata 3 jenis kanvas (Original, KW1 dan KW2) dan 5 variasi muatan sumbu roda pada 3 variasi temperatur (750C, 1000C dan 1250C), Semakin bertambah temperatur tromol, maka semakin berkurang efisiensi pengeremannya. Dari hasil uji dengan SPSS 16.0 ditemukan nilai Sig/significance adalah 0,031 dan probabilitasnya di bawah 0,05. Dengan demikian, temperatur tromol memiliki pengaruh yang signifikan terhadap efisiensi rem, sehingga hipotesis penelitian ini terbukti bahwa semakin bertambah temperatur tromol, maka semakin berkurang efisiensi pengeremannya.

Besar Muatan Kritis Sumbu Roda Ditinjau Dari Ambang Batas Efisiensi Rem

Muatan kritis sumbu roda disini adalah muatan sumbu roda dimana efisiensi remnya 50%. Untuk menentukan muatan kritis sumbu roda tersebut dilakukan dengan menggunakan rumus empiris yang diperoleh dari grafik hubungan antara muatan kritis sumbu roda dengan efisiensi rem. Pengukuran efisiensi rem dilakukan dengan menginjak pedal rem secara maksimal sampai boggie roller pada brake tester berhenti berputar dan hasilnya dapat dilihat pada table berikut:

Tabel 2. Hasil Pengukuran Efisiensi Rem dari 5 Variasi Muatan Sumbu dengan Penginjakan Pedal Maksimal

Muatan Sumbu Roda (Kg)	Efisiensi Rata-Rata (%)
377.56	64.56
638.89	61.67
847.44	51.11
1112.89	43.89



Gambar 16. Muatan Sumbu Roda VS Efisiensi Rem dengan Gaya Injakan Pedal Maksimum

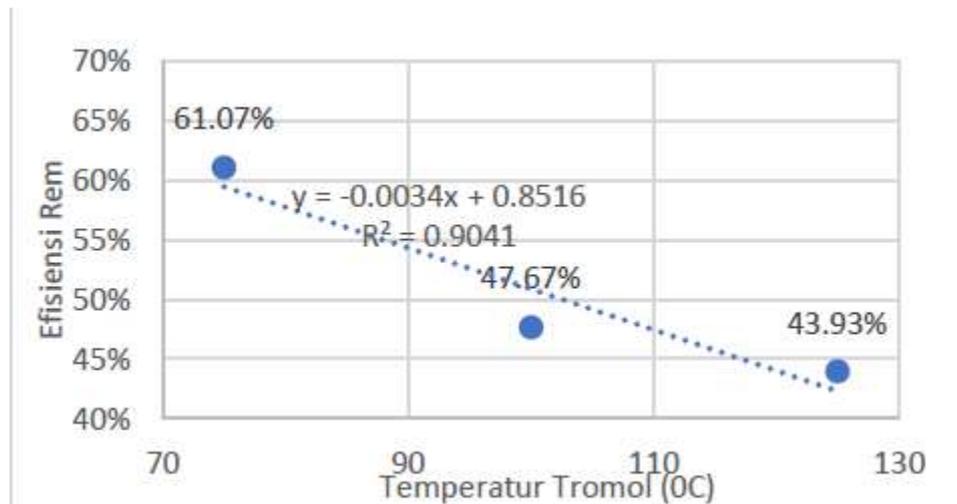
Dari grafik hubungan antara muatan sumbu roda dengan efisiensi rem di atas terlihat bahwa semakin besar muatan sumbu roda, maka semakin kecil efisiensi rem. Selain itu, dari grafik tersebut dapat diperoleh rumus empiris sebagai berikut: $y = -0,0003 x + 0,7891$ dengan $R^2 = 0,9737$. Dari rumus empiris tersebut dapat diperoleh hasil muatan kritis sumbu roda (x) sebesar 963,67 Kg. Dengan demikian, jika muatan sumbu roda di atas 963,67 Kg, efisiensi rem (y) akan kurang dari 50%. Jika dibandingkan dengan Muatan Sumbu Terberat (MST) kendaraan sebesar 1276 Kg, maka ditinjau dari batas aman sistem rem (ambang batas efisiensi rem) muatan sumbu roda yang masih aman sebesar 75,52% dari MST.

Temperatur Kritis Tromol Ditinjau Dari Ambang Batas Efisiensi Rem

Temperatur kritis di sini adalah temperatur luar tromol dimana efisiensi remnya 50%. Untuk menentukan temperatur kritis tromol tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan rumus empiris yang diperoleh dari grafik hubungan antara temperatur tromol dengan efisiensi rem. Pengukuran efisiensi rem dilakukan dengan menginjak pedal rem secara maksimal sampai boggie roller pada brake tester berhenti berputar dan hasilnya dapat dilihat pada table berikut:

Tabel 3. Hasil Pengukuran Efisiensi Rem dari 3 Variasi Temperatur dengan Penginjakan Pedal Maksimal

Temperatur Luar Tromol (°C)	Efisiensi Rata-Rata (%)
75	61.07
100	47.67
125	43.93

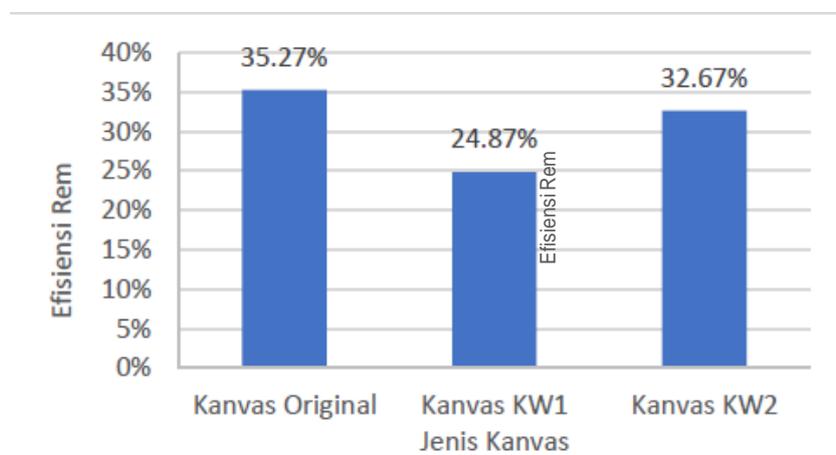


Gambar 17. Temperatur Tromol VS Efisiensi Rem dengan Gaya Injakan Pedal Maksimum

Dari grafik hubungan antara temperatur tromol dengan efisiensi rem di atas terlihat bahwa semakin besar temperatur tromol, maka semakin kecil efisiensi rem. Selain itu, dari grafik tersebut dapat diperoleh rumus empiris sebagai berikut: $y = -0,0034 x + 0,8516$ dengan $R^2 = 0,9041$. Dari rumus empiris tersebut dapat diperoleh hasil temperatur kritis luar tromol (x) sebesar 103,410C. Dengan demikian, jika temperatur luar tromol di atas 103,410C, efisiensi rem (y) akan kurang dari 50%.

Unjuk kerja (efisiensi rem dan kecepatan panas) dari 3 jenis kanvas rem

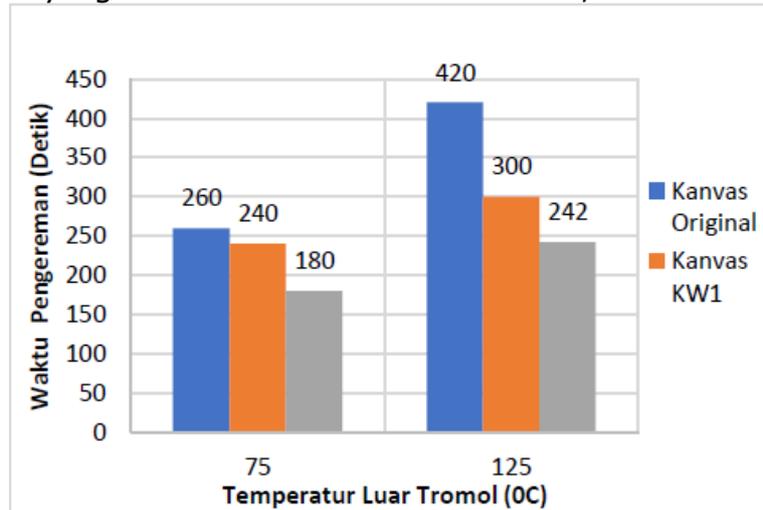
Unjuk kerja dari 3 jenis kanvas rem (original, KW1 dan KW2) ditinjau dari rata-rata efisiensi rem yang dihasilkan dan waktu pencapaian panas tromol dengan variasi muatan sumbu roda ditunjukkan pada grafik berikut:



Gambar 18. Rata-Rata Efisiensi Rem dari 3 Jenis Kanvas dengan Gaya Injakan Pedal 140 N

Dari grafik tersebut di atas terlihat bahwa rata-rata efisiensi rem tromol yang dihasilkan dengan besar gaya injakan pedal rem 140 N menggunakan 5 variasi muatan sumbu roda, yang tertinggi adalah kanvas original 35,27%, kedua kanvas

KW2 32,67% dan yang terendah adalah kanvas KW1 24,87%.



Gambar 19. Temperatur Tromol VS Waktu Pengereman Pada Kecepatan 40Km/Jam

temperatur 750 C dan 1250 C dari 3 jenis kanvas dapat di tampilkan pada tabel berikut

Tabel 4. Rata-Rata Waktu Pengereman Sampai Mencapai Temperatur 750 C dan 1250 C

Temperatur Luar Tromol	Waktu Pengereman
75 ^o C	226,67 detik
125 ^o C	320,67 detik

Dari tabel tersebut di atas, waktu pengereman sampai mencapai temperatur kritis 103,410 C dapat dihitung secara interpolasi dan diperoleh hasil sebesar 280,08 detik (4,67 menit) pada kecepatan 40 Km/Jam.

KESIMPULAN

Dari pembahasan hasil penelitian di atas dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Besarnya muatan sumbu roda berpengaruh signifikan terhadap efisiensi pengereman yang dihasilkan. Semakin besar muatan sumbu roda, maka semakin kecil efisiensi pengeremannya
2. Temperatur tromol berpengaruh signifikan terhadap efisiensi pengereman yang dihasilkan. Semakin tinggi temperatur tromol, maka semakin kecil efisiensi pengeremannya
3. Rumus empiris hubungan antara muatan sumbu roda dengan efisiensi rem adalah: $y = -0,0003 x + 0,7891$ dengan $R^2 = 0,9737$. Dari rumus empiris tersebut dapat diperoleh hasil muatan kritis sumbu roda (x) sebesar 963,67 Kg.
4. Rumus empiris hubungan antara temperature tromol dengan efisiensi rem adalah: $y = -0,0034 x + 0,8516$ dengan $R^2 = 0,9041$. Dari rumus empiris tersebut dapat diperoleh hasil temperatur kritis luar tromol (x) sebesar 103,410 C
5. Ditinjau dari efisiensi rem yang dihasilkan dengan variasi muatan sumbu roda dan

temperatur tromol serta kecepatan kenaikan temperatur tromol, maka kanvas original lebih baik dibandingkan kanvas tiruan.

DAFTAR PUSTAKA

- Amedorme, S. K. and Fiagbe, Y. A. K. (2013) 'Investigation of Braking System (Efficiency) of Converted Mercedes Benz Buses Investigation of Braking System (Efficiency) of Converted Mercedes Benz Buses (207)', *International Journal of Science and Technology*, 2(November).
- Divianta, D. (2017) Angka Kematian Akibat Kecelakaan, Indonesia Tertinggi di Dunia - News Liputan6, Liputan6.com, Denpasar.
- Federal Motor Carrier Safety Administration (2017) Heavy and Overweight Vehicle Brake Testing: Combination Six-Axle Final Report. U.S.Department of Transportation.
- Isuzu Training Centre Basic (no date) 'Isuzu Training Manual Basic'. Jakarta: PT. PANTJA MOTOR, SERVICE DEPARTMENT, ISUZU TRAINING CENTRE, pp. 196–198.
- Kurniasih, B. (2018) Angkutan Logistik Tak Boleh Kelebihan Muatan, KOMPAS.com.
- Oduro, S. D. (2012) 'Brake Failure and its Effect on Road Traffic Accident in Kumasi', *International Journal of Science and Technology*, 1(9), pp. 448–453.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 55 Tahun 2012 tentang Kendaraan (2012) Digital Times. Indonesia: Kementerian Perhubungan.
- Saputra, A. D. (2017) 'Studi Tingkat Kecelakaan Lalu Lintas Jalan di Indonesia Berdasarkan Data KNKT (Komite Nasional Keselamatan Transportasi) Dari Tahun 2007-2016 Nasional Keselamatan Transportasi) Database from 2007-2016', *Warta Penelitian Perhubungan*, 29, pp. 179–190. doi: <http://dx.doi.org/10.25104/warlit.v29i2.557>.