

ANALISA GESEKAN Pengereman Hidrolis (Rem Cakram) dan Tromol pada Kendaraan Roda Empat dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga

Afrizal Annas Dzirkullah^{1*}, Qomaruddin², Masruki Khabib³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muria Kudus
Gondangmanis, PO Box 53, Bae, Kudus 59352

*Email: afrizal.annas.23@gmail.com

Abstrak

Rem merupakan salah satu faktor penting dalam sistem pengereman, karena pentingnya fungsi rem pada kendaraan perlu dilakukan kajian mendalam tentang keausan dan tahap-tahapannya. Simulasi dengan menggunakan metode elemen hingga (FEM) merupakan salah satu program untuk menentukan umur dari suatu komponen. Dalam penelitian ini telah mensimulasikan gaya pengereman depan (disc brake) dan belakang (tromol) kendaraan roda empat. Metode yang digunakan adalah memodelkan gesekan dan keausan pada proses pengereman. Analisa tersebut dilakukan dengan menggunakan simulasi program dengan metode elemen hingga (FEM) disajikan dalam permodelan 3 dimensi (3D). Material dari disc dan tomol adalah cast iron dan material kanvas rem adalah komposit. Karena proses pengereman dengan tekanan dan gaya moment yang berubah-ubah maka perlu kajian mendalam tentang keausan dan tahapan-tahapannya. Analisa statis menghasilkan nilai von mises stress dan displacement sedangkan analisa dinamis menghasilkan grafik gesekan pada sistem pengereman (disc brakes dan drum brakes) menggunakan metode elemen hingga (FEM).

Kata kunci : Disc brakes, Drum brakes, , FEM, Rem, Simulasi.

1. PENDAHULUAN

Rem merupakan suatu komponen *pendukung* pada kendaraan bermotor yang berfungsi untuk mendisipasi energi gerak kendaraan sehingga kendaraan mengalami perlambatan. Prinsip kerja dari rem ini yaitu adanya gesekan antara piringan dengan kampas rem pada saat kedua komponen rem ini berkontak. Dengan adanya gaya gesek tersebut, energi kinetik dari kendaraan diubah menjadi panas dan bunyi pada saat rem beroperasi (Meifal Dkk, 2010).

Salah satu faktor penyebab terjadinya kecelakaan lalu lintas adalah faktor kendaraan yang diakibatkan sistem rem yang tidak berfungsi sebagaimana mestinya. Sistem rem yang tidak berfungsi disebabkan adanya keausan pada cakram dan kanvas rem akibat dari gesekan. Penggunaan rem dengan beban yang tinggi, kondisi jalanan yang tidak layak, minimnya kesadaran akan berkendara yang baik serta perawatan kendaraan merupakan beberapa faktor tidak dapat berfungsinya rem secara baik.

Beberapa peneliti menyatakan bahwa, rem cakram aus lebih cepat dan kehilangan kemampuannya terutama pada kendaraan modern, walaupun pemakaian kendaraan tersebut masih kurang dari 40.000 km. Keausan dini rem tersebut karena *brake pad* yang modern lebih abrasif karena *compound* yang keras, juga kualitas buruk rem cakram yang diimpor dari beberapa negara Asia Timur (Ian Hardianto Siahaan, 2008).

Pada umumnya mobil menggunakan jenis cakram (*disc*) untuk roda-roda depan dan rem drum (tromol) pada roda-roda bagian belakang yang keduanya dioperasikan secara hidrolis. Ada beberapa jenis kendaraan roda empat yang menggunakan jenis rem tersebut.

Karena pentingnya fungsi rem pada kendaraan roda empat tersebut maka perlu adanya analisa besaran gaya yang terjadi pada rem cakram untuk roda-roda depan dan rem drum pada roda-roda bagian belakang. Analisa tersebut dilakukan dengan menggunakan simulasi program dengan penggunaan FEM (*finite element method*). Analisa dengan FEM ini, untuk memprediksi gaya gesek dari *backing plate* yang berputar di dalam drum dan rem cakram yang dikembangkan dengan mempertimbangkan geometri kontak dan sifat-sifat material kontak. Selain model analitik pengembangan tersebut juga mempertimbangkan distribusi berbagai komponen tegangan yang terjadi pada setiap elemen. Selanjutnya pemodelan FEM berbagai tegangan pada komponen diharapkan mampu menunjukkan *contact stress* dari komponen rem dan menjelaskan bahwa

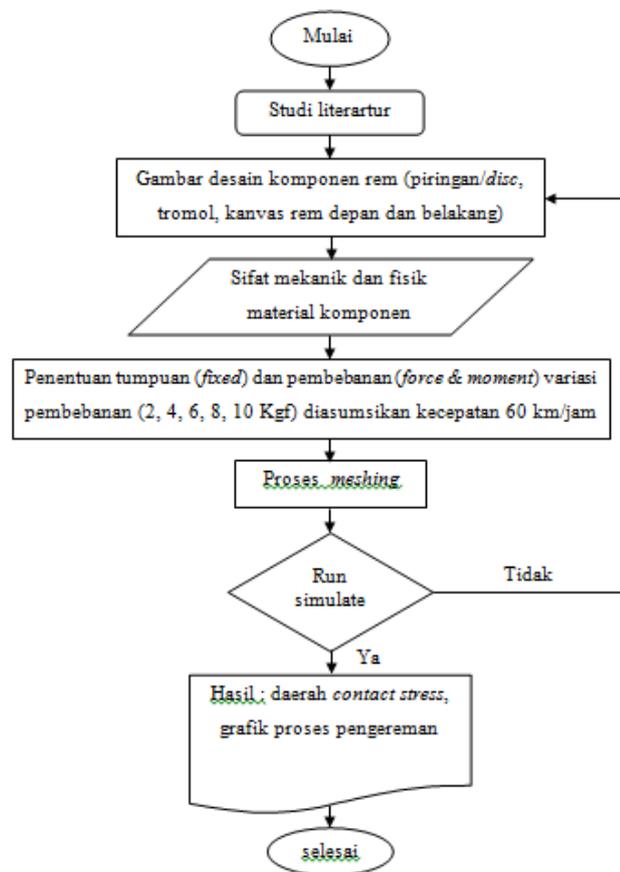
karakteristik kontak yang terjadi akibat gaya gesek. Hasil pemodelan ini diharapkan lebih presisi dan waktu pengerjaan/riset lebih cepat.

Melihat permasalahan di atas, maka dapat dirumuskan bahwa keausan adalah fenomena yang wajar dalam kontak mekanis. Tetapi kewajaran bukanlah sesuatu yang tidak bisa diprediksi sebelumnya. Karena proses pengereman dengan tekanan yang berubah-ubah maka diperlukan kajian mendalam tentang keausan dan tahapan-tahapannya, serta seberapa besar keausan yang terjadi.

Perkembangan teknologi membuat penggunaan perangkat lunak untuk mensimulasikan keausan mulai dilakukan. Meskipun membutuhkan waktu yang relatif lama, penggunaan *Finite Element Methode* (FEM) dengan bantuan *software* dalam merumuskan keausan dan hasil analisa bisa langsung dilihat.

2. METODOLOGI

2.1 Metodologi penelitian



Gambar 2.1 Rancangan penelitian

2.2 Prosedur penyelesaian dengan Perangkat Lunak Elemen Hingga (*Static Analysis*)

Pada penyelesaian dengan perangkat lunak elemen hingga ini menjelaskan langkah-langkah dalam menjalankan simulasi untuk mendapatkan daerah *contact stress* dari komponen rem (dengan variasi pembebanan 2, 4, 6, 8, 10 Kgf) diasumsikan kecepatan 60 km/jam. Berikut langkah-langkah penyelesaian elemen hingga :

2.2.1 *Pre Proccesing*

Pada tahap *pre proccesing*, menjelaskan langkah awal dalam penyelesaian elemen hingga. Dalam tahap ini menjelaskan proses desain geometri komponen rem (*disk brakes* dan *drum brakes*).

2.2.2 *Analisa statis (static analysis)*

Static analysis merupakan salah satu tipe simulasi analisa pada fitur *stress analysis* pada tab *environment*. Dalam tahap ini dilakukan penentuan jenis meterial, penentuan daerah

tumpuan (*fixed*), proses *meshing*, dan penentuan letak pembebanan serta besar gaya. *Static Analysis* untuk mengetahui *von misses stress* serta *displacement* dari komponen rem.

a. Menentukan Jenis Material

Pada proses elemen hingga, setelah proses import selanjutnya yaitu menentukan jenis material yang digunakan pada geometri komponen rem disc (*cast iron*), kanvas (komposit). Pada jenis material, data-data material dapat dimasukkan secara manual atau menggunakan data material yang sudah disediakan oleh *Autodesk Inventor*. Data material berupa kekuatan luluh (*yield strength*) dan kekuatan tarik (*ultimate strength*).

b. Penentuan Kondisi Batas dan Jenis Pembebanan (*Boundary Condition*)

Langkah yang dilakukan selanjutnya setelah proses mesh adalah menentukan syarat batas yang digunakan, di mana pada proses ini adalah menentukan jenis tumpuan (*Constraints*) yang digunakan pada geometri. Menentukan jenis dan besar pembebanan (*Load*) yang diterima oleh *disk brakes* dan *drum brakes*.

c. *Meshing*

Sebelum melakukan proses simulasi, geometri/benda terlebih dahulu dilakukan proses *meshing*. Dimana proses *meshing* ini adalah membagi geometri ini menjadi bagian-bagian kecil berupa garis yang terhubung pada node-node yang tersebar di seluruh geometri benda. Semakin kecil ukuran *meshing* yang terbentuk maka akan semakin mendekati nilai sebenarnya, akan tetapi membuat proses penyelesaian atau *solve* akan menjadi semakin lama.

2.2.3 *Solve/Run Simulate*

Proses simulasi dapat dilakukan melalui tool *Simulate*. *Simulate* adalah proses komputasi oleh komputer dengan perangkat lunak *Autodesk Inventor*. Pada proses ini data-data yang dimasukan pada tahap sebelumnya akan diolah untuk mendapatkan hasil analisa.

2.2.4 *Post Proccesing*

Post proccesing merupakan proses akhir dari penyelesaian metode elemen hingga. Hasil simulasi *Autodesk Inventor* akan ditampilkan berupa gambar dan data total deformasi dan tegangan maksimum hasil komputasi pada proses *simulate*.

2.3 Prosedur penyelesaian dengan Perangkat Lunak Elemen Hingga (*Dynamic Simulation*)

Pada penyelesaian simulasi dinamis ini menjelaskan langkah-langkah dalam menjalankan simulasi untuk mendapatkan grafik dari proses pengereman rem belakang maupun rem depan. Berikut langkah-langkahnya :

2.3.1 *Pre Prosesing*

Pada tahap *pre proccesing*, menjelaskan langkah awal dalam penyelesaian simulasi dinamis. Dalam tahap ini menjelaskan desain geometri komponen rem depan (*disk brakes*) dan rem belakang (*drum brakes*).

2.3.2 *Dynamic Simulation*

Dynamic simulation merupakan salah satu tipe simulasi analisa pada tab *environment*. Dalam tahap ini dilakukan penentuan jenis meterial, penentuan daerah beban, sumbu perputaran *disc* dan tromol, *moment*, *grounded*.

2.3.3 *Revolution*

Langkah yang dilakukan selanjutnya adalah tahap *revolution*, pada proses ini menentukan arah sumbu perputaran *disc* dan tromol dan penginputan nilai radian per detik.

2.3.4 *Output grapher*

Sebelum melakukan proses simulasi, mengatur grafik adalah langkah selanjutnya, dimana grafik yang akan muncul akan di atur dalam proses ini.

2.3.5 *Simulator player*

Simulator player merupakan proses akhir dari simulasi dinamis (*dynamic simulation*) pada *output grapher*, hasil simulasi akan ditampilkan berupa grafik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

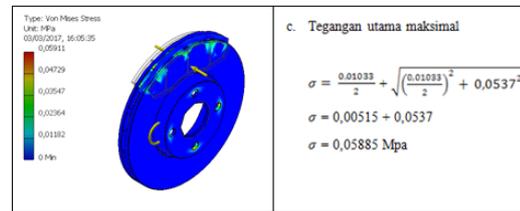
3.1. Hasil Validasi

Sebagai pembanding hasil simulasi *software* peneliti menggunakan perhitungan secara teoritis dengan rumus yang bersangkutan. Hasil pengukuran dilakukan secara manual dari rangkaian

komponen rem (*trainer* mobil). Perbandingan hasil pembebanan 2 Kgf antara perhitungan teoritis dengan simulasi *Software Autodesk Inventor 2015* sebagai berikut :

Tabel 3.1 Perbandingan hasil validasi

No	Pembebanan	Von mises		Selisih hasil	Error (%)
		Inventor 2015	Teoritis		
1	2 Kgf	0,05911	0,05885	0,00026	0,44



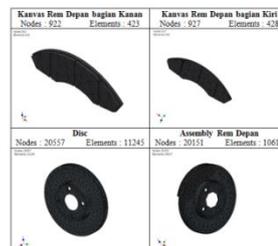
Gambar 3.1 Perbandingan simulasi *software* dan teoritis

Hasil simulasi pembebanan 2 Kgf dengan *software Autodesk Inventor 2015* menunjukkan tegangan maksimum 0,05911 Mpa, sedangkan untuk hasil perhitungan secara teoritis menunjukkan tegangan maksimum 0,05885 Mpa. Selisih dari validasi ini adalah 0,00026.

3.2 Simulasi Statis (Static Analysis)

a. Hasil *meshing*

Pada proses *meshing assembly* komponen rem depan yang terdiri dari kanvas rem depan bagian kanan, kanvas rem depan bagian kiri dan *disc* dapat dilihat pada gambar 4.8 membentuk jumlah node sebanyak 20151 buah dan elemen yang terbentuk adalah 10617 buah. Desain kanvas rem depan bagian kanan menghasilkan 922 node dan 423 elemen. Desain kanvas rem depan bagian kiri menghasilkan 927 node dan 428 elemen. Desain *disc* menghasilkan 20557 node dan 11245 elemen. Hasil *meshing assembly* komonen rem depan akan diperlihatkan pada gambar berikut :



Gambar 3.2 Hasil *meshing* masing-masing desain komponen rem depan

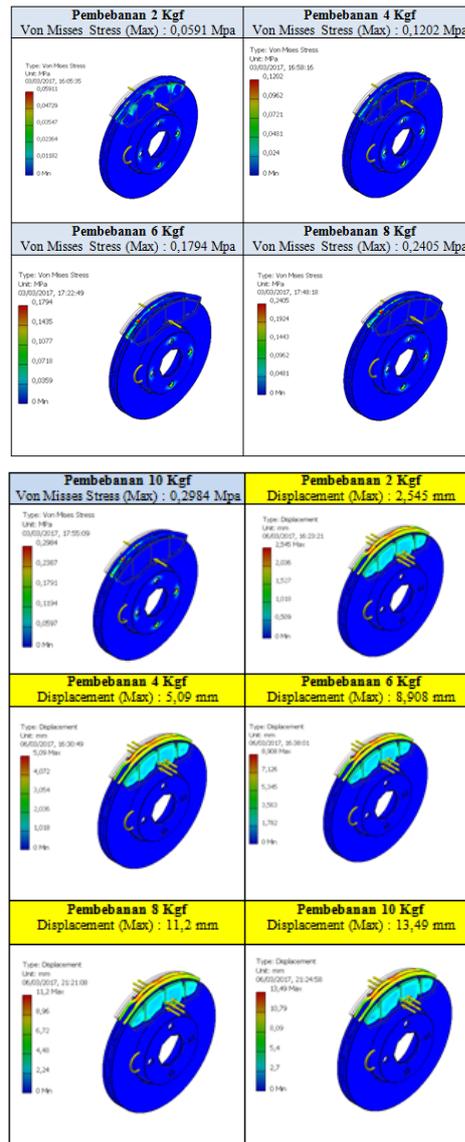
Pada proses *meshing assembly* komponen dapat dilihat pada gambar 3.2 membentuk jumlah node sebanyak 177268 buah dan elemen yang terbentuk adalah 102492 buah. Desain kanvas rem belakang bagian depan menghasilkan 71574 node dan 41721 elemen. Desain kanvas rem belakang bagian belakang menghasilkan 71566 node dan 41717 elemen. Desain tromol menghasilkan 8916 node dan 4472 elemen. Hasil *meshing assembly* komonen rem belakang akan diperlihatkan pada gambar berikut :



Gambar 3.3 Hasil *meshing* masing-masing desain komponen rem belakang.

b. Hasil simulasi *software*

Simulasi *software* analisa statis untuk mengetahui tegangan (*von misses*) dan displacement *disc* dengan kanvas rem dan tromol dengan kanvas rem. Berikut adalah hasil *von misses stress* dan displacement simulasi statis rem depan :

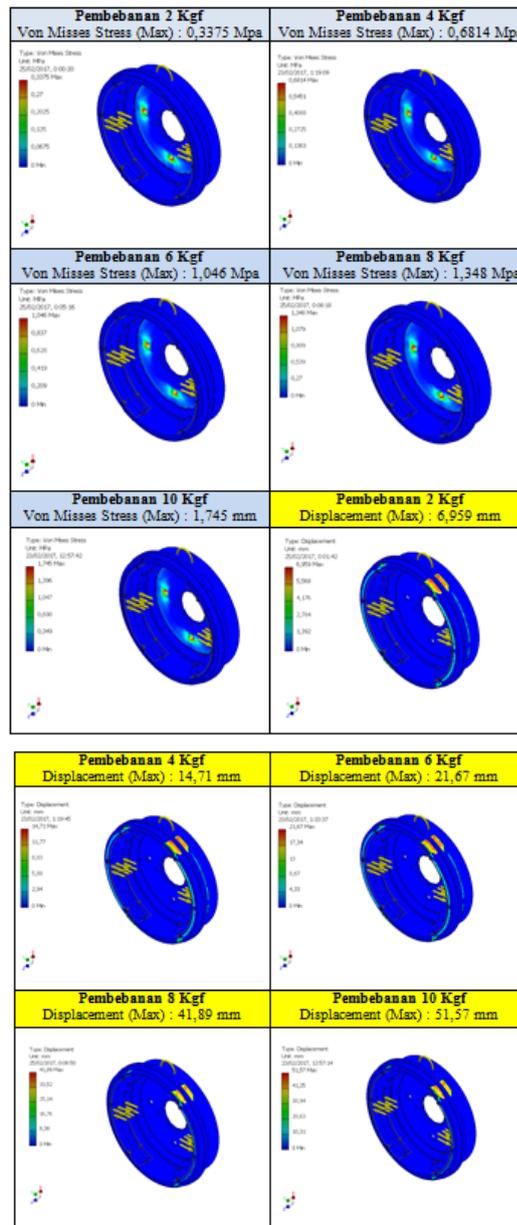


Gambar 3.4 Von misses stress dan displacement maksimal rem depan

Hasil simulasi statis rem depan ditunjukkan dengan *von misses stress* dan *displacement*. *von misses stress* dan *displacement* yang terjadi pada masing-masing pembebanan ditunjukkan pada gambar 3.4. pembebanan 2 Kgf memiliki *von misses stress* sebesar 0,05911 Mpa dan *displacement* sebesar 2,545 mm. Pembebanan 4 Kgf memiliki *von misses stress* sebesar 0,1202 Mpa dan *displacement* sebesar 5,09 mm. Pembebanan 6 Kgf memiliki *von misses stress* sebesar 0,1794 Mpa dan *displacement* sebesar 8,908 mm. Pembebanan 8 Kgf memiliki *von misses stress* sebesar 0,2405 Mpa dan *displacement* sebesar 11,2 mm. Pembebanan 10 Kgf memiliki *von misses stress* sebesar 0,2984 dan *displacement* sebesar 13,49 mm.

Tegangan dan *displacement* terendah dari simulasi rem depan ada pada pembebanan 2 Kgf dan tertinggi pada pembebanan 10 Kgf. Dari data tersebut dapat diketahui semakin besar pembebanan pada kanvas rem maka nilai *von misses stress* dan *displacement* semakin besar.

Setelah mengetahui hasil simulasi statis rem depan maka selanjutnya adalah simulasi statis rem belakang. Dimana diketahui jari-jari dari tromol adalah 106 mm sehingga nilai *moment* rem belakang lebih kecil dari pada nilai *moment* rem depan. Hasil simulasi rem belakang bisa dilihat pada gambar berikut :



Gambar 3.5 Von misses stress dan Displacement maksimal Rem Belakang

Hasil simulasi statis rem belakang ditunjukkan dengan *von misses stress* dan *displacement*. Tegangan dan lendutan yang terjadi pada masing-masing pembebanan ditunjukkan pada gambar 3.5. Pembebanan 2 Kgf memiliki *von misses stress* sebesar 0,3375 Mpa dan *displacement* sebesar 6,959 mm. Pembebanan 4 Kgf memiliki *von misses stress* sebesar 0,6814 Mpa dan *displacement* sebesar 14,7 mm. Pembebanan 6 Kgf memiliki *von misses stress* sebesar 1,046 Mpa dan *displacement* sebesar 21,67 mm. Pembebanan 8 Kgf memiliki *von misses stress* sebesar 1,348 Mpa dan *displacement* sebesar 41,89 mm. Pembebanan 10 Kgf memiliki *von misses stress* sebesar 1,745 dan *displacement* sebesar 51,57 mm.

Seperti halnya pada simulasi statis rem depan pada simulasi statis rem belakang, *von misses stress* dan *displacement* terendah ada pada pembebanan 2 Kgf dan tertinggi pada pembebanan 10 Kgf. Dari data tersebut dapat diketahui semakin besar pembebanan pada kanvas rem maka nilai *von misses stress* dan *displacement* semakin besar.

1.1 simulasi Dinamis (Dynamic Simulation)

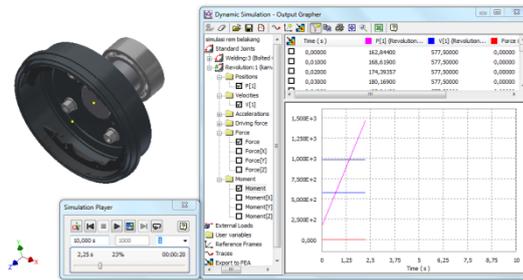
Pada simulasi dinamis (*dynamic simulation*) akan menghasilkan grafik dari simulasi rem depan (*disc*) maupun belakang (*tromol*). Dikarenakan sistem pengereman *disc* ataupun *tromol*

berputar dan bergesekan dengan kanvas rem, maka peneliti menambah desain pada komponen rem depan dan rem belakang yang bertujuan untuk memudahkan simulasi dinamis ini, desain komponen akan diperlihatkan pada gambar berikut :



Gambar 3.6 Desain *assembly dynamic simulation* rem depan dan belakang

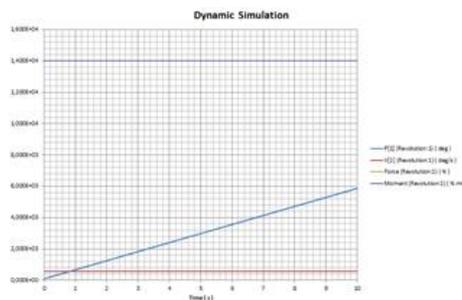
Sebelum mengetahui hasil simulasi dinamis dalam bentuk grafik, perlu mengatur grafik pada *output grapher*, sebagai contoh akan ditampilkan *output grapher* pada simulasi rem belakang. Penjelasanya sebagai berikut :



Gambar 3.7 Proses *output grapher*

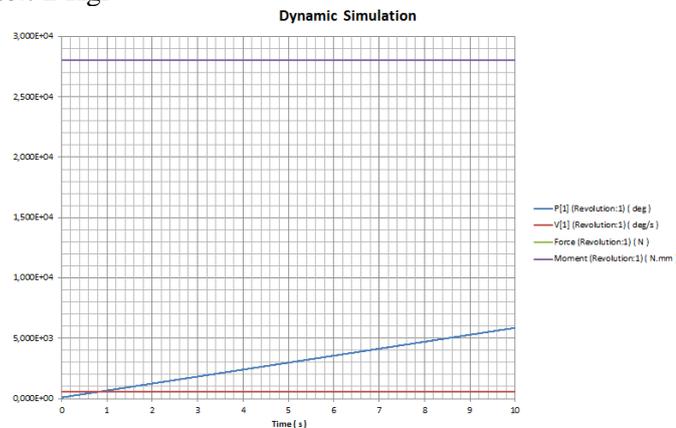
Berikut adalah hasil dari simulasi dinamis rem depan :

- a. Grafik *dynamic simulation* 2 Kgf



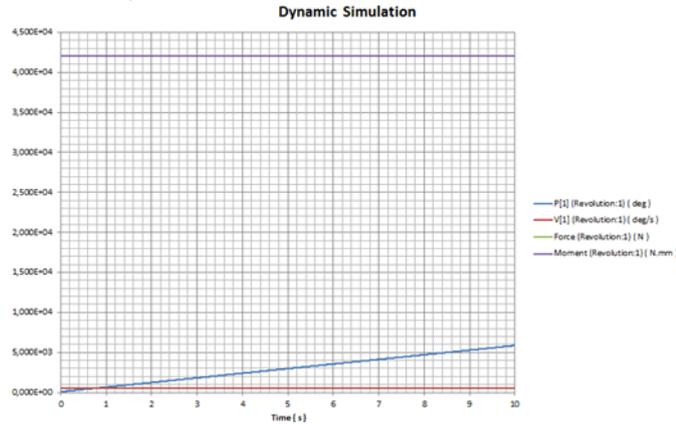
Gambar 3.8 Grafik *Dynamic Simulation* 2 Kgf

Grafik *dynamic simulation* 2 Kgf



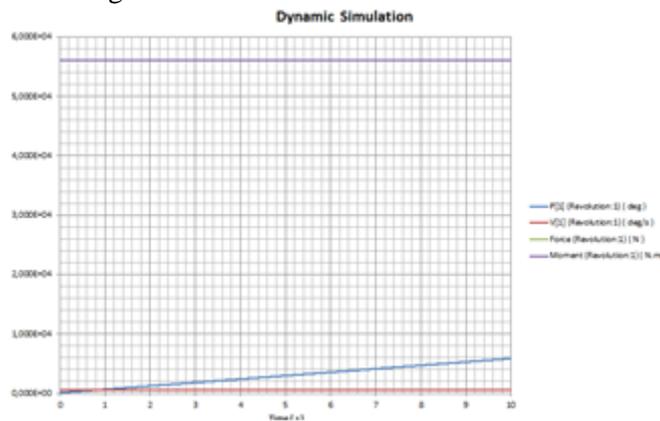
Gambar 3.9 Grafik *Dynamic Simulation* 4 Kgf

b. Grafik *dynamic simulation* 6 Kgf



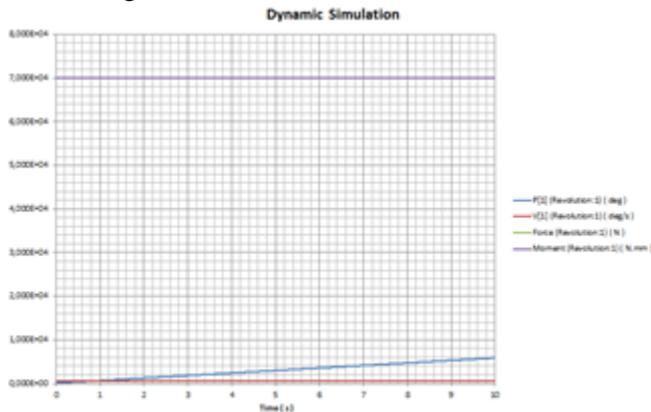
Gambar 4.10 Grafik *Dynamic Simulation* 6 Kgf

c. Grafik *dynamic simulation* 8 Kgf



Gambar 4.11 Grafik *Dynamic Simulation* 8 Kgf

d. Grafik *dynamic simulation* 10 Kgf



Gambar 4.12 Grafik *Dynamic Simulation* 10 Kgf

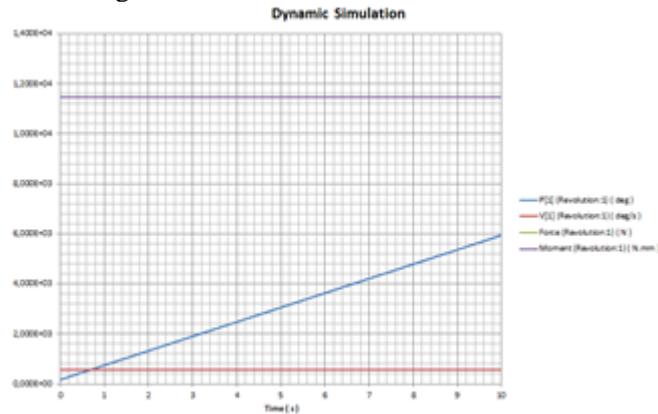
Hasil simulasi *software* rem depan ditunjukkan dengan P(1) (deg), V(1) (deg/s), force (N), *moment* (Nmm). *Positions*, *Velocities*, *force* dan *moment* yang terjadi pada masing-masing pembebanan selama 10 detik ditunjukkan pada gambar diatas. Pembebanan 2 Kgf memiliki P(1) sebesar 5865,62 deg, V(1) sebesar 577,5, *force* sebesar 0,05057 N, *moment* sebesar 14023,5 Nmm. Pembebanan 4 Kgf memiliki P(1) sebesar 5865,62 deg, V(1) sebesar 577,5, *force* sebesar 0,05057 N, *moment* sebesar 28047 Nmm. Pembebanan 6 Kgf memiliki P(1) sebesar 5865,62 deg, V(1) sebesar 577,5, *force* sebesar 0,05057 N, *moment* sebesar 42070,5 Nmm. Pembebanan 8 Kgf memiliki P(1) sebesar 5865,62 deg, V(1) sebesar 577,5, *force* sebesar 0,11813 N, *moment* sebesar

56094 Nmm. Pembebanan 10 Kgf memiliki P(1) sebesar 5865,62 deg, V(1) sebesar 577,5, *force* sebesar 0,05057 N, moment sebesar 70116 Nmm.

Moment terendah dari simulasi rem depan ada pada pembebanan 2 kgf dan tertinggi pada pembebanan 10 Kgf. Dari data tersebut dapat diketahui semakin besar pembebanan dan *moment* pada kanvas rem maka nilai *moment* semakin besar.

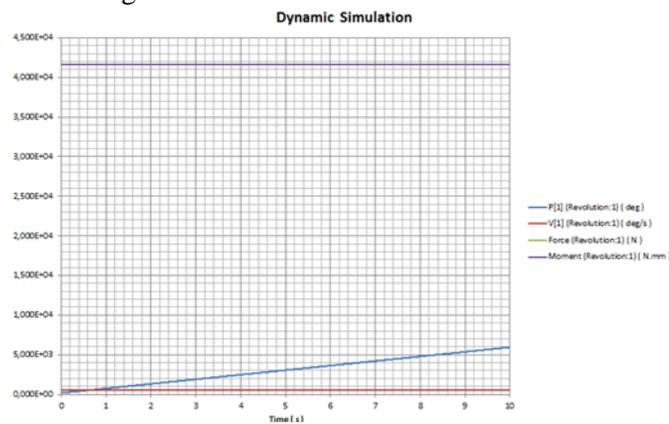
Setelah mengetahui simulasi dinamis rem depan, selanjutnya adalah simulasi rem belakang. Hasil simulasi dinamis rem belakang bisa dilihat pada gambar berikut :

a. Grafik *dynamic simulation* 2 Kgf



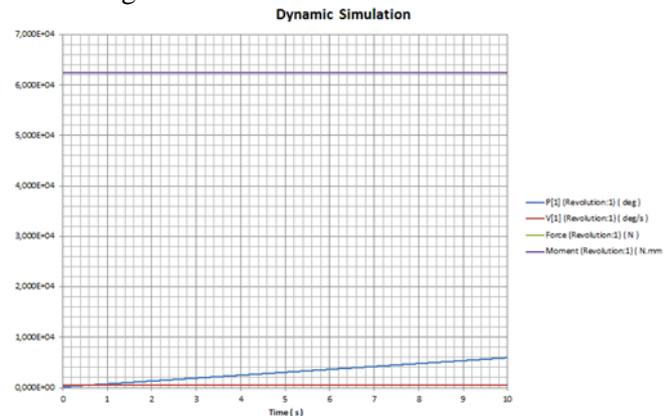
Gambar 4.13 Grafik *Dynamic Simulation* 2 Kgf

b. Grafik *dynamic simulation* 4 Kgf



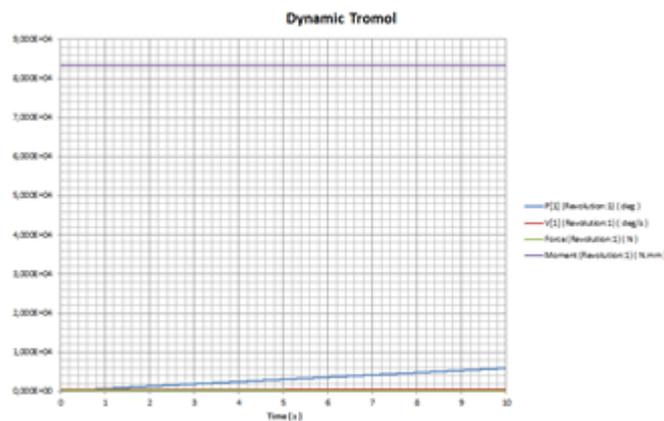
Gambar 4.14 Grafik *Dynamic Simulation* 4 Kgf

c. Grafik *dynamic simulation* 6 Kgf



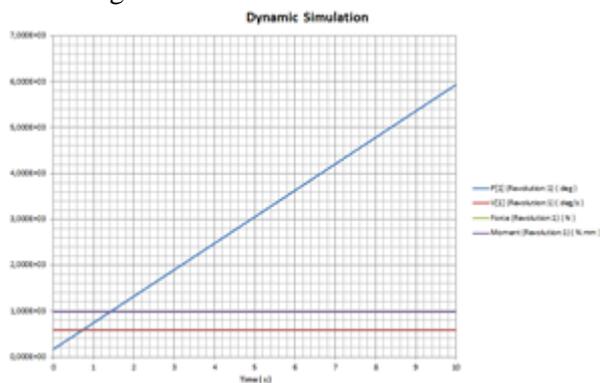
Gambar 4.15 Grafik *Dynamic Simulation* 6 Kgf

d. Grafik *dynamic simulation* 8 Kgf



Gambar 4.16 Grafik *Dynamic Simulation* 8 Kgf

e. Grafik *dynamic simulation* 10 Kgf



Gambar 4.17 Grafik *Dynamic Simulation* 10 Kgf

Hasil simulasi *software* rem belakang ditunjukkan dengan P(1) (deg), V(1) (deg/s), *force* (N), *moment* (Nmm). *Potsitions*, *Velocities*, *force* dan *moment* yang terjadi pada masing-masing pembebanan selama 10 detik ditunjukkan pada gambar diatas. Pembebanan 2 Kgf memiliki P(1) sebesar 5865,62 deg, V(1) sebesar 577,5, *force* sebesar 0,05057 N, *moment* sebesar 14023,5 Nmm. Pembebanan 4 Kgf memiliki P(1) sebesar 5865,62 deg, V(1) sebesar 577,5, *force* sebesar 0,05057 N, *moment* sebesar 28047 Nmm. Pembebanan 6 Kgf memiliki P(1) sebesar 5865,62 deg, V(1) sebesar 577,5, *force* sebesar 0,05057 N, *moment* sebesar 42070,5 Nmm. Pembebanan 8 Kgf memiliki P(1) sebesar 5865,62 deg, V(1) sebesar 577,5, *force* sebesar 0,11813 N, *moment* sebesar 56094 Nmm. Pembebanan 10 Kgf memiliki P(1) sebesar 5865,62 deg, V(1) sebesar 577,5, *force* sebesar 0,05057 N, *moment* sebesar 70116 Nmm. Diketahui dari gambar grafik diatas semakin lama waktu pengereman atau gesekan antara *disc* dengan kanvas dan tromol dengan kanvas, maka semakin tinggi nilai dari P(1). Sedangkan untuk V(1), *force* dan *moment* nilainya stabil dikarenakan watu pengimputan data dibuat konstan.

Moment terendah dari simulasi rem belakang ada pada pembebanan 2 kgf dan tertinggi pada pembebanan 10 Kgf. Dari data tersebut dapat diketahui semakin besar pembebanan dan *moment* pada kanvas rem maka nilai *moment* semakin besar.

1.2 Pembahasan hasil

1.2.1 Simulasi statis (*static analysis*)

Tabel 3.2 Perbandingan hasil simulasi statis rem depan masing-masing pembebanan

No.	Simulasi		Kategori		
	(kgf)	Von mises (Mpa)	Displacement (mm)	Safety factor (μm)	
1	2	0,5911	2,545	15	
2	4	0,1202	5,09	15	
3	6	0,1794	8,908	15	
4	8	0,2405	11,2	15	
5	10	0,2984	13,49	15	

Dari data hasil simulasi yaitu peubahan nilai *von mises* dan *displacement* dipengaruhi nilai pembebanan dari kanvas rem ke *disc*. Semakin besar pembebanan maka semakin besar nilai *von mises* dan *displacement* pada simulasi sistem pengereman.

Tabel 3.3 Perbandingan hasil simulasi statis rem belakang masing-masing pembebanan

No.	Simulasi		Kategori		
	(kgf)	Von mises (Mpa)	Displacement (mm)	Safety factor (μm)	
1	2	0,3375	6,959	15	
2	4	0,6814	14,71	15	
3	6	1,046	21,67	15	
4	8	1,348	41,89	15	
5	10	1,745	51,57	15	

Seperti pada tabel 3.2, Dari data hasil pada tabel 3.3 juga perubahan nilai *von misses* dan *displacement* dipengaruhi nilai pembebanan dari kanvas rem ke tromol. Semakin besar pembebanan maka semakin besar nilai *von misses* dan *displacement* pada simulasi sistem pengereman.

3.4.2 Simulasi dinamis

Dari data hasil simulasi yaitu peubahan nilai *moment* dipengaruhi nilai pembebanan dan gaya *moment* dari kanvas rem ke *disc*. Semakin besar pembebanan dan gaya moment maka semakin besar nilai moment pada simulasi sistem pengereman. Seperti pada tabel berikut :

Tabel 3.4 Perbandingan hasil simulasi dinamis rem depan masing-masing pembebanan

No.	Simulasi		Kategori			
	(Kgf)	P(l) (deg),	V(l) (deg/s),	Force (N),	Moment (Nmm)	
1	2	5865,62	577,500	0,05057	14023	
2	4	5865,62	577,500	0,05057	28047	
3	6	5865,62	577,500	0,05057	42070,5	
4	8	5865,62	577,500	0,05057	5865,62	
5	10	5865,62	577,500	0,05057	70116	

Seperti pada tabel 3.4, Dari data hasil pada tabel 3.5 juga perubahan nilai peubahan nilai moment dipengaruhi nilai pembebanan dan gaya moment dari kanvas rem ke disc. Semakin besar pembebanan dan gaya moment maka semakin besar nilai moment pada simulasi sistem pengereman. Akan dijelaskan pada tabel berikut :

Tabel 3.5 Perbandingan hasil simulasi dinamis rem belakang masing-masing pembebanan

No.	Simulasi (kgf)	Kategori			
		P(l) (deg)	V(l) (deg/s)	Force (N)	Momen (Nmm)
1	2	5937,84	577,500	0	11455
2	4	5937,84	577,500	0	41580,2
3	6	5937,84	577,500	0	62370,2
4	8	5937,84	577,500	0	83160,4
5	10	5937,84	577,500	0	98066,4

1.3 Analisa manufaktur

Selain besar gaya pijak pedal rem, bahan material juga mempengaruhi proses manufaktur yaitu nilai *von misses* dan nilai *displacement*. Pada sistem pengereman rem depan (disc) dan rem belakang (tromol) terjadi gesekan yang menghasilkan keausan pada *disc*, tromol dan kanvas rem.

4. KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan pada bab sebelumnya, peneliti membuat beberapa kesimpulan dalam penelitian ini dan beberapa saran untuk penelitian berikutnya :

- Pada simulasi statis rem depan dan rem belakang nilai *von misses* dan *displacement* terendah ada pada pembebanan 2 kgf, sedangkan nilai tertinggi ada pada pembebanan 10 kgf
- Semakin besar gaya pijak pedal rem akan menghasilkan gaya yang keluar dari pedal, tekanan hidrolik, sampai pada gaya gesek yang semakin besar.
- ke fulcrum pada sistem pengereman berpengaruh pada nilai *von misses stress* dan *displacement*

Saran

- Dalam simulasi ini tidak perhitungan booster rem dan master rem.
- Tidak adanya jarak pengereman dan kecepatan kurang bervariasi hanya pada kecepatan 60 km/jam.

DAFTAR PUSTAKA

- Arta Budi Nugraha, 2012, Analisa Parameter Kontak Pada Sliding Contact Antar Ellipsoid Dengan Variasi Arah Sliding Menggunakan Metode Elemen Hingga.
- Eko Saputra Dkk, 2011, "Perhitungan Keausan Pada Sistem Kontak Rolling-Sliding Menggunakan Finite Element Method" Jurnal, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Diponegoro.
- Hardianto, I., 2008., "Kinerja Rem Tromol Terhadap Kinerja Rem Cakram Kendaraan Roda Dua Pada Pengujian Stasioner" Jurnal, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Kristen Petra Surabaya.
- Hudoyo, H., 2001, "Pengembangan Kurikulum dan Pembelajaran Matematika" Common Text Book (Edisi Revisi), Malang, Universitas Negeri Malang.
- Jamari, J., 2011, "Analisa Kontak Statis Permukaan Kasar Berbasis Elemen Hingga" Jurnal Teknik Mesin, Universitas Diponegoro.
- Jamari, J., 2006, "Running-in of Rolling Contacts". PhD Thesis, University of Twente, Zutphen, The Netherlands.
- Meifal Rusli Dkk, 2010 "Analisis Getaran Dan Suara Pada Rem Cakram Saat Beroperasi" Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) ke-9, Universitas Andalas.
- Nikishkov G.P., 2001, "Introduction To The Finite Element Method" Lecture Notes, Berlin.
- Rochmad, 2015, "Analisis Gaya Pengereman Pada Mobil Nasional Mini Truck" Jurnal, Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Sularso, Kiyokatsu Suga. Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin, Jakarta 1994.
- Yanuar Dkk, 2010, "Analisa Gaya Pada Rem Cakram (Discbrake) Untuk Roda Empat" Jurnal, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Gundadarma.