



**PERANCANGAN SISTEM Pengereman IBS  
(*INTEGRATED BRAKING SYSTEM*) TIPE *HIDRAULIC*  
*DISC BRAKE* PADA KENDARAAN RODA DUA  
BERBASIS *SOLIDWORKS 2015***

**Skripsi**

**diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana  
Teknik Program Studi Teknik Mesin**

**Oleh**

**Yusuf Halim Jamaludin**

**NIM. 5212414050**

**TEKNIK MESIN  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG  
2019**

## PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Yusuf Halim Jamaludin

NIM : 5212414050

Program Studi : Teknik Mesin

Judul : Perancangan Sistem Pengereman *IBS (Integrated Braking System)*  
Tipe *Hidraulic Disc Brake* Pada Kendaraan Roda Dua Berbasis  
*Solidworks 2015*

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 27 Desember 2018



Widya Aryadi, S.T., M.Eng.  
NIP. 197811052005011001

## PENGESAHAN

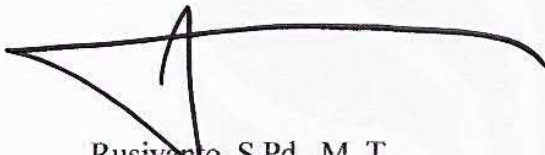
Skripsi/TA dengan judul Perancangan Sistem Pengereman IBS (*Integrated Braking System*) Tipe *Hidraulic Disc Brake* Pada Kendaraan Roda Dua Berbasis *Solidworks 2015* telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi/TA Fakultas Teknik UNNES pada Tanggal. 22...Bulan. Januari...Tahun...2019

Oleh

Nama : Yusuf Halim Jamaludin  
NIM : 5212414050  
Program Studi : Teknik Mesin

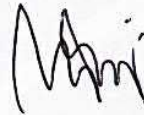
Panitia:

Ketua



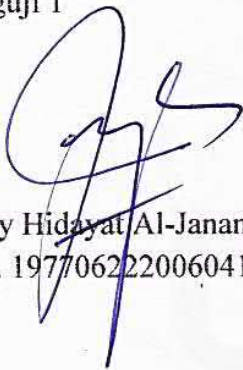
Rusiyanto, S.Pd., M. T.  
NIP. 197403211999011002

Sekretaris



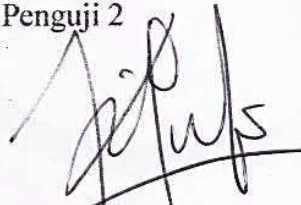
Samsudin Anis, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 197601012003121002

Penguji 1



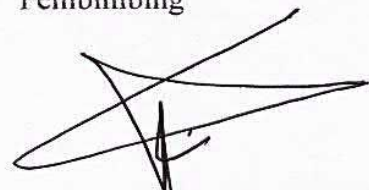
Dony Hidayat Al-Janan, Ph. D.  
NIP. 197706222006041001

Penguji 2



Kriswanto, S. Pd., M. T.  
NIP. 198609032015041001

Pembimbing



Widya Aryadi, S.T., M.Eng.  
NIP. 197209101999031001

Mengetahui:



Dean, Fakultas Teknik UNNES

Nur Qudus, M.T.

NIP. 196911301994031001

## **PERNYATAAN KEASLIAN**

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 9 Januari 2019

Yang membuat pernyataan,



Yusuf Halim Jamaludin  
NIM.5212414050

## **MOTTO:**

- Agar sukses, kemauanmu untuk berhasil harus lebih besar dari ketakutanmu akan kegagalan (Bill Cosby).
- Aku tak punya bakat khusus. Aku cuma punya rasa penasaran yang menggebu-gebu (Albert Einstein).

## **PERSEMBAHAN**

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Orang tua tercinta
2. Kakak dan adik tercinta
3. Segenap keluarga besar
4. Teman-teman seperjuangan
5. Almamater serta teman-teman  
Teknik Mesin

## RINGKASAN

Jamaludin, Y. H. 2019. Perancangan Sistem Pengereman IBS (*Integrated Braking System*) Tipe *Hidraulic Disc Brake* Pada Kendaraan Roda Dua Berbasis *Solidworks 2015*. Pembimbing: Widya Aryadi, S.T., M.Eng. Program Studi Teknik Mesin.

Sistem pengereman sepeda motor saat ini masih menggunakan metode konvensional atau pengontrolan rem depan dan belakang masih manual sehingga dapat dikatakan kurang efisien dalam proses pengereman. Pada penelitian ini, dirancanglah sistem pengereman IBS yaitu sistem pengereman serentak yang memanfaatkan torsi pengereman roda belakang dengan satu pedal rem sehingga dapat memudahkan pengendara untuk melakukan pengereman.

Penelitian ini menggunakan simulasi metode elemen hingga dengan bantuan *software SOLIDWORKS 2015*. Objek pada penelitian ini adalah rancangan sistem rem IBS pada sepeda motor New Honda Blade 2012 dengan menekankan pada hasil dari tegangan dan defleksi dari komponen sistem rem IBS yang terkena momen rem dari putaran roda belakang.

Hasil penelitian ini adalah: (1) menghasilkan komponen sistem rem IBS yaitu *bracket* kaliper dan lengan dengan material AISI 1045, tabung, penyetel pegas, dan *bracket* master rem dengan material AA 6061 T6, dan pegas dengan material ASTM A228; (2) data analisis masing-masing komponen yang menunjukkan bahwa  $\sigma_{max}$  dan  $\delta_{max}$  tertinggi pada lengan IBS dan terendah pada penyetel pegas, dan faktor keamanan  $\geq 2$  sehingga dinyatakan aman; (3) simulasi gerak mekanik sistem rem IBS yang menampilkan hubungan mekanik antar komponen dari pedal rem yang ditekan mengakibatkan *bracket* kaliper menekan master rem depan sehingga piston kaliper depan tertekan dan terjadilah pengereman roda depan.

Kata Kunci: defleksi, IBS, metode elemen hingga, sistem pengereman, tegangan, *SOLIDWORKS 2015*.

## PRAKATA

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul Perancangan Sistem Pengereman IBS (*Integrated Braking System*) Tipe *Hidraulic Disc Brake* Pada Kendaraan Roda Dua Berbasis *Solidworks 2015*. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang. Sholawat dan salam disampaikan kepada Nabi Muhammad SAW, mudah-mudahan kita semua mendapatkan safaat-Nya di yaumul akhir nanti, Amin.

Penyelesaian karya tulis ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih serta penghargaan kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum, Rektor Universitas Negeri Semarang atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menempuh studi di Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, MT, Dekan Fakultas Teknik, Rusiyanto, S.Pd., M.T, Ketua Jurusan Teknik Mesin, Samsudin Anis, S.T., M.T., Ph.D., Koordinator Program Studi Teknik Mesin atas fasilitas yang disediakan bagi mahasiswa.
3. Widya Aryadi, S.T., M.Eng., Pembimbing yang penuh perhatian dan atas perkenaan memberi bimbingan dan dapat dihubungi sewaktu-waktu disertai kemudahan menunjukkan sumber-sumber yang relevan dengan penulisan karya ini.
4. Dony Hidayat Al-Janani, Ph.D., dan Kriswanto, S.Pd., M.T., Penguji I dan II yang telah memberi masukan yang sangat berharga berupa saran, ralat, perbaikan, pertanyaan, komentar, tanggapan, menambah bobot dan kualitas karya tulis ini.
5. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin FT UNNES yang telah memberi bekal pengetahuan yang berharga.
6. Berbagai pihak yang telah memberi bantuan untuk karya tulis ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semarang, 9 Januari 2019

Penulis

## DAFTAR ISI

SAMPUL/COVER.....	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	ii
PENGESAHAN .....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
MOTTO .....	v
RINGKASAN .....	vi
PRAKATA.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR SINGKATAN TEKNIS DAN LAMBANG .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar belakang .....	1
1.2 Identifikasi masalah.....	4
1.3 Pembatasan masalah.....	4
1.4 Perumusan masalah .....	4
1.5 Tujuan penelitian .....	5
1.6 Manfaat penelitian .....	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI .....	6
2.1 Kajian pustaka .....	6
2.2 Landasan teori .....	7
2.2.1 Teori dasar pengereman .....	7
2.2.2 Rem tromol .....	8
2.2.3 Rem cakram ( <i>disk brake</i> ) .....	12
2.2.4 Sistem rem CBS ( <i>combi brake system</i> ).....	17
2.2.5 Material alumunium paduan .....	20
2.2.6 Persamaan gerak lurus berubah beraturan.....	22
2.2.7 Hukum II Newton .....	22



2.2.8	Momen gaya (torsi) .....	23
2.2.9	Perancangan pegas tekan <i>helix</i> .....	23
2.2.10	Prosedur umum perancangan .....	27
2.2.11	Faktor keamanan .....	27
2.2.12	Pengenalan metode elemen hingga .....	29
2.2.13	Pengenalan software <i>SOLIDWORKS 2015</i> .....	31
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....		<b>35</b>
3.1	Waktu dan tempat pelaksanaan .....	35
3.2	Desain penelitian .....	35
3.3	Alat dan bahan penelitian .....	39
3.4	Parameter penelitian .....	39
3.5	Teknik pengumpulan data .....	40
3.6	Teknik analisis data .....	41
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....		<b>42</b>
4.1	Perhitungan data desain sistem pengereman IBS .....	42
4.1.1	Gaya terbesar yang terjadi pada penekan master IBS dan pada lengan IBS saat terjadi pengereman.....	42
4.1.2	Gaya yang terjadi pada lengan IBS saat dilakukan pengereman maksimal pada kecepatan 30 km/jam. ....	45
4.1.3	Jenis material komponen penyusun. ....	46
4.1.4	Spesifikasi pegas IBS .....	47
4.2	Desain sistem rem IBS menggunakan <i>SOLIDWORKS 2015</i> .....	48
4.2.1	Pembuatan model rangka kendaraan dan <i>swing arm</i> . ....	48
4.2.2	Perancangan komponen sistem pengereman IBS .....	50
4.2.3	Bentuk desain sistem rem IBS .....	59
4.3	Analisis tegangan dan defleksi komponen sistem rem IBS .....	61
4.3.1	Hasil analisis tegangan dan defleksi <i>bracket</i> kaliper rem belakang IBS .....	62
4.3.2	Hasil analisis tegangan dan defleksi tabung pegas IBS .....	63
4.3.3	Hasil analisis tegangan dan defleksi lengan IBS.....	64
4.3.4	Hasil analisis tegangan dan defleksi penyetel pegas IBS .....	65

4.3.5 Hasil analisis tegangan dan defleksi <i>bracket</i> master IBS.....	67
4.4 Pembahasan .....	69
BAB V PENUTUP.....	77
5.1 Kesimpulan.....	77
5.2 Saran.....	78
DAFTAR PUSTAKA .....	79

## DAFTAR SINGKATAN TEKNIS DAN LAMBANG

<b>Singkatan</b>	<b>Keterangan</b>		<b>Halaman</b>
AA	<i>aluminum association</i>		20
ABS	<i>antilock braking system</i>		2
ASTM	<i>american standart testing and material</i>		24
CBS	<i>combi brake system</i>		3
FOS	<i>factor of safety</i>		30
IBS	<i>integrated braking system</i>		3
<b>Lambang</b>	<b>Keterangan</b>	<b>Satuan</b>	<b>Halaman</b>
$\tau$	torsi	Nm	23
$\tau_{poros\ lengan\ IBS}$	torsi yang terjadi pada poros lengan IBS	Nm	42
$\tau_{poros\ penekan}$	torsi yang terjadi pada poros penekan	Nm	42
$\tau_{roda}$	torsi roda	Nm	41
$\Delta x$	jarak perlambatan	m	22
$\sigma_{max}$	tegangan maksimum	MPa	61
$\delta_{max}$	defleksi maksimum	mm	61
$a$	perlambatan	m/s <sup>2</sup>	22
$C$	<i>spring index</i>		26
$D_m$	diameter dalam pegas	m	26
$D_w$	diameter kawat pegas	m	26
$F$	gaya yang bekerja	N	22
$F_{lengan\ IBS}$	gaya yang terjadi pada lengan IBS	N	42
$F_o$	gaya yang diterima pegas	N	26

<b>Lambang</b>	<b>Keterangan</b>	<b>Satuan</b>	<b>Halaman</b>
$f_o$	defleksi pegas dengan gaya $F_o$	m	26
$F_{pengereman}$	gaya pengereman	N	41
$F_{penekan}$	gaya yang terjadi pada penekan master rem IBS	N	42
$G$	modulus geser	Pa	26
$k$	konstanta pegas	N/m	27
$L_f$	panjang bebas pegas	m	45
$m$	massa	Kg	22
$N$	faktor keamanan		30
$N_a$	jumlah lilitan aktif		26
$\theta$	sudut antar vektor	°	23
$r$	jarak gaya dari titik poros	m	23
$r_{poros\ lengan\ IBS}$	jarak titik poros <i>bracket</i> kaliper dengan poros lengan IBS	m	42
$r_{poros\ penekan}$	jarak titik poros <i>bracket</i> kaliper dengan poros penekan master rem IBS	m	42
$r_{roda}$	jari-jari roda	m	43
$\Sigma F$	gaya total yang bekerja	N	22
$v$	kecepatan akhir perlambatan	m/s	22
$v_o$	kecepatan awal perlambatan	m/s	21

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Golongan alumunium paduan berdasarkan standar AA .....	20
Tabel 2.2 Penggunaan dan bentuk dari beberapa alumunium paduan.....	21
Tabel 2.3 Jenis simbol perlakuan pada alumunium paduan .....	22
Tabel 2.4 Jenis-jenis material pada pegas.....	24
Tabel 2.5 Sifat mekanik material pegas.....	25
Tabel 2.6 Faktor keamanan perancangan material ulet.....	28
Tabel 2.7 Faktor keamanan perancangan material getas.....	29
Tabel 3.1 Instrumen data faktor keamanan.....	41
Tabel 4.1 Jenis material pada komponen IBS beserta beberapa sifat mekanismya.....	46
Tabel 4.2 Dimensi New Honda Blade 110cc.....	49
Tabel 4.3 Hasil analisis komponen penyusun sistem rem IBS .....	68

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Water recovery</i> .....	9
Gambar 2.2 Konstruksi rem tromol.....	10
Gambar 2.3 Rem tromol dan kelengkapannya.....	11
Gambar 2.4 Rem tromol tipe <i>single leading shoe</i> .....	11
Gambar 2.5 Rem tromol tipe <i>two leading shoe</i> .....	12
Gambar 2.6 Rem cakram mekanik.....	14
Gambar 2.7 <i>Master cylinder</i> .....	16
Gambar 2.8 <i>Brake pad</i> dan <i>anti-sequel shim</i> .....	16
Gambar 2.9 Cara kerja rem cakram hidrolis.....	17
Gambar 2.10 Ilustrasi pengereman tunggal dan kombinasi.....	18
Gambar 2.11 Komponen CBS.....	19
Gambar 2.12 Ilustrasi jarak pengereman rem CBS dengan rem konvensional....	20
Gambar 2.13 Pegas tekan <i>helix</i> .....	23
Gambar 2.14 Jenis-jenis ujung pegas.....	24
Gambar 3.1 Alur penelitian.....	36
Gambar 3.2 Alur analisa model.....	38
Gambar 4.1 Sketsa <i>bracket</i> kaliper IBS.....	44
Gambar 4.2 Sketsa New Honda Blade 110cc.....	49
Gambar 4.3 Pengukuran dimensi rangka model.....	50
Gambar 4.4 Model <i>bracket</i> kaliper rem belakang orisinil tampak samping.....	51
Gambar 4.5 Model <i>bracket</i> kaliper rem belakang orisinil tampak depan.....	52

Gambar 4.6 Model <i>bracket</i> kaliper rem belakang orisinil tampak isometrik.....	52
Gambar 4.7 Sketsa <i>bracket</i> kaliper rem belakang IBS .....	53
Gambar 4.8 Model <i>bracket</i> kaliper rem belakang IBS tampak samping.....	54
Gambar 4.9 Model <i>bracket</i> kaliper rem belakang IBS tampak depan.....	54
Gambar 4.10 Model <i>bracket</i> kaliper rem belakang IBS tampak isometrik.....	54
Gambar 4.11 Bentuk 3D tabung IBS.....	55
Gambar 4.12 Bentuk 3D lengan IBS.....	56
Gambar 4.13 Bentuk 3D penyetel pegas.....	56
Gambar 4.14 Posisi lubang mur <i>bracket</i> master rem IBS.....	57
Gambar 4.15 Posisi penempatan <i>bracket</i> master rem IBS.....	57
Gambar 4.16 Desain pegas IBS.....	58
Gambar 4.17 Desain model kendaraan dengan IBS tampak samping kanan.....	60
Gambar 4.18 Desain model kendaraan dengan IBS tampak isometrik.....	60
Gambar 4.19 Sistem rem IBS yang sudah terpasang.....	60
Gambar 4.20 Arah gaya pada sistem rem IBS.....	61
Gambar 4.21 Hasil tegangan dari pengujian <i>bracket</i> kaliper belakang .....	62
Gambar 4.22 Hasil defleksi dari pengujian <i>bracket</i> kaliper belakang .....	62
Gambar 4.23 Hasil tegangan dari pengujian tabung pegas IBS .....	63
Gambar 4.24 Hasil defleksi dari pengujian tabung pegas IBS .....	63
Gambar 4.25 Hasil tegangan dari pengujian lengan IBS .....	64
Gambar 4.26 Hasil defleksi dari pengujian lengan IBS .....	65
Gambar 4.27 Hasil tegangan dari pengujian penyetel pegas IBS .....	66
Gambar 4.28 Hasil defleksi dari pengujian penyetel pegas IBS .....	66

Gambar 4.29 Hasil tegangan dari pengujian <i>bracket</i> master rem IBS .....	67
Gambar 4.30 Hasil defleksi dari pengujian <i>bracket</i> master rem IBS .....	67
Gambar 4.31 Desain 3D rangka New Honda Blade 110cc tanpa IBS.....	69
Gambar 4.32 Desain 3D rangka New Honda Blade 110cc dengan IBS .....	69
Gambar 4.33 Komponen penyusun sistem rem IBS .....	70
Gambar 4.34 Kaliper dua piston rem depan .....	71
Gambar 4.35 Proses pembuatan animasi cara kerja sistem rem IBS.....	74
Gambar 4.36 Penekanan pedal rem yang menyebabkan selang bertekanan berwarna merah.....	75
Gambar 4.37 Arah gaya yang terjadi pada pegas IBS dan penekan master rem IBS ketika pengereman .....	75
Gambar 4.38 Selang fluida rem depan yang bertekanan ditunjukkan dengan warna merah .....	76



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Desain <i>bracket</i> kaliper rem belakang IBS.....	81
Lampiran 2. Desain tabung IBS.....	82
Lampiran 3. Desain lengan IBS.....	83
Lampiran 4. Desain penyetel pegas IBS.....	84
Lampiran 5. Desain <i>bracket</i> master rem IBS.....	85

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pada kehidupan yang serba modern ini, pekerjaan manusia tak luput dari kinerja sebuah teknologi yang memudahkan setiap proses dari pekerjaan tersebut. Termasuk dalam hal mobilitas, sepeda motor adalah salah satu teknologi yang selalu dibutuhkan manusia yang cukup mudah untuk dimiliki dan digunakan sehingga sepeda motor terus berkembang dalam hal desain serta kecanggihan sistem kerja dari komponen yang ada dalam sepeda motor tersebut.

Salah satu komponen yang terdapat pada sepeda motor yaitu rem. Rem termasuk komponen yang terpenting karena mempengaruhi keselamatan berkendara. Semakin cepat suatu kendaraan melaju maka sistem rem juga harus semakin optimal untuk memperlambat laju kendaraan (Anam dan Triswanto, 2017: 8).

Sepeda motor memiliki tenaga untuk bergerak pada berbagai kondisi atau keadaan, dimana tenaga tersebut diperoleh dari mesin melalui pembakaran bahan bakar dalam silinder. Sepeda motor berjalan pada kondisi jalan yang tidak tetap, kadang menanjak dan menurun serta permukaan jalan yang tidak rata. Demikian juga tidak hanya berjalan pada jalan yang lurus, terkadang sepeda motor berbelok saat berada pada tikungan dan berhenti secara tiba-tiba. Agar kecepatan sepeda motor tetap dalam kendali, maka setiap sepeda motor harus dilengkapi dengan sistem pengereman. Ketika pengemudi menginginkan sepeda motor berhenti

secara tiba-tiba serta ingin memperlambat laju, maka rem sangat dibutuhkan untuk mengontrol laju sepeda motor.

Kinerja rem pada sistem rem konvensional akan maksimal jika komposisi penggunaan tekanan rem depan dan belakang tepat. Pemberian gaya pengereman yang terlalu kecil menyebabkan jarak pengereman yang besar sedangkan pemberian gaya pengereman yang terlalu besar dapat menyebabkan *lock* pada roda sehingga kendaraan menjadi sulit dikendalikan (Meitryano, *et al*, 2018: 1).

Sistem pengereman dengan menggunakan *anti lock* pada kendaraan salah satunya adalah ABS (*Anti-Lock Braking System*). Sistem ini bekerja pada pengereman kendaraan untuk mencegah terjadinya penguncian pada roda ketika terjadi pengereman. Sistem rem ABS dapat mengatur tekanan rem agar roda tetap dapat berputar tanpa terjadi *lock*, sehingga laju kendaraan dapat dikurangi dengan cepat dan aman (Reif, 2014: 74). Ketika sensor putaran roda pada rem ABS membaca roda yang mengunci maka sensor akan mengirim sinyal ke *ABS Control Module* dan diteruskan perintah ke piston rem untuk melepas cengkaman dan menjepit kembali cakram rem secara berulang ulang. Proses tersebut dapat mencapai 15 kali setiap detiknya, sehingga kendaraan dapat dikendalikan dan jarak pengereman semakin efektif (Rahmadi, 2017: 4). Sistem rem ABS ini merupakan teknologi pengereman yang paling optimal dalam mengurangi laju kendaraan saat ini, namun sistem rem ABS ini memiliki harga yang cukup mahal dan hanya diterapkan pada kendaraan-kendaraan tertentu saja.

Salah satu perusahaan ATPM (Agen Tunggal Pemegang Merk) mengembangkan sistem pengereman sepeda motor konvensional secara serentak

yang dinamakan CBS (*Combi Brake System*) yang diaplikasikan pada sepeda motor matic. Sistem ini menggabungkan rem depan dan belakang dengan satu tuas yaitu tuas rem kiri/rem belakang, dimana pada tuas rem kiri terdapat komponen penting CBS yaitu *equalizer*. *Equalizer* adalah alat yang berfungsi membagi tarikan tuas handel rem depan dan belakang melalui kabel besi (*slink*) yang menghubungkan antara rem depan dan belakang yang terletak di handel rem belakang. Ketika handel rem belakang ditarik, maka *knocker joint* akan menarik *knocker* di master rem depan sehingga tuas rem depan ikut bergerak. Maka, langkah atau metode ini yang menyebabkan kedua rem bisa berfungsi (Rokhandy, 2012: 16).

Tekanan kampas pada sistem rem CBS ini diatur oleh tekanan tuas rem pengendara dimana besar tekanan kampas tidak disesuaikan dengan putaran roda, berbeda dengan sistem rem ABS yang tekanan kampas rem menyesuaikan putaran roda sehingga pada saat pengereman mendadak, putaran roda tidak terjadi *lock* sehingga kendaraan tetap dapat dikendalikan.

Berdasarkan uraian di atas, perlu adanya sistem pengereman yang dapat bekerja secara serentak dan pengereman pada roda dapat diatur oleh putaran roda namun memiliki harga yang murah, oleh karena itu penulis merancang sebuah sistem pengereman sepeda motor yang dinamakan IBS (*Integrated Braking System*).

Sistem pengereman IBS bekerja secara serentak dengan satu pedal rem. Sistem pengereman IBS ini bekerja secara seri, dimana pengereman yang terjadi adalah pada roda belakang terlebih dahulu kemudian dilanjutkan pada roda depan.

Pengereman roda depan dipengaruhi oleh traksi roda belakang dengan permukaan jalan. Saat traksi roda belakang berkurang saat pengereman, pengereman roda depan juga berkurang, sehingga roda depan tidak terjadi *lock* dan kendaraan tetap dapat dikendalikan.

## **1.2 Identifikasi Masalah**

Berdasarkan uraian yang telah dipaparkan dalam latar belakang, maka didapatkan permasalahan utama yaitu sistem pengereman serentak pada kedua roda yang masih diatur dengan tuas dan harga sistem rem ABS yang mahal.

## **1.3 Pembatasan Masalah**

Agar permasalahan dalam skripsi ini menjadi jelas dan tidak menyimpang dari tujuan yang telah ditetapkan maka peneliti perlu membatasi beberapa masalah yang akan diangkat dalam penelitian ini, yaitu :

1. Perancangan ini menggunakan software *SOLIDWORKS 2015*.
2. Perhitungan kekuatan bahan berupa tegangan dan defleksi menggunakan simulasi metode elemen hingga.
3. Perancangan ini menghasilkan sistem rem IBS.
4. Penelitian ini selesai apabila menghasilkan simulasi yang dapat menunjukkan cara kerja rem IBS serta komponen IBS yang memenuhi angka keamanan tanpa adanya produksi fisik.

## **1.4 Perumusan Masalah**

Rumusan masalah yang telah didapat berdasarkan pembatasan masalah yang telah diperoleh yaitu:

1. Bagaimana rancangan sistem rem IBS yang dibuat?
2. Bagaimana hasil analisis tegangan dan defleksi dari komponen sistem rem IBS menggunakan metode elemen hingga?
3. Bagaimana simulasi gerak mekanik sistem rem IBS?

### **1.5 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menghasilkan rancangan sistem rem IBS.
2. Menghasilkan data hasil analisis tegangan dan defleksi dari sistem rem IBS.
3. Menghasilkan simulasi gerak mekanik sistem rem IBS.

### **1.6 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini yaitu:

1. Diharapkan mampu memberikan kontribusi yang bermanfaat bagi perkembangan produksi sepeda motor.
2. Hasil rancangan dapat diterapkan pada dunia industri sepeda motor sehingga dapat mengembangkan teknologi dunia otomotif.
3. Sebagai bahan acuan bagi mahasiswa/umum untuk mengadakan pengembangan dari penelitian ini.
4. Diharapkan mampu menambah keefektifan pengereman bagi penggunanya.
5. Dapat digunakan sebagai referensi untuk membuat penelitian tentang pengereman.

## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1 Kajian Pustaka

Dalam penulisan skripsi ini, peneliti mencari informasi dari berbagai penemuan serta penelitian yang berhubungan dengan sistem rem sepeda motor sebagai bahan rujukan dan perbandingan mengenai cara kerja yang sudah ada, diantaranya penemuan terdahulu sistem rem serentak bernama CBS (*Combi Brake System*) yang kebanyakan diaplikasikan pada sepeda motor jenis matic. Sistem pengereman CBS dapat membuat rem depan dan belakang bekerja secara serentak dengan menggunakan satu tuas dan penekanan kampas rem secara keseluruhan diatur oleh penekanan tuas. Jika sistem ini diterapkan pada salah satu tuas rem maka disebut dengan *Single CBS* dan jika sistem ini diterapkan pada kedua tuas rem maka disebut dengan *Dual CBS* (Rokhandy, 2012: 14).

Penelitian lain yang relevan yang menjadi acuan pustaka penulis adalah dari proyek akhir mahasiswa UNY tentang Modifikasi Rem Tromol Pada Honda GL Pro Menjadi Rem Cakram Dengan Aplikasi Teknologi CBS oleh Rokhandy (2012). Penelitian ini membahas tentang modifikasi sistem rem pada honda GL Pro dimana sistem rem standar menggunakan sistem *lock* konvensional dan akan diubah menjadi sistem CBS milik Honda dengan menerapkan rem cakram pada kedua roda. Pada penelitian tersebut, Rokhandy menggunakan kaliper *double piston* yang telah dimodifikasi pada pembagian tekanan masing-masing piston. Modifikasi tersebut dengan cara menyumbat lubang *intake* bawaan untuk menutup

jalur yang menghubungkan antar piston dan menambahkan lubang *intake* baru pada masing-masing silinder piston sehingga masing-masing piston dapat bekerja sendiri-sendiri. Untuk memudahkan penyetelan rem, ditambahkan lubang buang udara pada setiap sisi silinder piston.

Hasil penelitian modifikasi rem ini secara kinerja lebih baik dari rem standarnya. Kinerja rem masih dapat dimaksimalkan yaitu dengan cara mengganti master rem yang mempunyai diameter piston lebih besar. Menurut hasil pengujian: Aplikasi rem CBS dengan penggantian rem belakang dari tromol menjadi cakram menunjukkan kinerja 40% lebih baik dibandingkan dengan rem standar pada kecepatan 60 km/jam dan apabila kecepatan semakin ditingkatkan maka kinerja rem CBS juga akan semakin meningkat. (Rokhandy, 2012: 55).

## **2.2 Landasan Teori**

### **2.2.1 Teori Dasar Pengereman**

Tujuan dipasangnya rem pada kendaraan adalah untuk mengurangi kecepatan, berhenti ataupun memarkir kendaraan, dengan kata lain melakukan kontrol kecepatan kendaraan untuk menghindari kecelakaan dan rem juga berfungsi menahan kendaraan saat berhenti pada jalan yang tidak datar (Multazam, *et al*, 2012: 101). Pada mesin terjadi perubahan energi panas menjadi energi kinetik, sebaliknya pada pengereman terjadi perubahan energi kinetik menjadi energi panas untuk menghentikan kendaraan (Toyota, 5-54). Energi panas dihamburkan di udara sekitar agar tidak terjadi pemanasan berlebihan pada rem. Faktor-faktor yang mempengaruhi kapasitas rem yaitu (Khurmi, 2005: 917):

1. Tekanan unit antar permukaan pengereman.



2. Koefisien gesekan antara permukaan pengereman.
3. Area proyeksi dari permukaan gesekan.
4. Kemampuan rem untuk menghilangkan panas setara dengan energi yang diserap.

Pengereman kendaraan sampai kendaraan dapat berhenti disebabkan karena adanya proses gesekan. Gesekan tersebut diperoleh dari traksi antara ban dengan jalan dan gesekan antara kanvas rem dengan tromol atau cakram (gesekan rem) (Anam dan Triswanto, 2017: 9). Semakin besar nilai gesekan maka semakin besar pula perlambatan yang terjadi, sebaliknya jika semakin kecil nilai gesekan maka semakin kecil pula perlambatan yang terjadi.

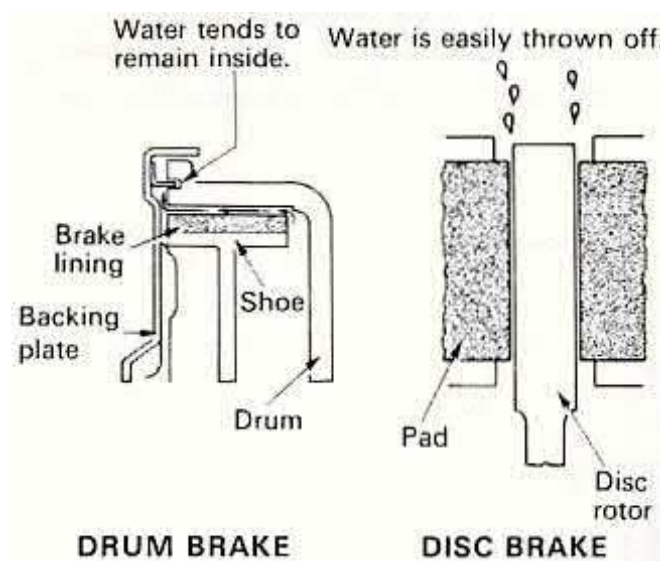
Gesekan merupakan faktor yang berpengaruh dalam proses pengereman. Oleh karena itu komponen yang bergesekan khususnya kampas yang dibuat harus terbuat dari bahan yang memiliki koefisien gesek yang besar dan tahan terhadap panas yang dihasilkan dari gesekan pengereman agar komponen tersebut tidak hancur atau berubah bentuk. Bahan-bahan yang tahan terhadap panas tersebut merupakan gabungan dari bahan yang disatukan dengan melakukan perlakuan tertentu. Sejumlah bahan tersebut antara lain timah, grafit *kevlar*, fiber, tembaga, kuningan karbon, resin, dan bahan aditif lainnya (Buntarto, 2017: 107). Pembagian tipe rem pada sepeda motor menurut komponennya yaitu rem tromol (*drum brake*) dan rem cakram (*disk brake*).

### **2.2.2 Rem Tromol**

Rem tromol memanfaatkan gesekan antara kampas rem dengan *drum* yang ikut berputar dengan roda, dan pada sepeda motor, drum tromol menyatu dengan

velg roda. Kekuatan gaya pengereman rem tromol diperoleh dari sepatu rem yang diam dan menekan permukaan tromol yang berputar bersama dengan roda. Rem tromol mempunyai salah satu keuntungan dibandingkan dengan tipe rem cakram, yaitu adanya *self energizing effect* yang memperkuat daya pengereman. *Self energizing effect* merupakan gaya penguatan pengereman yang terjadi sendiri pada sepatu rem karena terbawa oleh putaran tromol sehingga gaya pengereman menjadi lebih kuat (Nugraha, 2005: vii).

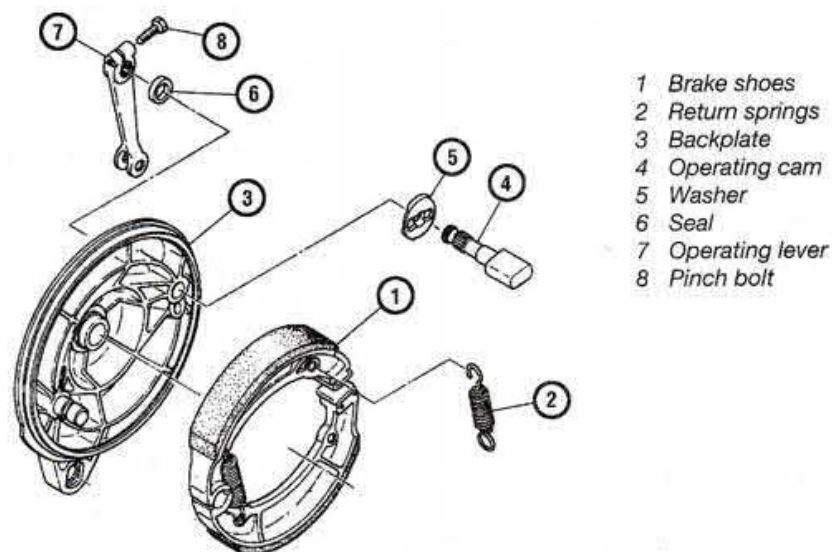
Rem tromol mempunyai kekurangan, yaitu mempunyai kemampuan *water recovery* yang lebih rendah dibanding rem cakram. *Water recovery* merupakan kemampuan untuk mengembalikan koefisien gesek pada kondisi semula saat sistem rem terkena air yang mengakibatkan koefisien gesek kampas rem menjadi berkurang. Saat rem tromol terkena air, di dalam *drum* tromol akan menyisakan air di antara sepatu rem dan tromol sehingga koefisien gesek rem menjadi rendah (Nugraha, 2005: 28).



Gambar 2.1 *Water recovery* (Nugraha, 2005: 29)

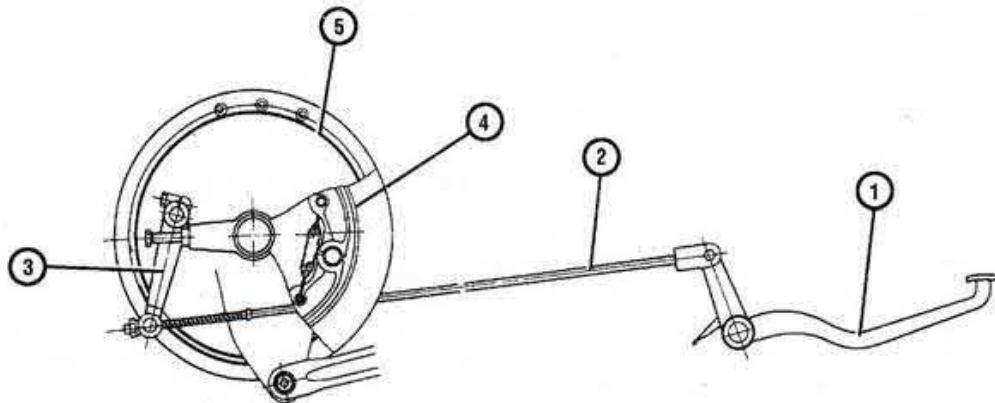
Konstruksi rem tromol terdiri dari kampas rem (*brake shoe*), tromol (*drum*), pegas pengembali (*return springs*), tuas penggerak (*lever*), *bracket* rem tromol (*backplate*), dan nok penggerak. Pada umumnya secara mekanik komponen pengoperasian rem tromol terdiri dari pedal rem (*brake pedal*) dan batang (*rod*) penggerak (Buntarto, 2017: 107).

Konstruksi dan cara kerja rem tromol seperti terlihat pada gambar 2.2 dan 2.3 di bawah ini:



Gambar 2.2 Konstruksi rem tromol (Jama dan Wagino. 2008: 344).

Pada saat kabel rem tidak ditarik, kampas rem dan tromol tidak saling menempel. Tromol (*drum*) berputar bebas mengikuti putaran roda. Jika saat kabel rem ditarik, lengan rem atau tuas rem akan memutar nok (*operating cam*) pada kampas rem sehingga menjadi mengembang dan kampas rem bergesekan dengan tromol. Akibatnya putaran tromol dapat ditahan atau dihentikan (Buntarto, 2017: 107).

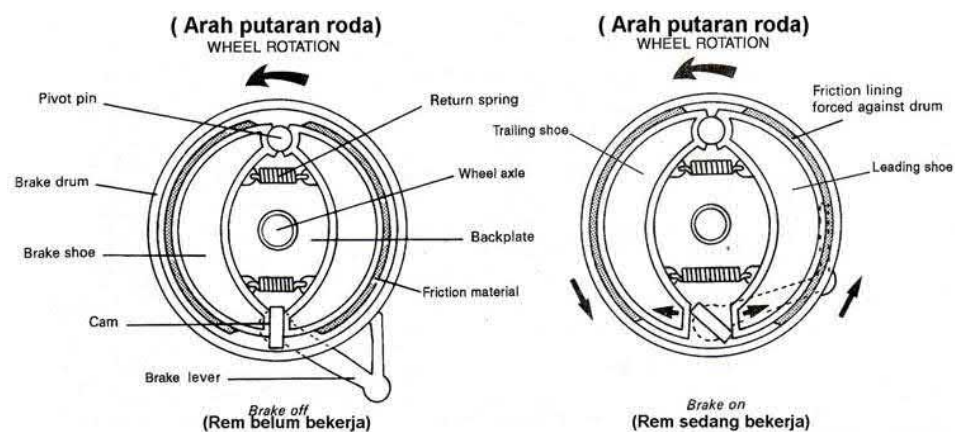


Gambar 2.3 Rem tromol dan kelengkapannya, (1) Pedal rem (*brake pedal*), (2) Batang penghubung (*operating rod*), (3) Tuas rem (*brake lever*), (4) Sepatu rem (*brake shoe*), dan (5) Tromol (*drum*) (Jama dan Wagino. 2008: 344).

Berdasarkan cara pengoperasian sepatu rem, sistem rem tipe tromol pada sepeda motor diklasifikasikan menjadi dua, yaitu tipe *single leading shoe* dan tipe *two leading shoe* (Buntarto, 2017: 107).

#### 1. Tipe *Single Leading Shoe*

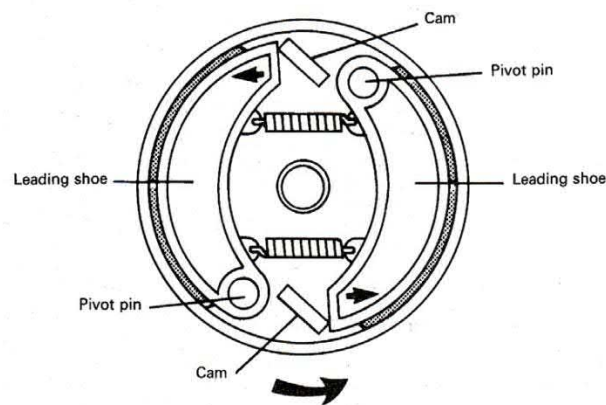
Pada tipe ini hanya mempunyai satu nok penggerak untuk menggerakkan dua buah sepatu rem sekaligus pada salah satu ujungnya dan pada ujung yang lain dipasang *pivot pin* sebagai titik tumpuan atau poros sepatu rem (Buntarto, 2017: 109).



Gambar 2.4 Rem tromol tipe *single leading shoe* (Jama dan Wagino. 2008: 345).

## 2. Tipe *Two Leading Shoe*

Pada rem tromol tipe ini dapat menghasilkan gaya pengereman yang lebih besar dari tipe *single leading shoe*. Perbedaan yang terdapat pada tipe ini dengan tipe *single leading shoe* adalah pada jumlah nok penggeraknya. Pada tipe ini mempunyai dua nok penggerak yang ada pada kedua ujung sepatu rem yang akan bergerak bersamaan ketika tuas rem ditarik (Buntarto, 2017: 109).



Gambar 2.5 Rem tromol tipe *two leading shoe* (Jama dan Wagino, 2008: 346).

### 2.2.3 Rem Cakram (*Disk Brake*)

Rem cakram dioperasikan dengan tuas/pedal rem secara hidrolik dengan prinsip tekanan cairan. Pada rem cakram, putaran roda dikurangi atau dihentikan dengan cara penjepitan cakram oleh dua bilah kampas rem. Rem cakram mempunyai sebuah plat piringan/cakram yang terbuat dari baja yang akan berputar bersamaan dengan roda. Rem cakram mempunyai beberapa keunggulan, yaitu waktu berhenti lebih singkat dan jarak pengereman lebih pendek dibanding rem tromol (Siahaan dan Sen, 2008: 397). Pada saat rem digunakan plat piringan tercengkram dengan gaya bantalan piston yang bekerja secara hidrolik.

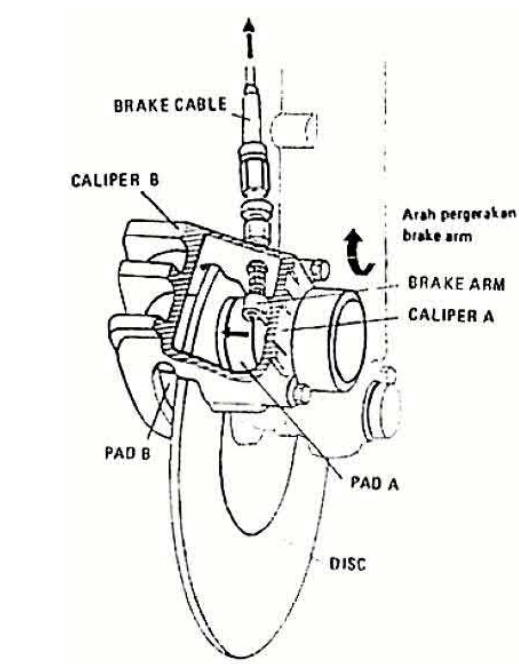
Rem cakram lebih unggul dalam hal kepakeman pengereman daripada rem tromol karena berdasarkan konsep momen inersia, posisi kerja rem cakram terhadap sumbu roda lebih jauh daripada rem tromol sehingga momen inersianya lebih besar (Purwanto, 2011: 245).

Sistem rem cakram memiliki kemampuan *water recovery* yang lebih baik dibandingkan dengan sistem rem tromol, hal ini disebabkan karena air akan terlempar keluar dari permukaan cakram dan pad karena adanya gaya sentrifugal.

Rem cakram dibedakan menjadi dua tipe berdasarkan mekanisme penggerakannya, yaitu rem cakram mekanis dan rem cakram hidrolis. Pada umumnya yang sering digunakan adalah rem cakram hidrolis (Jama dan Wagino. 2008: 347).

#### 1. Rem Cakram Mekanik

Cara kerja rem cakram mekanik yaitu menggunakan kabel (*sling*) untuk menggerakkan kaliper guna mendorong kampas rem. Rem cakram jenis ini pernah banyak diterapkan pada sepeda motor keluaran tahun 90-an. Rem cakram jenis ini sudah jarang diterapkan pada sepeda motor saat ini karena terdapat jenis rem cakram yang lebih efisien yaitu jenis rem cakram hidrolis. Contoh sepeda motor yang menggunakan rem cakram mekanik adalah Honda GL100 (Nugraha, 2005: 31). Konstruksi sistem rem cakram mekanik dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Rem cakram mekanik (Nugraha, 2005: 31)

Berdasarkan gambar 2.6, cara kerja rem cakram mekanik yaitu:

- a. Kabel rem menarik *brake arm* ke atas.
- b. Pergerakan *brake arm* ke atas mendorong *thrust plate guide* ke depan sehingga *pad A* menempel pada cakram.
- c. Badan *caliper* memiliki engsel sehingga dapat berputar bebas untuk menekan *pad A* sampai menggesek cakram.
- d. Gesekan yang ditimbulkan *pad A* dan *pad B* menimbulkan tahanan gesek yang melawan perputaran cakram sehingga terjadi pengereman. (Nugraha, 2005: 32).

## 2. Rem cakram hidrolis

Rem cakram dengan sistem hidrolis banyak digunakan pada sepeda motor sekarang. Mekanisme penggerak rem cakram hidrolis memanfaatkan tekanan hidrolis dari fluida atau cairan untuk meneruskan tenaga pengereman

dari tuas rem ke sepatu rem (Nugraha, 2005: 32). Mekanisme penggerak hidrolik berpedoman dari hukum Pascal yang berbunyi “Jika zat cair yang berada di ruang yang tertutup diberikan tekanan maka tekanan tersebut akan diteruskan oleh zat cair ke segala arah dengan tekanan yang sama besar”.

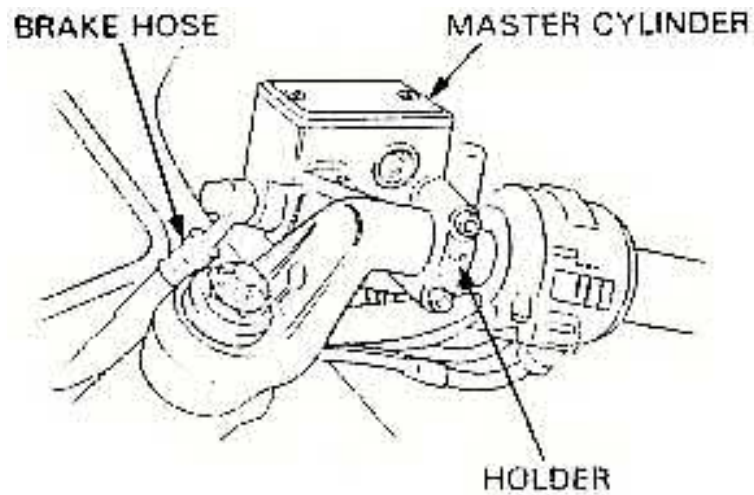
Rem cakram hidrolik mempunyai beberapa keuntungan dibandingkan dengan rem cakram mekanik, diantaranya:

- a. Fluida mempunyai sifat tidak dapat dimampatkan sehingga tekanan yang diterima fluida dapat diteruskan secara efektif.
- b. Pada sistem rem hidrolik tidak terjadi kerugian gesekan/penurunan tekanan kampas rem yang diakibatkan karena adanya engsel seperti pada mekanisme rem mekanik.
- c. Gaya pengereman yang diperlukan guna mengoperasikan rem hidrolik lebih ringan dari rem mekanik.
- d. Tidak diperlukan penyetelan rem seperti pada rem mekanik. (Nugraha, 2005: 33).

Rem cakram hidrolik memerlukan komponen-komponen penyusun untuk melakukan pengereman, komponen-komponen tersebut adalah:

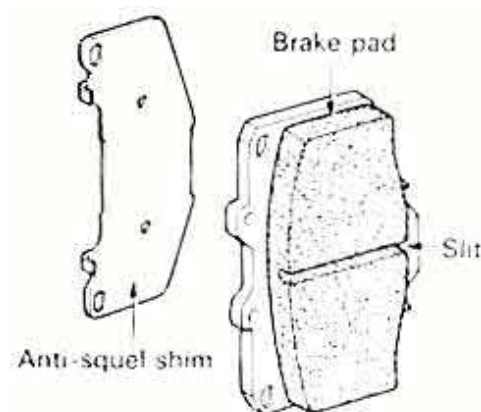
- a. *Master cylinder*, berfungsi mengubah gerak tuas rem ke dalam tekanan hidrolik. *Master cylinder* terdiri dari *reservoir tank* yang berisi cadangan fluida/minyak rem, *piston* dan silinder yang memunculkan tekanan hidrolik.





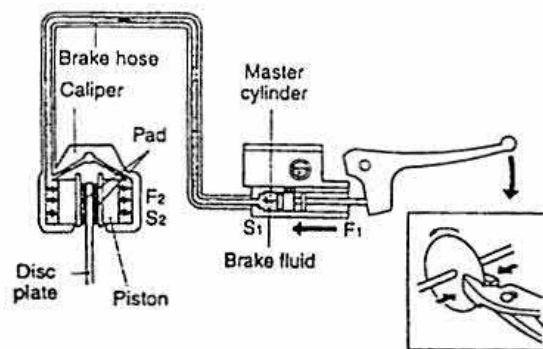
Gambar 2.7 *Master cylinder* (Nugraha, 2005: 33)

- b. Piringan rem (Cakram), cakram pada umumnya dibuat dari besi cor yang diberikan lubang pada permukaan gesek untuk mensirkulasikan udara yang berfungsi untuk mempercepat pendinginan cakram dan menampung kotoran yang menempel pada permukaan cakram.
- c. *Brake pad*, *brake pad* terbuat dari campuran *metallic fiber* dan sedikit serbuk besi. Pada beberapa *pad*, penggunaan *metallic plate* diterapkan pada sisi *piston* dari *pad* untuk mencegah bunyi pada saat pengereman.



Gambar 2.8 *Brake pad* dan *anti-squel shim* (Nugraha, 2005: 34).

- d. *Caliper*, *caliper* berfungsi sebagai tempat *piston* rem dan dilengkapi dengan saluran fluida rem.
  - e. Selang fluida, merupakan saluran yang berfungsi menyalurkan fluida dari *master cylinder* ke *caliper*.
  - f. Minyak rem, merupakan fluida yang berfungsi sebagai media penerus tekanan pengereman dalam bentuk tekanan hidrolis ke *piston* pada *caliper*.
- (Nugraha, 2005: 33).



Gambar 2.9 Cara kerja rem cakram hidrolis (Jama dan Wagino. 2008: 347).

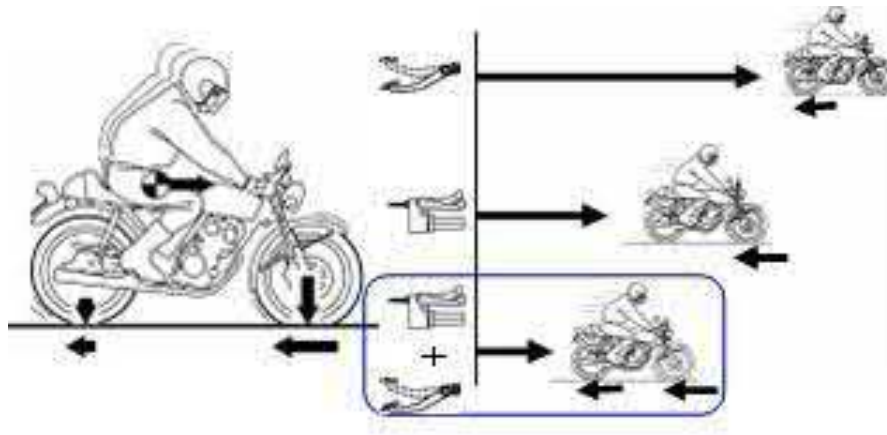
Dari beberapa keuntungan yang telah disebutkan, rem cakram digunakan pada rem depan. Pada saat melakukan pengereman roda depan, sebagian besar massa kendaraan berpindah ke bagian depan, oleh karena itu rem cakram perlu diterapkan pada rem depan guna memaksimalkan pengereman. Untuk lebih memaksimalkan pengereman, dapat diterapkan sistem *double disc brake* (rem cakram untuk rem depan dan belakang) (Jama dan Wagino. 2008: 350).

#### 2.2.4 Sistem Rem CBS (*Combi Brake System*)

*Combi Brake System* adalah sistem pengereman serentak yang menggabungkan pengereman antara rem depan dan belakang. Dengan hanya

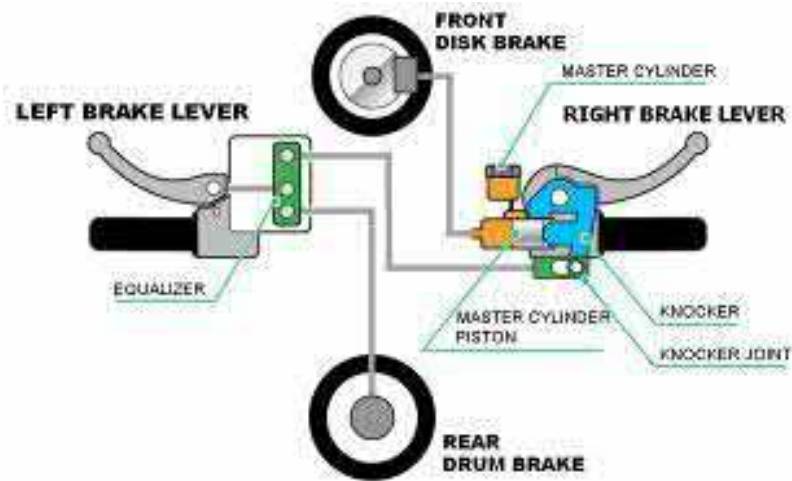
menarik tuas rem belakang pada sepeda motor yang menggunakan CBS, maka akan mendapatkan pengereman di roda depan dan di roda belakang.

Sistem pengereman konvensional pada sepeda motor merupakan sistem pengereman yang saling bebas dan berdiri sendiri (terpisah) antara rem depan dan belakang. Masing-masing rem depan dan belakang memiliki tuas atau aktuator penggerakannya sendiri. Fungsi pengereman akan optimal ketika rem depan dan rem belakang dioperasikan secara simultan (bersamaan) dengan menggerakkan kedua tuas rem. (Rokhandy, 2012: 13).



Gambar 2.10 Ilustrasi pengereman tunggal dan kombinasi (Rokhandy, 2012: 14).

Sistem pengereman CBS bekerja secara serentak antara rem depan dan rem belakang dengan hanya menggunakan satu tuas, yaitu tuas rem belakang. Jika sistem ini diterapkan pada salah satu tuas rem disebut *Single CBS*, tetapi jika sistem ini diterapkan pada kedua tuas rem maka disebut dengan *Dual CBS* (Rokhandy, 2012: 14).

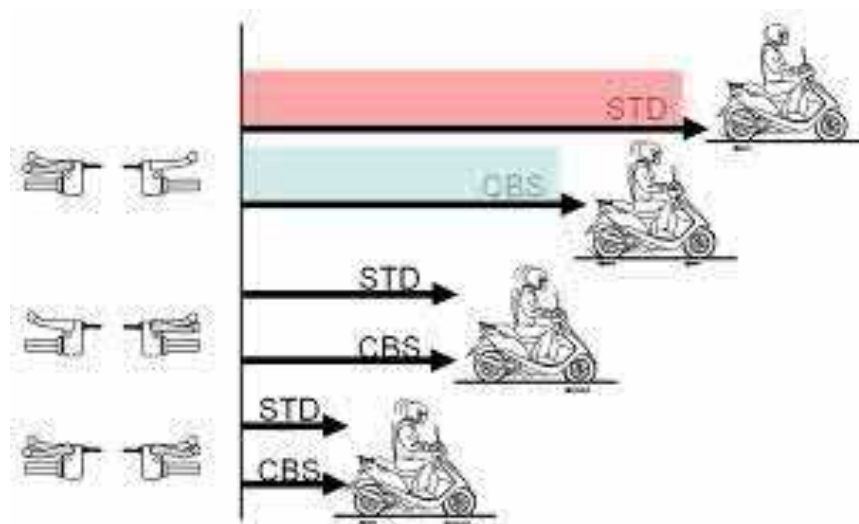


Gambar 2.11 Komponen CBS (Rokhandy, 2012: 15).

Penggunaan tuas rem belakang berpengaruh pada kinerja rem CBS, jika tuas rem belakang hanya sedikit ditarik, maka hanya rem belakang yang bekerja dengan kekuatan yang rendah, hal itu disebabkan *knocker joint* tidak akan menarik *knocker* di master rem depan sehingga kampas rem depan tidak menekan *disc brake*.

CBS memiliki beberapa keunggulan dibanding sistem rem konvensional, diantaranya (Rokhandy, 2012: 17):

1. Jarak pengereman lebih pendek
2. Memberikan kenyamanan dan kepraktisan pengereman bagi pengendara.
3. Dengan adanya CBS, pengendara secara tidak langsung diajarkan cara pengereman yang benar dan efektif.
4. CBS merupakan salah satu fitur mewah dari teknologi rem sepeda motor (*valuable feature for brake technology*).



Gambar 2.12 Ilustrasi jarak pengereman rem CBS dengan rem konvensional (Rokhandy, 2012: 18).

### 2.2.5 Material Alumunium Paduan

Material alumunium banyak digunakan untuk struktur dan komponen permesinan. Alumunium digunakan karena mempunyai beberapa kelebihan diantaranya beratnya yang ringan, tahan karat, memiliki sifat mampu mesin yang tinggi, dan memiliki tampilan permukaan yang bagus.

Penunjukkan standar alumunium paduan ditunjukkan dengan AA(*Aluminum Association*) diikuti dengan 4 digit. Digit pertama menunjukkan jenis paduan, digit kedua menunjukkan bahan lain yang ditambahkan pada paduan dan dua digit terakhir menunjukkan paduan khusus yang ditambahkan (Mott, 2004: 57).

Tabel 2.1 Golongan alumunium paduan berdasarkan standar AA (Mott, 2004: 57).

Pengkodean AA	Penunjukkan Campuran
1xxx	99,00% alumunium.
2xxx	Tembaga.
3xxx	Mangan.
4xxx	Silikon.

<b>Pengkodean AA</b>	<b>Penunjukkan Campuran</b>
5xxx	Magnesium.
6xxx	Magnesium dan silikon.
7xxx	Seng.

Tabel 2.2 Penggunaan dan bentuk dari beberapa alumunium paduan (Mott, 2004: 58).

<b>Paduan AA</b>	<b>Pengaplikasian</b>	<b>Bentuk</b>
1060	Peralatan kimia dan tangki.	Lembaran, plat, pipa.
1350	Konduktor peralatan listrik.	Lembaran, plat, pipa, batangan, kawat.
2014	Struktur pesawat dan rangka kendaraan.	Lembaran, plat, pipa, batangan, kawat, tempaan.
2024	Struktur pesawat, velg roda, dan komponen mesin.	Lembaran, plat, pipa, batangan, kawat, paku keling..
2219	Komponen yang menerima suhu tinggi diatas 600°F.	Lembaran, plat, pipa, batangan, tempaan.
3003	Peralatan kimia, tangki, peralatan memasak, komponen arsitektur.	Lembaran, plat, pipa, batangan, kawat, tempaan, paku keling.
5052	Pipa hidrolis, alat-alat rumah tangga, pembuatan lembaran logam.	Lembaran, plat, batangan, kawat, paku keling.
6061	Struktur bangunan, rangka dan komponen kendaraan, alat-alat kelautan.	Semua bentuk.
6063	Mebel, perangkat arsitektur.	Pipa, bentuk dari tekanan.
7001	Struktur berkekuatan besar.	Pipa, bentuk dari tekanan.
7075	Struktur pesawat dan struktur yang menerima beban tinggi.	Semua bentuk kecuali pipa.

Sifat mekanis dari alumunium paduan sangat dipengaruhi dari perlakuannya. Jenis perlakuan disebutkan setelah 4 angka terakhir kode paduan berupa simbol huruf. Jenis perlakuan pada alumunium paduan dijelaskan pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Jenis simbol perlakuan pada alumunium paduan (Mott, 2004: 58).

<b>Simbol Perlakuan</b>	<b>Keterangan</b>
F	Tidak ada perlakuan khusus yang diterapkan.
O	Perlakuan panas anil yang menghasilkan kekuatan paling rendah pada alumunium paduan.
H	Perlakuan pengerasan dengan regangan yang secara umum digunakan untuk paduan 1xxx, 3xxx, dan 5xxx
T	Perlakuan panas dengan serangkaian proses pemanasan dan pendinginan yang terkontrol yang secara umum digunakan pada paduan 2xxx, 4xxx, 6xxx, dan 7xxx. Huruf T diikuti oleh satu atau lebih angka yang menunjukkan proses tertentu.

Alumunium paduan yang paling banyak diterapkan pada desain permesinan adalah tipe AA 6061 karena selain tersedia dalam semua bentuk, tipe ini mempunyai kekuatan yang tinggi dan ketahanan terhadap korosi yang baik, serta sifat mekanis dari tipe ini dapat divariasikan dengan menerapkan perlakuan panas kembali (Mott, 2004: 58).

### 2.2.6 Persamaan Gerak Lurus Berubah Beraturan

Persamaan gerak lurus berubah beraturan membahas tentang perlambatan atau biasa disebut dengan pengereman sesuai dengan penelitian yang dibahas.

Perlambatan suatu benda yang mempunyai kecepatan dan jarak dari kedudukannya sampai berhenti dapat dihitung dengan persamaan gerak lurus berubah beraturan, yaitu dengan persamaan (Kanginan, 2004: 125):

$$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta x \dots \dots \dots (2.1)$$

### 2.2.7 Hukum II Newton

Hukum Newton II menjelaskan tentang gerak benda ketika ada gaya yang bekerja padanya. Hukum Newton ini berbunyi “*Percepatan yang dihasilkan oleh resultan gaya yang bekerja pada suatu benda berbanding lurus dengan resultan gaya, searah dengan resultan gaya, dan berbanding terbalik dengan massa*”

*benda*”. Hukum Newton II dapat dinyatakan dengan persamaan (Kanginan, 2004: 211).

$$\sum F = m \times a \dots\dots\dots(2.2)$$

### 2.2.8 Momen Gaya (Torsi)

Momen gaya atau torsi adalah suatu besaran yang menyebabkan suatu benda berputar. Momen gaya dapat dinyatakan dengan persamaan (Abdullah, 2007: 23):

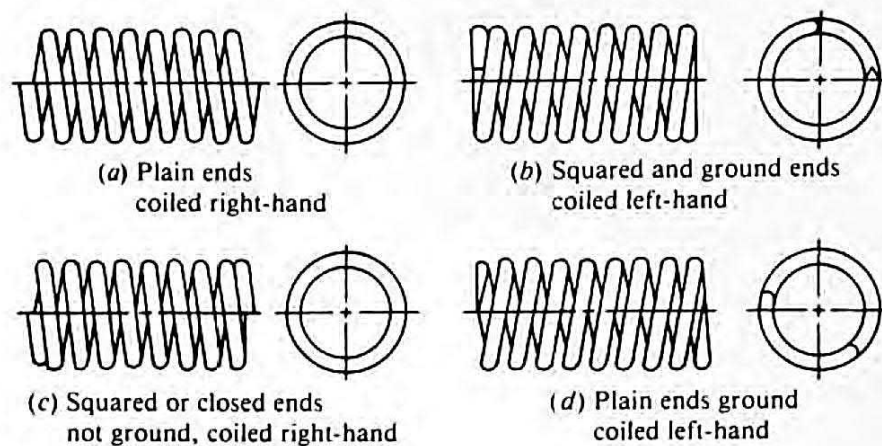
$$\tau = rF \sin \theta \dots\dots\dots(2.3)$$

### 2.2.9 Perancangan Pegas Tekan *Helix*

Pegas tekan *helix* adalah pegas yang dibuat dari kawat bundar yang digulung berbentuk silinder dengan pitch yang sama. Pegas jenis ini sangat umum digunakan pada berbagai komponen yang menerima gaya berulang dan juga membutuhkan peredaman getaran yang diterima. Contoh penerapan pegas *helix* adalah pada *shockbreaker* mobil dan sepeda motor, dimana pegas ini berfungsi meredam getaran yang terjadi karena kondisi permukaan jalan.

Pada pegas tekan *helix*, terdapat 4 jenis pegas berdasarkan bentuk penampang/ujung pegas, yaitu *plain ends*, *squared and ground ends*, *squared or closed ends*, dan *plain ends ground*.





Gambar 2.14 Jenis-jenis ujung pegas (Mott, 2004: 734).

Untuk merancang sebuah pegas *helix*, terlebih dahulu menentukan jenis material pada kawat yang akan digunakan. Terdapat beberapa material yang digunakan pegas *helix*, yaitu baja karbon, *stainless steel*, kuningan, dan perunggu. Sebagian besar jenis material yang diterapkan pada pegas *helix* menggunakan standar ASTM (*American Standard Testing and Material*).

Tabel 2.4 Jenis-jenis material pada pegas (Mott, 2004: 741).

Jenis Material	Nomor ASTM
A. Baja Karbon Tinggi	
<i>Hard-drawn</i> (0,60% - 0,70% C)	A227
<i>Music Wire</i> (0,8% - 0,95% C)	A228
<i>Oil-Tempered</i> (digunakan pada pegas dengan diameter kawat diatas 0,125 in dengan 0,60% - 0,70% C)	A229
B. Baja Paduan	
<i>Chromium-vanadium</i>	A231
<i>Chromium-silicon</i>	A401
C. <i>Stainless Steels</i>	
Tipe 302	A313(302)

<b>Jenis Material</b>	<b>Nomor ASTM</b>
Tipe 17-7 PH	A313(631)
D. Tembaga Paduan	
Pegas kuningan	B134
<i>Phosphor bronze</i>	B159
<i>Beryllium copper</i>	B197

Setiap material pegas memiliki sifat mekanik material yang berbeda-beda. beberapa sifat mekanik material pegas jenis ASTM dijelaskan pada tabel 2.4.

Tabel 2.5 sifat mekanik material pegas (Mott, 2004: 745).

<b>No.</b>	<b>Material</b>	<b>Modulus geser (G)</b>	<b>Modulus young (E)</b>
1.	ASTM A227	79,3 GPa	197 GPa
2.	ASTM A228	81,7 GPa	200 GPa
3.	ASTM A229	77,2 GPa	196 GPa
4.	ASTM A231	77,2 GPa	196 GPa
5.	ASTM A401	77,2 GPa	203 GPa
6.	ASTM A313 tipe 302, 304, 316	69,0 GPa	193 GPa
7.	ASTM A313 tipe 17-7 PH	72,4 GPa	203 GPa
8.	ASTM B134	34,5 GPa	103 GPa
9.	ASTM B159	41,4 GPa	103 GPa
10.	ASTM B197	48,3 GPa	117 GPa
11.	ASTM Monel dan K-Monel	65,5 GPa	179 GPa
12.	ASTM Inconel dan Inconel-X	72,4 GPa	214 GPa

Setiap pegas memiliki konstanta yang berbeda-beda, dimana konstanta pegas ini menunjukkan nilai kekuatan dari suatu pegas. Konstanta tersebut dipengaruhi oleh jenis material, diameter kawat, diameter lilitan, dan jumlah

lilitan. Ada beberapa langkah untuk mengetahui konstanta pegas yang dirancang, yaitu menghitung *spring index* dan kemudian menghitung defleksi pegas saat menerima gaya.

1. Menghitung *spring index*.

*Spring index* adalah nilai rasio antara diameter pegas dengan diameter kawat pegas (Mott, 2004: 739). Untuk menghitung *spring index* digunakan persamaan (Mott, 2004: 739):

$$C = \frac{D_m}{D_w} \dots\dots\dots(2.4)$$

2. Menghitung defleksi saat pegas diberikan gaya awal ( $F_o$ ).

Defleksi atau perubahan panjang pada pegas dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu gaya yang diberikan, indeks pegas, jumlah lilitan aktif, modulus geser material, dan diameter kawat. Persamaan yang digunakan untuk menghitung defleksi pegas adalah dengan persamaan (Mott, 2004: 745):

$$f_o = \frac{8F_o C^3 N_a}{G D_w} \dots\dots\dots(2.5)$$

3. Menghitung konstanta pegas.

Konstanta pegas adalah hubungan antara gaya yang diberikan pada pegas dengan defleksi yang terjadi pada pegas (Mott, 2004: 738). Konstanta pegas ini juga menunjukkan nilai kekuatan dari sebuah pegas. Konstanta pegas dapat dihitung dengan persamaan (Mott, 2004: 748):

$$k = \frac{F_o}{f_o} \dots\dots\dots(2.6)$$

### **2.2.10 Prosedur Umum Perancangan**

Prosedur umum untuk melakukan perancangan antara lain (Khurmi, 2005: 4):

1. Mengetahui kebutuhan perancangan, perlu diketahui terlebih dahulu untuk apa perancangan tersebut dilakukan.
2. Mekanisme hasil perancangan, hal ini dilakukan untuk menentukan bagaimana mekanisme kerja perancangan.
3. Analisis gaya yang terjadi, dilakukan untuk menentukan gaya yang terjadi pada setiap elemen yang dirancang.
4. Pemilihan bahan, dilakukan pemilihan bahan yang paling cocok untuk setiap elemen.
5. Desain elemen, menentukan ukuran serta bentuk elemen dengan mempertimbangkan gaya yang bekerja agar tidak melebihi tegangan maksimal dan defleksi maksimal yang diijinkan.
6. Modifikasi, dilakukan dengan mengubah spesifikasi elemen untuk meningkatkan efisiensi perancangan.
7. Gambar, dilakukan penggambaran secara teknik dari elemen-elemen yang dirancang dengan spesifikasi lengkap untuk tahap proses pembuatan.
8. Produksi, dilakukan produksi rancangan berdasarkan gambar yang telah dibuat.

### **2.2.11 Faktor Keamanan**

Faktor keamanan berperan dalam menghasilkan angka spesifikasi pada produk yang sedang dirancang. Faktor keamanan digunakan untuk memperhitungkan ketidakpastian yang dihasilkan dari toleransi bentuk desain,

jenis material yang digunakan, serta gaya yang diterima produk saat dioperasikan, dan sebagainya. (Shigley, 1996: 1.18).

Faktor keamanan dapat dicari dengan perbandingan kekuatan sebenarnya dengan gaya yang diberikan, sehingga dapat dirumuskan (Shigley, 1996: 1.19):

$$FOS = \frac{\text{actual breaking strength in application}}{\text{load}} \dots\dots\dots(2.14)$$

*Actual breaking strength in application* dapat diartikan sebagai besar *yield strength* dari material yang digunakan dan *load* dapat diartikan sebagai hasil tegangan terbesar dari analisis. Nilai faktor keamanan menunjukkan kekuatan rancangan desain, semakin besar nilai faktor keamanan, semakin tinggi juga kekuatan desain dalam menahan gaya yang diterima.

Faktor keamanan berpengaruh pada pemilihan material komponen yang sedang dirancang. Untuk mendapatkan komponen yang sesuai dengan kekuatannya, dilakukan pemilihan material yang sesuai dengan kondisi tegangan yang terjadi, tegangan maksimal komponen harus lebih kecil dari kekuatan material yang digunakan sesuai dengan faktor keamanan yang dibutuhkan.

Defleksi yang terjadi pada komponen juga perlu diketahui untuk mengetahui keamanannya. Pada komponen mesin biasa yang menerima gaya, defleksi yang diijinkan adalah maksimal 0,003 inchi atau 0,07 mm (Mott, 2004: 200).

Menurut Mott (2004: 185) untuk menentukan faktor keamanan produk yang dirancang berdasarkan sifat material, dapat digunakan aturan berikut ini:

1. Material ulet (*ductile*)

Tabel 2.6 Faktor keamanan perancangan material ulet.

No.	Faktor keamanan yang ditentukan	Parameter
1.	$N = 1,25$ sampai $2,0$	Untuk perancangan struktur yang menerima beban statis dengan tingkat kepastian yang tinggi untuk data perancangannya.
2.	$N = 2,0$ sampai $2,5$	Untuk perancangan elemen produk yang menerima beban dinamis dengan tingkat kepastian data perancangan rata-rata.
3.	$N = 2,5$ sampai $4,0$	Untuk perancangan struktur atau elemen produk yang menerima beban dinamis dengan tidak adanya kepastian mengenai beban yang diterima, sifat bahan, analisis tegangan, atau lingkungan.
4.	$N = \geq 4,0$	Untuk perancangan struktur atau elemen produk yang menerima beban dinamis dengan tidak adanya kepastian mengenai kombinasi bahan yang digunakan, sifat bahan, analisis tegangan, atau lingkungan.

2. Material getas (*brittle*)

Tabel 2.7 Faktor keamanan perancangan material getas.

No.	Faktor keamanan yang ditentukan	Parameter
1.	$N = 3,0$ sampai $4,0$	Untuk perancangan struktur yang menerima beban statis dengan tingkat kepastian tinggi untuk data perancangan.
2.	$N = 4,0$ sampai $8,0$	Untuk perancangan struktur yang menerima beban statis dengan tidak adanya kepastian mengenai data perancangan.

**2.2.12 Pengenalan Metode Elemen Hingga**

Metode elemen hingga adalah metode yang digunakan untuk memecahkan permasalahan dalam bidang fisik atau rekayasa dalam bentuk numerik. Bidang

rekayasa yang dapat diselesaikan meliputi analisa struktur, tegangan, perpindahan panas dan massa, serta medan elektromagnetik (Choiron, *et al*, 2014: 1).

Perhitungan yang digunakan metode elemen hingga adalah dengan perhitungan metode matrik. Matrik adalah kumpulan bilangan yang diatur dalam kolom dan baris membentuk segi empat siku-siku (Choiron, *et al*, 2014: 3).

Metode elemen hingga dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan-permasalahan kompleks dengan perhitungan manual, namun tidak praktis dan membutuhkan waktu yang lama, oleh karena itu dikembangkanlah penggunaan metode elemen hingga dengan peranan komputer berupa program berbasis elemen hingga. Program tersebut *ANSYS*, *Algor*, dan *SOLIDWORKS*.

Metode elemen hingga menggunakan dua pendekatan untuk menyelesaikan persoalan pada mekanika struktur, yaitu (Choiron, *et al*, 2014: 6):

1. Metode fleksibilitas atau gaya, yaitu metode yang menggunakan gaya internal sebagai nilai yang tidak diketahui kemudian dipecahkan.
2. Metode perpindahan atau kekakuan, yaitu metode yang menggunakan perpindahan node sebagai nilai yang tidak diketahui kemudian dipecahkan.

Diantara dua metode pendekatan metode elemen hingga, metode perpindahan atau kekakuan paling banyak diterapkan, karena formulasi untuk analisa struktur lebih sederhana. Langkah-langkah utama untuk melakukan analisa dengan metode elemen hingga ada 8 yaitu (Choiron, *et al*, 2014: 6):

1. Memilih jenis elemen dan diskritisasi.

Diskritisasi adalah sebuah proses membagi bodi kontinu menjadi elemen-elemen yang terdiri dari beberapa node. Jenis elemen dipilih berdasarkan beberapa faktor, salah satunya kondisi pembebanan.

2. Memilih fungsi perpindahan.

Fungsi perpindahan dapat diartikan sebagai nilai perpindahan tiap-tiap node. Fungsi yang sering digunakan adalah fungsi linier, kuadrat, dan kubik polinomial tergantung dari jumlah node yang digunakan dalam elemen.

3. Mendefinisikan hubungan antara perpindahan dan tegangan, digunakan untuk menurunkan tiap rumus elemen hingga.
4. Menurunkan rumus dan kekakuan elemen, yaitu dengan menggunakan metode kesetimbangan langsung dan metode energi.
5. Menggabungkan rumus elemen untuk mendapat rumus global dan menentukan kondisi batas.
6. Memecahkan derajat kebebasan yang tidak diketahui dengan metode matrik.
7. Menghitung nilai tegangan dan regangan pada elemen.
8. Menginterpretasikan hasil analisa elemen.

### **2.2.13 Pengenalan Software *SOLIDWORKS 2015***

*SOLIDWORKS 2015* merupakan aplikasi desain yang menggunakan pendekatan desain 3D. Tahap mendesain pada *SOLIDWORKS 2015* dimulai dari membuat sketsa berupa gambar 2 dimensi, kemudian dilanjutkan dengan membentuk gambar 3 dimensinya. *SOLIDWORKS 2015* juga dapat menggabungkan komponen-komponen yang telah dibuat menjadi sebuah komponen baru melalui menu *assembly*. *SOLIDWORKS 2015* menyediakan menu



*motion study* yang dapat mensimulasikan rakitan 3 dimensi menjadi bergerak mengikuti apa yang diperintahkan.

Metode desain yang digunakan *SOLIDWORKS 2015* menggunakan 3 templates utama, yaitu:

1. *Part*

Template ini digunakan pada awal mulai membuat suatu model komponen diawali dengan menggambar sketsa suatu komponen menggunakan menu *sketch* kemudian dengan menggunakan fasilitas *features* pada *SOLIDWORKS 2015*, sketsa tersebut dapat dibuat menjadi bentuk 3D sehingga terbentuk sebuah komponen. Template ini dapat membuat tampilan komponen serta penambahan jenis material seperti yang diinginkan. Format file *part* adalah *.SLDPRT*.

2. *Assembly*

Template ini digunakan untuk menggabungkan beberapa *part* yang sudah dibuat sebelumnya menjadi sebuah komponen baru dengan menggunakan menu *mate*. Formate file *assembly* adalah *.SLDASM*.

3. *Drawing*

Template ini digunakan untuk membuat gambar kerja 2D *engineering drawing* komponen tunggal (*part*) maupun dari *assembly* yang sudah dibuat. Format file template ini adalah *.SLDDRW*.

Selain desain, *SOLIDWORKS 2015* juga menyediakan menu *simulation* pada *add-ins SOLIDWORKS SIMULATION*. *Simulation* ini berfungsi untuk menganalisis model yang sudah dibuat, analisis yang digunakan *SOLIDWORKS*

*SIMULATION* adalah menggunakan FEA (*Finite Element Analysis*). FEA berfungsi untuk menganalisis struktur, mesin atau produk yang telah dirancang untuk mengetahui kekuatannya. Macam-macam analisis yang terdapat di *simulation SOLIDWORKS 2015* antara lain:

1. *Static Analysis* digunakan untuk mengetahui kekuatan dan tingkat keamanan dari model yang dibuat dengan gaya statis.
2. *Thermal Analysis* digunakan untuk mengetahui dampak suhu yang diberikan terhadap model.
3. *Frequency Analysis* digunakan untuk mencari frekuensi natural dari model yang dirancang.
4. *Buckling* digunakan untuk mengetahui efek tekuk pada model yang dianalisa..
5. *Drop Test* digunakan untuk mengetahui perubahan dari model bila dijatuhkan.
6. *Fatigue* digunakan untuk mengetahui daya tahan model (*life time*) jika terjadi gaya yang berulang.
7. *Pressure Vessel Design* digunakan untuk mengetahui hasil analisis pada *pressure vessel*.
8. *Nonlinier Analysis* digunakan untuk mengetahui kerusakan atau deformasi pada model yang berbahan material plastik, metal.
9. *Dynamics Analysis* digunakan untuk mengetahui kerusakan model akibat pergerakan atau getaran.

Untuk melakukan analisis statis pada *SOLIDWORKS 2015*, ada beberapa hal yang harus ditentukan terlebih dahulu, diantaranya:

1. Menginput jenis material yang digunakan pada model.

2. Menentukan bagian yang menjadi tumpuan/poros.
3. Menentukan sisi yang menerima gaya eksternal, sisi yang menerima gaya eksternal adalah sisi yang mempunyai kontak langsung dengan sumber gaya.
4. Melakukan *run simulation*.

Sebelum dilakukan simulasi, *SOLIDWORKS 2015* otomatis melakukan *meshing* terlebih dahulu pada model. *Meshing* adalah sebuah proses pada sebuah simulasi yang membagi geometri dari model menjadi banyak elemen yang digunakan *simulation solver* untuk membuat volume kontrol.

Setelah proses *run simulation* selesai, maka didapatkan beberapa hasil analisa, diantaranya adalah:

1. *Von Mises Stress*, menampilkan hasil dari *von mises stress* dari hasil simulasi metode elemen hingga dan menampilkan batasan *yield strength*.
2. *Displacement Plot*, menunjukkan besar nilai distribusi defleksi (perubahan bentuk) yang dialami model.
3. Plot *FOS (Factor of Safety)*

Plot ini menunjukkan faktor keamanan yang dimiliki oleh model yang dibuat. Faktor keamanan dari plot ini mengacu pada kekuatan material dari model yang menerima tegangan yang berasal dari gaya statis yang diberikan. Faktor keamanan didapat dari perbandingan antara *allowable stress* dengan *von mises stress*.

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah:

1. Rancangan sistem rem IBS menghasilkan beberapa komponen yaitu *bracket* kaliper rem belakang bermaterial AISI 1045 dengan diameter lubang poros 28 mm; tabung IBS bermaterial AA 6061 T6 dengan panjang 150 mm; lengan IBS bermaterial AISI 1045; penyetel (*adjuster*) bermaterial AA 2024; pegas bermaterial ASTM A228; dan *bracket* master rem roda depan bermaterial AA 6061 T6.
2. Hasil analisis komponen-komponen sistem IBS dengan metode elemen hingga menunjukkan bahwa  $\sigma_{max}$  tertinggi pada komponen lengan (62 MPa) dan  $\sigma_{max}$  terendah pada komponen penyetel pegas (4,9 MPa);  $\delta_{max}$  tertinggi pada komponen lengan (0,04 mm) dan  $\delta_{max}$  terendah pada komponen penyetel pegas (0,0018 mm) dimana faktor keamanan masing-masing komponen  $\geq 2$  sehingga seluruh komponen dinyatakan aman.
3. Simulasi gerak mekanik sistem rem IBS dibuat dengan menu *motion study* pada *SOLIDWORKS 2015* yang menampilkan hubungan mekanik antar komponen dari pedal rem yang ditekan mengakibatkan *bracket* kaliper menekan master rem depan sehingga piston kaliper depan tertekan dan terjadilah pengereman roda depan.

## **5.2 Saran**

1. Penelitian lebih lanjut terkait optimasi desain sistem pengereman IBS agar dapat menurunkan biaya produksi.
2. Sistem rem IBS dapat dikembangkan menjadi sistem yang memiliki mekanisme elektrik mengikuti perkembangan teknologi.
3. Perlunya pengembangan sistem rem IBS untuk aplikasi jenis lain kendaraan bermotor.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. 2007. *Fisika 2b*. Jakarta: esis.
- Anam K. dan J. Triswanto. 2017. Modifikasi Rem Tromol pada Yamaha Jupiter Z Menjadi Rem Cakram dengan Aplikasi Teknologi CBS (Combi Brake System). *Surya Teknika*, 1: 8–13.
- Buntarto. 2017. *Panduan Praktis Servis Sistem Chassis Sepeda Motor*. Yogyakarta: PUSTAKABARUPRESS.
- Choiron M K, A Purnowidodo, K Anam. 2014. *Metode Elemen Hingga*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Honda. 2012. *Pedoman Pemilik Blade*. Jakarta: PT Astra Honda Motor.
- Jama J. dan Wagino. 2008. *Teknik Sepeda Motor*. Jilid 3. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional.
- Kanginan, M. 2004. *Fisika Untuk Sma Kelas X*. Jakarta: Erlangga.
- Khurmi, R. S. dan J. K. Gupta. 2005. *Text Books of Machine Design*. New Delhi: Eurasia Publishing House.
- Meitryano, D., Syafri, dan K. Anuar. 2018. Analisis Kinerja Sistem Pengereman Pada Mobil Hemat Energi Bono Kampar. *Jom FTEKNIK*, 5(2): 1-6.
- Mott, R. L. 2004. *Machine Elements in Mechanical Design*. 4<sup>th</sup> Edition. New Jersey: Pearson Prentice Hall.
- Multazam, A., A. Zainuri, dan Sujita. 2012. Analisa Pengaruh Variasi Merek Kampas Rem Tromol dan Kecepatan Sepeda Motor Honda Supra X 125

- Terhadap Keausan Kampas Rem. *Dinamika Teknik Mesin*, 2(2): 100–107.
- Nugraha, B. S. 2005. *Chasis Sepeda Motor*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Purwanto, B. 2011. *Theory and Application of Physics 2*. Solo: BILINGUAL.
- Rahmadi, G. M. 2017. Penerapan Sistem Pengereman Anti-lock Blocking System (ABS) Pada Setiap Sepeda Motor Matic. *Makalah*. Universitas Negeri Padang.
- Reif, K. 2014. *Brakes, Brake Control and Driver Assistance Systems*. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Rokhandy, H. 2012. Modifikasi Rem Tromol Pada Honda G1 Pro Menjadi Rem Cakram Dengan Aplikasi Teknologi CBS (Combi Brake System). *Tugas Akhir*: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Shigley J. E. dan C. R. Mischke. 1996. *Standard handbook of machine design*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill.
- Siahaan I. H., dan H. Y. Sen. 2008. Kinerja Rem Tromol Terhadap Kinerja Rem Cakram Kendaraan Roda Dua Pada Pengujian Stasioner. *TEKNOSIM: Jurusan Teknik Mesin dan Industri FT UGM*. Yogyakarta. 391-397.
- Sugiyono. 2015. *Metode Penelitian Pendidikan*. Bandung: Alfabeta.
- Toyota. 2011. *New Step 1 Training Manual*. PT Toyota Astra Motor.