

Prediksi Kegagalan Komponen Utama Rem Sepeda Motor (Prediction of Failure for Main Component of Motorcycle's Brake)

Gunawan Dwi Haryadi, Ismoyo Haryanto, Dwi Basuki Wibowo

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH. Tembalang, Semarang 50275
E-mail koresponden: gunawan_dh@undip.ac.id

Abstrak

Penelitian ini membahas prediksi kegagalan pengereman sepeda motor akibat kampas rem yang tidak mampu melaksanakan fungsi sebagaimana mestinya. *Sub-assembly* rem yang diteliti adalah tipe cakram (*disk brake*) dan tromol (*drum brake*), dan pembahasan dan penentuan umur teknis dapat meliputi kedua jenis rem tersebut. Sepeda motor yang digunakan sebagai sampel uji di sini adalah Honda Supra X-125 dengan rem cakram di roda depan dan rem tromol di roda belakang. Penelitian ini mengkaji 2 modus kegagalan kampas rem sepeda motor, yaitu kegagalan karena kampas remnya telah aus mendekati batas keausan yang diijinkan oleh pabrikan dan kegagalan terkelupasnya kampas rem dari rangkanya karena gaya pengeremannya melebihi kemampuan lem perekat menahan beban geser pengereman. Dari pengujian keausan tipe rem cakram, pengujian koefisien gesek dan pengujian kekuatan lem didapatkan umur dari kanvas rem yaitu 11014,2 km. Dari perhitungan metode Neimann didapatkan umur komponen kanvas rem adalah 6,5 bulan. Nilai koefisien gesek kanvas adalah 0,422. Dari pengujian keausan tipe rem tromol, pengujian koefisien gesek dan pengujian kekuatan lem didapatkan umur dari kanvas rem yaitu 11363,64 km untuk *trailing shoes* dan 10000 km untuk *leading shoes*. Nilai koefisien gesek kanvas adalah 0,52.

Keywords: *disk brake, drum brake*, Honda Supra X-125, kanvas rem, umur kanvas.

Pendahuluan

Rem adalah komponen vital kendaraan yang berfungsi untuk membantu mengurangi kecepatan, memberhentikan kendaraan, dan menjaga laju kendaraan saat melintas di jalan menurun (Limpert, Rudolf, 1992). Rem yang tidak berfungsi dengan baik bisa berakibat terjadinya kecelakaan karena menabrak kendaraan di depannya yang berhenti mendadak, tidak bisa dikendalikan dan akhirnya jatuh atau menabrak kendaraan lain saat melintas di jalan menurun, dan jatuh atau ditabrak dari belakang oleh kendaraan lain karena rem tidak bisa kembali ke posisi semula (kasus rem terkunci).

Karena pentingnya fungsi rem tersebut merawat rem dan seluruh komponen yang terkait (*sub-assembly* rem) harus dilakukan secara rutin.

Penelitian tentang rem kendaraan jalan raya telah banyak dilakukan orang. R.G. Mortimer dkk (1970) dari *Highway Safety Research Institute - University of Michigan* telah membukukan hasil-hasil penelitiannya dengan judul "*Brake Force Requirement Study: Driver-Vehicle Braking*

Performance as a Function of Brake System Design Variables". Dalam buku tersebut dikemukakan hubungan gaya penekanan pedal terhadap perlambatan kendaraan, gaya gesek ban dan jalan, karakteristik pengemudi yang berkaitan dengan perilaku pengereman, analisa kegagalan pengereman yang berpotensi menimbulkan kecelakaan, dan fenomena *fading* yaitu turunnya koefisien gesek kampas rem saat suhu kampas rem naik.

Penelitian yang disponsori oleh *Federal Highway Administration - National Highway Safety Bureau Washington DC* ini berdampak positif besar: (1). Bagi pemerintah Amerika yaitu memperbarui aturan dan persyaratan memperoleh SIM (Surat Ijin Mengemudi); aturan pengecekan secara berkala kondisi rem bagi kendaraan berat; hingga ketentuan/kriteria bahan kampas rem, (2). Bagi industri otomotif yaitu perbaikan mekanisme aktuatif pengereman; modifikasi sistem kontrol pengereman yang menjadi cikal-bakal sistem pengereman dengan ABS (*Automatic Braking System*); dan riset-riset bahan kampas rem sesuai kriteria yang dipersyaratkan oleh pemerintah.

Penelitian efektifitas pengereman dengan rem cakram dan rem tromol juga telah diteliti oleh banyak orang, dan terbukti rem cakram menghasilkan torsi pengereman

lebih tinggi dibanding rem tromol. Rem cakram juga berhasil mengurangi *fading* karena konstruksinya yang terbuka, sehingga disipasi kalornya lebih baik dibanding rem tromol (Q. Cao, et.al, 2004). Meski solusi rem cakram ini terbukti bisa memperkecil efek *fading*, hingga saat ini penelitian tentang rem kendaraan masih berfokus pada bahan kampas rem yang stabil pada temperatur tinggi.

Hingga tahun 1995 hampir semua bahan dasar kampas rem terbuat dari asbes, tetapi mulai Januari 1995 penggunaan asbes di negara-negara maju (khususnya di Eropa) tidak boleh digunakan lagi karena sangat membahayakan kesehatan terutama terhadap pernapasan (Owen & Clifton, 2004). Banyak pilihan bahan penggantinya yang bisa berupa serat mineral, serat logam, maupun serat organik. Namun apapun pilihan materialnya kinerja kampas rem dibatasi oleh tekanan yang bisa diberikan p_a 0.003 – 0.18 kg/mm², koefisien gesek yang dihasilkan μ 0.08 – 0.6, serta tahan terhadap suhu diatas 250°C. Semakin besar tekanan yang bisa diberikan semakin kecil koefisien gesek yang dihasilkan, demikian pula sebaliknya.

Hasil penelitian tentang material kampas rem terbaru adalah yang dilakukan oleh Bayuseno dan Sudargana pada tahun 2009 yaitu dari serbuk serabut kelapa dicampur dengan serbuk kuningan dan *phonelic resin* (Blau, Peter J., 2001). Dengan memvariasikan waktu penahanan sintering, produk ini diklaim memiliki kekerasan Brinnel 20.46 dan koefisien geseknya 2 pada suhu 150°C dengan waktu penahanan 150 menit. Dalam penelitian tersebut tidak dilakukan uji jalan. Efek *fading* dan ketahanan material perekatnya terhadap suhu tinggi juga tidak diuji.

Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi kegagalan kampas rem sepeda motor dalam menjalankan fungsinya. Kampas rem yang digunakan adalah produksi pabrik dengan bahan campuran besi dan serbuk asbes sebagai penguat dan bahan pengisinya *phonelic resin*. Bahan kampas rem ini standar Astra Honda, merek pabrikan sepeda motor di Indonesia yang digunakan sebagai sampel uji dalam penelitian ini. Prediksi kegagalan dilakukan melalui 4 cara yaitu uji jalan seperti yang disarankan oleh R.G. Mortimer dkk, uji kekuatan lem perekat kampas rem pada rangkanya, uji koefisien gesek menggunakan standar ASTM C1028 (Blau, Peter J., 2001 dan Weiss, Dieter, 2010), dan prediksi umur teknis kampas rem berdasar metode Niemann (Niemann, Gustav, 1978).

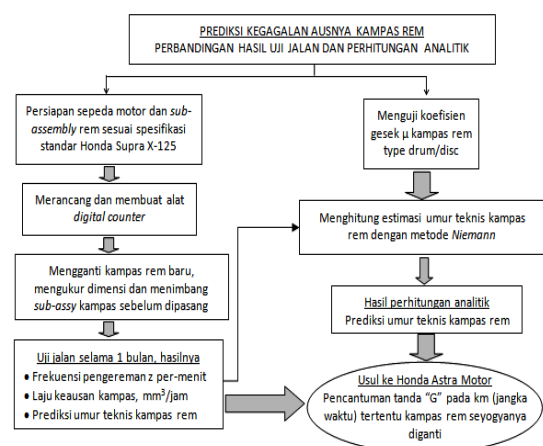
Metoda Eksperimen

Ada 2 modus kegagalan pengereman sepeda motor yang akan dikaji dalam penelitian ini yaitu ausnya kampas rem mendekati batas 0.5 mm yang diijinkan (Astra Honda Motor, 2010) dan terkelupasnya lem perekat kampas rem dari rangkanya.

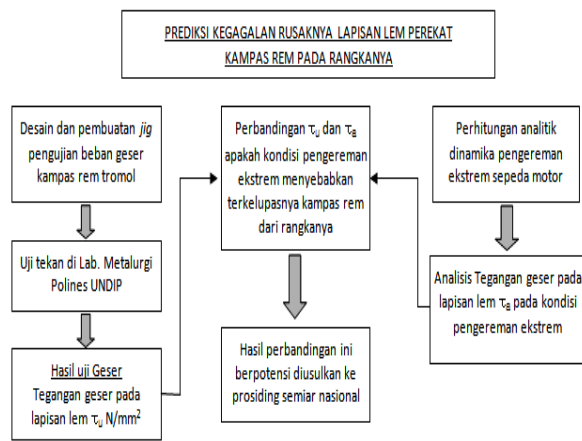
Metode penelitian ini dilakukan dengan 2 cara yaitu melalui uji jalan selama 1 bulan dan estimasi umur teknis kampas rem secara analitik menggunakan metode *Niemann*.

Menguji keefisien gesek antara bahan kampas rem dan bahan tromol (drum) dan cakram (disc) mengacu pada standar ASTM C1028. Dengan menggunakan angka frekuensi pengereman per-menit z dari hasil uji jalan, angka koefisien gesek dari hasil pengujian, serta batas minimum ketebalan kampas 0.5 mm yang diijinkan oleh Honda Astra Motor maka estimasi umur teknis kampas rem tromol maupun cakram dapat dihitung. Metode pengujian geser kampas rem tromol dan cakram mengikuti prosedur ASTM D143. Pengujian lainnya adalah Melakukan uji tekan (geser) menggunakan mesin uji tarik/tekan. **Gambar 1** dan **Gambar 2** berikut memperlihatkan alur metodologi penelitian yang dilakukan

Counter Digital yaitu rangkaian logika sekuensial yang digunakan untuk menghitung jumlah pulsa yang diberikan pada bagian masukan. Dalam pengujian ini alat ukur yang digunakan adalah *vernier caliper*. *Vernier caliper* ini berfungsi untuk mengukur ketebalan kanvas rem. Tingkat ketelitian *vernier caliper* adalah 0,05 mm. Metode yang dilakukan dalam pengujian koefisien gesek ini berdasarkan pada ASTM C1028. Standar ASTM C1028 ini mengatur tentang metode dalam pengujian koefisien gesek.



Gambar 1. Perbandingan umur teknis kampas rem antara uji jalan dan perhitungan analitik.



Gambar 2. Diagram alir pengujian kekuatan geser lem perekat kampas rem dengan rangkanya.

Keuntungan utama dari pengeleman yang berlapis pada balok adalah keandalan untuk menahan inersia (*full-composite action*). Ketahanan momen penuh juga dapat diulung jika gaya geser yang ditransfer dengan penuh sampai pada bagian persilangan, dari satu elemen titik ke titik berikutnya. Ketidakmampuan untuk menggeser di satu lapisan pada hakekatnya akan mudah untuk menurunkan nilai inersia, dan jumlah nilai inersia pada masing-masing lapisan (Rammer. Douglas R., 1996).

Pengujian kekuatan lem ini menggunakan standar seperti ASTM D3737. Metode ASTM D3737 ini untuk menentukan nilai dari kekuatan geser vertikal yang dilakukan pada lapisan material yang dilekatkan pada lem. Dimana benda yang di uji adalah kanvas rem cakram Honda Supra X 125. Saat pengujian kekuatan lem benda uji (kanvas rem cakram) di letakkan di *Jig* yang sudah di desain sesuai standar ASTM D905. ASTM D905 ini sebagai acuan untuk mengunci kanvas rem pada saat pengujian kekuatan geser. Proses Pengujian kekuatan lem dilakukan di Laboratorium Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang.

Hasil dan Pembahasan

Prediksi Kegagalan Komponen Rem Cakram Melalui Pengujian

Bahan baku yang digunakan pada kampas rem cakram standar umumnya terdiri dari serbuk aluminium, grafit, barium, alumina, asbestos, *cashew dust*, *NBR powder*, dan lainnya sebagai bahan penguat atau serat sedangkan bahan untuk matriknya atau pengikat adalah *resin phenolic*.

Matrik dalam komposit berperan sebagai pengikat serat dan mendistribusikan tegangan pada saat

pembebanan. Bahan matrik yang sering digunakan dalam pembuatan komposit adalah matrik polimer, adapun jenisnya antara lain *thermoset* dan *thermoplastic*. Yang termasuk *thermoset* antara lain *epoxy*, *polyester*, dan *phenolic*. Yang termasuk *thermoplastic* antara lain *polyethylene*, dan *polypropylene* (Maulana, Tri, 2010).

Secara umum bagian-bagian kampas rem terdiri dari daging kampas (bahan friksi), dudukan kampas (*body brake shoe*) dan 2 buah spiral. Pada aplikasi sistem pengereman otomotif yang aman dan efektif, bahan friksi harus memenuhi persyaratan minimum mengenai unjuk kerja, *noise* dan daya tahan.

Pengujian keausan dilakukan dengan metode uji jalan. Uji jalan sepeda motor dimaksudkan untuk mengetahui kondisi pembebanan riil kendaraan saat dikendarai melintasi rute yang sudah ditentukan sejauh ± 30 km pulang-pergi. Uji jalan ini dilakukan selama 3 bulan. Agar pengujian dapat dianalisa secara statistik dan mendekati riil, kondisi jalan diklasifikasikan ke dalam beberapa segmen yaitu: macet, padat merayap, sedang, lancar, jalan naik, dan jalan turun.

Pengamatan/ pembongkaran dilakukan setiap 300 km. Pengamatan/ pembongkaran dimaksudkan untuk mengukur ketebalan kanvas, yaitu berkurangnya ketebalan kanvas selama dipakai pengujian. Dari pengukuran ketebalan kanvas tersebut nantinya akan dianalisa laju keausan dari kanvas remnya. Dalam analisa laju keausan dapat didasarkan pada waktu pengereman, jarak yang ditempuh dan frekuensi injakan rem. Keadaan *engine* tidak diperiksa secara detail, hanya dilakukan service rutin dan ganti oli mesin sesaat sebelum dilakukan pengujian.

Prediksi umur kanvas rem dari analisa pengujian keausan yang telah dilakukan didapatkan umur kanvas rem berdasarkan tiga parameter yaitu waktu, jarak yang ditempuh dan jumlah injakan pengereman. Umur kanvas rem cakram dengan merk AHM didapatkan umur kanvas sebesar 6,5 bulan atau 11004,2 km atau 27484 injakan. Jadi untuk penggantian kanvas dilakukan dengan acuan salah satu parameter yang digunakan yang mana yang paling cepat ditempuh antara waktu, jarak ataupun jumlah injakan pengereman.

Kapasitas pengereman untuk Honda Supra X 125 yang menggunakan rem cakram dengan luas permukaan kanvas $1689,13 \times 10^{-4} m^2$ adalah $2,28 \times 10^4 N/m^2$. Dari hasil perhitungan kapasitas pengereman diatas kemudian dibandingkan dengan hasil pengujian kekuatan lem. Dari hasil pengujian kekuatan lem didapatkan tegangan sebesar $6.305 \times 10^6 N/m^2$ dan dari hasil perhitungan kapasitas pengereman didapatkan tegangan sebesar $2,28 \times 10^4 N/m^2$. Karena $2,28 \times 10^4 N/m^2 < 6.305 \times 10^6 N/m^2$ maka kanvas rem dinyatakan aman digunakan dalam pengereman yang berat maupun yang ringan.

Dari **Gambar 3** dapat dilihat bahwa kanvas rem terlepas dari sepatu rem yang sebelumnya menyatu karena dilem. Pada pengujian ini lem kanvas tidak terkelupas,

namun material dari kanvas yang gagal. Hal ini terjadi karena pengeleman yang benar dan material lem yang baik. Jadi untuk pengeleman kanvas rem ini dinyatakan aman jika digunakan dalam kondisi pengereman yang berat maupun yang ringan.

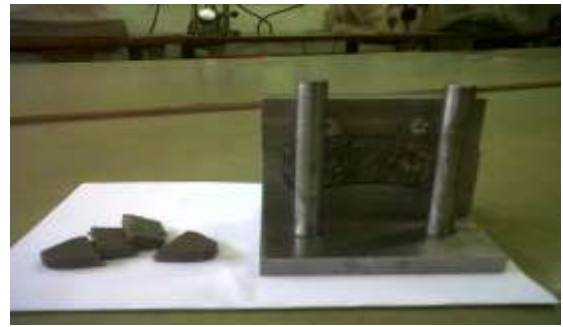
Prediksi Kegagalan Komponen Rem Tromol (*Drum Brake*) Melalui Pengujian

Bahan baku yang digunakan pada kampas rem standar umumnya terdiri dari serbuk aluminium, grafit, barium, alumina, asbestos, *cashew dust*, *NBR powder*, dan lainnya sebagai bahan penguat atau serat sedangkan bahan untuk matriknya atau pengikat adalah *resin phenolic*. Serat dalam komposit berperan sebagai bagian utama yang menahan beban serta memberikan sifat kekakuan, kekuatan, stabilitas panas dalam komposit.

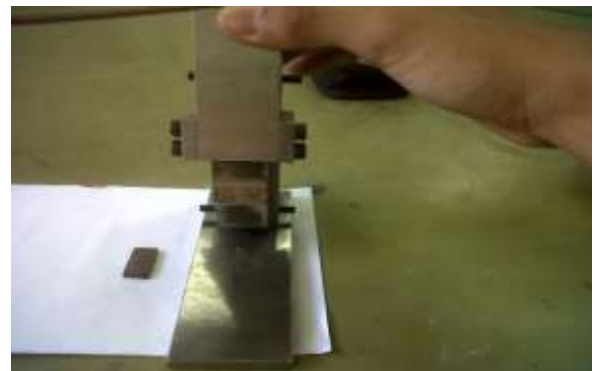
Matrik dalam komposit berperan sebagai pengikat serat dan mendistribusikan tegangan pada saat pembebanan. Bahan matrik yang sering digunakan dalam pembuatan komposit adalah matrik polimer, adapun jenisnya antara lain *thermoset* dan *thermoplastic*. Yang termasuk *thermoset* antara lain *epoxy*, *polyester*, dan *phenolic*. Yang termasuk *thermoplastic* antara lain *polyethylene*, dan *polypropylene* (Haroen, Kartiwa Wawan dan Waskito, Arief Tri, 2008).

Pengukuran ketebalan kanvas rem ini menggunakan *vernier caliper*. Cara pengukurannya dengan membagi kanvas rem menjadi 7 bagian pada masing-masing kanvas, dari tiap bagian itu diukur ketebalan kanvasnya. Pengukuran ketebalan kanvas dilakukan sebelum pengujian (kanvas masih baru), saat pengujian (setiap 300 km) dan setelah pengujian selesai.

Keuntungan utama dari pengeleman yang berlapis pada balok adalah keandalan untuk menahan inersia (*full-composite action*). Ketahanan momen penuh juga dapat diulung jika gaya geser yang ditransfer dengan penuh sampai pada bagian persilangan, dari satu elemen titik ke titik berikutnya. Ketidakmampuan untuk menggeser di satu lapisan pada hakekatnya akan mudah untuk menurunkan nilai inersia, dan jumlah nilai inersia pada masing-masing lapisan (Junmin Wang, Lee Alexander, Rajesh Rajamani, 2004).



Gambar 3. Kanvas rem setelah uji geser.



Gambar 4. Kanvas rem setelah uji geser.

Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa kanvas rem terlepas dari sepatu rem yang sebelumnya menyatu karena dilem. Pada pengujian ini lem kanvas tidak terkelupas, namun material dari kanvas yang gagal. Hal ini terjadi karena pengeleman yang benar dan material lem yang baik. Jadi untuk pengeleman kanvas rem ini dinyatakan aman jika digunakan dalam kondisi pengereman yang berat maupun yang ringan.

Dari hasil perhitungan kapasitas pengereman diatas kemudian dibandingkan dengan hasil pengujian kekuatan lem. Dari hasil pengujian kekuatan lem didapatkan tegangan sebesar $3,552 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ dan dari hasil perhitungan kapasitas pengereman didapatkan tegangan sebesar $3,506 \times 10^6 \text{ N/m}^2$. Karena $3,506 \times 10^6 \text{ N/m}^2 < 3,552 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ maka kanvas rem dinyatakan aman digunakan dalam pengereman yang berat maupun yang ringan.

Prediksi Kegagalan Rem Cakram Dengan Metode Neimann

Gesekan rem dapat dianggap sebagai kopling gesek di mana satu permukaan dihalangi untuk berputar. Sampai pada tipe dasar untuk gesekan rem, dimensi dari pasangan gesek, pemanasan, dan operasi yang terkait, pertimbangan seperti ini berlaku bagi kopling gesek. Menurut penerapannya gesekan rem dibedakan sebagai *holding brakes*, *stopping and regulation brakes* dan *dynamometer brakes* (Niemann, Gustav, 1978).

Pada perhitungan umur rem (pendekatan pertama), keausan menggosok dari pasangan gesekan pada kondisi konstan sebanding dengan kerja gesekan. Untuk mengenalkan volume dapat dipakai pada lapisan gesekan (V_v), keausan spesifik dari pasangan gesekan (q_v) dan daya rata-rata gesekan (N_r). Umur pasangan gesekan pada jam operasi yang diberikan:

$$L_B = \frac{V_v}{q_v N_r} \quad (1)$$

Dengan persamaan ini, waktu operasi diantara readjustments juga dapat dihitung jika nilai yang benar dari V_v yang disubsitusi. Jadi prediksi umur kanvas rem dengan menggunakan perhitungan metode Neimann adalah 196 hari = 6,5 bulan.

Prediksi Kegagalan Rem Tromol (*drum brake*) Dengan Metode Neimann

Untuk mencegah gerakan poros, mesin atau kendaraan, *holding brakes* sebenarnya yang diterapkan hanya ketika diam tidak tergantung pada pemakaian dan panas. Kerja gesek tidak perlu dilakukan, tetapi mempunyai peran keamanan dari poros yang digerakkan dengan torsi yang sudah ditentukan.

Pada prinsip *stopping and regulation brakes*, bertujuan untuk menghentikan atau mengatur gerakan. Sebagian besar ini berfungsi sebagai *Holding brakes* juga.

Pada aplikasinya, rem mengurangi kecepatan poros rem dari kecepatan n ke nol, dengan beban torsi pengereman M_R . Torsi eksternal M_H pada poros yang digerakkan salah satu akan meningkat atau mengurangi efek pengereman, sehingga torsi perlambatan sebenarnya adalah:

$$M_B = M_R \pm M_H \quad (2)$$

Jadi umur kanvas rem tromol menurut metode Neimann adalah 119 hari (5-6 bulan).

Kegagalan rem tromol biasanya terjadi karena kurangnya perawatan pada rem tromol tersebut. Perawatan tersebut meliputi pembersihan pada komponen rem dan juga penggantian kanvas rem. Kerusakan salah satu komponen pada *sub assembly* rem dapat merambat kerusakannya ke komponen lainnya.

Penjadwalan perawatan sangat diperlukan untuk memperpanjang usia pakai komponen, dan menjaga kehandalan *sub-assembly* rem. Penjadwalan ini dilihat dari analisa pengujian yang telah dilakukan di atas, beban pengereman

yang berat seringnya frekuensi dan lamanya waktu pengereman akan membuat komponen rem lebih cepat aus dan mempengaruhi umur dari rem.

Kesimpulan

Dari hasil pengujian keausan, uji kekuatan lem dan uji koefisien gesek rem cakram dapat disimpulkan bahwa berdasarkan jarak yang ditempuh 11014,2 km dengan 27484 injakan. Berdasarkan waktu, didapatkan umur kanvas pada 6,5 bulan, berdasarkan metode Neimann didapatkan umur kanvas pada 6,5 bulan. Dan nilai koefisien gesek kanvas 0.422.

Dari hasil beberapa pengujian yang telah dilakukan sehingga didapat jadwal perawatan pada *sub assembly* rem. Penggantian kanvas dilakukan pad a setiap 10000 km (6 bulan), kanvas diperiksa, bersihkan, setel dan lumasi setiap 2000 km (2 bulan).

Dari hasil pengujian keausan, uji kekuatan lem dan uji koefisien gesek rem tromol dapat disimpulkan bahwa berdasarkan jarak yang ditempuh, didapatkan umur kanvas pada 11363,64 km untuk *trailing shoes* dan 10000 km untuk *leading shoes*, berdasarkan jumlah pengereman, didapatkan umur kanvas pada 41600 injakan untuk *trailing shoes* dan 35500 injakan untuk *leading shoes*, berdasarkan waktu, didapatkan umur kanvas pada 6-7 bulan *trailing shoes* dan 5-6 untuk *leading shoes*. Dan nilai koefisien gesek 0.52.

Dan waktu penggantian kanvas rem sebaiknya dilakukan setelah menempuh jarak 9000 km atau sudah 5 bulan dan untuk setiap 2000 km sebaiknya diperiksa dan dibersihkan

Referensi

Astra Honda Motor, Buku Panduan Reparasi Honda Supra X 125, Jakarta (2010).

Blau, Peter J., Compositions, Functions, and Testing of Friction Brake Materials and Their Additives, Metals and Ceramics Division, Oak Ridge National Laboratory, Tennessee (2001).

Haroen, Kartiwa Wawan, Waskito, Arief Tri, Peningkatan Standar Kanvas Rem Kendaraan Berbahan Baku Asbestos dan Non Asbestos (Selulose) Untuk Keamanan, Semarang JATENG (2008).

Junmin Wang, Lee Alexander, Rajesh Rajamani, Gps Based Real-Time Tire-Road Friction Coefficient Identification, Minnesota Department of Transportation Research Services Section, Pp.79 – 80 (2004).

Limpert, Rudolf, Brake Design and Safety, Society of Automotive Engineers, Inc., 400 Commonwealth Drive, Warrendale (1992).

Maulana, Tri, Pembuatan Dan Pengujian Sifat Fisis Dan Mekanis Kampas Rem Dengan Bahan Dasar Arang Tempurung Kelapa Dengan Matriks Epoxy, Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhamadiyah Surakarta, Surakarta (2010).

Mortimer, R.G, et.al, Brake Force Requirement Study: Driver-Vehicle Braking Performance as a Function of Brake System Design Variables, Highway Safety Research Institute, University of Michigan (1970).

Niemann, Gustav, Machine Elements Design and Calculation in Mechanical Engineering, Volume II GEARS, Springer-Verlaag, New York (1978).

Owen, Clifton, Automotif Brake System, Thomson Delmar Learning (2004).

Q Cao ,et.al, Linear Eigen Value Analysis of The Disc Brake Sequel Problem, International Journal For Numerical Method in Engineering (2004).

Rammer. Douglas R., Shear Strength of Glued-laminated timber beams and panels, Pp. 2-3 (1996).

Weiss, Dieter, Brake Test Systems, Feature Article, HORIBA Technical Reports, HORIBA Europe GmbH (2010).