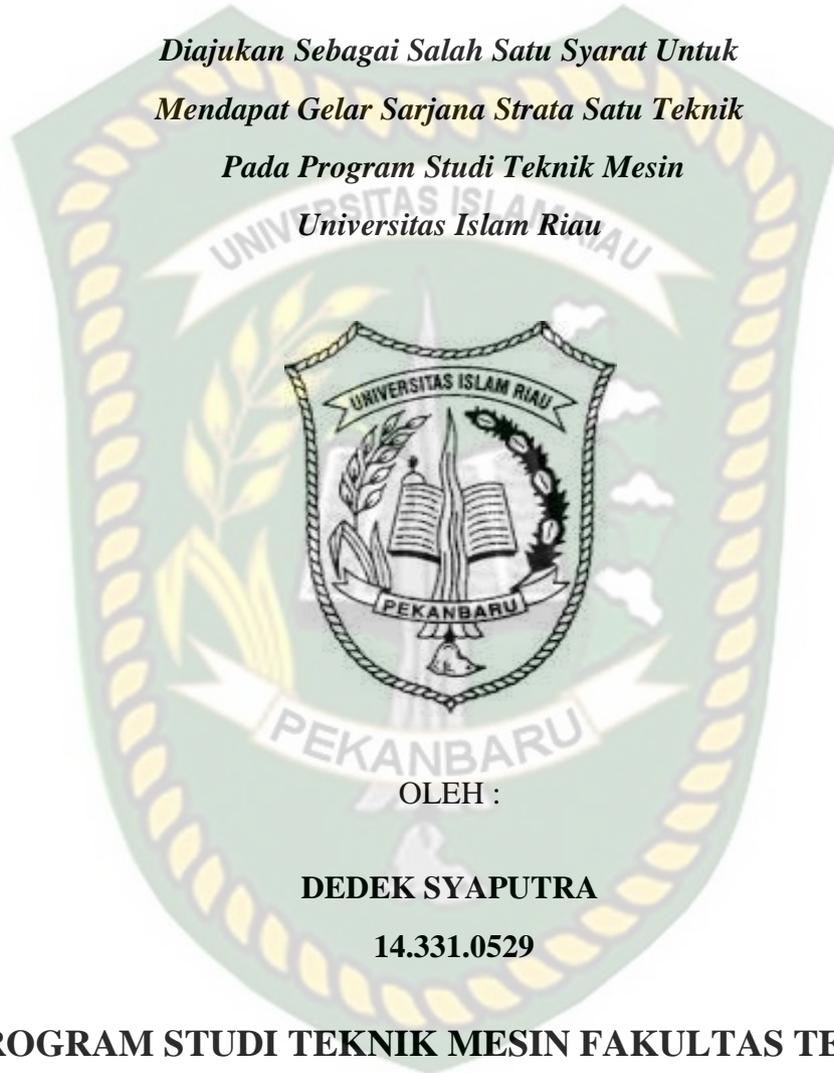


**ANALISA KAMPAS REM DENGAN PEMODELAN
METODE ELEMEN HINGGA**

TUGAS AKHIR

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk
Mendapat Gelar Sarjana Strata Satu Teknik
Pada Program Studi Teknik Mesin
Universitas Islam Riau*



OLEH :

DEDEK SYAPUTRA

14.331.0529

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM RIAU
PEKANBARU**

2021

BIODATA PENULIS

DATA PRIBADI



Nama : DEDEK SYAPUTRA
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Tempat, Tanggal Lahir : Intiraya, 23 Maret 1995
Kewarganegaraan : Indonesia
Agama : Islam
Nomor Ponsel : 085216684539
E-Mail : dedeksyaputra.uir@gmail.com

PENDIDIKAN FORMAL

SD NEGERI 002 Intiraya, Dari tahun 2001 sampai 2007

MTs Al-Falah Simpang kanan, Dari tahun 2007 sampai 2010

MA Al-Falah Simpang Kanan, Dari tahun 2010 sampai 2013

Universitas Islam Riau, Dari tahun 2014 sampai 2021

Diprogram Studi Teknik Mesin ini penulis mengambil bidang studi Mesin Material Teknik . Penulis sempat aktif di beberapa seminar yang diselenggarakan oleh program studi, aktif dalam kegiatan internal maupun eksternal kampus. Pada Penulisan Tugas Akhir ini penulis melakukan penelitian di Laboratorium Dasar Universitas Riau dan di Laboratorium.

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamualaikum, Wr.Wb.

Alhamdulillah, puji dan syukur kehadiran Allah S.W.T yang selalu melimpahkan rahmat dan hidayah-nya sehingga kita masi diberi kesehatan, kesempatan dan nikmat iman dan islam, agar penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir Sarjana ini sesuai dengan penulis harapkan. Tak lupa pula shalawat berangkai kan salam kita hadiahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW, karena berkat perjuangannya kita dapat menikmati ilmu pengetahuan hingga saat ini.

Tugas Akhir Sarjana ini yang berjudul “ **ANALISA KAMPAS REM DENGAN PEMODELAN METODE ELEMEN HINGGA** ”. Penulisan Tugas Akhir Sarjana ini bertujuan untuk memenuhi persyaratan kurikulum akademis guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin Universitas Islam Riau. Selain itu penulisan Tugas Akhir Sarjana ini juga bertujuan agar mahasiswa bisa berfikir secara logis dan ilmiah serta bisa menuangkan pemikirannya secara sistematis dan terstruktur.

Tugas Akhir Sarjana ini tidak akan terwujud tanpa bantuan, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu, dengan segala kerendahan hati penulis ucapkan terimakasih kepada :

1. Kedua Orang tua tercinta, yang telah memberikan dorongan lahir dan batin kepada penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Riau, Bapak Dr.Eng. Muslim., MT. Yang telah memberikan izin dan kemudahan-kemudahan selama penulis menjadi mahasiswa maupun pada saat penelitian.

3. Ketua prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau, Bapak Jhonni Rahman, B.Eng., M.Eng., Ph.D. dan serta selaku pembimbing atas segala bimbingan, kesabaran, serta arahan yang di berikan kepada penulis selama menyusun Tugas Akhir ini.
4. Para dosen prodi Teknik Mesin Universitas Islam Riau yang telah memberikan bekal ilmu yang sangat berharga kepada penulis selama menjadi mahasiswa.
5. Teman-teman Fakultas Teknik Mesin, Universitas Islam Riau angkatan 2014, atas bantuan dan dukungannya, (Salam Solidarity Forever).

Akhir kata semoga segala bantuan yang diberikan kepada penulis menjadi amal ibadah dan penulis mendo'akan semoga Allah S.W.T memberkahi dengan pahala yang berlimpah ganda.

Sebagai manusia biasa penulis menyadari dalam penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu, bila ada kekurangan di dalam Tugas Akhir Sarjana ini dapat menjadi pertimbangan bagi penulis-penulis lain agar menjadi sebuah karya tulis yang lebih baik dan mohon kritik serta saran yang membangun bagi penulis.

Wassalamualaikum, Wr.Wb.

Pekanbaru, 1 Februari 2021

penulis

DEDEK SYAPUTRA

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR NOTASI	xi
ABSTRAK	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat penelitian.....	5
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Rem	7
2.2 Jenis-jenis Rem	8
2.2.1 Rem Tromol (<i>Drum Break</i>).....	8
2.2.2 Rem Cakram (<i>Disk Break</i>).....	9
2.3 Kampas Rem	11
2.3.1 Komposisi Kampas Rem.....	12
2.4 Gaya Gesek	14
2.4.1 Jenis-Jenis Gaya Gesek	15
2.4.2 Koefisien Gesek	16
2.5 Tegangan Von Misses	19
2.6 Deformasi	20
2.7 <i>Software</i> Metode Elemen Hingga	21
2.7.1 Ansys.....	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	23

3.2 Alat.....	23
3.3 Diagram Alir	24
3.4 Simulasi ANSYS Workbench	26
3.4.1 Engineering Data	26
3.4.2 Geometri.....	26
3.4.3 Model	27
3.4.4 Solution	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Hasil Statis (<i>static structural</i>)	29
4.1.1 Hasil Simulasi Deformasi Pada Kampas Rem	29
4.1.2 Hasil Simulasi <i>alternating stress</i> Pada Kampas Rem.....	32
4.2 Simulasi Dinamis (<i>Transient Structural</i>).....	35
4.2.1 <i>Frictional Stress</i> Kampas Rem	35
4.2.2 Jarak Geser (<i>Sliding Distance</i>).....	38
4.2.3 Tekanan (<i>Pressure</i>) Pada Kampas Rem	40
4.3 Analisa Hasil Simulasi	42
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	45
5.1 Kesimpulan	45
5.2 Saran.....	46
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Rem tromol.....	8
Gambar 2.2 Rem cakram.....	9
Gambar 2.3 Cara Kerja Pada Rem Cakram	10
Gambar 2.4 (a) Kampas rem tromol, (b) Kampas rem cakram.....	12
Gambar 2.5 Gaya Gesek	15
Gambar 2.6 Diagram benda bebas yang terjadi pada mekanisme rem tromol.....	17
Gambar 2.7 Torsi yang terjadi pada tromol	18
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	24
Gambar 3.2 Data material	26
Gambar 3.3 Import geometri.....	27
Gambar 3.4 Hasil mesh.....	28
Gambar 4.1 Deformasi pada kampas rem beban 2 kg	29
Gambar 4.2 Deformasi pada kampas rem beban 4 kg	30
Gambar 4.3 Deformasi pada kampas rem beban 6 kg	30
Gambar 4.4 Grafik Total Deformasi Pada Masing-Masing Beban.....	31
Gambar 4.5 Grafik Total Deformasi vs Beban Pada Masing-Masing Beban	32
Gambar 4.6 <i>Equivalent alternating stress</i> pada pembebanan 2 kg.....	33
Gambar 4.7 <i>Equivalent alternating stress</i> pada pembebanan 4 kg.....	33
Gambar 4.8 <i>Equivalent alternating stress</i> pada pembebanan 6 kg.....	34
Gambar 4.9 Grafik <i>Equivalent alternating stress</i> pada masing-masing beban.....	34
Gambar 4.10 Grafik <i>Equivalent alternating stress</i> pada masing-masing beban... 35	
Gambar 4.11 <i>Frictional Stress</i> Beban 2 kg.....	36

Gambar 4.12 <i>Frictional Stress</i> Beban 4 kg	36
Gambar 4.13 <i>Frictional Stress</i> Beban 6 kg.....	37
Gambar 4.14 Grafik <i>Frictional Stress</i> vs beban.....	37
Gambar 4.15 Jarak Geser pada beban 2 kg	38
Gambar 4.16 Jarak Geser pada beban 4 kg	38
Gambar 4.17 Jarak Geser pada beban 6 kg	39
Gambar 4.18 Sliding Distance vs beban	39
Gambar 4.19 Tekanan pada beban 2 kg	40
Gambar 4.20 Tekanan pada beban 4 kg	41
Gambar 4.21 Tekanan pada beban 6 kg	41
Gambar 4.22 Grafik <i>preasure</i> vs beban.....	42

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Hasil Simulasi <i>Static Structural</i>	42
Tabel 4.2 Hasil Simulasi <i>Transient Structural</i>	43



DAFTAR NOTASI

F_s	= gaya statis	(N)
μ_s	= koefesien gaya statis	
N	= gaya normal	(N)
F_s	= gaya kinetis	(N)
μ_s	= koefesien kinetis	
T_r	= Torsi yang terjadi pada tromol	(Nm)
F_{cam}	= Gaya yang terjadi pada cam	(N)
D	= Diameter tromol	(mm)
T_{roda}	= torsi yang terjadi pada roda	(Nm)
m	= massa	(kg)
g	= Gravitasi	(m/s ²)
P	= Beban	(N)
A	= Luas permukaan	(mm ²)
L	= Panjang awal	(mm)
E	= Modulus elastisitas	

ANALISA KAMPAS REM DENGAN PEMODELAN METODE ELEMEN HINGGA

Dedek Syaputra, Jhonni Rahman

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau

Jl. Kaharudin Nasution Km 11 No.113 Perhentian Marpoyan, Pekanbaru

email : dedeksyaputra.uir@gmail.com

ABSTRAK

Rem merupakan komponen yang mendukung kendaraan bermotor dan 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 ini berkontak. Karena pentingnya fungsi rem pada kendaraan tersebut maka perlu adanya analisa besaran gaya yang terjadi pada rem. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tegangan dan total deformasi yang terjadi pada kampas rem akibat keefisien gesek yang terjadi dengan menggunakan metode elemen hingga. Dalam penelitian ini terdapat dua alat yang penting untuk menjalankan penelitian ini. Pertama adalah perangkat lunak (*software*) yang menjadi alat utama untuk menjalankan semua proses simulasi, Kedua adalah perangkat keras (*hardware*) yang menjadi alat untuk menjalankan perangkat lunak yaitu komputer. *Software* Inventor dan simulasi menggunakan *ANSYS Workbench 19.2*. Spesifikasi komputer yang digunakan adalah : Prosesor : Intel Core i3-6100 2.3 GHz, Memori : 4 GB Sistem Operasi Windows 10 64-bit. Ada 2 penelitian yang dilakukan yaitu *static structural* dengan variasi pembebanan 2kg, 4kg, 6kg, dan *transient structural* dengan variasi pembebanan 2kg, 4kg, 6kg. Hasil simulasi kampas rem menunjukkan nilai *Equivalent stress von-mises* meningkat seiring dengan penambahan beban, untuk beban 2 kg adalah 0,232 MPa, sedangkan untuk beban 4 kg adalah 0,761 MPa, dan untuk beban 6 kg adalah 1,142 MPa. Hasil simulasi untuk kampas rem menunjukkan hasil tegangan yang terjadi akibat pengaruh beban yang diterima pada *Total deformasi* untuk beban 2 kg adalah $9,155 \cdot 10^{-5}$ mm, sedangkan untuk beban 4 kg adalah $1,176 \cdot 10^{-4}$ mm, dan untuk beban 6 kg adalah $2,74 \cdot 10^{-4}$ mm. Hasil simulasi dinamis yang digunakan untuk mendapatkan besar tegangan gesek pada kampas rem dengan menggunakan simulasi *Transient Structural* untuk beban 2 kg adalah 0,024 MPa, sedangkan untuk beban 4 kg adalah 0,04087 MPa dan untuk beban 6 kg adalah 0,063 MPa.

Kata Kunci : *Rem, Kampas rem, Metode Elemen Hingga*

BRAKE LINING ANALYSIS USING FINITE ELEMENT METHOD

Dedek Syaputra, Jhonni Rahman
Mechanical Engineering Study Program, Faculty of Engineering,
Riau Islamic University
Jl. Kaharudin Nasution Km 11 No.113 Perhentian Marpoyan, Pekanbaru
email : dedeksyaputra.uir@gmail.com

ABSTRACT

Brakes are components that support motorized vehicles and function to dissipate the energy of the vehicle's motion so that the vehicle slows down. The working principle of this brake is the friction between the disc and the brake lining when these two components are in contact. Because of the importance of the brake function on the vehicle, it is necessary to analyze the magnitude of the force that occurs on the brakes. This study aims to determine the stress and total deformation that occurs in the brake lining due to the frictional efficiency that occurs using the finite element method. In this study there are two important tools to carry out this research. The first is the software which is the main tool to run all simulation processes, the second is the hardware which is the tool to run the software, namely the computer. Software Inventor and simulation using ANSYS Workbench 19.2. The computer specifications used are: Processor: Intel Core i3-6100 2.3 GHz, Memory: 4 GB Windows 10 64-bit Operating System. There are 2 studies conducted, namely static structural with variations in loading 2kg, 4kg, 6kg, and transient structural with variations in loading 2kg, 4kg, 6kg. The brake lining simulation results show the value of Equivalent stresses von-misses increases as the load increases, for a 2 kg load it is 0.232 MPa, while for a 4 kg load it is 0.761 MPa, and for a 6 kg load it is 1.142 MPa. The simulation results for brake linings show that the stress results that occur due to the influence of the received load on the total deformation for a 2 kg load is $9,155 \cdot 10^{-5}$ mm, while for a 4 kg load it is $1.176 \cdot 10^{-4}$ mm, and for a 6 kg load it is $2,74 \cdot 10^{-4}$ mm. The results of the dynamic simulation used to obtain the frictional stress on the brake lining using Transient Structural simulation for a load of 2 kg is 0.024 MPa, while for a load of 4 kg it is 0.04087 MPa and for a load of 6 kg it is 0.063 MPa.

Keywords : Brake, Lining, Finite Element Method

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

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.

Perkembangan industri otomotif ini meliputi komponen-komponen sepeda motor dengan berbagai macam produk dan merk sehingga menyebabkan persaingan antar produsen, baik dalam persaingan harga, mutu dan kualitas produk. Pada umumnya masyarakat Indonesia mayoritas menggunakan alat transportasi sepeda motor dan akhir-akhir ini sepeda motor banyak beralih menggunakan perangkat rem cakram dibanding rem tromol.

Kanvas rem adalah suatu komponen yang sangat penting pada sepeda motor karena berfungsi memperlambat dan menghentikan putaran poros, mengendalikan poros dan untuk keselamatan pengendara sendiri. Rem juga 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 (Rusli, 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 kamvas 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 (Hardianto, 2008).

Pada sepeda motor menggunakan jenis cakram (disc) untuk roda-roda depan dan rem drum (tromol) pada roda-roda bagian belakang. Karena pentingnya fungsi rem pada kendaraan tersebut maka perlu adanya analisa besaran gaya tegangan yang terjadi pada rem drum (tromol). Untuk mendapatkan analisa besaran gaya tegangan, koefisien gesek, serta total deformasi akan menggunakan simulasi FEM (*Finite Element Method*).

Pemanfaatan analisa *Finite Element Method* atau metode elemen hingga berusaha memecahkan partial differential equations dan persamaan integral lainnya yang dihasilkan dari hasil diskritisasi benda contineu berupa pendekatan, metode ini dikenal cukup efektif memecahkan struktur–struktur yang kompleks dalam analisis mekanika benda padat (*solid mechanics analysis*) dan perpindahan panas (*heat transfer analysis*). Salah satu Analisa dengan program FEM ini, untuk memprediksi gaya gesek yang terjadi pada rem dengan telah dilakukan 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 lebih cepat (Suci Nurlia, 2019).

Pada hasil penelitian sudirman (2019) mengenai pengaruh gesekan terhadap tegangan thermal menggunakan *software* Nastran didapat dari analisa memiliki tegangan thermal 4,5701 MPa maksimum dan 4,5585 MPa minimum. Rifai (2016) melakukan penelitian pengaruh geometri penampang kampas rem cakram dengan *software* ANSYS dengan diberi tekanan 0.6 MPa yang diberikan pada lapisan dengan putaran disk 5 rad/s dan koefisien gesekan 0.405 pada rem yang dilakukan untuk mengetahui karakteristik dinamis dari rem cakram saat pengereman.

berdasarkan latar belakang tersebut, maka peneliti tertarik untuk melakukan simualasi koefisien gesek yang terjadi pada kampas rem dan tromol menggunakan *software* ANSYS *workbench* 19.2. Penelitian ini mengacu pada variasi model geometri permukaan dari kanvas rem drum (*tromol*) sepeda motor. Dalam penelitian ini yang dianalisis adalah tegangan, koefisien gesek, dan total deformasi yang terjadi pada permukaan kanvas rem drum (tromol).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana mengetahui pengaruh tegangan (*Equivalent stress von-misses*), *total deformasi* terhadap kampas rem?
2. Bagaimana mengetahui koefisien gesek pada kampas rem dengan menggunakan *software ANSYS*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari analisa FEM pada kampas rem adalah :

1. Untuk mengetahui pengaruh tegangan (*Equivalent stress von-misses*), *total deformasi* terhadap kampas rem dengan simulasi.
2. Untuk mengetahui koefisien gesek pada kampas rem yang didapat dari hasil simulasi simulasi *software ANSYS*.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah.:

1. Model dari kampas rem dibuat dengan menggunakan *software Autodesk Inventor 2016*.
2. *Software* elemen hingga yang digunakan adalah ANSYS 19.2
3. Model yang dijadikan bahan penelitian adalah kampas rem standar pabrik
4. Lintasan jalan dan permukaan jalan di abaikan

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai bahan referensi untuk dibandingkan hasil simulasi dan hasil eksperimental kedepannya.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai acuan atau kerangka bagi penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir, Dalam penulisan Tugas Akhir ini terdiri dari lima bab yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi penjelasan latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat, batasan masalah dan sistematika perancangan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini membahas tentang tinjauan pustaka dan teori-teori dasar yang berhubungan dengan kampas rem dan simulasi elemen hingga.

BAB III METODOLOGI

Bab ini membahas mengenai analisa kerusakan sudu dan diagram alir untuk penelitian ini.

BAB IV PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan tentang realisasi dari metodologi berupa hasil identifikasi permasalahan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran yang di anggap perlu diketahui bagi pihak-pihak yang memerlukan.



Dokumen ini adalah Arsip Miitik :
Perpustakaan Universitas Islam Riau

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Rem

Rem merupakan salah satu bagian kendaraan yang mempunyai peranan penting terhadap kenyamanan dan keselamatan pengendara kendaraan bermotor. Rem adalah suatu alat yang memperlambat otomatis gerak kendaraan menjadi lambat. Fungsi rem adalah menyerap baik energi kinetik dari bagian yang bergerak atau energi potensial yang ditimbulkan oleh komponen lain.

Perkembangan pada mekanisme untuk meningkatkan gaya dan mode penekanan serta sifat material permukaan gesek yang tahan terhadap tekanan dan temperatur tinggi. Pada umumnya bahan material gesek yang tahan terhadap tekanan dan temperatur tinggi. Pada umumnya bahan material gesek yang digunakan adalah jenis abestos atau logam hasil sinter dengan bahan induk besi atau tembaga. Koefisien gesek abestos lebih baik tetapi kurang tahan terhadap tekanan. Sebaliknya logam sinter koefisien geseknya lebih kecil tetapi tahan terhadap tekanan dan temperatur tinggi.

2.2 Jenis-Jenis Rem

Ada dua jenis rem yang dipakai pada saat ini yaitu

2.2.1 Rem Tromol (*Drum Break*)

Rem tromol merupakan sistem rem yang telah menjadi metode pengereman standar yang digunakan kendaraan bermotor kapasitas kecil pada beberapa tahun belakangan ini. Alasannya karena rem tromol sederhana dan murah, konstruksi rem tromol umumnya terdiri dari komponen-komponen seperti : sepatu rem (*brake shoe*), tromol (*drum*), pegas pengembali (*return springs*), tuas penggerak (*lever*),udukan rem tromol (*backplate*), dan cam/nok penggerak. Cara pengoperasian rem tromol pada umumnya secara mekanik yang terdiri dari: pedal rem (*brake pedal*) dan batang (*rod*) penggerak. Model rem tromol dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1 Rem Tromol

(Rudolf Limpert, 2011)

Rem tromol terbuat dari besi tuang dan digabungkan dengan hub saat rem digunakan sehingga panas gesekan akan timbul dan gaya gesek dari *brake lining* dikurangi. Drum *brake* mempunyai sepatu rem yang berputar berlawanan dengan putaran drum untuk mengerem roda dengan gesekan. Pada sistem ini terjadi gesekan, gesekan sepatu rem dengan tromol yang akan memberikan hasil energi panas sehingga dapat menghentikan putaran tromol.

2.2.2 Rem cakram (*disk break*)

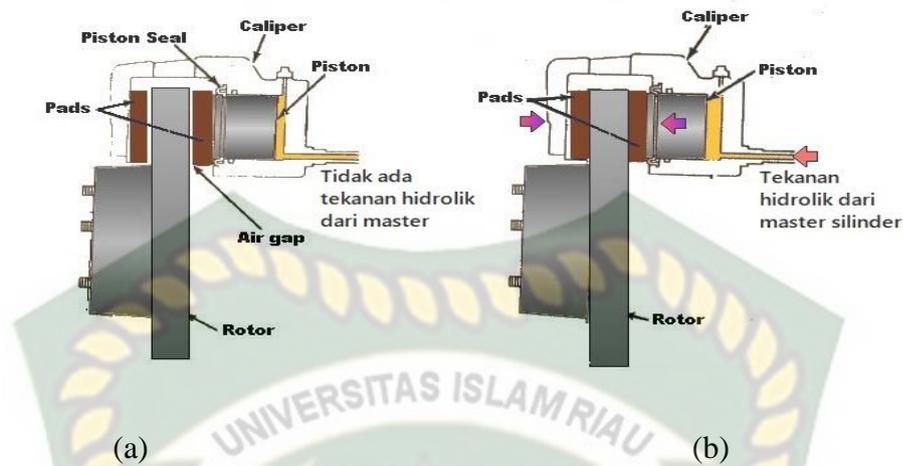
Rem cakram bergerak menggunakan hidrolis dengan memakai tekanan cairan. Pada rem cakram putaran roda dikurangi atau dihentikan dengan cara penjepitan cakram oleh dua buah sepatu rem. Rem cakram mempunyai plat disk yang terbuat dari *stainless steel* yang akan berputar bersamaan dengan roda. Pada saat rem digunakan plat disk tercekam dengan gaya bantalan piston yang bekerja secara hidrolis. Pada Gambar 2.2 dapat dilihat contoh dari rem cakram.



Gambar 2.2 Rem Cakram

(Ranjith Kumar, 2014)

Fungsi rem cakram ialah sistem pengereman yang menggunakan metode jepit untuk mengurangi dan menghentikan putaran sebuah piringan yang terletak pada roda kendaraan. System rem cakram ini dinilai lebih simple dan lebih responsif dibandingkan dengan jenis rem yang lainnya karena memiliki penampangan rem yang lebih kecil namun memiliki gaya gesek yang sangat kuat yang saling menekan gaya gesekan sehingga proses pengereman dinilai lebih efektif.



Gambar 2.3 Gambar Cara Kerja Pada Rem Cakram

Pada gambar diatas dapat dilihat cara kerja rem cakram pada gambar (a) menunjukkan kondisi rem cakram tidak bekerja. Dan gambar (b) rem sedang bekerja karena menerima tekanan hidrolis dari master silinder akibat pedal rem ditekan.

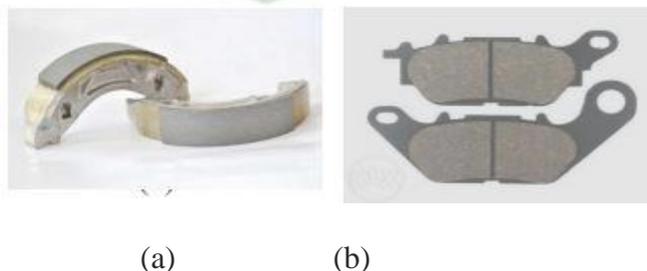
Untuk rem cakram, berikut adalah cara kerjanya.

1. Saat pedal rem ditekan, fluida (minyak rem) akan memiliki tekanan tinggi akibat dorongan dari silinder master yang diteruskan ke piston rem. Akibatnya, piston rem terdorong keluar dari silinder pada kaliper.
2. Selanjutnya, piston rem mendorong bantalan rem (brake pads) ke cakram yang sedang berputar.
3. Saat bantalan rem bagian dalam menyentuh rotor, tekanan fluida memberikan gaya lebih lanjut dan kaliper bergerak kedalam dan menarik bantalan rem bagian luar kedalam sehingga bersama-sama menyentuh disc brake.

4. Sekarang kedua bantalan rem mendorong disk yang sedang berputar. Sejumlah besar gesekan dihasilkan di antara bantalan dan disk sehingga mobil melambat dan berhenti.
5. Pada saat pedal rem dilepas, tekanan hidrolik minyak rem kembali normal. Sehingga semua komponen rem akan kembali pada posisinya masing-masing seperti saat pedal rem belum ditekan.

2.3 Kampas rem

Kampas rem termasuk komponen penting pada kendaraan. Kampas rem berfungsi untuk memperlambat dan menghentikan kendaraan dengan cara mengubah energi kinetik/gerak dari kendaraan menjadi tenaga panas. Gesekan merupakan faktor utama dalam pengereman. Oleh karena itu komponen yang dibuat untuk kampas rem harus mempunyai sifat bahan yang tidak hanya menghasilkan gesekan yang besar, tetapi juga harus tahan panas. Material yang tahan terhadap gesekan biasanya merupakan gabungan dari beberapa material. Beberapa material tersebut antara lain: tembaga, kuningan, timah, grafit, karbon, *Kevlar*, resin, dan *fiber*. Pada Gambar 2.4 dapat dilihat jenis kampas rem pada kendaraan.



Gambar 2.4 (a) Kampas rem tromol, (b) Kampas rem cakram

(Bin Zheng, 2018)

Jenis kampas rem diklasifikasikan menurut standar internasional antara lain:

1. OEM (*Original Equipment Manufactured*)

OEM adalah jenis kampas rem yang sudah terpasang saat membeli kendaraan.

2. OES (*Original Equipment Sparepart*)

OES adalah jenis kampas rem yang digunakan sebagai pengganti dari OEM dimana jenis ini dibuat oleh Pabrikasi OEM sehingga memiliki proses dan kualitas yang sama.

3. AM (*After Market*)

Jenis ini lebih sering ditemui di pasaran, dengan kualitas beragam. Ada yang lebih rendah dari OEM dan ada juga yang lebih tinggi dari OEM.

2.3.1 Komposisi Kampas Rem

Secara umum komposisi dari kampas rem terdiri dari :

- Serat penguat (*Reinforcing Fibres*)

Penggunaan serat penguat dimaksudkan untuk memberi kekuatan mekanik pada kampas rem

- Pengikat (*Binders*)

Penggunaan pengikat yaitu untuk menjaga keutuhan struktur bantalan rem dari tekanan panas

- Pengisi (*Fillers*)

Penggunaan pengisi dalam kampas rem bertujuan untuk meningkatkan hasil pengereman yang baik

Bahan baku yang digunakan pada kampas rem standar umumnya terdiri dari *resin phenolic*, *fiber*, serbuk aluminium, carbon grafit, barium, sulfat, alumina, asbestos. Bahan baku kampas rem asbestos: asbestos 40 s/d 60 %, resin 12 s/d 15%, BaSO₄ 14 s/d 15%, sisanya karet ban bekas, tembaga sisa kerajinan, dan lain-lain. Bahan baku kampas rem non asbestos: aramyd/kevlar/twaron, rockwool, fiberglass, potasiumtitanate, carbonfiber, graphite, steelfiber, BaSO₄, resin, Nitrile butadine rubber.

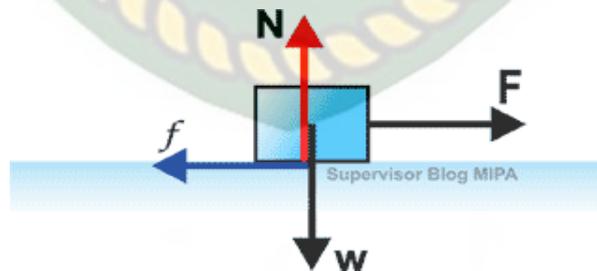
Karakterisasi yang perlu dilakukan dalam pembuatan kampas rem sepeda motor adalah kekerasan dan keausan. Kedua hal ini sangat penting karena saling berhubungan satu sama lain. Jika kampas rem sangat keras akan mempengaruhi rotornya dan jika kampas rem cepat aus maka akan menambah pengeluaran. Oleh karena itu, karakterisasi keduanya perlu dilakukan untuk mendapatkan hasil yang optimal. Selain kedua hal tersebut juga perlu dilakukan karakterisasi pada struktur mikronya karena bisa diketahui efek komposisinya. Jika belum optimal maka bisa merubah komposisi campurannya sehingga hasilnya bisa lebih optimal. Sifat mekanik menyatakan kemampuan suatu bahan (seperti komponen yang terbuat dari bahan tersebut) untuk menerima beban/gaya/energy tanpa menimbulkan kerusakan pada bahan/komponen tersebut. Seringkali bila suatu bahan mempunyai sifat mekanik yang baik tetapi kurang baik pada sifat yang lain, maka diambil langkah untuk mengatasi kekurangan tersebut dengan berbagai cara yang diperlukan. Untuk mendapatkan standar acuan tentang spesifikasi Teknik kampas

rem, maka nilai kekerasan, keausan, bending dan sifat mekanik lainnya harus mendekati nilai standar keamanannya.

2.4 Gaya Gesek

Gaya gesek adalah gaya yang berlawanan arah dari benda bergerak. Gaya gesek merupakan akumulasi interaksi mikro antar kedua permukaan yang saling bersentuhan. Permukaan yang sangat halus akan menyebabkan gesek menjadi lebih kecil nilainya dibandingkan dengan permukaan kasar, akan tetapi konstruksi mikro ataupun nano pada permukaan benda dapat menyebabkan gesekan menjadi minimum bahkan cairan tidak lagi dapat membasahi.

Gaya gesek bekerja pada garis singgung kedua benda. Misalkan, sebuah benda yang terletak pada satu bidang datar horizontal dikenai gaya sebesar F . Diagram gaya-gaya yang bekerja pada benda tersebut dapat dilihat pada gambar 2.5 di bawah ini.



Gambar 2.5 Gaya Gesek

Berdasarkan gambar di atas, arah gaya gesek selalu berlawanan dengan arah gaya luar yang bekerja pada benda dan arah gerak benda. Untuk benda padat

yang bergerak di atas benda padat, besar kecilnya gaya gesek sangat bergantung pada kasar atau licinnya permukaan benda yang bersentuhan, semakin kasar permukaan maka semakin besar gaya geseknya. Sebaliknya, semakin licin permukaan, semakin kecil gaya geseknya.

Selain itu, gaya gesek juga dapat terjadi pada suatu benda yang bergerak di udara. Untuk benda yang melayang di udara, besar kecilnya gaya gesek bergantung pada luas permukaan benda yang bersentuhan dengan udara. Semakin besar luas bidang sentuh, makin besar gaya gesek udara pada benda tersebut. Begitupun sebaliknya, semakin kecil luas bidang sentuh semakin kecil gaya geseknya

2.4.1 Jenis-Jenis Gaya Gesek

Jenis gaya gesek dibagi dua jenis yaitu gaya gesek statis dan gaya gesek kinetis. Untuk benda yang menggelinding terdapat pula jenis gaya gesek yang disebut gaya gesek menggelinding (*Rolling Friction*). Untuk benda berputar tegak lurus permukaan disebut dengan gaya spin (*Spin Friction*). Jenis gaya gesek antara lain:

1. Gaya Gesek Statis

Gaya gesek statis adalah gesekan antara dua benda padat yang tidak bergerak relative atau sama lain, contohnya gesekan statis dapat mencegah benda meluncur kebawah pada bidang miring. Koefisien gesek statis pada umumnya dinotasikan dengan μ .

$$F_s = -\mu_s \times N \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

F_s = gaya statis (N)

μ_s = koefesien gaya statis

N = gaya normal (N)

2. Gaya Gesek Kinetis

Gaya gesek kinetis (dinamis) terjadi ketika dua benda bergerak relatif satu sama lainnya dan saling bergesekan.

$$F_k = \mu_k \times N \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

F_s = gaya kinetis (N)

μ_s = koefesien kinetis

N = gaya normal (N)

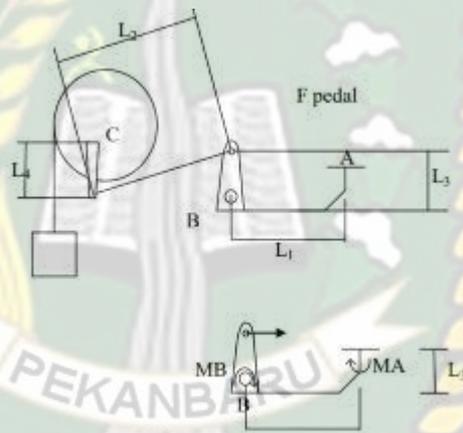
2.4.2 Koefisien Gesek

Koefisien gesek merupakan besaran yang menunjukkan tingkat kekasaran permukaan suatu benda ketika kedua benda sedang bergesekan. Secara matematis koefisien gesekan dirumuskan sebagai bilangan hasil perbandingan antara besarnya gaya gesekan dengan besarnya gaya normal suatu benda. Jadi nilai koefisien gesekan dirumuskan sebagai bilangan hasil perbandingan antara besarnya gaya gesekan dengan besarnya gaya normal suatu benda. Sehingga nilai koefisien gesekan ditentukan oleh dua factor yaitu tingkat kekasaran kedua bidang

sentuhnya dan gaya normal yang bekerja pada benda tersebut. Koefisien gesek didefinisikan (μ) sebagai perbandingan gaya gesek (F) dengan gaya normal (N), dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\mu = \frac{F}{N} \dots\dots\dots(2.3)$$

Metode yang dilakukan mengikuti standar pengujian koefisien gesek yang berdasarkan pada ASTM C1028. Pada Gambar 2.4 dapat dilihat diagram benda bebas dari rem tromol.



Gambar 2.6 Diagram benda bebas yang terjadi pada mekanisme rem tromol

(Suci Nurlia, 2019)

Untuk menghitung besarnya momen yang terdapat pada titik A maka dapat diselesaikan dengan persamaan berikut:

$$MA = FA \times L1 \dots\dots\dots(2.4)$$

$$MB = FB \times L3 \dots\dots\dots(2.5)$$

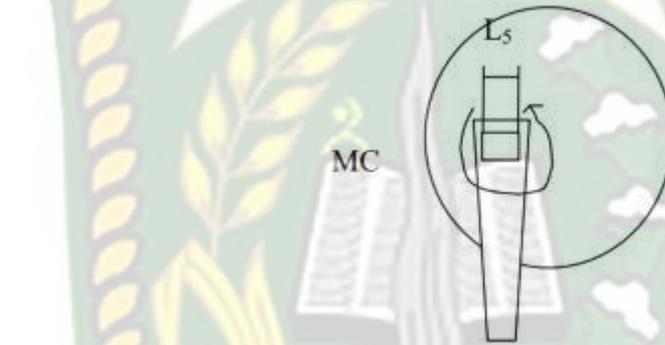
$$FB = \frac{MB}{L3} \dots\dots\dots(2.6)$$

Sedangkan besarnya momen yang terjadi pada titik C dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$FB = FC \dots\dots\dots(2.7)$$

$$MC = FC \times L4 \dots\dots\dots(2.8)$$

Besarnya torsi yang terjadi pada tromol dapat dilihat pada gambar 2.5 dan dapat dihitung dengan persamaan berikut:



Gambar 2.7 Torsi yang terjadi pada tromol

$$M_C = M_{cam} \dots\dots\dots(2.9)$$

$$M_{cam} = F_{cam} \times L5 \dots\dots\dots(2.10)$$

$$F_{cam} = \frac{M_{cam}}{L5} \dots\dots\dots(2.11)$$

Torsi yang terjadi pada cam dapat dihitung:

$$T_r = F_{cam} \times \frac{D}{2} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana:

T_r = Torsi yang terjadi pada tromol (Nm)

F_{cam} = Gaya yang terjadi pada cam (N)

d = Diameter tromol (mm)

Sedangkan besarnya torsi yang terjadi pada roda dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$T_{roda} = m \times g \times r_{roda} \dots \dots \dots (2.13)$$

Dimana:

- T_{roda} = torsi yang terjadi pada roda (Nm)
- m = massa (N)
- g = Gravitasi (m/s^2)

2.5 Tegangan Von Mises

Tegangan von mises adalah teori kegagalan yang diperkenalkan oleh Huber pada tahun 1904 dan disempurnakan oleh Von mises dan Heckly. teori tersebut menyatakan bahwa “sebuah kegagalan yang terjadi pada keadaan multiaksial apabila energi distorsi per unit volume sama atau lebih besar dari energi distorsi per unit volume pada saat terjadinya kegagalan dalam pengujian unaksial sederhana terhadap spesimen dari material yang sama”. Kriteria luluh von mises mengisyaratkan bahwa luluh tergantung dari fungsi harga tegangan utama, sehingga menghasilkan persamaan von mises sebagai berikut.

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \dots \dots \dots (2.14)$$

Akan tetapi tegangan von mises juga dapat diisyaratkan bahwa distorsi energi dapat terjadi karena tegangan normal dan tegangan geser yang terjadi jika melihat dari komponen pembentukan nilai ketiga tegangan utama tersebut.

2.6 Deformasi

Deformasi terjadi bila bahan mengalami gaya. Selama deformasi, bahan menyerap energi sebagai akibat adanya gaya yang bekerja sepanjang deformasi. Sekecil apapun gaya yang bekerja, maka benda akan mengalami perubahan bentuk dan ukuran. Perubahan ukuran secara fisik ini disebut deformasi. Deformasi ada dua macam yaitu deformasi elastis dan deformasi plastis. Yang dimaksud Deformasi elastis adalah deformasi yang terjadi akibatnya beban yang jika beban dihilangkan, maka material akan kembali ke ukuran semula. Sedangkan Deformasi plastis adalah deformasi yang bersifat permanen jika bebannya dilepas.

Penambahan beban pada bahan yang telah mengalami kekuatan tertinggi tidak dapat dilakukan, karena pada kondisi ini bahan telah mengalami deformasi total. Jika beban tetap diberikan maka regangan akan bertambah dimana material seakan menguat yang disebut dengan penguatan regangan (strain hardening) yang selanjutnya benda akan mengalami putus pada kekuatan patah, Hubungan tegangan-regangan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{P}{\frac{\delta}{L}} \dots \dots \dots (2.15)$$

Sehingga deformasi (δ) dapat diketahui

$$\delta = \frac{P \times L}{A \times E} \dots \dots \dots (2.16)$$

Dimana :

P = Beban (N)

A = Luas permukaan (mm^2)

L = Panjang awal (mm)

E = Modulus elastisitas

2.7 *Software* Metode Elemen Hingga

Aplikasi metode elemen hingga merupakan salah satu metode numerik untuk menyelesaikan berbagai masalah rekayasa dan tentu saja tidak terlepas dari perkembangan komputer dengan berbagai bidang terkait lainnya seperti *Computer Aided Design* (CAD) dan *Computer Aided Engineering* (CAE). Hal ini terbukti dari banyaknya pemakaian *software* elemen hingga pada kalangan industri dalam menyelesaikan masalah aktual mereka. Ada beberapa macam *software* elemen hingga antara lain :

- ANSYS
- SDRC/I-DEAS
- NASTRAN
- ABAQUS
- COSMOS
- ALGOR
- PATRAN
- Dyna 3D

2.7.1 ANSYS

ANSYS adalah program yang memodelkan elemen hingga untuk menyelesaikan masalah yang berhubungan dengan mekanika yang termasuk didalamnya masalah hocus, *dynamic*, analisi (baik *linier* maupun *nonlinier*), masalah perpindahan panas, masalah fluida dan juga masalah yang berhubungan akustik dan elektromagnetik. Secara umum penyelesaian elemen hingga dengan ANSYS dapat dibagi 3 tahap yaitu:

1. *Preprocessing*

Yaitu mengidentifikasi masalah yang terdiri 3 langkah

- a. Mengidentifikasi *keypoint*, *lines*, *area*, dan *volume*.
- b. Mengidentifikasi tipe elemen dan bahan yang digunakan.
- c. *Mesh line*, *area*, dan *volume* yang dibutuhkan untuk mendetailkan daerah yang akan dianalisis.

2. *Solution*

Pada *solution* yaitu menentukan baban dan solusi yang dipilih.

3. *Postprocessing*

Pada tahap ini adalah hasil yang dikeluarkan oleh ANSYS yang berbentuk diagram kontur.

BAB III

METODELOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

a. Tempat

Tempat kegiatan penelitian dilakukan di Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.

b. Waktu

Waktu perancangan ini dilaksanakan pada bulan Desember 2020 sampai dengan selesai.

3.2 Alat

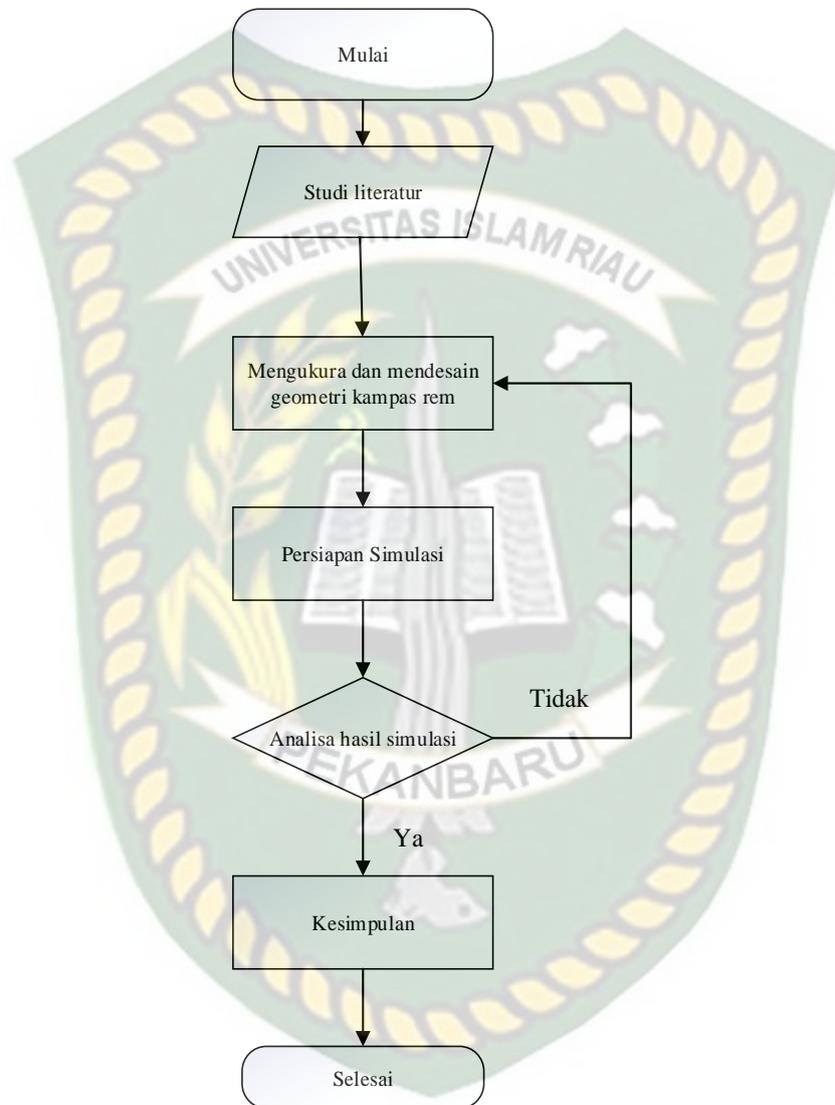
Dalam penelitian ini terdapat dua alat yang penting untuk menjalankan penelitian ini. Pertama adalah perangkat lunak (*software*) yang menjadi alat utama untuk menjalankan semua proses simulasi. Kedua adalah perangkat keras (*hardware*) yang menjadi alat untuk menjalankan perangkat lunak yaitu komputer. *Software* Inventor dan simulasi menggunakan *ANSYS Workbench 19.2*.

Spesifikasi komputer yang digunakan adalah:

- Prosesor : Intel Core i3-6100 2.3 GHz
- Memori : 4 GB
- Sistem Operasi : Windows 10 64-bit

3.3 Diagram Alir

Untuk lebih memperjelas dalam metode penyusunan tugas akhir ini dapat dilihat pada diagram alir Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.

Dari diagram alir rancangan di atas, dapat dijelaskan bahwa dalam penelitian tugas akhir ini terdapat tahap-tahap yang dilakukan dengan hasil yang didapatkan sesuai yang di harapkan. Antara lain:

- a. Studi literatur

Tahap ini merupakan proses pendalaman dan pemahaman dari bahan-bahan terhadap konsep yang berkaitan dengan materi bahasan yang berasal dari buku, jurnal penelitian dan situs internet.

b. Mengukur dan mendesain kampas rem

Tahapan ini dilakukan dengan mengambil data dan mendesain kampas rem dan mendapatkan informasi jenis material yang dipakai.

c. Persiapan simulasi

Tahapan ini mempersiapkan dan mensimulasikan desain kampas rem yang telah dibuat dengan menggunakan *software ANSYS*.

d. Analisa

Tahapan ini menganalisa hasil yang dikeluarkan oleh ANSYS kemudian menganalisa bagian-bagian yang penting untuk dimasukkan.

e. Kesimpulan

Tahap ini dilakukan dengan menarik kesimpulan yang didapat dari analisa.

3.4 Simulasi ANSYS Workbench

3.4.1 Engineering Data

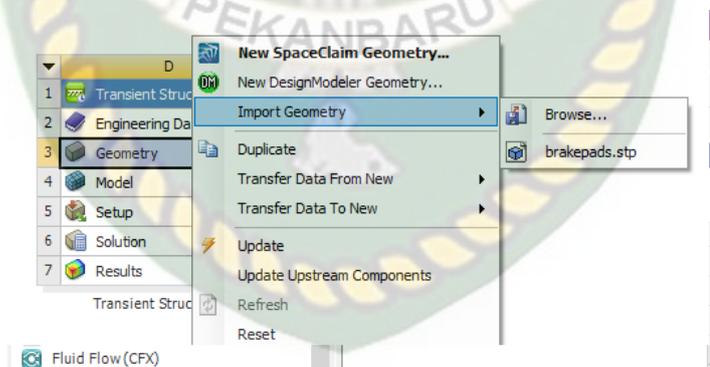
Pada penelitian ini menggunakan material *carbon fibre* dan *gray cast iron* yang terdaftar pada *engineering data*. *Double click* pada *engineering data*, kemudian menu *engineering data* akan muncul nilai data pada setiap material yang dapat dilihat pada Gambar 3.2.

Outline of Schematic A2, B2, C2: Engineering Data		
	A	B
1	Contents of Engineering Data	
2	Material	
3	Carbon Fiber (230 GPa)	
4	Gray Cast Iron	
*	Click here to add a new material	

Gambar 3.2 Data Material

3.4.2 Geometri

Setelah memasukkan material pada *engineering data*, maka selanjutnya melakukan pemodelan geometri. Hal ini dilakukan dengan mengklik kanan pada mouse kemudian mengimport gambar yang sudah dibuat di inventor dengan menkonvert ke STEP. Import Geometri dapat dilihat pada Gambar 3.3.

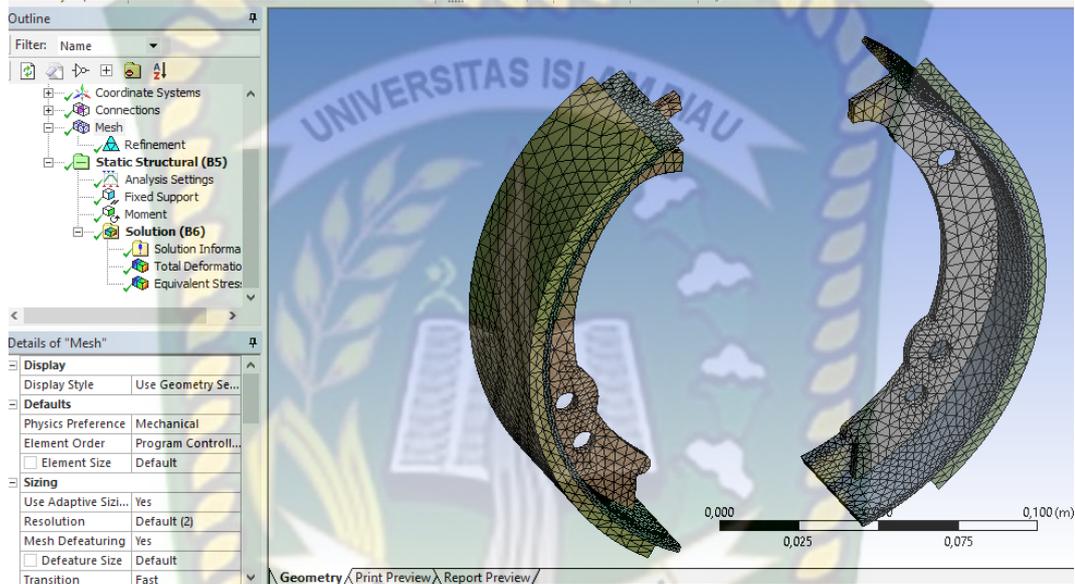


Gambar 3.3 Import Geometri

3.4.3 Model

Setelah mengimport geometri, selanjutnya adalah model. Pada bagian ini yang perlu diperhatikan adalah cara memilih mesh dan mengecek apakah ada *error* yang terjadi pada geometri yang sudah di importkan. Mesh adalah

pembagian objek menjadi bagian yang lebih kecil. Semakin kecil meshing yang dibuat maka hasil perhitungan akan semakin teliti namun membutuhkan daya komputasi yang sangat besar. Pada penelitian ini menggunakan tipe mesh yaitu *refinement* dengan geometry 108 *face*.



Gambar 3.4 Hasil Mesh

3.4.4 Solution

Tahap terakhir setelah mengatur jenis pembebanan dan fix support adalah *solution*. *Solution* adalah Analisa numerik yang dilakukan ANSYS untuk mendapatkan parameter yang diinginkan. Dalam penelitian ini yang ingin di dapatkan adalah total deformasi, equivalen stress von misses dan preasure.

BAB IV

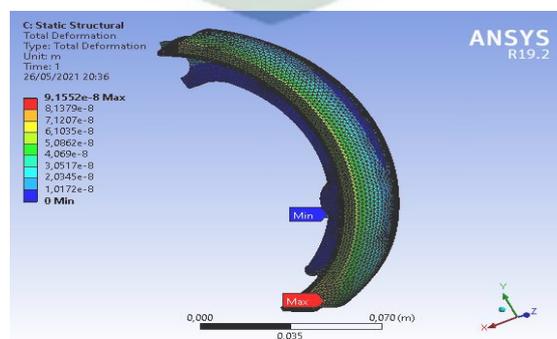
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Statis (*Static Structural*)

Simulasi dilakukan dengan mengabaikan kondisi jalan dan permukaan jalan. Hasil dari simulasi akan ditampilkan berupa *total deformasi*, *equivalent alternating stress* pada kampas rem. Hasil simulasi akan ditampilkan dalam bentuk gambar, tabel, grafik dan penjelasan hasil simulasi. Pada hasil simulasi terdapat beberapa kontur warna, kontur warna ini akan menunjukkan besar dari nilai suatu kondisi mulai dari rendah sampai nilai tertinggi.

4.1.1 Hasil Simulasi Derformasi pada Kampas Rem

Hasil simulasi untuk kampas rem ditunjukkan dari hasil tegangan yang terjadi akibat pengaruh beban yang terjadi. Deformasi adalah perubahan bentuk fisik ,ataupun kimia akibat beban *rotational* dan *radial* yang dialami suatu benda. Simulasi yang digunakan dalam bentuk statis dengan variasi beban 2 kg, 4kg, dan 6kg. Hasil simulasi kampas rem dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



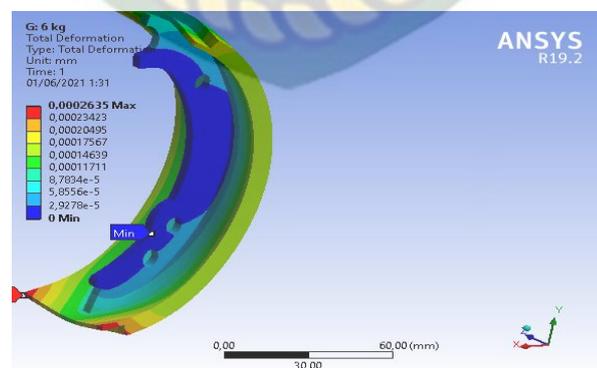
Gambar 4.1 Deformasi pada kampas rem beban 2 kg

Gambar 4.1 Adalah hasil simulasi deformasi kampas rem dengan beban 2 kg. Perbedaan kontur warna merupakan indikasi tingkatan besar deformasi yang terjadi pada kampas rem. Dari hasil simulasi menjelaskan bahwa pada pembebanan 2 kg mengalami total deformasi maksimum sebesar $9,15 \cdot 10^{-5}$ mm.



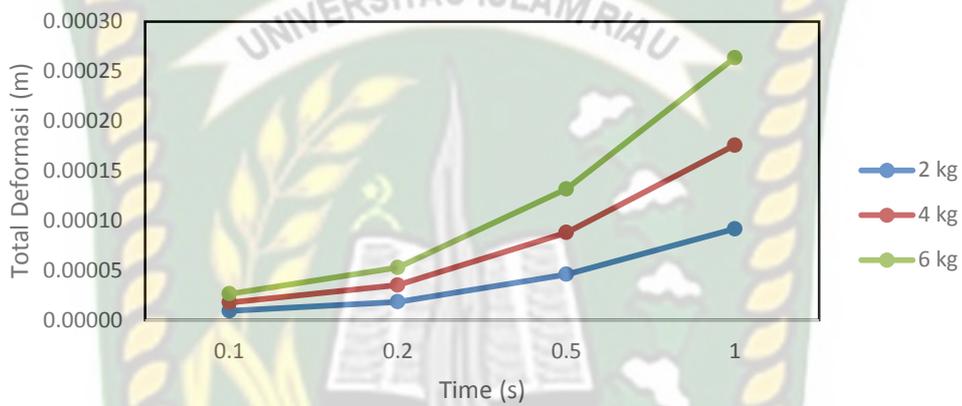
Gambar 4.2 Deformasi pada kampas rem beban 4 kg

Pada gambar 4.2 merupakan hasil simulasi deformasi dari kampas rem dengan beban 4 kg. deformasi maksimum yang terjadi berada pada ujung penahan *pad* dari kampas rem dikarenakan gaya yang diterima lebih besar ditengah dan merambat ke ujung kampas rem. Hasil deformasi maksimum sebesar $1,756 \cdot 10^{-4}$ mm.



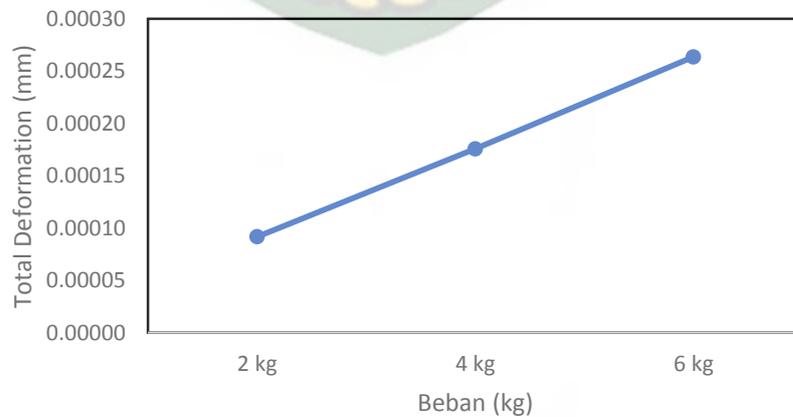
Gambar 4.3 Deformasi pada kampas rem beban 6 kg

Gambar 4.3 Merupakan hasil simulasi deformasi kampas rem pada pembebanan 6 kg. perbedaan kontur warna terlihat jelas berbeda dari beban 2 kg dan 4 kg. terlihat pada tengah kampas rem yang mulai menipis dan pada bagian ujung maksimum dari kampas rem semakin merambat ketengah. Hasil deformasi $2,74 \cdot 10^{-4}$ mm.



Gambar 4.4 Grafik Total Deformasi Pada Masing-Masing Beban

Gambar 4.4 Menunjukkan nilai deformasi yang terjadi akibat dari variasi waktu pembebanan dari 2 kg, 4 kg dan 6 kg. Grafik tersebut menunjukkan besarnya nilai total deformasi yang semakin besar akibat waktu pembebanan.

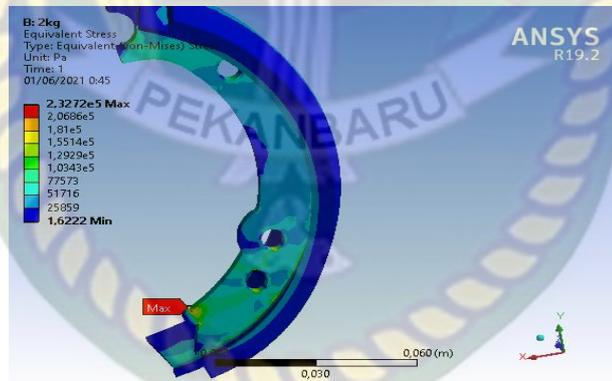


Gambar 4.5 Grafik Total Deformasi vs Beban Pada Masing-Masing Beban

Gambar 4.5 adalah grafik total deformasi vs beban, akibat pembebanan setelah 1 detik. Data tersebut menunjukkan bahwa semakin besar beban yang diberikan pada kampas rem maka semakin besar pula total deformasi yang terjadi.

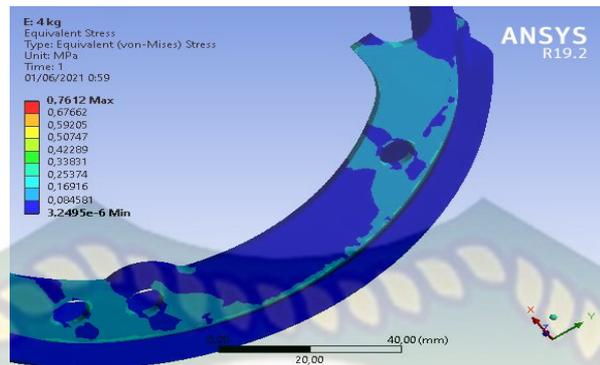
4.1.2 Hasil Simulasi *Alternating Stress* pada Kampas Rem

Tegangan adalah hasil dari perbandingan antara gaya vertikal yang bekerja terhadap luas penampang suatu benda. Analisa simulasi *alternating stress* pada kampas rem bertujuan untuk melihat bagaimana tegangan yang paling besar terjadi saat kampas rem diberi gaya. Berikut adalah hasil simulasi *alternating stress* pada kampas rem dengan pembebanan 2 kg.



Gambar 4.6 *Equivalent alternating stress* pada pembebanan 2 kg

Gambar 4.6 Bisa dilihat akibat pembebanan 2 kg *stress* maksimum terdapat pada bagian penahan kampas rem dengan sebesar 0,232 MPa dimana bagian tersebut adalah *fixed support* dari simulasi.



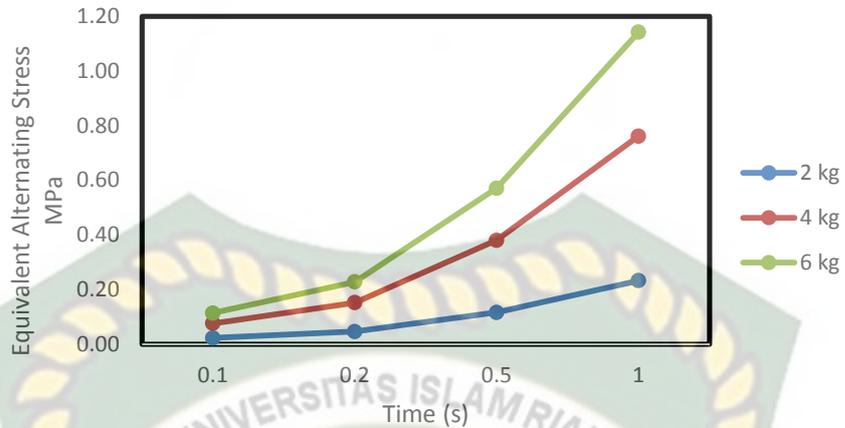
Gambar 4.7 *Equivalent alternating stress* pada pembebanan 4 kg

Gambar 4.7 Bisa dilihat akibat pembebanan 4 kg *stress* maksimum terdapat pada bagian penahan kampas rem dengan sebesar 0,7612 MPa dapat dilihat perambatan dari kontur warna mulai menuju kesepatu rem.



Gambar 4.8 *Equivalent alternating stress* pada pembebanan 6 kg

Gambar 4.8 Bisa dilihat akibat pembebanan 6 kg *stress* maksimum terdapat pada bagian penahan kampas rem dengan sebesar 1,142 MPa dapat dilihat perambatan dari kontur warna menyebar kesepatu rem.



Gambar 4.9 Grafik *Equivalent alternating stress* pada masing-masing beban.

Gambar 4.9 Menunjukkan perbedaan nilai *equivalen stress* yang terjadi akibat dari variasi pembebanan. Grafik diatas menunjukkan besarnya nilai *equivalent stress* versus *time* yang semakin besar akibat pembebanan.



Gambar 4.10 Grafik *Equivalent alternating stress* pada masing-masing pembebanan

Gambar 4.10 Menunjukkan perbedaan nilai *equivalen stress* yang terjadi akibat dari variasi waktu pembebanan setelah 1 detik. Grafik diatas menunjukkan

bahwa semakin besar beban yang diberikan pada kampas rem maka semakin besar pula nilai *equivalen stress* yang terjadi akibat dari waktu pembebanan.

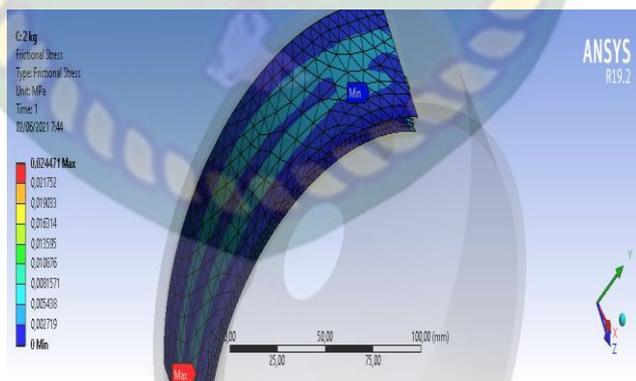
4.2 Simulasi Dinamis (*Transient Structural*)

Simulasi dinamis yang digunakan untuk mendapatkan besar tegangan gesek pada kampas rem dengan menggunakan simulasi *transient structural* dengan variasi pembebanan 2 kg, 4 kg, dan 6 kg.

4.2.1 *Frictional Stress* Kampas Rem

Simulasi *frictional stress* didapat dari beban yang diberikan pada kampas rem kemudian akan diteruskan ke tromol. Berikut penjelesan simulasi *frictional stress* pada pembebanan 2 kg, 4 kg, dan 6 kg.

- a. *Frictional stress* pada beban 2 kg

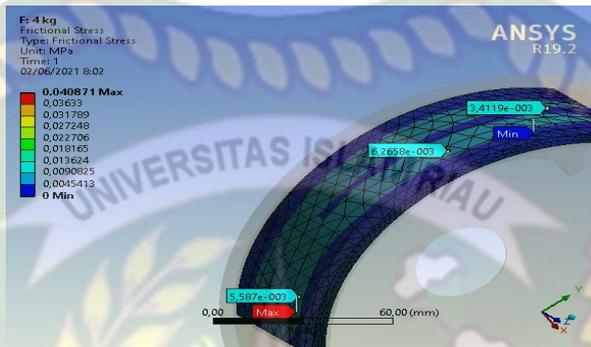


Gambar 4.11 *Frictional Stress* Beban 2 kg

Gambar 4.11 Menunjukkan terjadi tegangan akibat gesekan yang dialami kampas rem akibat terjadinya putaran. Perbedaan kontur warna pada beban 2 kg

cukup jelas terjadi pada bagian sepatu rem bagian tengah dengan nilai maksimum sebesar 0,024 MPa.

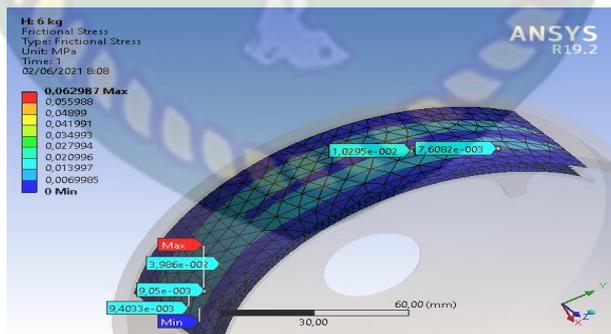
b. *Frictional Stress* pada beban 4 kg



Gambar 4.12 *Frictional Stress* Beban 4 kg

Gambar 4.12 Menunjukkan kontur warna dari kampas rem akibat gesekan dari permukaan kampas rem. Pada gambar diatas gesekan yang terjadi masih sama dengan beban 4 kg dengan nilai sebesar 0,04087 MPa.

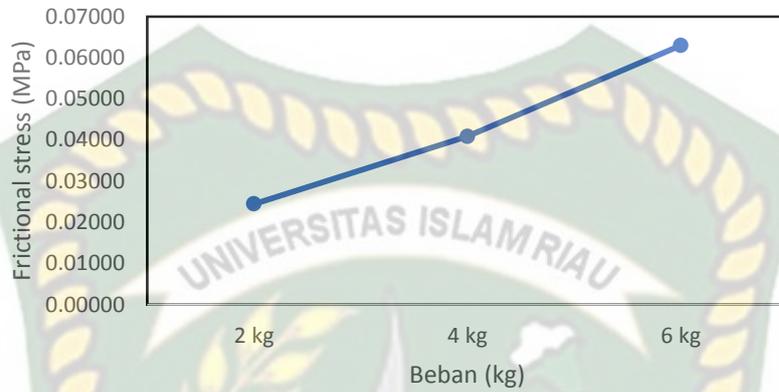
c. *Frictional Stress* beban 6 kg



Gambar 4.13 *Frictional Stress* Beban 6 kg

Gambar 4.13 Menunjukkan terjadi tegangan akibat gesekan yang dialami kampas rem akibat terjadinya putaran. Perbedaan kontur warna pada beban 6 kg

cukup jelas terjadi pada bagian sepatu rem bagian tengah dengan nilai maksimum sebesar 0,0629 MPa.



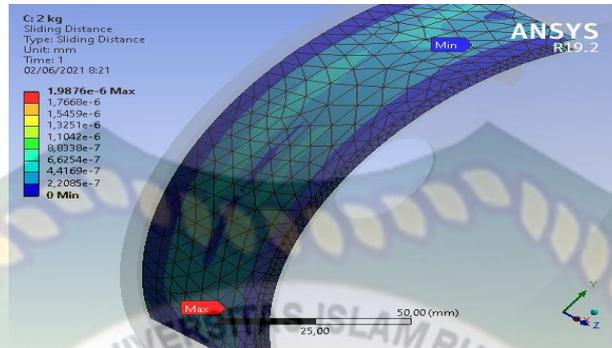
Gambar 4.14 Grafik *Frictional Stress* vs beban

Gambar 4.14 adalah grafik *Frictional Stress* vs beban, akibat pembebanan setelah 1 detik. Grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin besar beban yang diberikan pada kampas rem maka semakin besar pula *Frictional Stress* yang terjadi akibat dari waktu pembebanan.

4.2.2 Jarak Geser (*Sliding Distance*)

Jarak geser merupakan jarak kontak antara kampas rem yang bergesekkan dengan tromol. Jarak geser dapat dilihat seberapa besar kampas rem menerima gaya dari tromol pada saat tromol berputar.

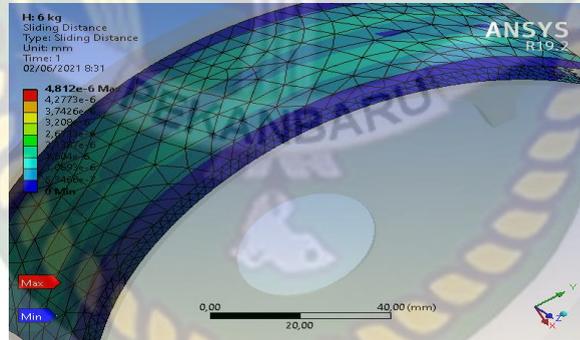
a. Jarak geser beban 2 kg



Gambar 4.15 Jarak Geser pada beban 2 kg

Gambar 4.15 Dapat dilihat kontur warna pada permukaan kampas rem, besarnya nilai jarak geser adalah $1,99 \cdot 10^{-6}$ mm. bagian tengah kampas rem mengalami perubahan kontur warna yang merata ketika diberikan beban 2 kg.

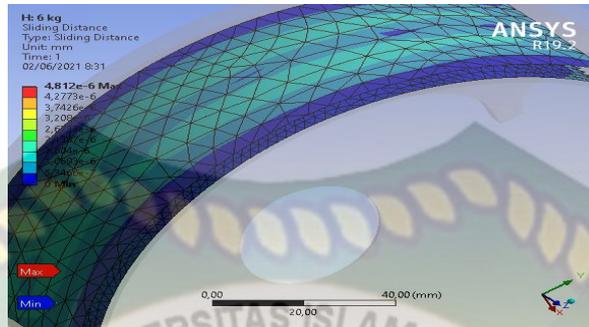
b. Jarak geser beban 4 kg



Gambar 4.16 Jarak Geser pada beban 4 kg

Gambar 4.16 Dapat dilihat perbedaan kontur warna pada kampas rem dari sebelumnya besarnya nilai jarak geser dari beban 4 kg adalah $3,34 \cdot 10^{-6}$ mm. permukaan kampas rem hampir merata mengalami gesekan akibat diberikan beban 4 kg.

c. Jarak geser beban 6 kg



Gambar 4.17 Jarak Geser pada beban 6 kg

Gambar 4.17 Dapat dilihat permukaan kampas rem sudah merata akibat pembebanan, besarnya nilai jarak geser dari beban 6 kg adalah $4,8 \cdot 10^{-6}$ mm. permukaan maksimum akibat jarak geser lebih besar terjadi pada bagian bawah kampas rem.



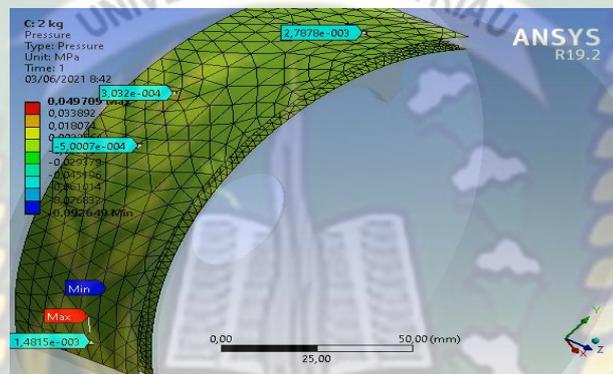
Gambar 4.18 Sliding Distance vs beban

Gambar 4.18 adalah grafik *sliding distance* vs beban, akibat pembebanan setelah 1 detik. Data tersebut menunjukkan semakin besar beban yang diberikan pada kampas rem maka semakin besar pula Sliding Distance yang terjadi akibat dari waktu pembebanan.

4.2.3 Tekanan (*Pressure*) pada Kampas Rem

Tekanan merupakan besarnya gaya yang terjadi pada suatu bidang tertentu, besarnya tekanan akan menghasilkan nilai koefisien gesek dimana nilai tekanan pada saat kampas rem bergesekan dengan tromol akan diambil hasil dari simulasi. Berikut adalah tekanan pada masing-masing pembebanan.

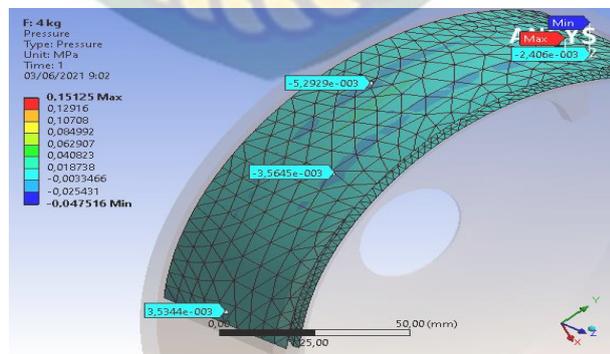
a. Tekanan pada beban 2 kg



Gambar 4.19 Tekanan pada beban 2 kg

Gambar 4.19 Menunjukkan perbedaan nilai pada kontur warna permukaan kampas rem yang mengalami gesekan dari sisi kampas rem didapat nilai maksimum 0,0497 MPa.

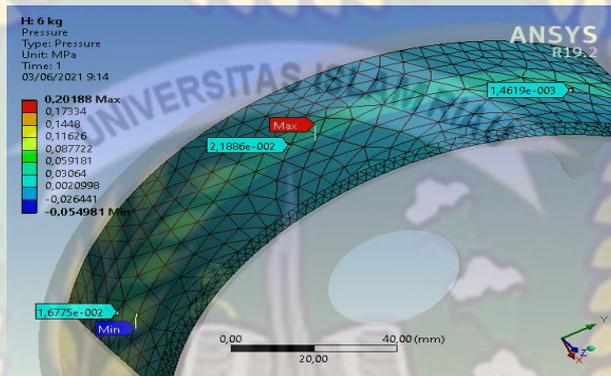
b. Tekanan pada beban 4 kg



Gambar 4.20 Tekanan pada beban 4 kg

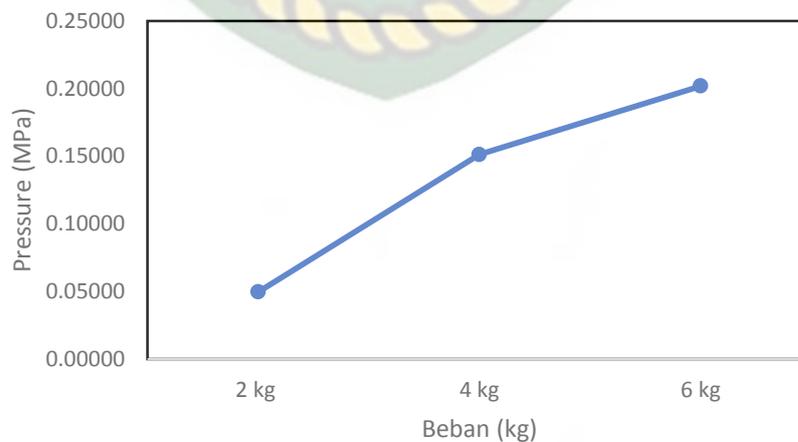
Gambar 4.20 Adalah tekanan yang diterima oleh kampas rem dengan beban 4 kg dapat dilihat perbedaan kontur warna yang berubah dibandingkan dengan beban 2 kg, pada beban 4 kg di dapat tekanan dengan nilai 0,15 MPa.

c. Tekanan pada beban 6 kg



Gambar 4.21 Tekanan pada beban 6 kg

Gambar 4.21 Dapat dilihat tekanan pada kampas rem dengan beban 6 kg, pada beban ini maksimum yang terjadi berada ditengah kampas rem dengan nilai 0,2018 MPa. Perbedaan kontur warna yang terjadi merata pada kampas rem, perambatan tekanan dimulai dari tengah kampas rem kemudian menjalar kebagian sisi dan bawah kampas rem.



Gambar 4.22 Grafik *Pressure* vs beban

Gambar 4.22 adalah grafik *pressure* vs beban, akibat pembebanan setelah 1 detik. Data tersebut menunjukkan bahwa semakin besar beban yang diberikan pada kampas rem maka semakin besar pula *pressure* yang terjadi akibat dari waktu pembebanan.

4.3 Analisa Hasil Simulasi

Dari hasil simulasi *static structural* dan *transient structural* dapat dilihat pada tabel 4.1 dan tabel 4.2.

Tabel 4.1 Hasil Simulasi *Static Structural*

<i>Static Structural</i>			
No	Beban	<i>Equivalent Stress</i>	<i>Total Deformation</i>
1	2 Kg	0,232 MPa	$9,155 \cdot 10^{-8}$ mm
2	4 Kg	0,761 MPa	$1,176 \cdot 10^{-7}$ mm
3	6 Kg	1,142 MPa	$2,635 \cdot 10^{-4}$ mm

Tabel 4.2 Hasil Simulasi *Transient Structural*

<i>Transient Structural</i>				
No	Beban	<i>Frictional Stress</i>	<i>Sliding Distance</i>	<i>Pressure</i>
1	2 Kg	0,0245 MPa	$1,988 \cdot 10^{-6}$ mm	0,0497 MPa
2	4 Kg	0,0409 MPa	$3,335 \cdot 10^{-6}$ mm	0,1513 MPa
3	6 Kg	0,0630 MPa	$4,812 \cdot 10^{-6}$ mm	0,2012 MPa

Dari tabel 4.1 dan tabel 4.2 dapat dilihat maksimum dari masing-masing hasil simulasi, pada *static structural* kenaikan *equivalent stress* berpengaruh terhadap besarnya beban yang diikuti oleh perubahan dari *total deformasi* kampas

rem. Sedangkan simulasi *transient structural* akibat beban yang diberikan pada kampas rem tegangan gesek, jarak geser dan tekanan juga mengalami kenaikan akibat beban.

Untuk mencari nilai koefisien gesek kampas rem menggunakan data dari hasil simulasi, yaitu dengan membagikan tegangan gesek dengan tekanan yang terjadi pada kampas rem. Dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\tau_{fA} = \frac{f_A}{P_A}$$

Dimana :

τ_{fA} = Koefisien gesek

f_A = Tegangan Gesek (MPa)

P_A = Tekanan (MPa)

Maka:

Beban 2 kg

$$\tau_{fA} = \frac{0,0245 \text{ MPa}}{0,0497 \text{ MPa}}$$

$$\tau_{fA} = 0,49$$

Beban 4 kg

$$\tau_{fA} = \frac{0,409 \text{ MPa}}{0,1513 \text{ MPa}}$$

$$\tau_{fA} = 0,27$$

Beban 6 kg

$$\tau_{fA} = \frac{0,063 \text{ MPa}}{0,2012 \text{ MPa}}$$

$$\tau_{fA} = 0,31$$



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengambilan data dengan elemen hingga maka didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil simulasi kampas rem menunjukkan nilai *Equivalent stresss von-misses* meningkat seiring dengan pertambahan beban, saat diberi gaya maka didapatkan hasil *Equivalent stresss von-misses* untuk beban 2 kg adalah 0,232 MPa, sedangkan untuk beban 4 kg adalah 0,761 MPa, dan untuk beban 6 kg adalah 1,142 MPa.
2. Hasil simulasi untuk kampas rem menunjukkan hasil tegangan yang terjadi akibat pengaruh beban yang diterima pada *Total deformasi* untuk beban 2 kg adalah $9,155 \cdot 10^{-5}$ mm, sedangkan untuk beban 4 kg adalah $1,176 \cdot 10^{-4}$ mm, dan untuk beban 6 kg adalah $2,74 \cdot 10^{-4}$ mm.
3. Hasil simulasi dinamis yang digunakan untuk mendapatkan besar tegangan gesek pada kampas rem dengan menggunakan simulasi *Transient Structural* untuk beban 2 kg adalah 0,024 MPa, sedangkan untuk beban 4 kg adalah 0,04087 MPa dan untuk beban 6 kg adalah 0,063 MPa.

5.2 Saran

Berdasarkan dari kesimpulan dan penelitian simulasi elemen hingga maka saran untuk penelitian selanjut nya adalah:

1. Pada penelitian selanjutnya diharapkan menggunakan computer dengan spesifikasi tinggi karena pada saat simulasi *Transien Structural* membutuhkan waktu yang lama dan spesifikasi yang cukup besar.
2. Yang perlu di perhatikan untuk simulasi elemen hingga adalah model, pendefinisian material dan *boundary condition* dari model kampas rem.

DAFTAR PUSTAKA

- Nurofik, 2017, "Pembuatan Dan Pengujian Rem Cakram Pada Prototype Mobil Listrik 'Elang Untidar,'" **12**(12), p. 12.
- Alazhar, R. P., S, D. D., and Budiana, E. P., 2018, "Pengaruh Geometri Penampang Kampas Rem Cakram Terhadap Getaran Dan Indikasi Squeal Yang Muncul Saat Pengereman Pada Molina Uns," *J. Tek. Mesin Indones.*, **11**(1), p. 13.
- Dzikrullah, A. A., Qomaruddin, and Khabib, M., 2017, "Analisa Gesekan Pengereman Hidrolis (Rem Cakram) Dan Tromol Pada Kendaraam Roda Empat Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga," *Prosiiding Snatif*, **4**(February), pp. 667–678.
- Lubis, S., 2019, "Analisis Pengaruh Besar Gesekan Terhadap Tegangan Thermal Pada Sepatu Rem Mobil Ketebalan 2 Mm Menggunakan Perangkat Lunak Msc. Nastran V.9," **3**(2), pp. 1–11.
- Nurlia, S., 2019, "Analisa Simulasi Performansi Kampas Rem Komposit Dengan Variasi Beban Pemodelan Metode Elemen Hingga," *J. Din.*, **7**(4), pp. 1–93.
- Meifal Rusli, Mulyadi Bur, H. H., 2010, "Analisis Getaran Dan Suara Pada Rem Cakram Saat Beroperasi," **9**, pp. 1–8.
- Siahaan, I. H., and Sen, H. yung, 2008, "Kinerja Rem Tromol Terhadap Kinerja Rem Cakram Kendaraan Roda Dua Pada Pengujiain Stasioner," pp. 1–7.
- Bathe, Klaus Jurgen, 2014, *Finite Element Procedures*, New York: K.J. Bathe, Watertown, MA, USA.
- Callister, William D, 1994, *Materials Science And Engineering*, John Willey & Sons, Inc. New York : McGraw-Hill, USA.
- ANSYS Workbench User's Guide Release 19.2. 2019