



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TM184835

RE-DESIGN STEEL RUBBER BUSHING DENGAN MATERIAL ALTERNATIF POLYOXYMETHYLANE

GREGORIUS GARRY GUNAWAN
NRP 0211164000089

Dosen Pembimbing:
Ir. Yusuf Kaelani, M.Sc.E.

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



TUGAS AKHIR – TM184835

**RE-DESIGN STEEL RUBBER BUSHING DENGAN
MATERIAL ALTERNATIF POLYOXYMETHYLANE**

GREGORIUS GARRY GUNAWAN
NRP 0211164000089

Dosen Pembimbing:
Ir. Yusuf Kaelani, M.Sc.E

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



FINAL PROJECT – TM184835

**RE-DESIGNING STEEL RUBBER BUSHING WITH AN
ALTERNATIVE MATERIAL CALLED
“POLYOXYMETHYLANE”**

**GREGORIUS GARRY GUNAWAN
NRP 0211164000089**

Advising Lecturer:
Ir. Yusuf Kaelani, M.Sc.E

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020**

HALAMAN PENGESAHAN

RE-DESIGN STEEL RUBBER BUSHING DENGAN MATERIAL ALTERNATIF POLYOXYMETHYLANE

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin Fakultas
Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem Institut
Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Gregorius Garry Gunawan
NRP. 0211164000089

Disetujui oleh :

1. Ir. Yusuf Kaelani, M.Sc.E (Pembimbing)
NIP. 196211031990021001
2. Ir. Julendra B. Ariatedja, M.T. (Penguji I)
NIP. 196807061999031004
3. Alief Wikarta, S.T., M.Sc.Eng., Ph.D (Penguji II)
NIP. 198202102006041002
4. Achmad Syaifudin, ST., M.Eng., Ph.I (Penguji III)
NIP. 197909262005011001

SURABAYA
AGUSTUS, 2020

RE-DESIGN STEEL RUBBER BUSHING DENGAN MATERIAL ALTERNATIF POLYOXYMETHYLANE

Nama Mahasiswa : Gregorius Garry Gunawan
NRP : 0211164000089
Departemen : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Yusuf Kelani, M.Sc.E

ABSTRAK

Gesekan dapat menimbulkan kerusakan atau hilangnya partikel dari suatu material yang kemudian disebut wear atau keausan. Penelitian dirancang dengan metode eksperimen guna mengetahui apakah Polyoxymethylene dapat dijadikan salah satu alternative material pengganti untuk bushing engine hanger sepeda motor matic.

Polyoxymethylene dibentuk menjadi prototype dengan rancangan desain yang sudah ditentukan. Prototype tersebut dipasangkan ke bagian bushing engine hanger sepeda motor matic. Enam pasang bushing dibentuk dengan pembagian; satu pasang bushing digunakan untuk pengujian volume keausan. Pengujian volume keausan dilakukan dengan menghitung massa dari prototype kemudian dilihat penurunan massa yang terjadi setiap kenaikan 100km jarak tempuh kendaraan. Lima pasang bushing yang lainnya akan dipasangkan ke lima sepeda motor berbeda untuk menghitung volume ausnya dengan arahan menempuh jarak diantara 1500km sampai dengan 2500km. Masing-masing bushing dari sepeda motor tersebut dihitung perubahan massanya, kemudian dihitung keandalan dari bushing prototype.

Hasil pengujian dan analisa menunjukkan bahwa material prototype mempunyai volume aus yang diizinkan sebesar 6,908 mm³. Pengujian pertama dilakukan untuk menentukan volume aus yang terjadi. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan data volume keausan tiap kenaikan 100km dalam rentang 500km sebagai berikut: 0,992 gr, 1,205gr, 1,631gr, 1,773gr. Data ini

menunjukkan bahwa Volume aus akan semakin bertambah seiring dengan penambahan jarak tempuh kendaraan. Keandalan dihitung dengan dua pendekatan yaitu eksponensial dan weibull. Goodness of fit test dilakukan untuk mengetahui pendekatan mana yang lebih cocok digunakan dan didapatkan distribusi weibull lebih baik digunakan untuk menentukan keandalan prototype dengan characteristic life sebesar $c = 758,93644$ dan shape parameter sebesar $m = 7,2329$. Didapatkan data reliabilitas saat jarak tempuh 700km sebesar 57,277%.

Kata kunci : Polyoxymethylene (POM), Wear Volume, Reliability

**RE-DESIGNING STEEL RUBBER BUSHING WITH AN
ALTERNATIVE MATERIAL CALLED
“POLYOXYMETHYLANE”**

Student Name : Gregorius Garry Gunawan
Student ID Number : 0211164000089
Department : Mechanical Engineering
Advisory Lecturer : Ir. Yusuf Kaelani, M.Sc.E

ABSTRACT

Friction that occurs can cause damage or loss of particles from a material which is then called wear. Polyoxymethylene, a high crystalline polymer, which is considered to be used as a substitute for several machining components such as bushings and gears. An experimental study was designed to find out whether Polyoxymethylene could be used as an alternative material for an automatic motorbike bushing engine hanger.

Polyoxymethylene will be formed into a prototype with a predetermined design plan. The prototype will be attached directly to the bushing engine hanger of an automatic motorcycle. 6 pairs of bushings were formed with the following uses; one pair of bushings is used for the wear volume test. The wear volume test is done by calculating the initial mass of the prototype and then observing the mass decline that occurs every 100km increase in vehicle mileage. Five other bushing pairs will be attached to five different motorbikes and then released with directions traveling between 1500km to 2500km, then each bushing of the motorbike is calculated as the change in mass that occurs with respect to the mileage, then calculates the reliability of the prototype bushings. From the results of testing and analysis, it was found that the prototype material had an allowable wear volume of 6,908 mm³. The first test is carried out to determine the volume of wear that occurs.

Based on the results of testing and analysis, it was found that the prototype material had an allowable wear volume of 6,908 mm³. The first test is carried out to determine the volume of wear that occurs. Based on the test results, it is obtained that the wear volume data for each increase of 100 km within the 500 km range are as follows: 0.992 gr, 1.205gr, 1.631gr, 1.773gr. This data shows that the wear volume will increase along with the increase in vehicle mileage. Reliability is calculated using two approaches, namely exponential and weibull. Then the goodness of fit test was carried out and the weibull distribution was better used to determine the reliability of the prototype. with a characteristic life of $c = 758,93644$ and a shape parameter of $m = 7,2329$. Reliability data is obtained when the distance is 700km at 57.277%.

Keywords : Polyoxymethylene (POM), Wear Volume, Reliability

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, Maha Pengasih dan Maha Penyayang, atas limpahan berkat, rahmat, dan kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Re-Desing Steel Rubber Bushing dengan Material Alternatif Polyoxymethylene” dengan sebaik-baiknya.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T). Penulis menyadari dalam penyusunan Tugas Akhir ini penulis telah banyak sekali menerima bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ayah dan Ibu tercinta, Rudy Gunawan dan Yanti Chandra yang senantiasa mendukung, mencintai, dan memberikan doa yang tiada hentinya bagi penulis hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
2. Adik-adik tercinta, Gisela Jasica Gunawan dan Gabriella Garneta Gunawan yang selalu mendukung dan mendoakan penulis.
3. Bapak Ir. Yusuf Kaelani, M. Sc,E, selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan ide, saran, pembelajaran, dan pengetahuan yang tanpanya penulis tidak akan mampu menyelesaikan tugas akhir dan perkuliahan.
4. Bapak Ir. Julendra B. Ariatedja, M.T., Bapak Alief Wikarta S.T, M.Sc.Eng, Ph.D, dan Bapak Achmad Syaifudin, ST, M.Eng. PhD selaku dosen penguji tugas akhir yang telah memberikan saran dan masukkan agar tugas akhir penulis bisa menjadi lebih baik.
5. Bapak Bambang Arip Dwiyantoro, ST. Msc. Ph.D selaku dosen wali yang telah memberikan saran, semangat, dan masukkan selama proses perkuliahan.
6. Segenap dosen Departemen Teknik Mesin FTI-RS yang telah mencurahkan tenaga dan pikiran serta pengalamannya dalam

mendidik penulis di bidang teknik mesin maupun ilmu tentang kehidupan yang akan menjadi bekal dikemudian hari.

7. Seluruh keluarga M59 yang telah menemani penulis dari pengaderan hingga penulis dapat menyelesaikan perkuliahan.
8. Seluruh Keluarga Mesin ITS Autosport yang telah memberikan pengalaman berorganisasi, memimpin, dan bercanda gurau bersama selama masa perkuliahan penulis.
9. M Farhan Tribakti, sebagai *partner* Tugas Akhir penulis yang selalu memberikan motivasi, teman berbagai pikiran, keluh kesah, susah senang dan dukungan.
10. Hansel Arden Neil, sebagai sahabat penulis sejak SMP yang selalu ada memberikan motivasi, dukungan dan tentunya hiburan selama masa perkuliahan penulis.
11. Seluruh civitas akademika Departemen Teknik Mesin FTI-RS.
12. Martin, Aldi, Faris, Acas, Gassa, Jerry, Yusuf sebagai sahabat penulis yang sering memberikan hiburan dikala penulis mengalami masa sulit dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
13. Keluarga besar OI dan Besi yang selalu memberikan dukungan moral bagi penulis.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna, maka penulis mengharapkan saran, kritik, dan komentar yang konstruktif untuk hasil yang lebih baik. Penulis berharap tugas akhir ini bermanfaat untuk pembaca dan perkembangan ilmu pengetahuan.

Surabaya, 18 Agustus 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	
ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Tribologi.....	5
2.2 Teori Gesekkan (<i>Friction</i>).....	5
2.2.1 Gaya Gesek Statis.....	7
2.2.2 Gaya Gesek Kinetis.....	8
2.3 Teori Keausan (<i>Wear</i>).....	9
2.3.1 <i>Adhesive Wear</i> (Keausan Gesek).....	9
2.3.2 <i>Abrasive Wear</i> (Keausan Abrasif).....	12
2.3.3 <i>Fatigue Wear</i> (Keausan Lelah).....	14

2.3.4	<i>Corrosive Wear</i> (Keausan Korosif).....	15
2.4	POM 40 (<i>Polyoxymethylene</i> 40)	16
2.5	<i>Steel Rubber Bushing</i>	19
2.6	<i>Reliability</i>	21
BAB III.....		23
METODOLOGI PENELITIAN		23
3.1	Diagram Alir Penelitian.....	23
3.1.1	Kajian Pustaka.....	25
3.1.2	Perumusan Masalah dan Tujuan Penelitian.....	25
3.1.3	Permodelan Analitis dan Eksperimen.....	25
3.1.4	Pembuatan <i>Prototype</i>	25
3.1.5	Pengujian <i>Prototype</i>	25
3.1.6	Analisis dan Pembahasan Data.....	25
3.1.7	Kesimpulan, Saran dan Rekomendasi	26
3.2	Eksperimen	26
3.3	Perhitungan <i>Reliability</i>	30
3.4	Tempat dan Waktu Penelitian.....	30
3.5	Pengujian <i>Prototype</i>	32
3.6	Pembahasan	33
3.7	Kesimpulan, Saran dan Rekomendasi	34
BAB IV		35
PEMBAHASAN		35
4.1	Volume Aus Yang Diizinkan	35
4.1.1.	Perhitungan Volume Aus yang Diizinkan	36
4.2	Perhitungan Pengurangan Massa yang Diizinkan	36
4.3	Data Volume Keausan <i>Prototype</i>	36

4.4	Foto Jarak Tempuh dan Massa <i>Prototype</i>	37
4.5	Analisa Data Volume Keausan Terhadap Jarak Tempuh	40
4.6	Pengujian <i>Reliability</i> Spesimen	42
4.6.1	Pendekatan Eksponensial	43
4.6.2	Pendekatan Weibull.....	45
4.6.3	<i>Goodness of Fit Test</i>	48
4.7	Pembahasan <i>Feedback</i> Kepuasan Berkendara.....	49
4.8	Analisa Mekanisme Keausan	50
BAB V		53
KESIMPULAN DAN SARAN		53
5.1	Kesimpulan.....	53
		5.2
		Saran
		53
DAFTAR PUSTAKA		55
LAMPIRAN		57
BIODATA PENULIS.....		65

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Gaya Gesek pada Balok di Permukaan Datar.....	6
Gambar 2.2	Kontak <i>Asperity</i> antara Buah Permukaan.....	6
Gambar 2.3	Gambar mikroskopis keausan gesek	10
Gambar 2.4	Mekanisme Keausan Gesek	10
Gambar 2.5	Foto Mikroskopis Keausan Abrasif.....	12
Gambar 2.6	Mekanisme Keausan Abrasif	13
Gambar 2.7	Kontak Keausan Abrasif	13
Gambar 2.8	Foto Mikroskopis Keausan Lelah	15
Gambar 2.9	Mekanisme Keausan Lelah	15
Gambar 2.10	Keausan Korosif.....	16
Gambar 2.11	Properti dari Polyoxymethylene.....	17
Gambar 2.12	Properti POM (SI)	18
Gambar 2.13	Karakteristik Tribologi Polimer	18
Gambar 2.14	<i>Steel Rubber Bushing</i>	19
Gambar 2.15	Kerusakan <i>Steel Rubber Bushing</i>	20
Gambar 2.16	Letak <i>Bushing Engine Hanger</i>	20
Gambar 2.17	Gaya Pada <i>Bushing</i>	21
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	24
Gambar 3.2	<i>Steel Rubber Bushing</i>	26
Gambar 3.3	Dimensi <i>Steel Rubber Bushing</i>	27
Gambar 3.4	Dimensi <i>Prototype</i>	28
Gambar 3.5	Material Alternatif POM40 (Sebelum Proses Permesinan).....	29
Gambar 3.6	<i>Prototype</i>	31
Gambar 3.7	Material yang Digunakan	31
Gambar 4.1	<i>Radial Clearance Bushing</i>	35
Gambar 4.2	Foto Keausan 100 km.....	38
Gambar 4.3	Foto Keausan 200 km.....	38
Gambar 4.4	Foto Keausan 300 km.....	39
Gambar 4.5	Foto Keausan 400 km.....	39
Gambar 4.6	Foto Keausan 500 km.....	40
Gambar 4.7	Grafik Volume Keausan.....	41

Gambar 4.8 Grafik Reliabilitas <i>Prototype</i>	44
Gambar 4.9 Persamaan Garis <i>Weibull</i>	47
Gambar 4.10 <i>Reliabilitas Prototype (Weibull)</i>	48
Gambar 4.11 Estimasi Kesalahan	48
Gambar 4.12 <i>Prototype</i> Sebelum Digunakan	50
Gambar 4.13 <i>Prototype</i> Sesudah Digunakan	51

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Rancangan Eksperimen Pengujian <i>Prototype</i>	32
Tabel 3.2 <i>Feedback</i> pengalaman berkendara dengan <i>Prototype</i> .	33
Tabel 4.1 Penyusutan Massa <i>Prototype</i>	37
Tabel 4.2 Volume Keausan <i>Prototype</i>	37
Tabel 4.3 Data <i>Reliability</i> Spesimen.....	42
Tabel 4.4 Data <i>Wear</i> Volume per Kilometer	42
Tabel 4.5 <i>Time to Fail</i> Spesimen	43
Tabel 4.6 Harga Koefisien Lamda	43
Tabel 4.7 Reliabilitas <i>Prototype (exp)</i>	45
Tabel 4.8 Plot X Y <i>Weibull</i>	46
Tabel 4.9 Penilaian Kuisisioner.....	49

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kerugian energy menjadi permasalahan yang tidak terlalu tampak dalam dunia industry. Padahal, hal tersebut dapat berakibat pada penurunan efisiensi, kerugian materil, serta berkurangnya kenyamanan dari pengguna alat tersebut. Kerugian energy ini dapat terjadi salah satunya karena adanya gesekan antara dua komponen yang saling kontak. Gesekan yang terjadi ini dapat menimbulkan kerusakan atau hilangnya partikel dari suatu material yang dinamakan *wear* atau keausan. Keausan terjadi apabila terdapat dua buah komponen yang saling menekan dan bergesekan. Banyak factor yang mempengaruhi keausan yaitu kecepatan tekanan, pelumasan, dan pemilihan material yang digunakan.

Perkembangan dunia industry menghadirkan berbagai variasi pilihan material yang tersedia untuk digunakan sebagai komponen permesinan. Komponen - komponen permesinan yang selama ini didominasi oleh material metalpun mulai tergantikan. Setiap komponen membutuhkan material yang dapat bekerja secara optimal, material tersebut harus memiliki *mechanical properties* yang sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan.

Kendaraan *autonomous* atau yang mulai lazim dikenal dengan *autonomous vehicle* merupakan kendaraan yang memerlukan komponen penyusun dengan material yang ringan. Hal ini dikarenakan *autonomous vehicle* menggunakan system kelistrikan sebagai penggerak dari kendaraan ini. Dengan demikian, dibutuhkan material-material baru selain metal atau logam yang bobotnya lebih ringan dan dapat mengurangi kerugian energy serta meningkatkan performa dan efisiensi dari kendaraan tersebut.

Material polimer hadir menjadi salah satu alternative untuk dijadikan material pengganti tersebut. Salah satunya adalah *POM40* atau yang memiliki nama kimia *polyoxymethylane*, *polyacetals*, atau *polyformaldehyde*. Material ini diduga dapat

menjadi pengganti bushing pada kendaraan otomotif yang sekarang ini masih menggunakan material metal. Pada akhirnya dirancang sedemikian rupa penelitian secara eksperimen untuk dapat mengetahui kelayakan, reliability, dan volume keausan dari material pengganti tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam tugas akhir ini, dirumuskan beberapa permasalahan yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana kondisi *prototype* setelah digunakan langsung pada sepeda motor matic?
2. Bagaimana *feedback* dari pengendara terhadap penggunaan material POM sebagai *bushing engine hanger* sepeda motor matic?
3. Bagaimana keandalan dari material POM sebagai *bushing engine hanger* sepeda motor matic?

1.3 Batasan Masalah

Dalam tugas akhir ini, diberikan beberapa batasan masalah, yaitu sebagai berikut:

1. Material yang digunakan saat ini adalah *Steel Rubber Bushing*
2. Material diaplikasikan untuk komponen *bushing* pada *engine hanger* sepeda motor matic
3. Pengujian dilakukan pada sepeda motor matic.
4. Pengujian dilakukan pada kondisi real jalanan.
5. Tidak membahas struktur mikro material uji

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui kondisi *prototype* setelah digunakan pada sepeda motor matic.
2. Mengetahui kepuasan pengendara terhadap penggunaan material POM sebagai *bushing engine hanger* sepeda motor matic.

3. Mengetahui keandalan material POM sebagai *bushing engine hanger* sepeda motor matic.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari tugas akhir ini adalah:

1. Sebagai referensi dan literatur untuk penelitian yang berkaitan ataupun penelitian lebih lanjut mengenai material alternative dan volume keausan.
2. Sebagai referensi pengambilan keputusan untuk penggantian material permesinan.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

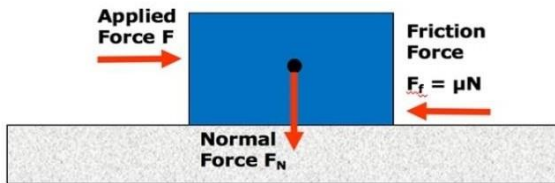
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tribologi

Tribologi pertama kali diperkenalkan oleh seorang ilmuwan bernama Jost pada tahun 1966, berasal dari bahasa Yunani Tribos yang artinya bergesekan. Tribology merupakan cabang ilmu desain mesin yang meliputi gesekan, keausan, dan pelumasan. Tribologi tanpa disadari menjadi suatu cabang ilmu yang lekat disekitar kita, dengan memperhatikan detail dari tribology dapat meningkatkan efisiensi peralatan, *maintainability* dari sebuah peralatan, dan bahkan sangat berpengaruh pada neraca keuangan dari suatu perusahaan. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, tribology terdiri dari tiga analisa utama pada kontak relative antar material yaitu gesekan, keausan, dan pelumasan. Pada penelitian ini akan dilakukan pembahasan hanya pada teori gesekan dan keausan karena penelitian akan dilakukan pada kondisi dry sliding atau tanpa pelumasan.

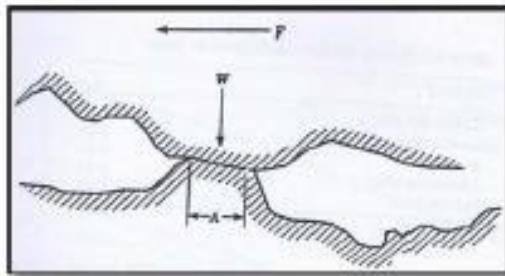
2.2 Teori Gesekan (*Friction*)

Gaya gesek didefinisikan sebagai gaya yang bekerja saling berlawanan antara gerak benda, atau dapat dikatakan sebagai kecenderungan suatu benda untuk dapat bergerak. Kontak antara dua material akan menimbulkan gaya gesek. Pada penelitian ini akan dibahas gaya gesek antara dua benda padat yang terbagi menjadi gaya gesek statis dan gaya gesek kinetis.



Gambar 2.1 Gaya Gesek pada Balok di Permukaan Datar

Terdapat sebuah rumpun ilmu yang mempelajari material secara spesifik atau biasa dikenal dengan *material science*. Diketahui bahwa pada permukaan logam yang sekalipun terlihat sangat mulus dalam skala makroskopis ternyata memiliki *asperity* atau permukaan yang kasar bila dilihat secara makroskopis. Pada gesekan, *asperity* menimbulkan keausan dan menghasilkan panas yang mungkin dapat merusak material.



Gambar 2.2 Kontak *Asperity* antara 2 Buah Permukaan

Dapat dilihat bahwa pada gambar 2.2 terdapat permukaan yang menerima beban W . Pada keadaan *dry sliding* luas permukaan kontak (A) yang sebenarnya terjadi antara dua permukaan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P = \frac{W}{A} \text{ atau } A = \frac{W}{P} \quad (2.1)$$

Dimana :

A : Luas permukaan *asperity* (m²)

W : Gaya Load (N)

P : Tekanan (bar)

Sementara itu, material yang memiliki *shear strength* sebesar (s), besarnya gaya (F) yang dibutuhkan untuk menguahkan *asperity* dari material tersebut dapat diekspresikan seperti persamaa berikut

$$F = A \cdot s \quad (2.2)$$

Dimana :

s = *shear strength* (psi)

Selanjutnya, besarnya harga *coefficient of friction* μ didefinisikan sebagai rasio dari F terhadap besarnya beban W yang diberikan. Diekspresikan dalam persamaan berikut :

$$\mu = \frac{F}{W} = \frac{s}{p} \quad (2.3)$$

Berdasarkan persamaan diatas, dapat dilihat bahwa gaya gesek akan meningkat sebanding dengan bertambahnya beban yang bekerja pada benda. Setiap benda memiliki harga *coefficient of friction* yang berbeda-beda.

Terdapat dua jenis gaya gesek yang bekerja pada benda, yaitu gaya gesek statis dan gaya gesek kinetis.

2.2.1 Gaya Gesek Statis

Sebuah gesekkan dapat dikategorikan sebagai gaya gesek statis apabila benda yang bergesekkan tidak bergerak relative antara satu dengan yang lainnya. Gesekkan statis dapat mencegah benda meluncur pada suatu permukaan yang miring. Pada umumnya, koefisien gesek statis dinotasikan sengan μ_s , dan nilainya biasanya lebih besar dari koefisien gesek kinetis.

Tepat sebelum benda bergerak, sesuai dengan hukum newton aksi reaksi akan selalu ada gaya yang besarnya sama namun arahnya berlawanan. Dari situlah dihasilkan gaya gesek statis. Gaya gesek statis sendiri merupakan hasil perkalian antara koefisien gesek statis benda dengan gaya normal yang bekerja pada benda tersebut. Persamaan dibawah ini juga biasa dikenal dengan persamaan gaya gesek maksimum.

$$F_s = \mu_s \cdot F_n \quad (2.4)$$

Dimana :

- F : Gaya Gesek Statis (N)
 μ_s : Koefisien gesek statis
 F_n : Gaya normal yang bekerja pada benda (N)

Ketika tidak ada gerakan yang terjadi, artinya adalah gaya yang bekerja nilainya lebih kecil dari gaya gesek maksimum. Maka dari itu untuk dapat memberikan pergerakan pada suatu benda, harus diberikan gaya yang besarnya melebihi gaya gesek maksimum benda tersebut. Setelah terjadinya gerakan, gaya gesek statis tidak lagi berlaku untuk menggambarkan kinetika benda, sehingga perlu diketahui juga gaya gesek kinetis.

2.2.2 Gaya Gesek Kinetis

Gaya gesek kinetis atau dinamis terjadi ketika dua benda bergerak relative satu sama lainnya dan saling bergesekan. Pada umumnya, koefisien gesek kinetis dinotasikan dengan μ_k dan biasanya nilainya lebih kecil daripada gaya gesek statis (untuk material yang sama). Berikut persamaan gaya gesek kinetis : (Susastro,2013)

$$f_k = \mu_k F_N \quad (2.5)$$

Dimana :

- f_k = Gaya Gesek Kinetis (N)

μ_k = Koefisien gaya kinetis
FN = Gaya Normal yang bekerja (N)

2.3 Teori Keausan (*Wear*)

Definisi paling umum dari keausan adalah hilangnya bahan dari suatu permukaan atau perpindahan baru dari permukaan ke bagian lain, atau Bergeraknya suatu bahan pada permukaan. Definisi lain tentang keausan yaitu hilangnya bagian dari permukaan yang saling berinteraksi yang terjadi sebagai hasil gerak relative pada permukaan (YA Nurdiansyah, 2011)

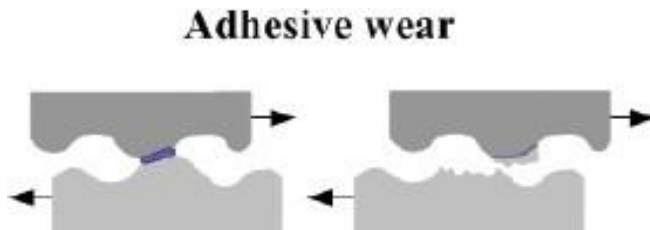
Keausan yang terjadi pada suatu material disebabkan oleh adanya beberapa mekanisme yang berbeda dan terbentuk oleh beberapa parameter yang bervariasi meliputi bahan, lingkungan, kondisi operasi, dan geometri permukaan benda yang mengalami keausan. Pada umumnya, penyebab terjadinya keausan dikelompokkan menjadi dua, yaitu keausan yang penyebabnya didominasi oleh perilaku mekanis dari bahan dan keausan yang penyebabnya didominasi oleh perilaku kimia dari bahan. Selain dua pengelompokan tersebut, proses terjadinya keausan juga dapat dikategorikan menjadi 4 macam yaitu : (Burwell, 1957)

2.3.1 *Adhesive Wear* (Keausan Gesek)

Dua permukaan benda yang mengalami kontak dan bergerak relative satu sama lain dan mengalami pembebanan sering mengalami keausan gesek. Kontak kedua permukaan tersebut mengakibatkan adanya pelekatan (*adhesive*) serta mengakibatkan deformasi plastis. Semakin lama, pelekatan tadi akan memicu terjadinya pengikatan atau (*bonding*) sebagian kecil permukaan material yang satu dengan yang lain.



Gambar 2.3 Gambar mikroskopis keausan gesek



Gambar 2.4 Mekanisme Keausan Gesek

Archard (1953) mengemukakan hukum keausan, dalam teorinya Ia mengasumsikan jari-jari kontak yang terjadi memiliki besaran a . Luas area kontak dirumuskan sebagai πa^2 . Ia juga mengasumsikan bahwa besarnya deformasi plastis yang terjadi sama dengan nilai kekerasan (*hardness*) H dari material yang

mengalami aus. Sehingga gaya kontak yang terjadi dapat dirumuskan sebagai $\pi a^2 H$. Bila material tersebut bergerak sejauh $2a$ dan diasumsikan meninggalkan jejak berbentuk hemispherical maka volume jejak tersebut adalah $2\pi a^3/3$. Sehingga volume keausan δQ yang terjadi pada sekali jalan persatuan sliding adalah :

$$\delta Q = \pi a^2/3 \quad (2.6)$$

Dan total volume keausan Q per satuan jarak sliding adalah :

$$Q = n\pi a^2/3 \quad (2.7)$$

Dimana :

Q = Volume Keausan (mm^3)

n = angka total kontak yang terjadi

Pembebanan yang diberikan adalah $\pi a^2 H$, sehingga total pembebanan adalah :

$$W = n\pi a^2 H \quad (2.8)$$

Dari beberapa persamaan diatas, dapat disubstitusikan menjadi persamaan berikut :

$$Q = \frac{W}{3H} \quad (2.9)$$

Berdasarkan persamaan diatas, dapat dikatakan bahwa :

1. Volume material aus berbanding terbalik dengan kekerasan suatu material
2. Volume material aus sebanding dengan beban yang diberikan
3. Volume Material aus sebanding dengan *sliding distance*

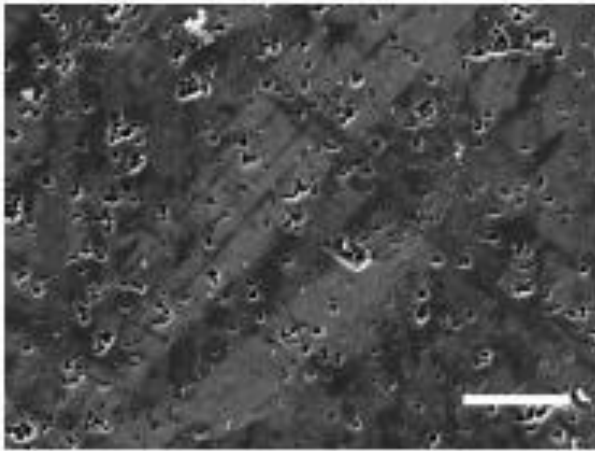
Dalam pengujiannya, terdapat perbedaan hasil antara teori dan eksperimen yang dilakukan. Dari situ, diperkenalkan konstanta k , sehingga persamaan menjadi :

$$Q = k x \frac{w}{3H} \quad (2.10)$$

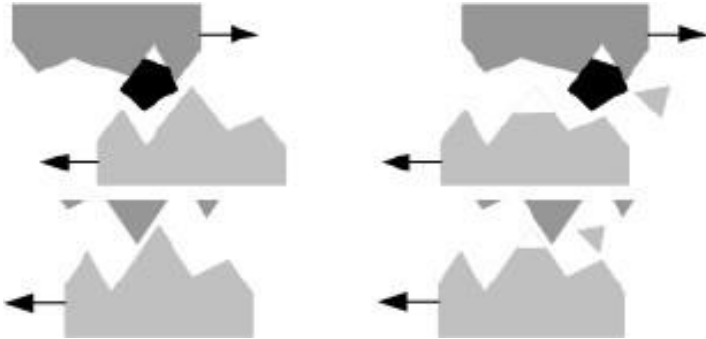
k adalah konstanta yang diperkenalkan, tergantung dengan jenis dan juga kondisi pengujian yang dilakukan

2.3.2 *Abrasive Wear* (Keausan Abrasif)

Jika terdapat dua permukaan yang mengalami kontak dan gesekan, dimana salah satu permukaan lebih lunak dibandingkan dengan permukaan satunya maka akan terjadi mekanisme keausan abrasive. Material yang lebih lunak akan terkikis dan terbawa oleh material yang lebih keras, berikut ilustrasi dan foto mikroskopis dari mekanisme keausan abrasive

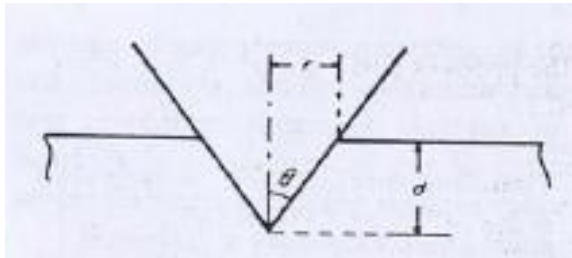


Gambar 2.5 Foto Mikroskopis Keausan Abrasif



Gambar 2.6 Mekanisme Keausan Abrasif

Pada keausan abrasive, diasumsikan bahwa permukaan dari partikel abrasive sangat tajam dan membentuk sudut seperti pada gambar berikut :



Gambar 2.7 Kontak Keausan Abrasif

Terlihat bahwa pada gambar 2.7 sudut teta melewati permukaan yang lebih lunak. Besarnya volume keausan yang terjadi dapat dihitung dengan persamaan $V = r \cdot d$ dimana $d = r \tan \theta$ sehingga $V = r^2 \tan \theta$. Diasumsikan material yang terkikis memiliki mendapatkan beban normal sebesar $\pi r^2 H/2$, dimana H disini merupakan nilai kekerasan dari material yang terkikis.

Lebih jelasnya, jika ada n partikel yang mengalami kontak, maka beban total yang diterima material tersebut adalah $W = n\pi r^2 H/2$ dan volume kikisan atau (*debris*) per satuan sliding adalah $Q = nr^2 \tan \theta$.

Atau dapat dituliskan sebagai berikut :

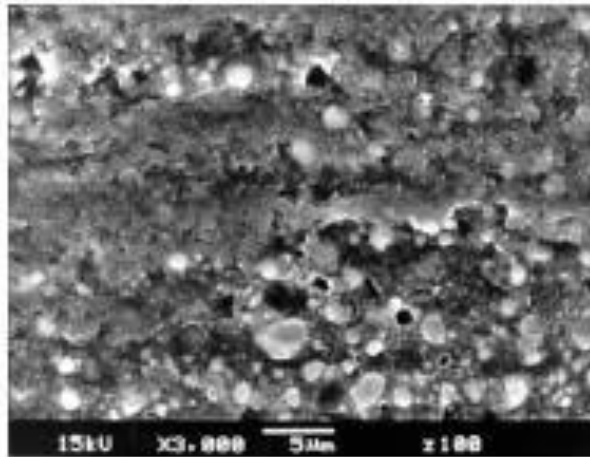
$$Q = \frac{2W \tan \theta}{\pi H} \quad (2.11)$$

Sama halnya dengan keausan gesek, tidak semua sliding menghasilkan material debris yang sama, maka :

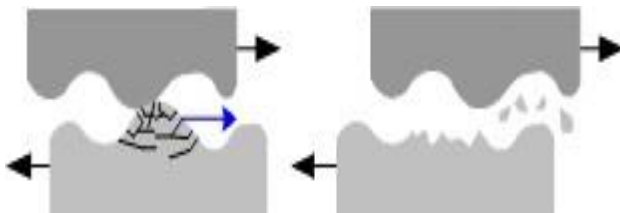
$$Q = \left(\frac{k \tan \theta}{\pi} \right) \cdot \frac{W}{H} \quad (2.12)$$

2.3.3 *Fatigue Wear* (Keausan Lelah)

Fenomena keausan lelah terjadi akibat kondisi beban yang berulang (*cyclic loading*). Ciri –cirinya perambatan retak lelah biasanya tegak lurus pada permukaan tanpa deformasi plastis yang besar. Keausan lelah sendiri terbagi lagi menjadi keausan makroskopik dan mikroskopik. Keausan makroskopik terjadi jika beban tidak tepat pada permukaan material, contohnya seperti pada rolling contact. Sedangkan keausan lelah mikroskopik terjadi antara material yang mengalami kontak langsung contohnya pada gerakan sliding. Permukaan yang mengalami beban berulang akan memicu initial crack atau retakan mikro. Lama kelamaan, retakan tersebut akan menyatu, membesar dan menghasilkan pengelupasan material. Pada keausan lelah, volume material yang hilang bukan menjadi parameter penting, yang penting adalah mengidentifikasi umur material (Setelah mengalami berapa revolusi putaran atau pengulangan beban)



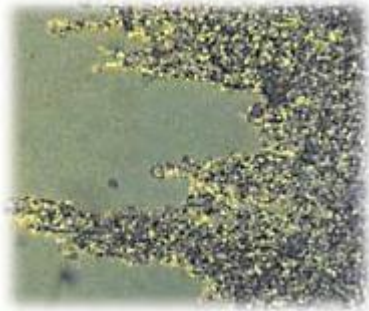
Gambar 2.8 Foto Mikroskopis Keausan Lelah



Gambar 2.9 Mekanisme Keausan Lelah

2.3.4 *Corrosive Wear* (Keausan Korosif)

Faktor lingkungan sangat mempengaruhi terjadinya keausan korosif, adanya perubahan kimiawi di permukaan karena kontak dengan lingkungan contohnya udara, air, dll. Kontak ini menghasilkan lapisan pada permukaan dengan sifat yang berbeda dengan material induk. Material akan mengalami patahan interface antar lapisan permukaan dengan material induk, dan akhirnya seluruh lapisan permukaan akan tercabut (Goffar,2013)



Gambar 2.10 Keausan Korosif

2.4 POM 40 (*Polyoxymethylene 40*)

Polyoxymethylene atau yang kadang disebut sebagai polyformaldehyde atau polacetal (PA), merupakan sebuah polimer dengan karakteristik *high crystalline thermoplastic*. Dikenal karena memiliki kekuatan tekuk dan tarik yang kuat, kekakuan, dan kekerasan, serta memiliki koefisien gesek yang tergolong rendah. Lebih lagi, polyoxymethylene juga memiliki ketahanan kimiawi stabilitas dimensi serta ketahanan lelah (*fatigue*) yang baik. Jika berbicara mengenai proses permesinan, POM dapat dibentuk menggunakan proses bubut dengan mata pahat yang tajam guna menjaga permukaan tetap pada kondisi yang diharapkan. Berikut disertakan properti lengkap dari POM (Katalog dari perusahaan LP *Laminated Plastics*) :

ASTM or UL test	Property	Acetal Copolymer	Delrin® Homopolymer	Delrin® AF PTFE-filled
PHYSICAL				
D792	Density (lb/in ³) (g/cm ³)	0.051 1.41	0.051 1.41	0.054 1.50
D570	Water Absorption, 24 hrs (%)	0.2	0.2	0.2
MECHANICAL				
D638	Tensile Strength (psi)	9,500	11,000	8,000
D638	Tensile Modulus (psi)	400,000	450,000	435,000
D638	Tensile Elongation at Break (%)	30	30	15
D790	Flexural Strength (psi)	12,000	13,000	12,000
D790	Flexural Modulus (psi)	400,000	450,000	435,000
D695	Compressive Strength (psi)	15,000	16,000	16,000
D695	Compressive Modulus (psi)	400,000	450,000	350,000
D785	Hardness, Rockwell	M88 / R120	M89 / R122	M85 / R115
D256	IZOD Impact Notched (ft-lb/in)	1.0	1.0	0.7
THERMAL				
D696	Coefficient of Linear Thermal Expansion (x 10 ⁻⁵ in./in./°F)	5.40	4.70	5.00
D648	Heat Deflection Temp (°F / °C) at 264 psi	220 / 104	250 / 121	244 / 118
D3418	Melting Point Temp (°F / °C)	335 / 168	347 / 175	347 / 175
-	Max Operating Temp (°F / °C)	180 / 82	180 / 82	180 / 82
C177	Thermal Conductivity (BTU-in/ft ² -hr-°F) (x 10 ⁻⁴ cal/cm-sec-°C)	1.6 5.5	2.5 8.6	-
UL94	Flammability Rating	HB	HB	HB
ELECTRICAL				
D149	Dielectric Strength (V/mil) short time, 1/8" thick	420	450	400
D150	Dielectric Constant at 1 MHz	3.8	3.7	3.1
D150	Dissipation Factor at 1 MHz	0.005	0.005	0.010
D257	Volume Resistivity (ohm-cm) at 50% RH	10 ¹⁵	10 ¹⁵	3.0 x 10 ¹⁶

Gambar 2.11 Properti dari Polyoxymethylene

Dalam Satuan Internasional, properti dari POM adalah sebagai berikut :

(K. Mohan dan M. Mettilda, 2014)

TABLE 1: Mechanical properties.

Material	Tensile strength (MPa)	Flexural strength (MPa)
POM	60.27	86.57

TABLE 2: Hardness, MFI, and water absorption.

Material	Hardness	MFI (g/10 min)	Water absorption (g)
POM	82.25	10.58	0.051

Gambar 2.12 Properti POM (SI)

Berikutnya merupakan karakteristik sifat tribology dari beberapa polymer, salah satunya polyacetal(POM)

Material	Friction coefficient	Operation temperature [°C]	Advantages	Disadvantages
Aliphatic polyamides	0.2 + 0.5	- 40 + + 85	Low wear and high fatigue resistance	Water sorption, high coefficient of friction
Aromatic polyamides	0.1 + 0.3	- 100 + + 200	Low wear, high fatigue resistance and heat stability	High cost, water sorption
Fluoroplastics	0.01 + 0.05	- 269 + + 260	Low friction, resistance to aggressive media	Creep and low mechanical strength
Polycarbonate	0.2 + 0.5	- 60 + + 125	Rigidity and resistance to aggressive media	Low fatigue strength
Polyacetals	0.1 + 0.3	- 50 + + 120	High wear and fatigue resistance	Abrasive effect due to high rigidity

Gambar 2.13 Karakteristik Tribologi Polimer

Dengan properti mekanikal yang telah dijelaskan diatas, POM dapat diaplikasikan sebagai *gear*, *bushings*, *sliding bearings* (N.K. Myshkin, S.s Peseski, Grigoriev, 2015)

2.5 *Steel Rubber Bushing*

Steel Rubber Bushing digunakan pada sepeda motor matic pada bagian *engine hanger*. Komponen ini dibuat dengan mempertimbangkan kekakuan dan kekuatan pada karet dengan tujuan untuk meminimalkan berat dan tekanan kendaraan secara maksimu. Steel diposisikan sebagai “casing” dari rubber. Pada komponen *steel rubber bushing* kerusakan paling sering terjadi pada bagian rubber nya. Rubber sangat tidak tahan terhadap beban geser, hal ini mengakibatkan kontak gesek dapat memicu terjadinya deformasi yang relative besar. Fungsi rubber yang utama adalah meredam getaran, dan steel berfungsi untuk mempertahankan geometri komponen tersebut.



Gambar 2.14 *Steel Rubber Bushing*



Gambar 2.15 Kerusakan *Steel Rubber Bushing*



Gambar 2.16 Letak *Bushing Engine Hanger*

Steel Rubber Bushing memiliki peran penting dalam menjaga kenyamanan, keamanan, dan performa kendaraan bermotor. Seperti yang terlihat pada gambar, bushing jenis ini terdiri dari *inner and outer cylindrical sleeves*. Susunan seperti ini

memungkinkan terjadinya transmisi getar dari metal ke rubber untuk kemudian teredam atau jika mungkin dihilangkan. Terdapat tiga gaya utama yang bekerja pada *Steel Rubber Bushings* seperti pada gambar berikut ini (Jonathan, Juan, Jorge, Ricardo, 2018)

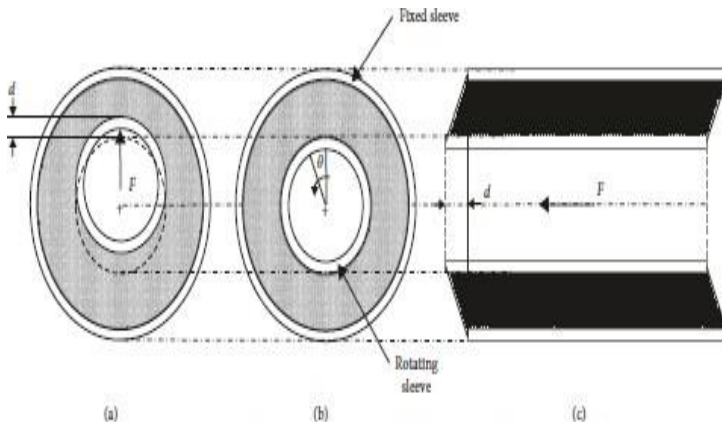


FIGURE 1: Typical modes of deflection in an automotive bushing: (a) radial, (b) torsional, and (c) axial.

Gambar 2.17 Gaya Pada Bushing

2.6 Reliability

Reliability merupakan salah satu parameter yang digunakan dalam menentukan kelayakan dan ketahanan hidup suatu material. Biasa disebut juga sebagai keandalan, dapat dijelaskan sebagai probabilitas system tidak mengalami kerusakan selama waktu tertentu (*zero failure*). Keandalan dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (2.13)$$

Dimana :

$R(t)$ = Keandalan atau *Reliability*

$F(t)$ = *Failure*

Dalam menentukan keandalan dari sebuah material, terlebih dahulu harus dilakukan *Goodness of Fit Test* untuk menentukan distribusi apa yang paling sesuai digunakan dari suatu sampel data, nilai keputusan diambil dengan membandingkan statistik uji terhadap nilai kritis. (Luh Ade Arista Dwi, 2015)

Probabilitas kegagalan atau $F(t)$ dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$F(t) = \frac{i}{n} \quad (2.14)$$

Dimana :

i = Jumlah spesimen yang gagal

n = Banyak sampel

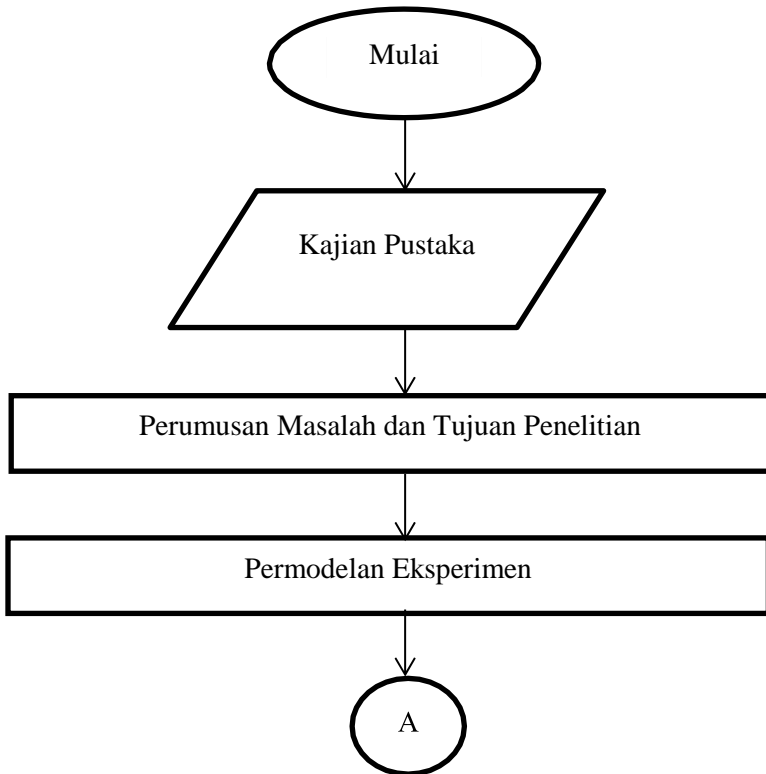
Dalam mencari reliabilitas atau keandalan dapat digunakan pendekatan dari beberapa distribusi yang ada, misalnya weibull dan eksponensial. Dari distribusi yang ada perlu dilakukan *goodness of fit test* agar dapat diketahui distribusi mana yang paling baik menggambarkan keandalan dari sampel data yang dimiliki.

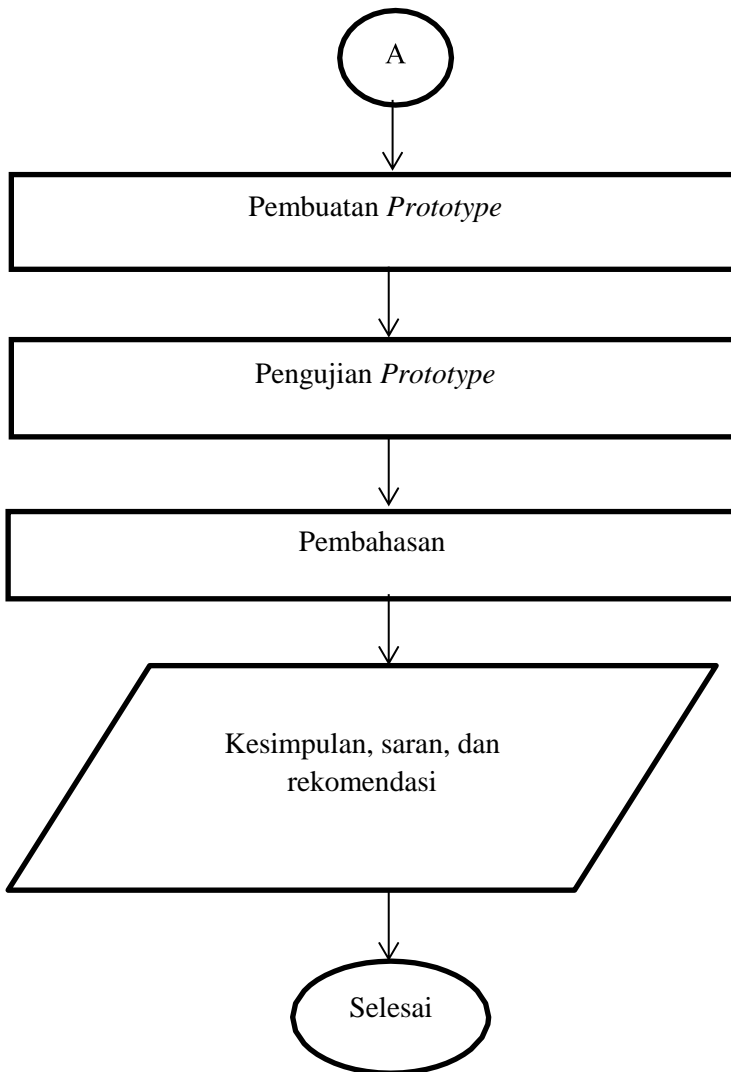
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan guna mengetahui kelayakan dan laju keausan dari material Polyoxymethylene 40 (POM40) atau yang juga biasa dikenal dengan sebutan Polyacetals yang digunakan sebagai material pengganti *steel rubber bushing* pada bagian *engine hanger* sepeda motor matic.

3.1 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.1.1 Kajian Pustaka

Mencari referensi yang berkaitan dengan penelitian melalui buku dan jurnal ilmiah. Materi yang dipelajari adalah prinsip kerja dari Tribometer tipe *Pin on Disk*, property dari material alternatif, dasar-dasar dari tribologi, khususnya yang berkaitan dengan keausan serta penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian ini. Tujuannya adalah guna mendapatkan rumusan masalah dari penelitian yang dilakukan.

3.1.2 Perumusan Masalah dan Tujuan Penelitian

Setelah melakukan kajian pustaka, penelitian difokuskan ke masalah yang dirumuskan yaitu *redesign* steel rubber bushing dengan menggunakan material POM40.

3.1.3 Permodelan Analitis dan Eksperimen

Menetapkan batasan dalam eksperimen, menentukan pendekatan analitis, hingga proses pembentukan specimen dengan melakukan pembubutan pada material alternatif sesuai dengan dimensi yang dibutuhkan.

3.1.4 Pembuatan Prototype

Membuat *prototype* dengan dimensi yang sudah didesain dan disesuaikan pada permodelan analitis dan eksperimen.

3.1.5 Pengujian Prototype

Melakukan pengujian, *prototype* dipasangkan langsung pada bagian *bushing engine hanger* sepeda motor matic.

3.1.6 Analisis dan Pembahasan Data

Analisa dan pembahasan dilakukan guna mengetahui hasil akhir dari laju keausan yang dimiliki oleh material POM40, serta bagaimana kelayakannya untuk dijadikan material pengganti *bushing* pada bagian *engine hanger* sepeda motor matic.

3.1.7 Kesimpulan, Saran dan Rekomendasi

Penarikan kesimpulan berdasarkan analisa dan pembahasan yang sudah dilakukan, serta saran dan rekomendasi dari kendala yang dialami selama melakukan penelitian agar penelitian serupa selanjutnya dapat berjalan dengan lebih baik.

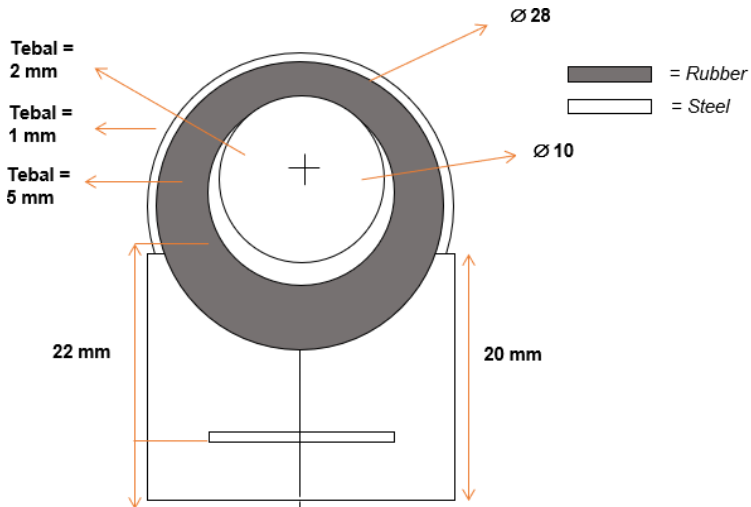
3.2 Eksperimen

Specimen berbahan POM40 akan dibandingkan dengan *steel rubber bushing*. Dilakukan proses *re-design* dari *steel rubber bushing* yang sudah ada, dan kemudian dibentuk prototype dan akan dipasangkan ke sepeda motor uji, berikut merupakan dimensi dari *steel rubber bushing* sebelum di redesign:



Gambar 3.2 *Steel Rubber Bushing*

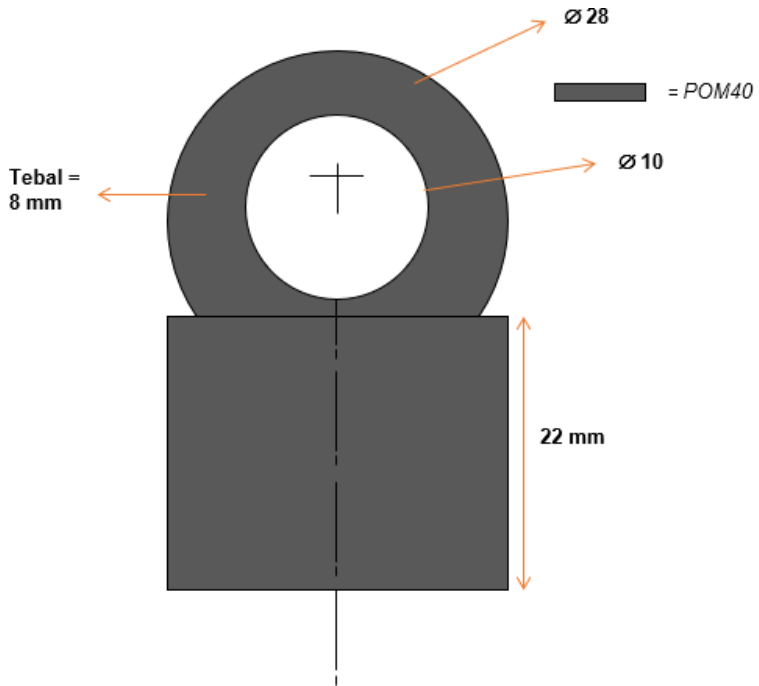
Dimensi dari *steel rubber bushing* diatas adalah sebagai berikut :



Gambar 3.3 Dimensi *Steel Rubber Bushing*

Kemudian, eksperimen akan dilakukan dengan melakukan proses permesinan kepada material alternative POM40 seperti yang sudah disebutkan diatas. Lebih jelasnya, material POM40 akan dibentuk menjadi dua specimen percobaan. Yang pertama akan dibentuk menjadi *prototype* dan akan dilakukan percobaan pemasangan dan penggunaan langsung di kendaraan bermotor selama sepuluh hari pemakaian. Kedua, POM40 akan dibentuk menjadi pin untuk pengujian keausan pada tribometer tipe pin on disk yang akan dijelaskan lebih lanjut pada sub bab berikutnya.

Dimensi dari *steel rubber bushing* diatas adalah sebagai berikut.



Gambar 3.4 Dimensi *Prototype*

Disertakan juga gambar dari material alternative POM40 sebelum dilakukan proses permesinan :



Gambar 3.5 Material Alternatif POM40 (Sebelum Proses Permesinan)

Berikut merupakan properti dari POM40 yang kemudian akan menjadi pin pada pengujian keausan, dan SS AISI360 yang akan menjadi disk.

- POM40

Dikategorikan sebagai *highly crystalline thermoplastics*. Karena memiliki kekuatan mekanikal, kekakuan, dan ketahanan impak yang baik.

<i>Density</i>	: 1.41 g/cc
<i>Tensile Strength at Break</i>	: 65.0 MPa
<i>Coefficient of Friction, dynamic</i>	: 0.32

Steel Rubber Bushing terdiri dari dua bagian yaitu selongsong metal yang memberikan ketahanan struktur, serta karet yang berfungsi untuk meredam getaran yang timbul. Pada penelitian ini, akan dilakukan pengujian apakah POM40 dapat memberikan redaman getaran, dan ketahanan aus yang layak

untuk dapat dijadikan sebagai pengganti dari *steel rubber bushing*. Berikutnya merupakan properti mekanis dari material *steel rubber bushing* :

- *Babbitt Alloy*

Density : 10.6 g/cc

Tensile Strength at Break : 70.0 MPa

- *Rubber PTA*

Density : 0.92 g/cc

Tensile Strength Yield : 8.26 MPa

Flexural Modulus : 0.225 GPa

3.3 Perhitungan *Reliability*

Reliability atau yang biasa juga dikenal sebagai keandalan merupakan sebuah perhitungan yang dilakukan guna mengetahui probabilitas ketahanan material terhadap suatu siklus tertentu. Pada pengujian kali ini, akan dilakukan pengujian reliabilitas material terhadap jarak tempuh dari kendaraan.

Persamaan reliabilitas sendiri dapat dituliskan sebagai berikut :

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (3.1)$$

Dimana :

R(t) = Reliabilitas

F(t) = Probabiliras Kerusakan

3.4 Tempat dan Waktu Penelitian

Prototype dimanufaktur sesuai desain yang telah ditetapkan sebelumnya. *Prototype* ini nantinya akan dipasangkan langsung pada sepeda motor matic. Berikut merupakan prototype dan perbandingannya dari segi berat terhadap material *steel rubber bushing* yang saat ini digunakan :



Gambar 3.6 *Prototype*



Gambar 3.7 Material yang Digunakan

Dapat dilihat pada gambar 3.8 dan 3.9 perbedaan berat dari kedua material. Dimana material alternative POM memiliki berat 2,5x lebih ringan dibandingkan material yang saat ini digunakan. Pembuatan material dilakukan dengan proses pembubutan, kemudian *prototype* akan ditandai pada masing masing bagian (atas, bawah, kiri, dan kanan) agar dapat mengetahui bagian mana yang paling mengalami deformasi saat setelah dilakukan pengujian.

3.5 Pengujian *Prototype*

Prototype akan dipasang pada sepeda motor matic. Kemudian dilakukan rancangan pengujian volume aus sebagai berikut :

Tabel 3. 1 Rancangan Eksperimen Pengujian *Prototype*

No	Jarak Tempuh	Massa Awal (gr)	Massa Akhir (gr)	Penyusutan Massa (gr)
1				
2				
3				
4				
5				

Data diatas kemudian diolah untuk mendapatkan volume keausan yang terjadi. Volume aus sendiri dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\rho} \quad (3.2)$$

Pengguna sepeda motor juga akan diminta untuk mengisi *questionnaire* yang berisi pertanyaan mengenai pengalaman berkendara dengan menggunakan *bushing engine hanger* berbahan dasar POM. Adapun pertanyaan *feedback* pengalaman berkendara yang akan diberikan adalah sebagai berikut :

Tabel 3. 2 *Feedback* pengalaman berkendara dengan *Prototype*

Parameter	Sangat Buruk	Buruk	Cukup	Baik	Sangat Baik
Getaran yang Dirasakan					
Stabilitas saat Kecepatan Rendah					
Stabilitas Kecepatan Tinggi					
Kebisingan Engine					
Bantingan saat ada Polisi Tidur					
Getaran Pengereman					

3.6 Pembahasan

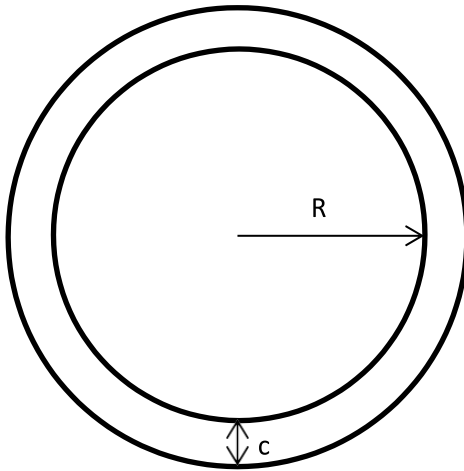
Setelah dilakukan pengujian, akan didapatkan data berupa volume keausan yang terjadi pada *prorotpe* pada jarak tempuh tertentu. Kemudian akan dilakukan analisa hasil yang akan membahas reliability atau nilai keandalan dari material POM sebagai pengganti *bushing engine hanger* sepda motor matic. Akan dilihat juga grafik perbandingan antar kenaikan jarak tempuh kendaraan terhadap volume keausan yang terjadi. Hipotesa awalnya adalah POM dapat menjadi pengganti *bushing engine hanger* sepda motor matic. Dan pada penelitian sekaligus menjawab apakah studi sebelumnya yang mengatakan bahwa POM dapat dijadikan material pengganti *Bushing* adalah benar adanya. (Myskin, 2015)

3.7 Kesimpulan, Saran dan Rekomendasi

Selanjutnya hasil data yang sudah dianalisis akan ditarik kesimpulan guna mengetahui bagaimana kelayakan material POM40 untuk dijadikan pengganti *steel rubber bushing*. Serta guna mendapatkan saran yang dapat membantu penelitian serupa yang akan dilakukan selanjutnya.

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Volume Aus Yang Diizinkan



$R = \text{Shaft Diameter}$

$c = \text{Radial Clearance}$

Gambar 4.1 *Radial Clearance Bushing*

Dimana :

$$c = \frac{1}{1000} \times R \quad (4.1)$$

$$c_{max} = \frac{1}{500} \times R \quad (4.2)$$

Volume aus maksimum yang diijinkan dapat dirumuskan sebagai :

$$V = 2 \times \pi \times R \times c_{max} \times L \quad (4.3)$$

Dimana L merupakan panjang dari bushing.

4.1.1. Perhitungan Volume Aus yang Diizinkan

$$R = 5 \text{ mm}$$

$$C = 1/500 \times 5 \text{ mm} = 0,01 \text{ mm}$$

$$V = 2 \times 3,14 \times 5 \times 0,01 \times 22 = 6,908 \text{ mm}^3$$

4.2 Perhitungan Pengurangan Massa yang Diizinkan

Perhitungan pengurangan massa dari prototype dilakukan dengan menggunakan persamaan massa jenis, sebelumnya sudah diketahui penyusutan volume maksimal yang diizinkan dan akan digunakan sebagai data perhitungan pengurangan massa yang diizinkan.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (4.4)$$

Dimana, ρ didapatkan dari data pada bab sebelumnya yaitu $1,41 \text{ gr/cm}^3$ atau $0,141 \text{ gr/mm}^3$. Maka, pengurangan massa dari *prototype* yang diizinkan adalah :

$$m = \rho \times v$$

$$m = 0,141 \times 6,908$$

$$m = 0,974028 \text{ gr}$$

Diharapkan bushing memiliki umur pakai selama satu tahun. Dengan asumsi jarak penggunaan pertahun sebesar 10.000 km / tahun. Jarak tempuh rata-rata dari *prototype* sejauh 2000 km . Maka, kriteria kegagalan bagi *prototype* adalah $1/5$ dari massa yang diizinkan atau sebesar $0,1948 \text{ gr}$.

4.3 Data Volume Keausan *Prototype*

Hasil dari pengujian bushing *prototype* dalam jarak tempuh tertentu bisa dilihat pada table 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1 Penyusutan Massa *Prototype*

Jarak Tempuh	Massa Awal (gram)	Massa Akhir (gram)	Penyusutan Massa (gram)
102,1 km	16,97	16,87	0,1
102 km	16,87	16,80	0,07
96.4 km	16,80	16,74	0,06
101,2 km	16,74	16,68	0,06
199,5 km	16,68	16,63	0,05

Dari table 4.1 tersebut, dapat diketahui nilai volume keausan dari masing masing jarak tempuh sebagai berikut :

Tabel 4.2 Volume Keausan *Prototype*

Jarak Tempuh	Penyusutan Massa (gram)	Volume Keausan (mm ³)	ΔV Keausan (mm ³)
102,1 km	0,1	0,70922	0,70922
102 km	0,07	0,49645	1,205
96.4 km	0,06	0,4255	1,6311
101,2 km	0,06	0,4255	2,056
199,5 km	0,05	0,3546	2,4113

4.4 Foto Jarak Tempuh dan Massa *Prototype*

Berikut disertakan dokumentasi dari data pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.2 Foto Keausan 100 km



Gambar 4.3 Foto Keausan 200 km



Gambar 4.4 Foto Keausan 300 km



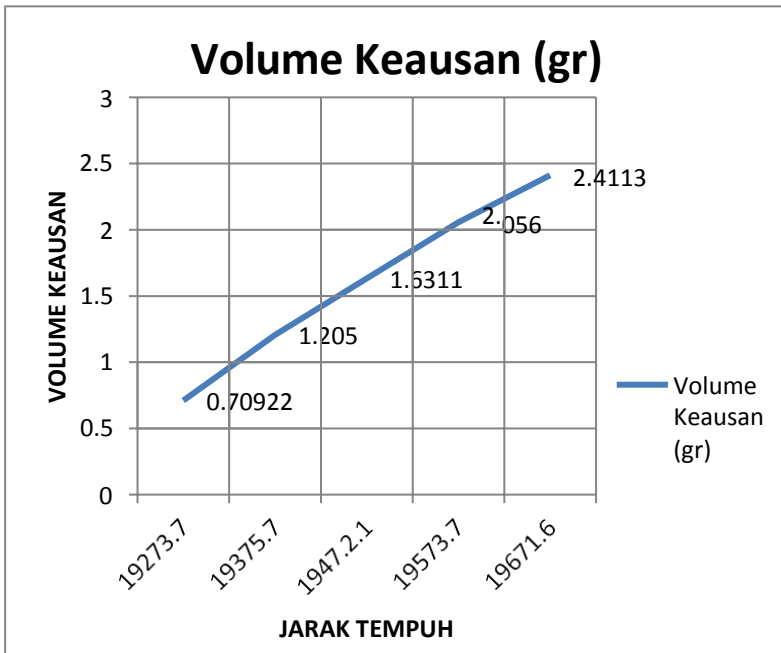
Gambar 4.5 Foto Keausan 400 km



Gambar 4.6 Foto Keausan 500 km

4.5 Analisa Data Volume Keausan Terhadap Jarak Tempuh

Dari data yang didapatkan, dapat diketahui nilai volume keausan yang terjadi. Berikut merupakan grafik dari Volume Keausan terhadap jarak tempuh..



Gambar 4.7 Grafik Volume Keausan

Pada gambar 4.7 dapat dilihat bahwa secara umum grafik mengalami kenaikan. Jika dilihat berdasarkan gradient kemiringan, dapat diketahui bahwa pada jarak-jarak akhir kemiringan mulai berkurang yang berarti penyusutan volume juga semakin berkurang. Pada 100km pertama tercatat volume keausan sebesar 0,7092. Pengujian dilakukan setiap jarak tempuh 100km hingga 500km dengan data masing masing dari 200km hingga 500km sebagai berikut ;(0,992) (1,205) (1,631) (1,773). *Bushing Engine Hanger* sendiri sebenarnya tidak didesain untuk dipasang lepas seperti pada pengujian kali ini, pada proses pemasangan dan pencopotannya dimungkinkan juga terjadi proses keausan. Sehingga secara *real* seharusnya angka yang didapatkan lebih baik dibandingkan dengan nilai yang didapatkan dari hasil pengujian ini.

Grafik ini juga menunjukkan bahwa semakin bertambahnya jarak penggunaan dari suatu material atau juga mungkin dapat dikatakan sebagai berapa banyak *cycle* yang dilewati oleh suatu material, akan mengakibatkan meningkatnya volume aus yang terjadi.

4.6 Pengujian *Reliability* Spesimen

Spesimen dipasang ke lima sepeda motor yang berbeda, dan didapatkan hasil dari masing-masing specimen sebagai berikut :

Tabel 4.3 Data Reliability Spesimen

Nomor Spesimen	Kilometer Awal	Kilometer Akhir	Total Jarak Tempuh (KM)	Massa Terhitung
1	35140,6	37553,8	2413,2	16,43
2	73463,2	75176,8	1713,6	16,48
3	10048,1	12036,9	1988,8	16,44
4	12963,5	15043,8	2080,3	16,44
5	7489,8	9458,6	1968,8	16,46

Tabel 4.4 Data Wear Volume per Kilometer

Total Jarak Tempuh	Massa Terhitung	Massa Aawal	Wear Volume	Wear Volume/Kilometer
2413,2	16,43	16,97	0,54	0,000223769
1713,6	16,48	16,97	0,49	0,000285948
1988,8	16,44	16,97	0,53	0,00028072
2080,3	16,44	16,97	0,53	0,000254771
1968,8	16,46	16,97	0,51	0,000259041

Wear volume per kilometer masing masing spesimen akan digunakan untuk mengetahui *time to fail* dari masing masing spesimen, didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4.5 Time to Fail Spesimen

Jarak Tempuh	Volume Keausan				
	Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3	Spesimen 4	Spesimen 5
675	0.1512	0.19305	0.189486	0.172125	0.174825
700	0.1568	0.2002	0.196504	0.1785	0.1813
725	0.1624	0.20735	0.203522	0.184875	0.187775
750	0.168	0.2145	0.21054	0.19125	0.19425
775	0.1736	0.22165	0.217558	0.197625	0.200725
800	0.1792	0.2288	0.224576	0.204	0.2072
825	0.1848	0.23595	0.231594	0.210375	0.213675
850	0.1904	0.2431	0.238612	0.21675	0.22015

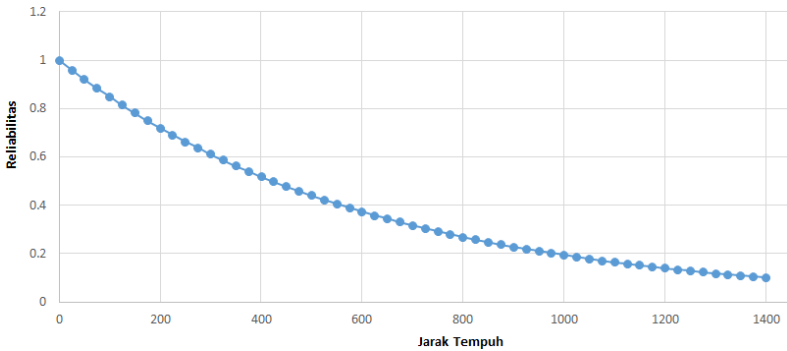
4.6.1 Pendekatan Eksponensial

Dengan pendekatan eksponensial terlebih dahulu dicari koefisien lamda untuk digunakan sebagai persamaan guna mencari reliabilitas dari spesimen.

Tabel 4.6 Harga Koefisien Lamda

Mencari Koefisien Lamda							
KM to Fail	i = Jumlah Rusak	$F(t) = (i-0,3) / (n+0,4)$	$\ln(1/(1-F(t)))$	X	Y	X ²	XY
675	2	0.314814815	0.378066134	675	0.37807	455625	255.195
750	4	0.685185185	1.155770703	750	1.15577	562500	866.828
850	5	0.87037037	2.043073898	850	2.04307	722500	1736.61
						1740625	2858.64
Harga Koefisien Lamda (Total XY / Total Y ²)						=	0.00164

Didapatkan besar lamda sebesar 0,00164. Nilai ini digunakan untuk menentukan reliabilitas pada jarak tempuh yang diinginkan dengan menggunakan persamaan (4.5).



Gambar 4.8 Grafik Reliabilitas *Prototype*

Reliabilitas atau keandalan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$R = e^{-\lambda T} \quad (4.5)$$

$$R = e^{-0.0002 \times 400}$$

$$R = 0,5189$$

Maka, pada jarak tempuh 400km *prototype* memiliki keandalan sebesar 51,89%.

Tabel 4.7 Reliabilitas *Prototype (exp)*

Jarak Tempuh (km)	Reliabilitas
0	100.00%
100	86.46%
200	74.75%
300	64.63%
400	55.88%
500	48.31%
600	41.77%
700	36.11%
800	31.22%
900	27.00%
1000	23.34%

4.6.2 Pendekatan Weibull

Distribusi weibull sendiri memiliki persamaan sebagai berikut:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{c}\right)^m} \quad (4.6)$$

Dimana:

c = Characteristic Life

m = Shape Parameter

$$e^{-\left(\frac{t}{c}\right)^m} = 1 - F(t)$$

$$-\left(\frac{t}{c}\right)^m = \ln(1 - F(t))$$

$$\left(\frac{t}{c}\right)^m = \ln(1 - F(t))^{-1}$$

$$\left(\frac{t}{c}\right)^m = \ln\left(\frac{1}{1 - F(t)}\right)$$

$$m \cdot \ln\left(\frac{t}{c}\right) = \ln \cdot \ln\left(\frac{1}{1 - F(t)}\right)$$

$$m \cdot \ln t - m \ln c = \ln \cdot \ln\left(\frac{1}{1 - F(t)}\right) \quad (4.7)$$

Persamaan 4.7 dapat dibentuk menjadi persamaan garis :

$$A \cdot x + B = y \quad (4.8)$$

Maka :

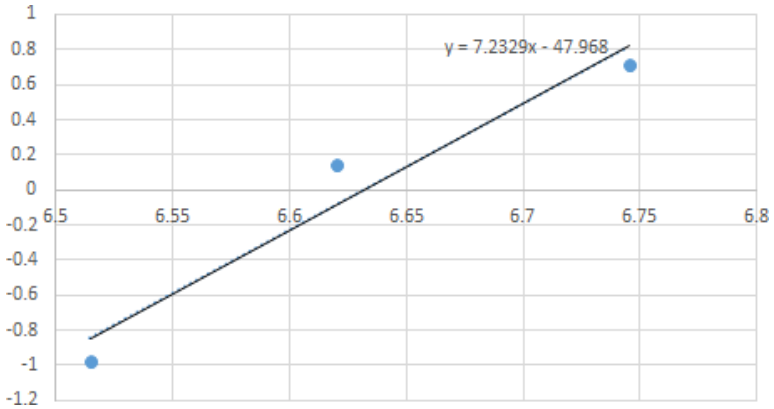
$$\begin{aligned} A &= m \\ X &= \ln t \\ B &= -m \cdot \ln c \\ Y &= \ln \cdot \ln(1/(1-F(t))) \end{aligned}$$

Persamaan garis tersebut dapat dicari dengan memetakan data dari sampel sebagai berikut :

Tabel 4.8 Plot X Y *Weibull*

t (Kilometer)	i	$F(t) = (i-0,3)/(n+0,4)$	$X = \ln t$	$Y = \ln \cdot \ln(1/(1-F(t)))$
675	2	0,31481	6,514713	-0,972686141
750	4	0,68518	6,620073	0,144767396
850	5	0,87037	6,745236	0,714455486

Data X dan Y kemudian di plot untuk mendapatkan persamaan 4.8



Gambar 4.9 Persamaan Garis *Weibull*

Didapatkan persamaan $y = 7,2329x - 47,968$ kemudian nilai ini disubstitusikan ke dalam persamaan 4.8 untuk mendapatkan nilai m dan c . Didapatkan bahwa $m = 7,2329$ dan $c = 758,93644$.

Untuk menghitung reliabilitas dapat digunakan persamaan 3.1 dengan nilai $F(t)$ sebagai berikut:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{758,93644}\right)^{7,2329}} \quad (4.9)$$

Jarak Tempuh (km)	Reliabilitas
0	100.000%
100	100.000%
200	99.994%
300	99.879%
400	99.032%
500	95.229%
600	83.298%
700	57.277%
800	23.132%
900	3.233%
1000	0.064%

Gambar 4.10 Reliabilitas Prototype (Weibull)

4.6.3 Goodness of Fit Test

Dari kedua pendekatan diatas, dilakukan *goodness of fit test* untuk menentukan mana yang paling baik digunakan untuk mencari keandalan dari *prototype*.

Chi-Square	
Kesalahan Estimasi	
Exp.	Weibull
2.183661	0.018489196
0.482056	0.006539666
10.41519	0.504198894
0.893542	0.000142644
13.97445	0.5293704
Chi-Square	

Gambar 4.11 Estimasi Kesalahan

Dari perhitungan yang didapatkan terlihat bahwa distribusi eksponensial memiliki nilai error sebesar 13,97445 sedangkan distribusi weibull memiliki error sebesar 0,5293704 sehingga dapat dikatakan bahwa nilai keandalan yang didapatkan dari distribusi weibull lebih baik untuk digunakan.

4.7 Pembahasan *Feedback* Kepuasan Berkendara

Berikut merupakan hasil dari pengisian kuisioner dari responden yang menggunakan *prototype* bushing berbahan dasar polyoxymethylene ini, hasil data yang dituliskan dibawah merupakan rata-rata dari jawaban responden, data hasil jawaban terlampir.

Tabel 4.9 Penilaian Kuisioner

Parameter	Nilai
Getaran yang dirasakan	5
Stabilitas saat kecepatan rendah	2
Stabilitas kecepatan tinggi	4,6
Kebisingan Engine	3,4
Bantingan saat ada polisi tidur	3,4
Getaran Pengereman	4,8

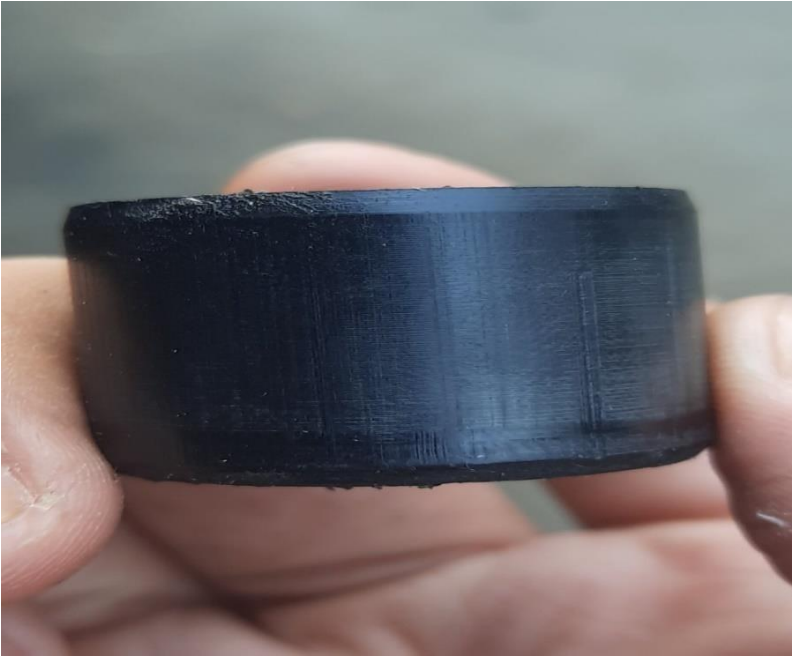
Dari hasil yang didapatkan, dapat dilihat bahwa secara umum bushing berbahan dasar *polyoxymethylene* mendapatkan penilaian yang cukup baik. Parameter yang memiliki penilaian paling buruk merupakan stabilitas saat kecepatan rendah. Hal ini dapat diakibatkan oleh hilangnya komponen rubber yang biasanya digunakan pada bushing bagian engine hanger. Akan tetapi pada parameter lainnya bushing dari bahan dasar polyoxymethylene ini dapat dikatakan baik dan mampu dijadikan pengganti dari steel rubber bushing yang saat ini digunakan. Dari keenam parameter diatas, didapatkan nilai rata-rata dari kepuasan berkendara sebesar

3.86. Dari parameter yang ada, terdapat tiga parameter yang mendapatkan kepuasan dibawah nilai rata-rata yaitu ; kebisingan, bantingan, dan stabilitas kecepatan rendah.

4.8 Analisa Mekanisme Keausan



Gambar 4.12 *Prototype Sebelum Digunakan*



Gambar 4.13 *Prototype* Setelah Digunakan

Dari kedua gambar tersebut terlihat bahwa terjadi proses keausan pada *prototype*. Pada gambar 4.26 permukaan dari bushing masih dapat dianggap halus, namun pada gambar 4.27 permukaan dari bushing mulai terlihat tergores dan tersayat. Adanya keterbatasan pengujian mengakibatkan tidak adanya foto mikroskopis dari kedua foto tersebut. Namun, sudah cukup terlihat dengan jelas bahwa ada perbedaan dari kedua gambar tersebut. Foto kedua menunjukkan adanya proses keausan yang terjadi, dan diduga keausan yang terjadi bersifat abrasif. Keausan abrasif sendiri terjadi akibat adanya kontak dan gesekan antara dua material dimana salah satu material memiliki kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan material satunya. Adanya guratan guratan pada gambar 4.27 cukup mengindikasikan bahwa terjadi

fenomena keausan abrasif pada *bushing engine hanger* sepeda motor matic.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari eskperimen pengujian *prototype bushing engine hanger* dengan material alternatif polyoxymethylene adalah.

1. Kondisi Prototype setelah digunakan mengalami keausan dengan mekanisme abrasiv.
2. Kepuasan berkendara menggunakan *prototype* dinilai cukup baik, kekurangan yang paling terasa adalah pada getaran yang dirasakan karena tidak adanya *rubber* yang berfungsi untuk meredam getaran.
3. Distribusi weibull digunakan untuk menghitung keandalan dari *prototype* dengan characteristic life sebesar $c = 758,93644$ dan shape parameter sebesar $m = 7,2329$. Didapatkan data reliabilitas saat jarak tempuh 700km sebesar 57,277%.

5.2 Saran

Pengujian ini dilakukan dengan adanya kekurangan yang dikarenakan kondisi lingkungan dan *force majeure* yang sedang terjadi. Oleh karena itu, penulis memiliki beberapa saran yang dapat menjadi referensi bagi pengujian serupa dikemudian hari,

1. Karena keterbatasan waktu dan sarana yang ada, pengujian ini dilakukan dengan sampling data yang tidak terlalu banyak, pengujian selanjutnya dapat dilakukan dengan menggunakan data yang lebih banyak guna mengurangi *error* yang didapatkan pada hasil pengujian.
2. Sebaiknya dilakukan juga pengujian pada tribometer guna mengetahui laju keausan dari material uji, yang mana pada

pengujian kali ini belum dapat diketahui laju keausan dari material polyoxymetyhlane atau POM.

3. Material ini dirasa lebih baik digunakan pada *bushing* bagian kendaraan bermotor yang tidak terlalu menahan gaya yang besar, contohnya bisa dijadikan *bushing* pada ; Tuas pengereman, kopling.
4. Material ini memiliki bobot 3x lebih ringan dibandingkan metal, sehingga disarankan untuk digunakan pada kendaraan *autonomous* yang tidak menggunakan *engine* agar turut dapat mengurangi bobot kendaraan tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

Kurnia Endah, N. 2016. *Studi Eksperimen dan Analisa Keausan Journal Bearing Dry Contact Pada Rotary Valve Mesin Pembuat Pasta*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Myskin,N.K. 2015. *Polymer Tribology : Current State and Applications*. Belarus : Polymer Research Institute of Belarus

Baba,M.K. 2014. *Studies on Mechanical, Thermal, and Morphological Properties of Glass Fibre Reinforced Polyoxymethylene Nanocomposite*. Chennai : Institute of Plastics Engineering and Technology

Rivas,Jonathan. 2018. *Analytical Design and Optimization of an Automotive Rubber Bushing*. Mexico : Universidad de Monterrey

Shijie,Wang.2012. *Reliability Model of Mechanical Components with Dependent Failure Modes*. Shenyang :Shenyang University of Technology

Arista,L.A. 2015. *Analisis Reliabilitas dan Availabilitas pada Mesin Produksi dengan Sistem Seri Menggunakan Pendekatan Analisis Markov di PT. "X"*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

(halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN











Nama : ARDHA

Parameter	SangatBuruk	Buruk	Cukup	Baik	SangatBaik
<u>Getaran yang dirasakan</u>					V
<u>Stabilitassaatkecepatanredah</u>		V			
<u>Stabilitaskecepatantinggi</u>				V	
<u>Kebisingan Engine</u>			V		
<u>Bantingansaataadapolisitidur</u>			V		
<u>GetaranPengereman</u>					V

Nama : Michael Aditya

Parameter	SangatBuruk	Buruk	Cukup	Baik	SangatBaik
Getaran yang dirasakan					V
Stabilitassaatkecepatanredah		V			
Stabilitaskecepatantinggi					V
Kebisingan Engine			V		
Bantingansaataadapolisitudur			V		
GetaranPengereman					V

Nama : Rizqy Prathama

Parameter	SangatBuruk	Buruk	Cukup	Baik	SangatBaik
Getaran yang dirasakan					V
Stabilitassaatkecepatanredah	V				
Stabilitaskecepatantinggi					V
Kebisingan Engine				V	
Bantingansaataadapolisitudur			V		
GetaranPengereman					V

Nama : SATRIO

Parameter	SangatBuruk	Buruk	Cukup	Baik	SangatBaik
Getaran yang dirasakan					V
Stabilitassaatkecepatanredah			V		
Stabilitaskecepatantinggi					V
Kebisingan Engine			V		
Bantingansaataadapolisitudur				V	
GetaranPengereman				V	

Nama : Joshua Avertho

Parameter	SangatBuruk	Buruk	Cukup	Baik	SangatBaik
Getaran yang dirasakan					V
Stabilitassaatkecepatanredah		V			
Stabilitaskecepatantinggi				V	
Kebisingan Engine				V	
Bantingansaataadapolisitudur				V	
GetaranPengereman					V

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Gregorius Garry Gunawan, anak pertama dari tiga bersaudara ini dilahirkan pada tanggal 18 Juni 1998 di Kota DKI Jakarta oleh seorang sosok ibu yang tak tergantikan bernama Yanti Chandra, dan Ayahnya yang luar biasa bernama Rudy Gunawan. Memiliki dua orang adik perempuan bernama Gisela Jasica Gunawan dan Gabriela Garneta Gunawan.

Penulis mengawali jenjang pendidikan formal di sekolah Taman Kanak Kanak Triana II, Bekasi. Kemudian dilanjutkan dengan Sekolah Dasar Katolik Sang Timur Cakung. Pendidikan menengah pertama ditempuh di sekolah yang sangat luar biasa dan tercinta SMP Kolese Kanisius. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan di SMA Kolese Kanisius, sekolah homogen yang mengajarkan begitu banyak nilai kehidupan yang bermanfaat bagi penulis dan orang disekitarnya. Setelah melewati enam tahun di Kolese Kanisius, penulis melanjutkan studi perguruan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jurusan Teknik Mesin pada tahun 2016. Disini penulis mengembangkan banyak ilmu yang sebelumnya sudah didapatkan. Penulis menjadi bagian dari organisasi dan kepanitiaan yang ada. Aktif dalam berbagai kegiatan kampus, contohnya adalah menjadi Ketua Mesin ITS Autosport Periode 2018-2019, Menjadi Ketua Pelaksana Wisuda 116 Teknik Mesin ITS, Asisten Laboratorium Mekanika Benda Padat Tahun 2020, Panitia Kontes Mobil Hemat Energi, Juara 1 lomba Mechanical Engineering Entrepreneur Competition. penulis berhasil mengakhiri studi dan bergelar Sarjana Teknik Pada Tahun 2020.