



FINAL PROJECT- TM141585

**STUDI EKSPERIMEN DAN ANALISA KEAUSAN
JOURNAL BEARING DENGAN LAPISAN PASTA
PADA *ROTARY VALVE* MESIN PEMBUAT PASTA**

NAZIDATUL INAYAH
NRP. 2110100701

Dosen Pembimbing
Ir. Yusuf Kaelani, Msc.E

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



TUGAS AKHIR- TM141585

**STUDI EKSPERIMEN DAN ANALISA KEAUSAN
JOURNAL BEARING DENGAN LAPISAN PASTA
PADA *ROTARY VALVE* MESIN PEMBUAT PASTA**

NAZIDATUL INAYAH
NRP. 2110100701

Dosen Pembimbing
Ir. Yusuf Kaelani, Msc.E

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT – TM TM141585

**EXPERIMENTAL STUDY AND WEAR
ANALYSIS OF JOURNAL BEARING USING
PASTE LAYER IN ROTARY VALVE OF PASTE
MAKER MACHINE**

NAZIDATUL INAYAH
NRP. 2110100701

Adviser Lecturer
Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E.

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Industrial Engineering Faculty
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015

LEMBAR PENGESAHAN

“STUDI EKSPERIMEN DAN ANALISA KEAUSAN (WEAR ANALYSIS) JOURNAL BEARING DENGAN LAPISAN PASTA PADA ROTARY VALVE MESIN PEMBUAT PASTA “

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Nazidatul Inayah
Nrp. 2110 100 701

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Yusuf Kaelani, M.Sc. E (Pembimbing I)
2. Ir. Ari Joewono (Penguji I)
3. Dr. Ir. Agus Sigit P., DEA (Penguji II)



SURABAYA
Juli , 2015

STUDI EKSPERIMEN DAN ANALISA KEAUSAN JOURNAL BEARING DENGAN LAPISAN PASTA PADA ROTARY VALVE MESIN PEMBUAT PASTA

Nama Mahasiswa : Nazidatul Inayah
NRP : 2110100701
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Yusuf Kaelani, Msc.E

Abstrak

Setiap peralatan yang bergerak selalu mengalami kerusakan. Hal ini dikarenakan adanya dua benda yang saling berkontak atau bergesekan. Permasalahan yang dialami oleh salah satu industri ini adalah sering terjadi kebocoran pada mesin pembuatan pasta yaitu pada bagian rotary valve, dimana pada rotary valve ini terjadi kontak antara material polyoxymethylene (POM) dan SS316. Oleh karena itu perlu adanya sebuah penelitian untuk mengetahui specific wear rate material polyoxymethylene (POM) dengan hadirnya pasta.

Langkah-langkah penelitian yang dilakukan adalah sebelum dilakukan pengujian pada mesin tribometer, terlebih dahulu spesimen uji direndam dengan menggunakan pasta gigi pepsodent whitening untuk mengetahui pengaruh pasta terhadap material uji. Setelah direndam, spesimen uji ditimbang dengan menggunakan timbangan digital. Setelah itu dilakukan pengujian dengan menggunakan mesin tribometer dengan menggunakan pembebanan konstan yaitu 8 kg dan 3 variasi kecepatan yaitu pada speed control 50 (38,7 rpm), 60 (44,4 rpm) dan 70 (52,3 rpm). Pengujian dilakukan dengan menggunakan pelumas berupa pasta pepsodent whitening. Sebelum pengujian dimulai, dilakukan penimbangan massa awal spesimen uji yaitu massa setelah spesimen uji direndam dengan pasta gigi dan kalibrasi alat yaitu speed control dan load. Pengulangan dilakukan sebanyak 3 kali sesuai dengan speed control yang ditetapkan.

Setelah pengujian dilakukan foto mikro dan analisa struktur permukaan.

Hasil dari pengujian diatas didapatkan material rekomendasi yang memiliki nilai specific wear rate lebih baik dibandingkan dengan material polyoxymethylene (POM), yaitu polytetrafluoroethylene (PTFE). Dimana nilai specific wear rate polytetrafluoroethylene (PTFE) jauh lebih baik dibandingkan dengan material polyoxymethylene (POM). Yaitu yaitu pada saat kecepatan 0,04 m/s 3x lebih baik, pada kecepatan 0,046 m/s 2x lebih baik, dan pada kecepatan 0,054 m/s 1x lebih baik. Nilai specific wear rate ini juga berpengaruh terhadap umur hidup (life time) material. Yaitu pada saat kecepatan 0,04 m/s 2x lebih baik, pada kecepatan 0,046 m/s 1x lebih baik, dan pada kecepatan 0,054 m/s 1x lebih baik.

Kata kunci: Polyoxymethylene (POM), Polytetrafluoroethylene (PTFE), lubricated, wear rate

EXPERIMENTAL STUDY AND WEAR ANALYSIS OF JOURNAL BEARING USING PASTE LAYER IN ROTARY VALVE OF PASTE MAKER MACHINE

Name : Nazidatul Inayah
NRP : 2110100701
Department : Mechanical Engineering FTI-ITS
Advisor Lecture : Ir. Yusuf Kaelani MSc.E.

Abstract

Any equipment that moves always damaged. This is because the two objects come into contact or rub against each other. Problems experienced by one industry are often leak on machine of pasta makers that is on the rotary valve, wherein the rotary valve is in contact between the material polyoxymethylene (POM) and SS316. Therefore, need a experiment to determine the specific wear rate material polyoxymethylene (POM) with the presence of pasta.

Steps before the research is conducted testing on Tribometer machine, first test specimen is immersed by using Pepsodent toothpaste whitening pastes to determine the effect of the test material. After soaking, the test specimens were weighed using a digital scale. After it was examined by using a machine Tribometer with constant loading is 8 kg and 3 variations in speed control the speed of which 50 (38.7 rpm), 60 (44.4 rpm) and 70 (52.3 rpm). Tests carried out using a lubricant such as Pepsodent whitening paste. Before the test begins, weighing is done the initial mass is the mass of the test specimen after the test specimens soaked with toothpaste and calibration tools that speed and load control. Repetition done 3 times in accordance with the speed control set. After testing done micro photo and surface structure analysis.

Results of tests on material obtained which has a value of specific recommendations wear rate is better than the material POM, which is polytetrafluoroethylene(PTFE). Where the value

of specific wear rate of polytetrafluoroethylene (PTFE) is much better than the material polyoxymethylene (POM). Namely that when the speed of 0,04 m/s 3x better, at a speed of 0,046 m/s 2x better, and at a speed of 0,054 m/s 1x better. The value of specific wear rate also affects the lifetime of the material. Namely when the speed of 0,04 m/s 2x better, at a speed of 0,046 m/s 1x better, at a speed of 0,054 m/s 1xbetter.

Keywords: Polyoxymethylene (POM), polytetrafluoroethylene (PTFE), lubricated, wear rate

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, Dzat yang tak pandang sayang apabila menyayangi, dan tak pandang kasih apabila mengasihi yang telah melimpahkan rahmat, taufiq dan maunah-Nya sehingga Tugas Akhir yang berjudul “Studi Eksperimen dan Analisa Keausan *Journal Bearing* dengan Lapisan Pasta Pada *Rotary Valve* Mesin Pembuat Pasta “ini dapat terselesaikan dengan baik.

Laporan Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Tak lupa penulis ucapkan terimakasih yang tak terhingga kepada :

1. Bapak Akhmad Najib, S.Pdi dan Ibu Zainiyah sebagai orang tua terbaik, adek Moh. Syaiful Ma'arif yang sedang berada di Negri Jiran, adek Diflah Haula Nabiiyya, dan adek Nazid Abdullah Hayyi, serta keluarga yang tak henti-hentinya memberikan cinta, doa dan dukungan kepada penulis.
2. Ir. Yusuf Kaelani, MSc. E., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan ilmu serta pengetahuan berharga bagi penulis.
3. Dr. Ir. Agus Sigit P., DEA dan Ir. Ari Joewono selaku dosen penguji Tugas Akhir.
4. Bambang Pramujati, ST.,M.Eng,Sc,PhD., selaku Kepala Jurusan Teknik Mesin FTI ITS.
5. Prof. Dr. Ing. Herman Sasongko, selaku dosen wali yang tiap semester membantu penulis dengan saran-saran pengambilan mata kuliah.
6. Arif Wahjudi, ST., MT., Ph.D, selaku Kasie Proposal dan Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin FTI ITS.
7. Segenap dosen jurusan Teknik Mesin, terima kasih atas ilmu pengetahuan serta nasihat dan pengalaman yang telah diberikan, semoga Allah membalasnya, Amin.

8. Kementrian agama RI yang telah memberikan beasiswa kepada penulis.
9. Doi terbaik Iqbal Yasianto, ST yang selalu menemani penulis selama 5 tahun dikampus perjuangan, selalu memberikan motivasi, do'a, dan cinta kepada penulis.
10. Sahabat-sahabat paling ceria dan alay Endah, Galih, Dani yang selama 2 tahun terakhir ini menemani hari-hari penulis. Beruntung bisa memanggil mereka "sahabat"
11. Sahabat terbaik Nahariatul Hikmah yang telah menemani sekaligus tempat berbagi penulis selama masih kuliah maupun dari jarak jauh.
12. Partner Tugas Akhir paling baik, cantik dan istimewa Endah "Ndandul" Kurnia Ningsih.
13. Mas radon beserta sang istri hilya, yang telah banyak membantu.
14. Keluarga besar CSS MoRA 2010 serta teman-teman M53, yang selalu memberikan dukungan kepada penulis.
15. Karyawan Teknik Mesin ITS, khususnya Mas Faisal, Pak Pambudi, Pak Jo, Pak No, Cak To, Cak Bud, yang membantu penulis selama proses Tugas Akhir sampai Yudisium.
16. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis cantumkan satu persatu yang telah membantu atas terselesaikannya laporan Tugas Akhir ini.

Sekalipun Tugas Akhir ini selesai melalui proses yang cukup panjang dengan segala keterbatasan kemampuan serta pengetahuan penulis, oleh karena itu penulis mengharap kritik dan saran dari berbagai pihak untuk penyempurnaan lebih lanjut.

Besar harapan penulis agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, September 2015

Penulis

DAFTAR ISI

COVER	
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xv
ABSTRAK.....	xvii
ABSTRACT.....	xix
BAB 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 2 DASAR TEORI.....	5
2.1 Proses Terjadinya Keausan.....	5
2.2 <i>Polyoxymethylene</i> (POM).....	7
2.2.1 Karakteristik Material <i>Polyoxymethylene</i> (POM).....	7
2.3 Material Yang Direkomendasikan.....	9
2.3.1 <i>Polytetrafluoroethylene</i> (PTFE).....	9
2.3.2 Sifat Mekanik <i>Polytetrafluoroethylene</i> (PTFE).....	10
2.4 <i>Stainless Steel Aisi 316</i>	11
2.4.1 Sifat Mekanik Dan Karakteristik.....	11
2.5 Kesesuaian Kondisi Operasi Vs Eksperimen.....	13
2.5.1 Persamaan Gerak Linier.....	13
2.6 Teori Gesekan (<i>Friction</i>).....	13
2.7 Keausan (<i>Wear</i>).....	17
2.7.1 Pengertian Keausan.....	17
2.7.2 Mekanisme Keausan.....	19
2.8 Alat Uji Keausan Material.....	24
2.9 Pelumas.....	27

BAB 3 METODOLOGI	29
3.1 Diagram Alir Penelitian	29
3.2 Langkah-Langkah Penelitian.....	30
3.2.1 Perumusan Masalah Dan Studi Pustaka	30
3.2.2 Persiapan Alat Uji Tribometer Tipe <i>Pin On</i> <i>Disk</i>	30
3.2.3 Persiapan Specimen	30
3.2.4 Pengambilan Data Penelitian.....	31
3.2.5 Analisa Struktur Permukaan.....	31
3.2.6 Pengolahan Data Penelitian	31
3.2.7 Pembuatan Grafik Dan Analisa Hasil Penelitian	31
3.2.8 Kesimpulan,Saran,Rekomendasi	31
3.3 Langkah Kerja Pengujian	33
3.3.1 Studi Pustaka Dan Penentuan Material Uji	34
3.3.2 Persiapan Spesimen	34
3.3.3 Penimbangan Masa Awal Specimen	36
3.3.4 Perendaman Spesimen.....	36
3.3.5 Persiapan Alat Uji Tribometer Dan Kalibrasi ..	37
3.3.6 Penelitian : <i>Paste Lubrication</i>	39
3.3.7 Foto Mikro Struktur Permukaan.....	39
3.3.8 Analisa Dan Pembahasan	40
3.4 Spesifikasi Peralatan Tribometer	40
3.5 Spesifikasi Specimen.....	46
3.5.1 Stainless Steel.....	46
3.5.2 <i>Polytetrafluoroethylene</i> (PTFE)	46
3.6 Perancangan Eksperimen	46
BAB 4 ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	49
4.1 Data Hasil Eksperimen.....	49
4.1.1 Data Hasil Penimbangan	49
4.1.2 Data Perhitungan Eksperimen	49
4.1.2.1 <i>Polyoxymethylene</i> (POM) / <i>Poly Acetal</i> .	49
4.1.2.2 <i>Polytetrafluoroethylene</i> (PTFE).....	50
4.2 Pembahasan Grafik	50
4.2.1 <i>Polyoxymethylene</i> (POM) / <i>Poly Acetal</i>	50

4.2.1.1 Analisa Pengaruh Kecepatan Terhadap <i>Specific Wear Rate</i> Dengan Pembebanan 8kg	50
4.2.1.2 Analisa Pengaruh Kecepatan Terhadap <i>Wear Volume</i> Dengan Pembebanan 8kg	52
4.2.2 <i>Polytetrafluoroethylene (PTFE)</i>	57
4.2.2.1 Analisa Pengaruh Kecepatan Terhadap <i>Specific Wear Rate</i> Dengan Pembebanan 8kg	57
4.2.2.2 Analisa Pengaruh Kecepatan Terhadap <i>Wear Volume</i> Dengan Pembebanan 8kg	59
4.2.2.3 Analisa Struktur Permukaan Setelah Percobaan	62
4.3 Grafik Perbandingan Antara POM Dan PTFE	64
4.3.1 Grafik Perbandingan <i>Specific Wear Rate</i> Antara POM Dan PTFE	64
4.4 Perhitungan Umur Hidup (<i>Life Time</i>) Material Uji	66
BABA 5 KESIMPULAN DAN SARAN	69
5.1 Kesimpulan	69
5.2 Saran	70
DAFTAR PUSTAKA	xxi

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Rancangan eksperimen pengujian keausan <i>paste lubrication</i>	46
Tabel 4.1	Data hasil penimbangan sebelum dan sesudah direndam.....	49
Tabel 4.2	Data perhitungan hasil pengujian <i>polyoxymethylene</i> (pom) / <i>poly acetal</i> dengan <i>Stainless Steel</i> AISI 316 dengan menggunakan pasta sebagai pelumas (<i>paste lubrication</i>).....	50
Tabel 4.3	Data perhitungan hasil pengujian <i>polytetrafluoroethylene</i> (PTFE) dengan <i>stainless steel</i> AISI 316 dengan menggunakan pasta sebagai pelumas (<i>paste lubrication</i>).....	50
Tabel 4.4	Hasil perhitungan umur hidup material <i>Polyoxymethylene</i> (POM) / <i>Poly Acetal</i>	67
Tabel 4.5	Hasil perhitungan umur hidup material <i>Polytetrafluoroethylene</i> (PTFE).....	67

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses Hisap Mesin Pasta	5
Gambar 2.2	Proses <i>Filling</i> Mesin Pasta.....	5
Gambar 2.3	Komponen Rotary Valve	6
Gambar 2.4	<i>Housing Dan Sleeve Bearing</i>	7
Gambar 2.5	Sketsa Percobaan Oleh Leonardo	14
Gambar 2.6	Efek Gaya Normal Pada Koefisien Gesek	15
Gambar 2.7	Koefisien Gesekan Sebagai Fungsi Gaya Normal.....	15
Gambar 2.8	Efek Luas Proyeksi Pada Koefisien Gesek	16
Gambar 2.9	Koefisien Gesekan sebagai Fungsi Kecepatan Sliding.....	16
Gambar 2.10	Koefisien Gesekan Dari Berbagai Jenis Material	17
Gambar 2.11	Tiga Macam Kurve Keausan.....	18
Gambar 2.12	Specific Wear Rate Pada Material Logam Dengan Berbagai Kondisi Pelumasan	19
Gambar 2.13	Berbagai Macam Mekanisme Keausan	20
Gambar 2.14	Pengamatan <i>Micrographs</i> Keausan Adhesive	21
Gambar 2.15	Mekanisme Keausan Adesif.....	21
Gambar 2.16	Pengamatan <i>Micrographs</i> Keausan Abrasive..	21
Gambar 2.17	Mekanisme Keausan Abrasive.....	21
Gambar 2.18	Keausan Lelah Pada Ball Bearing	22

Gambar 2.19	Mekanisme Keusan Lelah.....	22
Gambar 2.20	Keausan Korosif Pada Baja.....	23
Gambar 2.21	Mekanisme Keausan Korosif.....	23
Gambar 2.22	Berbagai Macam Alat Uji Keausan	24
Gambar 2.23	Eksperimental Alat Uji Keausan Type.....	26
Gambar 2.24	Efek Variasi Load (Grafik Kiri).....	27
Gambar 3.1	Flowchart Penelitian	29
Gambar 3.2	Flowchart Pengujian	33
Gambar 3.3	Desain Pin.....	34
Gambar 3.4	POM Dan PTFE Sebagai Pin.....	35
Gambar 3.5	Desain Disk.....	35
Gambar 3.6	<i>Stainless Steel</i> Sebagai <i>Disk</i>	36
Gambar 3.7	Timbangan Digital	36
Gambar 3.8	Tribometer Tipe Pin On Disk.....	37
Gambar 3.9	Hasil Kalibrasi Pembebanan	38
Gambar 3.10	Paste Lubrication Type Pepsodent Whitening	39
Gambar 3.11	Pengujian Dengan Menggunakan Pelumas Berupa Pasta.....	39
Gambar 3.12	Mikroskop Optik Perbesaran 200 Kali.....	40
Gambar 3.13	Tribometer Tipe Pin On Disk.....	42
Gambar 3.14	Metal Main Holder.....	43
Gambar 3.15	Casing Holder	43
Gambar 3.16	Casing Holder Dan Komponen Penyusun Bagian Dalam Casing.....	43

Gambar 3.17	Ulir Load Adjuster	44
Gambar 3.18	Ulir Penutup Casing	44
Gambar 3.19	Dummy	45
Gambar 3.20	Pegas	45
Gambar 3.21	Pencengkeram Pin.....	45
Gambar 4.1	Grafik <i>specific wear rate</i> terhadap <i>speed</i> dengan pembebanan konstan 8 kg	50
Gambar 4.2	Grafik <i>wear volume</i> terhadap <i>speed</i> dengan pembebanan konstan 8 kg	53
Gambar 4.3	Foto mikro perbesaran 200X POM a) sebelum pengujian b) setelah direndam dengan pasta gigi <i>pepsodent whitening</i> selama 24 jam	54
Gambar 4.4	Foto mikro perbesaran 200X POM pembebanan 8 kg setelah pengujian a) pada kecepatan 0,04 m/s. b) pada kecepatan 0,046 m/s. c) pada kecepatan 0,055 m/s	55
Gambar 4.5	Grafik <i>specific wear rate</i> terhadap <i>speed</i> dengan pembebanan konstan 8 kg	58
Gambar 4.6.	Grafik hubungan <i>wearvolume</i> dengan variasi kecepatan pada pembebanan konstan 8 kg.....	60
Gambar 4.7	Foto mikro perbesaran 200X PTFE a) sebelum pengujian; b) setelah direndam dengan pasta gigi Pepsodent Whitening selama 24 jam.....	61
Gambar 4.8	Ilustrasi skematis keausan oksidasi.....	62

- Gambar 4.9** Foto mikro perbesaran 200X PTFE pembebanan 8 kg setelah pengujian a) pada kecepatan 0,04 m/s. b) pada kecepatan 0,046 m/s. c) pada kecepatan 0,055 m/s 62
- Gambar 4.10** Diagram batang perbandingan nilai *specific wear rate* terhadap kecepatan antara material *polyoxymethylene (POM)* / *poly acetal* dan *polytetrafluoroethylene (PTFE)* 65

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Setiap peralatan yang bergerak selalu mengalami kerusakan. Hal ini dikarenakan adanya dua benda yang saling berkontak atau bergesekan. Masalah utama yang dialami oleh dunia industri selama ini adalah bagaimana cara mengurangi atau mencegah kerugian energi akibat adanya gesekan. Gesekan biasanya didefinisikan sebagai gaya lawan (*opposing force*) yang terjadi bilamana dua permukaan saling bergerak relatif antara satu dengan yang lainnya. Gesekan yang terjadi ini bisa menimbulkan rusak atau hilangnya partikel dari suatu material yang dinamakan dengan keausan. Keausan terjadi apabila terdapat dua buah benda saling menekan dan saling bergesekan. Keausan yang lebih besar terjadi pada bahan yang lebih lunak. Faktor-faktor yang mempengaruhi keausan adalah kecepatan tekanan, kekasaran permukaan dan kekerasan bahan. Gesekan yang terjadi akan menimbulkan panas dan juga menyebabkan keausan.

Salah satu cara untuk mengatasi adanya keausan adalah dengan adanya pelumas. Pada dasarnya fungsi utama pelumas adalah mencegah atau mengurangi keausan sebagai akibat dari kontak langsung antara permukaan logam yang satu dengan permukaan logam lain secara terus menerus bergerak. Selain keausan dapat dikurangi, permukaan logam yang terlumasi akan mengurangi besar tenaga yang diperlukan akibat terserap gesekan, dan panas yang ditimbulkan oleh gesekan akan berkurang serta dapat memperpanjang *life time* material dan kinerja mesin.

Pada tugas akhir ini akan dilakukan penelitian terhadap laju keausan material *polyoxymethylene* (POM) atau yang biasa dikenal dengan *poly acetal* pada mesin pembuat pasta. Dimana pada material ini seringkali terjadi keausan, sehingga setiap 3 bulan sekali harus diperbarui dengan material yang sama. Salah

satu penyebab keausan pada material ini adalah dikarenakan kontak langsung dengan pasta.

Maka dari itu pada tugas akhir ini akan dilakukan penelitian seberapa besar pengaruh pasta terhadap laju keausan (*wear rate*) *polyoxymethylene* (POM) pada mesin pembuat pasta dan umur hidup (*life time*) dari mesin pembuat pasta.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh pasta terhadap *life time* material *polyoxymethylene* (POM)?
2. Bagaimanakah *wear rate coefficient* material *polyoxymethylene* (POM)?
3. Material apakah yang sekiranya memiliki wear rate yang lebih baik dari *polyoxymethylene* (POM)?

1.3 Batasan Masalah

Agar tujuan dari penulisan tugas akhir ini lebih terarah dan sistematis, maka diperlukan adanya batasan masalah sebagai berikut :

1. Tidak membahas struktur mikro material uji
2. Tidak ada kesalahan dalam pemasangan komponen mesin
3. Tidak ada kenaikan temperatur
4. Kekasaran permukaan dianggap sama
5. Tekanan operasional konstan
6. Pasta yang digunakan adalah *Pepsodent Whitening*
7. Speed control yang digunakan adalah 50,60 dan 70
8. Beban yang digunakan konstan 8 kg
9. Kekasaran permukaan dianggap sama

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui *life time* material *polyoxymethylene* (POM) dengan adanya pasta sebagai pelumas

2. Mendapatkan *wear rate coefficient* material *polyoxymethylene* (POM)
3. Mencari *alternative* material *polyoxymethylene* (POM) yang memiliki *wear rate* lebih baik

1.5 MANFAAT PENELITIAN

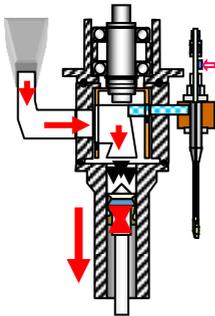
Tujuan yang ingin dicapai dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai rekomendasi dalam pemilihan material untuk mesin pembuat pasta.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

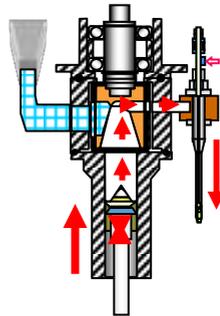
BAB II DASAR TEORI

2.1 Proses Terjadinya Keausan

Pada proses pembuatan pasta, komponen mesin yang sering terjadi keausan adalah pada *rotary valve* pada proses pengisian (*filling*). Proses *Filling* berfungsi untuk memindahkan pasta dari *hoper* ke *tube product*, sedangkan *rotary valve* berfungsi untuk mengarahkan pasta keluar dari *dosing cylinder* lewat pipa *rotary valve* kemudian menuju ke *filling station*. Pada bagian *rotary valve* ini terdapat 2 proses yaitu proses hisap (*sipping*) dan proses pengisian (*filling*). Pada saat proses hisap, penggerak *rotary* menggerakkan lubang saluran pada *rotary valve* dan membuka kearah saluran *hoper* (menutup pada saluran *nozzle*) dan dengan bersamaan piston bergerak turun sehingga pasta terhisap masuk pada *dosing piston*. Lihat gambar 2.1 dan gambar 2.2. Sedangkan pada saat proses pengisian (*filling*), penggerak *rotary* menggerakkan lubang saluran pada *rotary valve* dan membuka kearah saluran *nozzle* (menutup pada saluran *hopper*) dan dengan bersamaan piston bergerak naik, serta stik *nozzle* juga naik sehingga pasta terdorong keluar menuju *nozzle* sehingga terjadi proses pengisian pada *tube*.

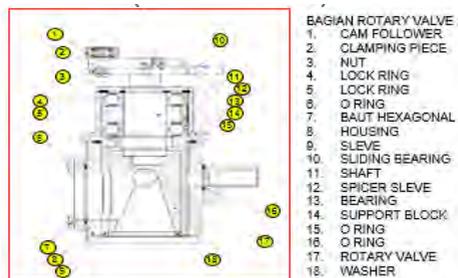


Gambar 2.1 Proses Hisap
Mesin Pasta

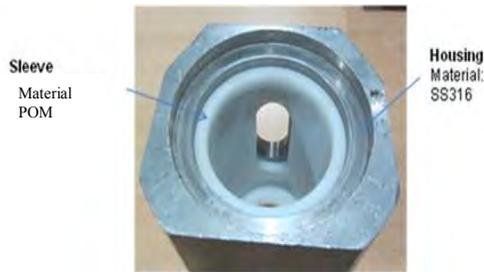


Gambar 2.2 Proses *Filling* Mesin
Pasta

Dari kedua proses diatas, terjadi kontak langsung antara pasta dengan material *Polyoxymethylene* (POM) dan *Stainless Steel* SS316 yang sering terjadi keausan. Dimana material *Stainless Steel* SS316 berperan sebagai *housing* dan *Polyoxymethylene* (POM) sebagai *sleeve bearing*. Selama proses kerja, *Polyoxymethylene* (POM) berputar 90° terhadap *Stainless Steel* SS316. *Gap* antara *housing* dan *sleeve bearing* sengaja didesain sedemikian rupa dengan toleransi yang sangat kecil. Hal ini dimaksudkan untuk mengurangi kemungkinan masuknya pasta pada *gap* tersebut. Dikarenakan jika pasta masuk pada *gap* tersebut, akan terjadi kebocoran sehingga pasta akan masuk pada komponen mesin yang lainnya dan mengakibatkan proses dihentikan dan harus diperbarui dengan material yang baru. Komponen mesin dijelaskan pada gambar 2.3 dan gambar 2.4. Namun pada kenyataannya, sering terjadi kebocoran pada bagian ini sehingga mengharuskan setiap 3 bulan sekali dilakukan pembaruan komponen mesin dengan material yang sama, dikarenakan *gap* antara *housing* dan *sleeve bearing* semakin besar. Proses kebocoran ini dicurigai karena hadirnya pasta yang kontak langsung dengan *Polyoxymethylene* (POM), dan membuat laju keausan (*wear rate*) *Polyoxymethylene* (POM) ini semakin cepat. Namun belum ada penelitian khusus terkait masalah ini, dan pembaruan dilakukan setiap 3 bulan sekali.



Gambar 2.3. komponen *rotary valve*



Gambar 2.4. *Housing dan Sleeve Bearing*

2.2 Polyoximethylene (POM) / Polyacetal

2.2.1 Karakteristik Material POM

Polyacetal adalah polimer dengan tingkat kekuatan dan kekakuan yang sangat baik. Stabilitas dimensi yang baik dan ketahanan terhadap gesekan membuatnya sangat cocok untuk digunakan dalam aplikasi bagian-bagian mesin, seperti dalam pembuatan roda gigi, roda dan bushing. Ketahanan terhadap cuaca dan bobotnya yang relatif ringan juga menjadikannya pilihan terbaik sebagai pengganti logam. *Polyacetal* merupakan salah satu polymer *food grade*, sehingga cocok digunakan untuk proses industri yang terjadi kontak langsung dengan makanan atau produk-produk lainnya seperti pepsodent, minyak dan yang lainnya. Kombinasi koefisien gesek rendah, tingkat abrasi yang baik dan kekerasan material, cocok untuk aplikasi-aplikasi yang membutuhkan presisi tinggi. Dapat diaplikasikan pada temperature +100 °C, tahan terhadap *hydrolisis* pada suhu 60 °C. POM, atau polyacetal, merupakan material thermoplastik yang sering digunakan untuk menggantikan beberapa aplikasi-aplikasi metal. Karakteristik utamanya adalah koefisien gesek yang rendah (0.35), tahan aus, dan permukaannya yang keras. Selain itu, POM juga tahan terhadap cairan basa, bensin, alkohol, dan pelumas. Nilai ketahanan elastis E-modulus of elasticity (E-modul) yang cukup tinggi mencapai 2600 MPa dan kekerasan permukaan yang cukup (notch impact strenght) membuat POM lebih ulet tahan menerima gaya tekan dan Tarik. Tingkat

penyerapan air yang sangat rendah hanya 0.2 %, juga memberi kelebihan tersendiri bagi POM membuat stabilitas dimensi selalu terjaga. Kombinasi optimal dari tingginya tegangan tarik 63 MPa, tingginya tingkat kelicinan, kekerasan permukaan dan tegangan ikatan antar molekul yang optimal menjadikan POM sangat cocok dan disarankan pada aplikasi yang menuntut kestabilan dimensi, ketelitian tinggi seperti contoh aplikasi *parts* mesin bergeometri kompleks dan rumit yang menuntut kestabilan dan presisi tinggi.

Ada 2 tipe *polyacetal* yaitu homopolimer dan kopolimer. *Acetal* homopolimer merupakan polimer kristalin yang dibuat dari formaldehida. Resin ini secara teknis disebut polioksi metilena (POM). Asetal homopolimer dapat dicampur dengan aditif seperti : antioksidan, pelumas, filler, pewarna, UV stabilizer, dll. Resin ini aslinya berwarna putih buram. Sifat-sifat umum resin asetat adalah:

1. **Strength**

Tanpa adanya modifikasi, resin ini mempunyai kekuatan tarik, kekuatan kompresi dan ketahanan gesek yang tinggi. Resin ini halus dan deformasinya rendah jika diberi beban. Resin ini mempunyai batas leleh bengkokan (*flexural fatigue*) yang tinggi sehingga baik digunakan sebagai bahan baku pegas.

2. **Toughness**

Resin ini umumnya liat, tahan pukulan meskipun pada suhu rendah, kemulurannya pada suhu kamar mencapai 12% dan pada suhu yang lebih tinggi mencapai 18%.

3. **Thermal**

Titik leleh homopolimer asetat lebih rendah daripada *engineering thermoplastic* lainnya.

4. **Elektrikal**

Sifat elektrikalnya dipengaruhi oleh kandungan uap air. Konstanta dielektrikalnya bervariasi dari frekuensi 102-106 Hz, dan *dielectric strength*-nya tinggi.

5. **Chemical**

Tahan terhadap bermacam-macam pelarut, eter, minyak pelumas, minyak, bensin, bahan bakar dari methanol, dll.

6. ***Friksi/umur pakai***

Sifat pakai dan friksi baik karena permukaannya lebih keras dan koefisien gesekannya rendah.

2.3 Material yang direkomendasikan

2.3.1 *Polytetrafluoroethylene (PTFE)*

Polytetrafluoroethylene (PTFE) berasal dari bahan dasar *fluorocarbon solid*, karena berat molekul senyawa seluruhnya terdiri dari karbon dan *fluor*. Struktur molekul teflon adalah berupa rantai atom karbon yang panjang, mirip dengan polimer lainnya. Rantai atom yang panjang ini dikelilingi oleh atom *fluor*. Ikatan antara atom karbon dengan *fluor* sangat kuat. Karbon terdapat di dalam semua makhluk hidup dan merupakan dasar kimia organik. Unsur ini juga memiliki keunikan dalam kemampuannya untuk membentuk ikatan kimia dengan sesama karbon maupun banyak jenis unsur lain, membentuk hampir 10 juta jenis senyawa yang diketahui. Unsur ini adalah unsur yang paling stabil diantara unsur-unsur yang lain.

Fluor adalah unsur yang paling *elektronegatif* dan reaktif bila dibandingkan dengan semua unsur. Berwarna kuning pucat, gas korosif, yang bereaksi dengan banyak senyawa organik dan anorganik, seperti logam, kaca, keramik, karbon, bahkan air terbakar dalam *fluor* dengan nyala yang terang. *Fluor* sangat reaktif sehingga jarang ditemukan dalam keadaan bebas, *fluor* biasa dijumpai berikatan dengan unsur atau senyawa lain.

Pada proses pembuatan teflon digunakan juga zat kimia lain yang bernama *Perfluorooctanoic acid* (PFOA atau C8) yang merupakan garam ammonia. Zat ini digunakan sebagai surfaktan dalam *emulsi polimer* PTFE. Karena itu zat kimia pada lapisan antilengket mengandung berbagai logam yang berbahaya seperti merkuri dan zat PFOA yang bersifat karsinogen. n

Teflon juga merupakan bahan sintetik yang sangat kuat, umumnya berwarna putih. Teflon tahan terhadap panas sampai

kira-kira 250°C, dan diatas 250°C teflon mulai melunak, di dalam api akan meleleh dan sulit menjadi arang. Berat jenisnya kira-kira 2,2 g/cm³. Teflon tidak tahan terhadap larutan alkali hidroksida. Juga kurang tahan terhadap hidrokarbon yang mengandung khlor. Teflon digunakan sebagai bahan penyekat, misalnya untuk kotak penyekat (*Stuffing Box*), cincin geser, cincin O atau O-ring, untuk gasket konsentrik dengan diberi bahan lunak (sebab teflon tidak begitu elastis, alat-alat yang kecil, pipa, slang selubung pipa. Material PTFE pada dasarnya adalah sebuah bentuk *tetrafluoroetilena dipolimerisasi* (TFE), yang merupakan senyawa yang dapat diciptakan melalui kombinasi kloroform, asam klorida, dan *fluorspar*. Zat kimia ini ditempatkan dalam ruang reaksi dipanaskan sampai antara 1000 dan 1700 derajat Fahrenheit, kemudian didinginkan dan dimurnikan untuk menghilangkan kontaminan. Pada tahap awal, TFE adalah gas beracun tidak berbau dan biasanya bertekanan dan disimpan dalam keadaan cair sebelum produksi teflon dapat dimulai. TFE sangat mudah terbakar, terutama dalam bentuk gas, sehingga beberapa produsen PTFE memproduksi *on-site* untuk menghindari potensi risiko yang terlibat dalam pengangkutan ke fasilitas terpisah.

2.3.2 Sifat Mekanik *Polytetrafluoroethylene* (PTFE)

Beberapa sifat mekanik yang ada pada bahan teflon antara lain sebagai berikut :

- 1) Kekuatan (*strength*) dan ketangguhan (*toughness*)
 - a. Sifat sintetisnya sangat Kuat
 - tahan panas dari 100 sampai 250 °C.
 - tidak bisa menjadi arang jika dibakar
 - b. Teflon memiliki titik leleh 342°C.
 - c. Tidak tahan oleh alkali hidroksida dan kurang tahan dengan hidrokarbon yang mengandung khlor.
 - d. Tahan akan gesekan.
 - e. Tahan akan kimia kecuali alkali hidroksida dan hidrokarbon.

- f. Karena teflon adalah termasuk bahan penyekat maka teflon tahan oleh uap air.
- 2) Memiliki resistivitas atau hambatan listrik yang besar.
- 3) Kekerasan (*thougness*)
 Karena teflon termasuk bahan penyekat bentuk padat maka teflon memiliki kekerasan yang tinggi
- 4) Elastisitas
 Karena teflon termasuk bahan penyekat bentuk padat maka teflon memiliki kemampuan elastisitas yang rendah.

PTFE memiliki titik lebur yang relatif tinggi (dikarenakan oleh kekuatan gaya tarik antara rantai-rantainya) dan sangat resisten terhadap serangan kimia. Rantai karbon begitu melekat pada atom-atom *fluorin* sehingga tidak ada yang bisa mencapainya untuk bereaksi dengannya. Ini bermanfaat dalam industri kimia dan dalam industri makanan untuk melapisi wadah dan membuat wadah-wadah tersebut kebal terhadap hampir segala sesuatu yang dapat membuatnya korosi.

2.4 Stainless Steel Aisi 316

2.4.1 Sifat Mekanik dan Karakteristik *Stainless Steel Aisi 316*

Stainless steel adalah logam paduan dari beberapa unsur logam dengan komposisi tertentu. Sehingga didapatkan sifat baru dari logam tersebut yang lebih kuat, lebih tahan terhadap korosif, dan sifat unggul lainnya. *Stainless steel* terbagi menjadi beberapa *grade* berdasarkan struktur metalurginya. Khusus untuk aplikasi dalam pembuatan mesin pengolah makanan, biasanya digunakan jenis *stainless steel food grade* (SS 304, SS 316). Grade 316 selain disebut sebagai Food Grade, juga dikenal sebagai Marine Grade, daya tahan korosinya lebih baik dari grade 304, dan memiliki daya tahan korosi terhadap air garam (salt water), serta harganya lumayan lebih mahal dari grade 304.

SS-316 mengandung 16% chromium, 10% nickel and 2% molybdenum. Penambahan molybdenum ini untuk membantu daya tahan korosi pada lingkungan khlorida (air laut / air garam).

Grade 316 diperlukan untuk keadaan khusus seperti resistensi tinggi terhadap korosi pitting dan celah (pitting & crevice corrosion) dan juga pada lingkungan khlorida.

Penggunaan alat pengolah makanan yang terbuat dari logam tahan karat (*stainless steel*) *food grade* sudah menjadi kebutuhan bagi industri pengolah makanan. Hal ini dilakukan agar kualitas produk makanan atau minuman yang dihasilkan tetap terjaga dan aman bagi kesehatan konsumen.

Berikut beberapa alasan perlunya penggunaan plat stainless steel food grade pada alat pengolah makanan dan minuman yaitu :

1. Untuk menghindari kontaminasi kimia baja terhadap produk makanan

Dengan memilih tipe *stainless steel* yang tepat, maka hampir tidak ada kontaminasi bahan kimia logam terhadap produk olahan makanan, seperti perubahan warna dan rasa. Biasanya grade yang tepat untuk produk makanan dan minuman adalah grade SS 304 atau SS 316.

2. Mudah dibersihkan, anti korosif, dan tahan terhadap bakteri

Pada *hi-grade stainless steel* mudah dibersihkan dari kontaminasi luar karena memiliki permukaan yang halus. Sifat keras dan ketahanan impak baja tahan karat juga memberikan dampak positif saat proses pembersihan komponen dilakukan. Ketahanan terhadap korosi yang tinggi memudahkan pengguna dapat membersihkan dengan pembersih dan disinfektant yang tergolong korosif.

3. Sifat mekanik yang cukup baik secara keseluruhan

Kekuatan, ketahanan, dan ketahanan abrasi yang tinggi pada baja tahan karat (*stainless steel*) austenitik nilai positif dalam penggunaan untuk aplikasi di industri makanan dan minuman.

2.5 Kesesuaian Kondisi Operasi Vs Eksperimen

2.5.1 Persamaan Gerak Linier

Untuk menyamakan kondisi operasi pada mesin pembuatan pasta dengan percobaan yang ada di laboratorium, maka digunakan persamaan kecepatan linier. Dimana kecepatan pada mesin adalah 44 rpm. Dari kecepatan mesin didapat kecepatan sudut :

$$\omega = 44 \text{ rpm} \times \frac{2\pi}{60} = 4,605 \frac{\text{rad}}{\text{sec}} \quad (2.1)$$

Dari kecepatan sudut diatas dapat dicari kecepatan linier yang nantinya akan digunakan saat percobaan yaitu :

$$V_R = r \times \omega_1 \quad (2.2)$$

Dimana :

r : jari-jari material *Polyoximethylene* (m)

ω_1 : kecepatan rotational mesin pembuat pasta ($\frac{\text{rad}}{\text{sec}}$)

Diketahui : r = 72 mm = 0,072 m

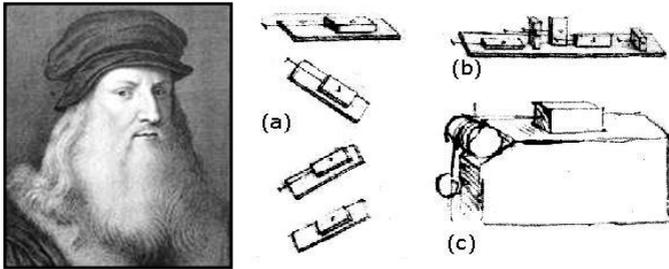
$$\omega_1 = 4,605 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} V_R &= 0,072 \text{ m} \times 4,605 \frac{\text{rad}}{\text{sec}} \\ &= 0,045 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \end{aligned}$$

2.6 Teori Gesekan (*Friction*)

Leonardo Da Vinci (1452 - 1519) adalah orang pertama yang melakukan studi kuantitatif pada masalah gesekan. Eksperimen yang dilakukan adalah meletakkan balok pada bidang datar dan memberikan beban yang digantungkan untuk membuat balok tersebut bergerak sliding seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5 berikut ini.



Asli sketches dari percobaan pada Leonardos gesekan.

Gambar 2.5 Sketsa percobaan gesekan oleh Leonardo Da Vinci
 (a) Balok (b) Balok pada bidang datar (c) Balok pada bidang miring (*Wikipedia.org*)

Dengan metode ini, Da Vinci hanya mampu mengukur gesekan statis dan kemungkinan besar dia tidak menyadari perbedaan antara gesekan statis dan kinetik Da Vinci menemukan dua hukum gesekan, yaitu :

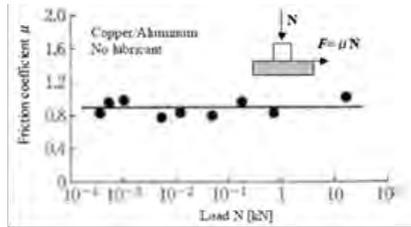
1. Gesekan yang ditimbulkan oleh beban yang sama akan memiliki nilai resistansi yang sama pada awal balok bergerak walaupun balok memiliki panjang dan lebar yang berbeda.
2. Gaya gesekan akan menjadi dua kali lipat apabila massa juga dibuat dua kali lipat.

Da Vinci mendefinisikan koefisien gesekan sebagai rasio dari gaya gesekan dibagi dengan gaya normal, yang dirumuskan:

$$F = \mu \cdot N \quad (2.3)$$

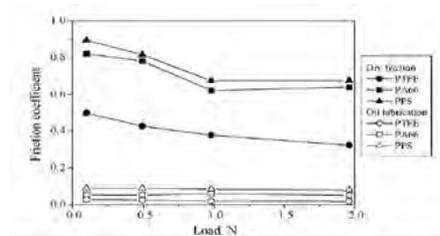
Dimana F adalah gaya gesekan, μ adalah koefisien gesekan, dan N adalah gaya normal. Hukum inilah yang menjadi dasar hukum gesekan hingga sekarang.

Koefisien gesekan tanpa pelumasan (*dry friction*) sebagai fungsi dari beban normal tembaga (*copper*) pada aluminium yang tidak diberi pelumasan ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Efek gaya normal pada koefisien gesekan untuk tembaga sliding pada aluminium (Azhari, 2009)

Pengujian juga dilakukan oleh Bin-Bin Jia, Tong-Sheng Li, Xu-Jun Liu, Pei-Hong Cong untuk mendapatkan efek gaya normal pada koefisien gesekan pada berbagai jenis polimer, yaitu Polyamide 66 (PA66), Polyphenylene Sulfide (PPS), dan Polytetrafluoroethylene (PTFE) dengan pemberian pelumas dan tanpa pelumas paraffin, hasilnya seperti diperlihatkan pada Gambar 2.7.

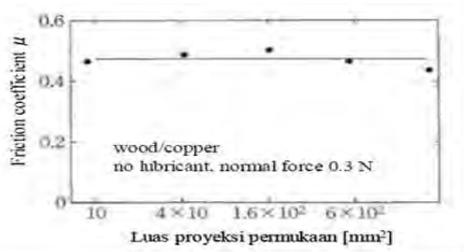


Gambar 2.7 Koefisien gesekan sebagai fungsi gaya normal pada berbagai macam jenis polimer (Bin-Bin Jia, Tong-Sheng Li, Xu-Jun Liu, Pei-Hong Cong, 2007)

Diilhami oleh Da Vinci, hukum mengenai gesekan dirumuskan juga oleh fisikawan Perancis yaitu Guillaume Amontons (1699) yang menyatakan bahwa koefisien gesekan tidak bergantung pada luas proyeksi permukaan yang bersentuhan.

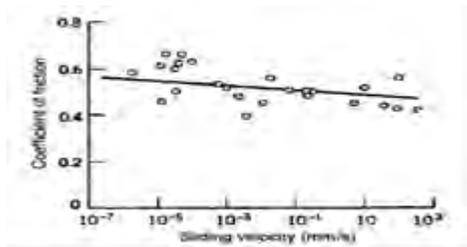
Koefisien gesekan tanpa pelumas dari kayu (*wood*) sliding pada tembaga seperti terlihat pada Gambar 2.8, dimana area kontak bervariasi dan gaya normal dibuat konstan, koefisien

gesekan mendekati konstan, mendukung hukum gesekan Amontons. Koefisien gesekan mungkin tidak mendekati konstan untuk material lunak seperti polimer dan permukaan yang licin (dimana luasan sesungguhnya kontak secara efektif sama dengan luasan kontak yang terjadi), sebagai contoh koefisien gesekan pada roda ban mobil semakin meningkat dengan peningkatan ukuran lebar dari ban.



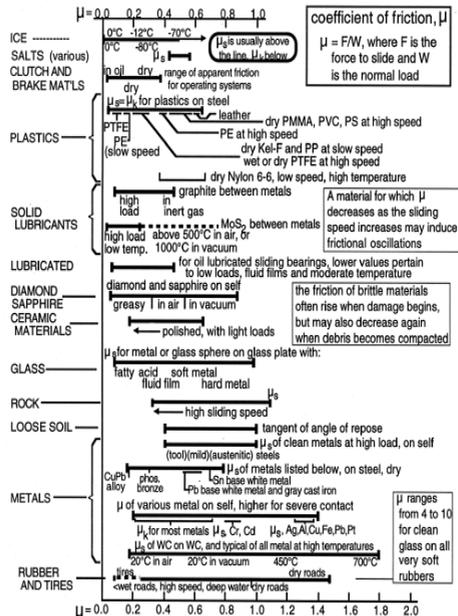
Gambar 2.8 Efek Luas Proyeksi Permukaan pada Koefisien Gesekan Kayu Sliding pada Tembaga dengan Gaya Normal Konstan 0.3 N (Azhari, 2009)

Hukum gesekan yang ketiga dinyatakan oleh fisikawan Perancis C.A Coulomb (1785) yaitu membedakan antara gaya gesek statis dan kinetis, dan gaya gesek kinetis tidak berhubungan dengan kecepatan *sliding* permukaan. Akan tetapi hukum ini dalam beberapa kasus tidak sesuai dengan hasil percobaan, karena secara umum koefisien gesek kinetis sebagai fungsi kecepatan *sliding* mempunyai tren kemiringan negatif (*negative slope*), seperti pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Koefisien gesekan sebagai fungsi kecepatan sliding untuk titanium sliding pada titanium pada gaya normal 3N (Tegar, 2010)

Material memiliki nilai koefisien gesekan yang beraneka ragam seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Koefisien gesekan dari berbagai jenis material (Tegar, 2010)

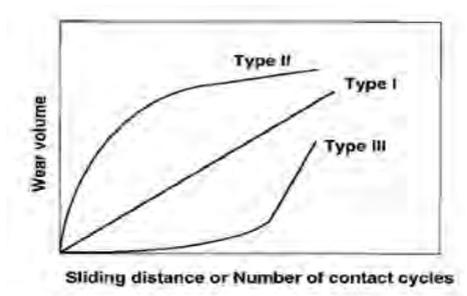
2.7 Keausan (Wear)

2.7.1 Pengertian Keausan

Sifat yang dimiliki oleh material terkadang membatasi kinerjanya. Namun demikian, jarang sekali kinerja suatu material hanya ditentukan oleh satu sifat, tetapi lebih kepada kombinasi dari beberapa sifat. Salah satu contohnya adalah ketahanan aus (*wear resistance*) merupakan fungsi dari beberapa sifat material (kekerasan, kekuatan, dan lain-lain).

Keausan dapat didefinisikan sebagai rusaknya permukaan padatan, umumnya melibatkan kehilangan material yang progresif

akibat adanya gesekan antar permukaan padatan. Keausan merupakan hal yang biasa terjadi pada setiap material yang mengalami gesekan dengan material lain. Keausan bukan merupakan sifat dasar material, melainkan respon material terhadap sistem luar (kontak permukaan). Material apapun dapat mengalami keausan disebabkan oleh mekanisme yang beragam. Akibat negatif yang ditimbulkan adalah ketahanan (*durability*) dan kehandalan (*reliability*) dari mesin berkurang saat mengalami keausan. Dengan mengetahui volume keausan, kekasaran permukaan, dan bentuk partikel memberikan informasi penting tentang keausan. Tiga macam tipe keausan bisa dilihat pada Gambar 2.11.

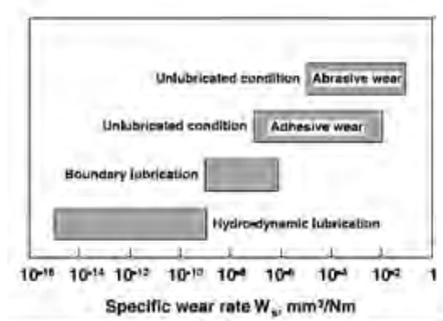


Gambar 2.11 Tiga macam tipe kurva keausan (*Data from Archard, 1953; Bhansali, 1980; Hirst, 1957; Hokkirigawa, 1997; Holm, 1946; Lancaster, 1978; Rabinowicz, 1980*).

Kurva volume keausan sebagai fungsi jarak *sliding* atau banyak kontak permukaan dalam suatu siklus seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10. Tipe I menunjukkan nilai keausan yang konstan dari keseluruhan proses, tipe II menunjukkan suatu peralihan yang mulanya *rate* keausannya tinggi lalu keausannya konstan pada *rate* rendah, tipe keausan ini sering diamati pada jenis material logam, tipe III menunjukkan bencana besar peralihan dari *rate* keausan rendah menuju *rate* keausan yang begitu tinggi, seperti kelelahan patah (*fatigue fracture*), ini terjadi pada material jenis keramik.

Pada umumnya, keausan dievaluasi dengan jumlah kehilangan dan keadaan permukaan yang aus. Derajat keausan dinyatakan dengan *wear rate*, *specific wear rate*, atau *wear coefficient*. *Wear rate* didefinisikan sebagai volume keausan persatuan jarak. *Specific wear rate* didefinisikan sebagai volume keausan persatuan jarak dan persatuan beban. *Wear coefficient* adalah hasil dari *specific wear rate* dengan kekerasan (*hardness*) dari material yang aus.

Pada Gambar 2.12 ditunjukkan *specific wear rate* berbagai material logam dengan berbagai kondisi pelumasan yang menunjukkan distribusi antara range 10^{-15} hingga 10^{-1} mm³/Nm.

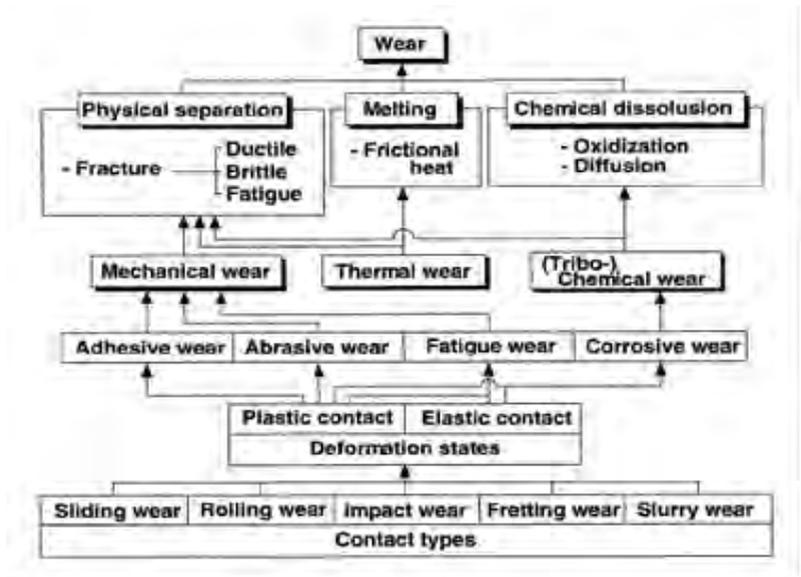


Gambar 2.12 *Specific wear rate* pada material logam dengan berbagai kondisi pelumasan (Data from Archard, 1953; Bhansali, 1980; Hirst, 1957; Hokkirigawa, 1997; Holm, 1946; Lancaster, 1978; Rabinowicz, 1980).

Distribution of *specific wear rate* of metallic materials in sliding contact under different *Lubrication* conditions. (Data from Archard, 1953; Bhansali, 1980; Hirst, 1957; Hokkirigawa, 1997; Holm, 1946; Lancaster, 1978; Rabinowicz, 1980).

2.7.2 Mekanisme Keausan

Seperti telah digambarkan pada Gambar 2.13 keausan dapat terjadi melalui empat macam mekanisme, berikut ini adalah penjelasan dari masing - masing mekanisme keausan.



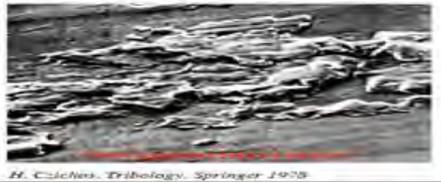
Gambar 2.13 Berbagai macam mekanisme keausan yang timbul karena efek kontak permukaan (Tegar, 2010)

Berikut ini adalah penjelasan dari Gambar 2.13 mengenai berbagai macam tipe keausan yang dihasilkan oleh berbagai macam variasi

1. Keausan adesif (*adhesive wear*)

Keausan adesif terjadi bila kontak permukaan dari material atau lebih mengakibatkan adanya perlekatan (*adhesive*) antara satu sama lain, serta deformasi plastis dan pada akhirnya terjadi pengikatan (*bonding*) permukaan material yang satu oleh yang lain, seperti ditunjukkan pada gambar 2.14 dan mekanismenya pada Gambar 2.15.

Faktor yang menyebabkan terjadinya keausan adesif antara lain kontaminasi permukaan dan terjadinya ikatan (*bonding*) antar molekul pada material, yaitu ikatan ion, kovalen, ikatan logam, atau ikatan van der Waals dari material yang bergesekan.



Gambar 2.14 Pengamatan *micrographs* keausan adesif (H. Czichos, 1978)



Gambar 2.15 Mekanisme keausan adesif (H. Czichos, 1978)

2. Keausan Abrasif (*Abrasive Wear*)

Terjadi bila suatu partikel keras dari material tertentu meluncur pada permukaan material lain yang lebih lunak sehingga terjadi penetrasi atau pemotongan material yang lebih lunak, seperti diperlihatkan pada Gambar 2.16 dan mekanismenya pada Gambar 2.17.



Gambar 2.16 Pengamatan *micrographs* keausan abrasif (H. Czichos, 1978)

Abrasive wear by plastic deformation and microcutting

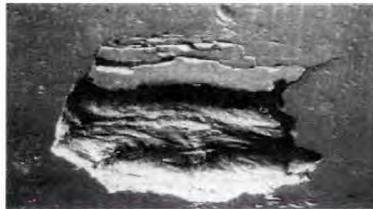


Gambar 2.17 Mekanisme keausan abrasif (H. Czichos, 1978)

3. Keausan Lelah (*fatigue wear*)

Keausan lelah merupakan mekanisme yang relatif berbeda dibandingkan dengan dua mekanisme sebelumnya, yaitu dalam hal interaksi permukaan. Baik keausan adesif maupun abrasif melibatkan hanya satu interaksi, sementara pada keausan lelah dibutuhkan multi interaksi.

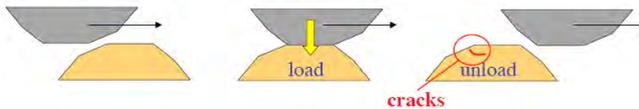
Keausan ini terjadi akibat interaksi permukaan dimana permukaan yang mengalami beban berulang akan mengarah pada pembentukan retak-retak mikro. Retak-retak mikro tersebut pada akhirnya menyatu dan menghasilkan pengelupasan material. Jadi, volume material yang hilang oleh keausan lelah bukanlah parameter yang terlalu penting, tetapi yang lebih penting adalah umur material setelah mengalami revolusi putaran atau waktu sebelum keausan lelah muncul. Gambar 2.18 menunjukkan kegagalan lelah yang terjadi pada *ball bearing* dan Gambar 2.19 menunjukkan mekanisme keausan lelah.



Fatigue failure of a steel ball bearing

Gambar 2.18 Keausan lelah pada ball bearing (H. Czichos, 1978)

Fatigue wear by repeated load and unload cycles

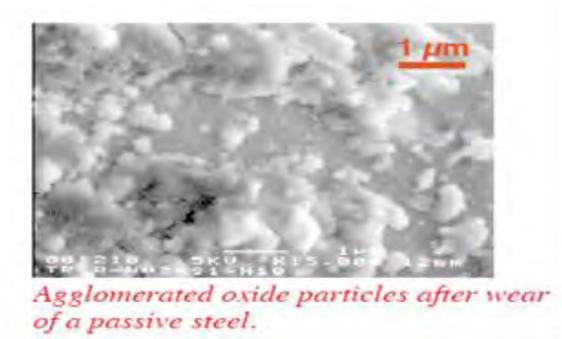


Gambar 2.19 Mekanisme keausan lelah (H. Czichos, 1978)

4. Keausan Korosif (*corrosive wear*)

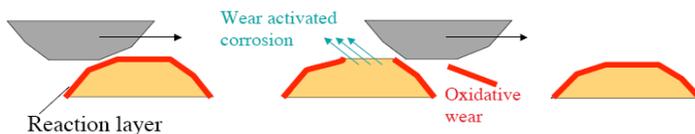
Proses kerusakan dimulai dengan adanya perubahan kimiawi material di permukaan oleh factor lingkungan. Kontak dengan lingkungan ini menghasilkan pembentukan

lapisan pada permukaan dengan sifat yang berbeda dengan material induk. Sebagai konsekuensinya, material akan mengarah kepada perpatahan interface antara lapisan permukaan dan material induk dan akhirnya seluruh lapisan permukaan itu akan tercabut. Gambar 2.20 menunjukkan keausan korosif pada baja dan Gambar 2.21 menunjukkan mekanisme keausan korosif.



Gambar 2.20 Keausan korosif pada baja (H. Czychos, 1978)

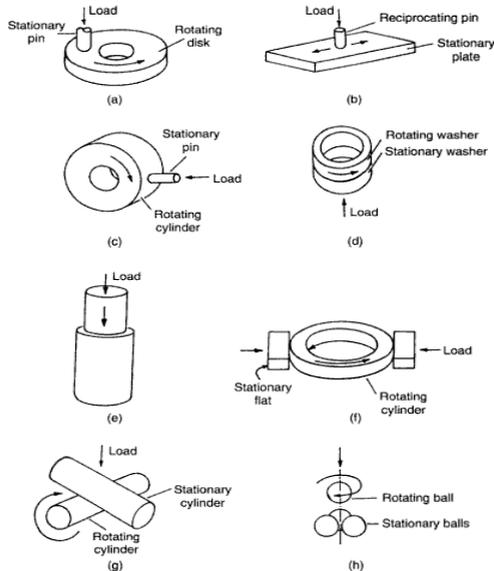
Tribochemical wear by removal of reaction layers



Gambar 2.21 Mekanisme keausan korosif (H. Czychos, 1978)

2.8 Alat Uji Keausan Material

Berbagai macam alat uji keausan yang digunakan untuk menguji keausan antara lain terdapat pada Gambar 2.22.



Gambar 2.22 Berbagai macam alat uji keausan (a) *Pin-on-disk* (b) *Pin-on-flat* (c) *Pin-on-cylinder* (d) *Thrust washer* (e) *Pin-into-bushing* (f) *Rectangular flats on rotating cylinder*, (g) *Crossed cylinder* (h) *Four ball (Tegar, 2010)*

Berikut ini adalah penjelasan singkat mengenai macam – macam tribometer seperti yang disebutkan pada Gambar 2.22.

1. *Pin-on-Disk*

Pada *pin-on-disk* tribometer, pin ditahan diam dan disk berotasi. Pin dapat berupa bola yang tidak berotasi, ujung pin berupa setengah bola, atau ujung berbentuk flat atau datar, seperti ditunjukkan pada gambar (2.18a) Tes ini paling sering diaplikasikan untuk pengembangan material pada aplikasi tribologi.

2. *Pin-on-Flat Reciprocating*

Pada pengujian ini, plat bergerak translasi bolak - balik dan pin ditahan diam, atau sebaliknya pin plat yang diam dan pin bergerak bolak - balik, seperti yang ditunjukkan pada gambar (2.18b) Pin dapat berupa sebuah bola, ujung setengah bola, atau silinder dengan ujung flat atau datar.

3. *Pin-on-cylinder (Edge Loaded)*

Pengujian ini sama dengan pengujian pin-on-disk, kecuali beban pada pin bergesekan dengan permukaan yang melingkar pada disk seperti yang ditunjukkan pada gambar (2.18c). Pin dapat berupa silinder dengan ujung datar atau setengah bola.

4. *Thrust Washer (Face Loaded)*

Pada tes ini permukaan datar silinder atau ring (*washer*) berotasi diatas permukaan datar ring yang diam, dan beban diberikan pada permukaan datar ring yang diam, seperti yang ditunjukkan pada gambar (2.18d). Ring dapat berupa silinder pejal atau silinder berlubang di bagian tengahnya. Tes ini biasanya digunakan untuk menguji material yang tegangannya rendah, seperti jurnal bearing.

5. *Pin-into-Bushing (Edge Loaded)*

Pada pengujian ini, gaya axial diberikan untuk menekan tabung seperti ditunjukkan pada gambar (2.18e).

6. *Rectangular Flats on Rotating Cylinder (Edge Loaded)*

Pada pengujian ini, dua balok mengapit silinder yang berputar, dimana satu balok diam dan balok yang lainnya diberi beban seperti ditunjukkan pada gambar (2.18f).

7. *Crossed Cylinder*

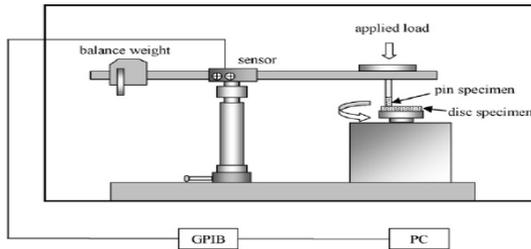
Pengujian ini terdiri dua silinder yang tengahnya berlubang atau dua silinder pejal, salah satu diam dan silinder yang lain berotasi dengan sudut 90° seperti ditunjukkan pada gambar (2.18g).

8. *Four Ball*

Pengujian ini terdiri empat bola yang dibentuk tetrahedral. Bola yang paling atas berotasi dan menggosok tiga

bola dibawahnya yang ditahan diam pada posisinya, seperti ditunjukkan pada gambar (2.18h).

Alat uji keausan yang digunakan untuk pegujian keausan polimer yang dilakukan oleh Bin-Bin Jia, Tong-Sheng Li, Xu-Jun Liu, Pei-Hong Cong seperti pada Gambar 2.23 tribometer dengan tipe kontak *pin-on-disk*.



Gambar 2.23 Eksperimental alat uji keausan type Pin on Disk (Bin-Bin Jia, Tong-Sheng Li, Xu-Jun Liu, Pei-Hong Cong, 2007)

Specimen yang diujikan adalah berupa tiga macam specimen polimer pin di gesekkan pada specimen polimer disc yang sama, yaitu polytetrafluoroethylene (PTFE), polyamide 66 (PA66) dan polyphenylene sulfide (PPS).

Parameter tribologi yang diperoleh dari hasil eksperimen diatas berupa *specific wear rate* K , dari persamaan Archard dirumuskan:

$$K = \frac{\Delta m}{L.F.\rho} \quad (2.5)$$

Perubahan massa Δm dibagi dengan massa jenis ρ adalah perubahan volume ΔV , sehingga persamaan (2.2) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$K = \frac{\Delta V}{L.F} \quad (2.6)$$

Keterangan:

K = Specific Wear Rate (mm³/Nm)

Δm = perubahan massa (kg)

ΔV = perubahan volume (mm³)

F = gaya (N)
 ρ = massa jenis benda (kg/mm³)

Pengujian dilakukan dengan *load* dan *sliding speed* yang bervariasi dengan kondisi tanpa pelumas dan dengan pelumasan, akan dihasilkan dihasilkan grafik seperti pada Gambar 2.25.

1356

B.-B. Jia et al. / Wear 262 (2007) 1353–1359

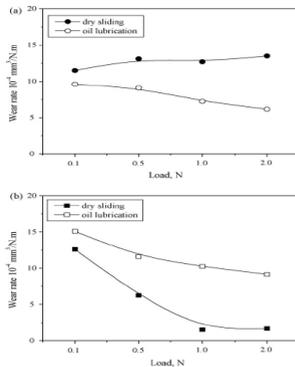


Fig. 5. Effect of applied load on wear rates of polymer discs under dry sliding and liquid paraffin lubricated conditions. (a) PTFE (b) PA66 (sliding speed: 0.2 m/s).

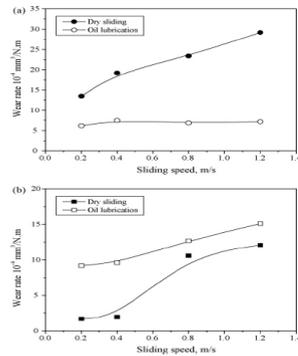


Fig. 7. Effect of sliding speed on wear rates of polymer discs under dry sliding and liquid paraffin lubricated conditions. (a) PTFE (b) PA66 (applied load: 2.0 N).

Gambar 2.24 Efek Variasi *Load* (Grafik kiri) dan Efek Variasi *Sliding Speed* (Grafik kanan) Terhadap *Specific Wear Rate* Material Polimer (a) PTFE (b) PA66. (Bin-Bin Jia, Tong-Sheng Li, Xu-Jun Liu, Pei-Hong Cong, 2007)

2.9 Pelumas

Pelumas adalah zat kimia, yang umumnya cairan, yang diberikan di antara dua benda bergerak untuk mengurangi gaya gesek. Pelumas berfungsi sebagai lapisan pelindung yang memisahkan dua permukaan yang berhubungan. Untuk mencegah atau mengurangi keausan yang lebih parah yaitu memperlancar kerja peralatan dan memperpanjang usia dari mesin dan peralatan itu sendiri, maka bagian bagian logam dan peralatan yang mengalami gesekan tersebut diberi perlindungan ekstra. Fungsi dari pelumasan dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Tugas pokok pelumas

Pada dasarnya yang menjadi tugas pokok pelumas adalah mencegah atau mengurangi keausan sebagai akibat dari kontak langsung antara permukaan logam yang satu dengan permukaan logam lain terus menerus bergerak. Selain keausan dapat dikurangi, permukaan logam yang terlumasi akan mengurangi besar tenaga yang diperlukan akibat terserap gesekan, dan panas yang ditimbulkan oleh gesekan akan berkurang.

2. Tugas tambahan pelumas

Selain mempunyai tugas pokok, pelumas juga berfungsi sebagai penghantar panas. Pada mesin atau peralatan dengan kecepatan putaran tinggi, panas akan timbul pada bantalan bantalan sebagai akibat dari adanya gesekan yang banyak. Dalam hal ini pelumas berfungsi sebagai penghantar panas dari bantalan untuk mencegah peningkatan temperatur atau suhu mesin.

Suhu yang tinggi akan merusak daya lumas. Apabila daya lumas berkurang, maka gesekan akan bertambah dan selanjutnya panas yang timbul akan semakin banyak sehingga suhu terus bertambah. Akibatnya pada bantalan bantalan tersebut akan terjadi kemacetan yang secara otomatis mesin akan berhenti secara mendadak. Oleh karena itu, mesin atau peralatan dengan kecepatan tinggi digunakan pelumas yang titik cairnya tinggi, sehingga walaupun pada suhu yang tinggi pelumas tersebut tetap stabil dan dapat melakukan pelumasan dengan baik. (*Wikipedia.org*)

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penelitian

Dalam penelitian ini, terdapat diagram alir penelitian bisa dilihat pada Gambar 3.1. Penelitian dilakukan secara eksperimental atau analitis, yaitu pengambilan data secara langsung dan dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai *specific wear rate* dan struktur permukaan dari permukaan spesimen uji.



Gambar 3.1 Flowchart Penelitian

3.2 Langkah-langkah Penelitian

Adapun langkah-langkah dalam penelitian pengujian laju keausan (*wear rate*) pada material *polyoxymethylene (POM)* yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Studi Literatur Dan Perumusan Masalah
- b. Persiapan Alat Uji Tribometer Tipe *Pin On Disk*
- c. Persiapan Spesimen POM (pin) dan SS316 (Disk)
- d. Pengambilan Data Penelitian
- e. Penelitian : *Paste Lubrication* (Dengan Pelumasan pasta)
- f. Pengolahan Data Penelitian
- g. Pembuatan Grafik Dan Analisa Hasil Penelitian
- h. Kesimpulan Saran Rekomendasi

3.2.1 Perumusan Masalah dan Studi Pustaka

Langkah awal didalam melakukan penelitian ini adalah merumuskan permasalahan –permasalahan yang ada dan kemudian mencari ide serta solusi atas permasalahan tersebut. Setelah itu memulai mengkaji studi literatur dan studi pustaka terkait teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan.

3.2.2 Persiapan Alat Uji Tribometer Tipe Pin on Disk

Tahap ini merupakan langkah awal dalam melakukan pengambilan data. Alat uji tribometer merupakan alat untuk mengetahui laju keausan dari suatu material yang melakukan kontak. Persiapan yang dilakukan meliputi pen-settingan *control speed* dan *load* (pembebanan). Data yang diinginkan dari penelitian ini adalah data yang benar-benar akurat, sehingga akan dilakukan kalibrasi ulang dari setiap komponen yang ada pada alat Tribometer tipe Pin on Disk.

3.2.3 Persiapan Spesimen

Spesimen yang digunakan pada penelitian ini ada dua, yaitu POM dan PTFE sebagai pin dan stainless steel tipe SS316

sebagai disk dan masing-masing spesimen akan dicari spesifikasinya.

3.2.4 Pengambilan Data Penelitian

Tahap ini merupakan tahapan yang penting karena pada tahap inilah akan dilakukan penelitian yang nantinya akan digunakan sebagai bahan pembahasan serta analisa. Pengambilan data akan dilakukan sesuai dengan flowchart penelitian pada Gambar 3.2. Penelitian yang dilakukan akan dilakukan satu kali, yaitu penelitian dengan pelumasan (*Paste Lubrication*)

3.2.5 Analisa struktur permukaan

Spesimen yang telah dilakukan pengujian *wear rate* (laju keausan) selanjutnya akan dilakukan analisa struktur permukaan. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimanapun struktur permukaan dari material yang melakukan kontak sehingga bisa dianalisa untuk diketahui penyebab serta solusi dari keausan material tersebut.

3.2.6 Pengolahan Data Penelitian

Data yang didapat dari penelitian selanjutnya akan diolah dengan beberapa rumus perhitungan dan juga dari studi literatur yang telah dilakukan.

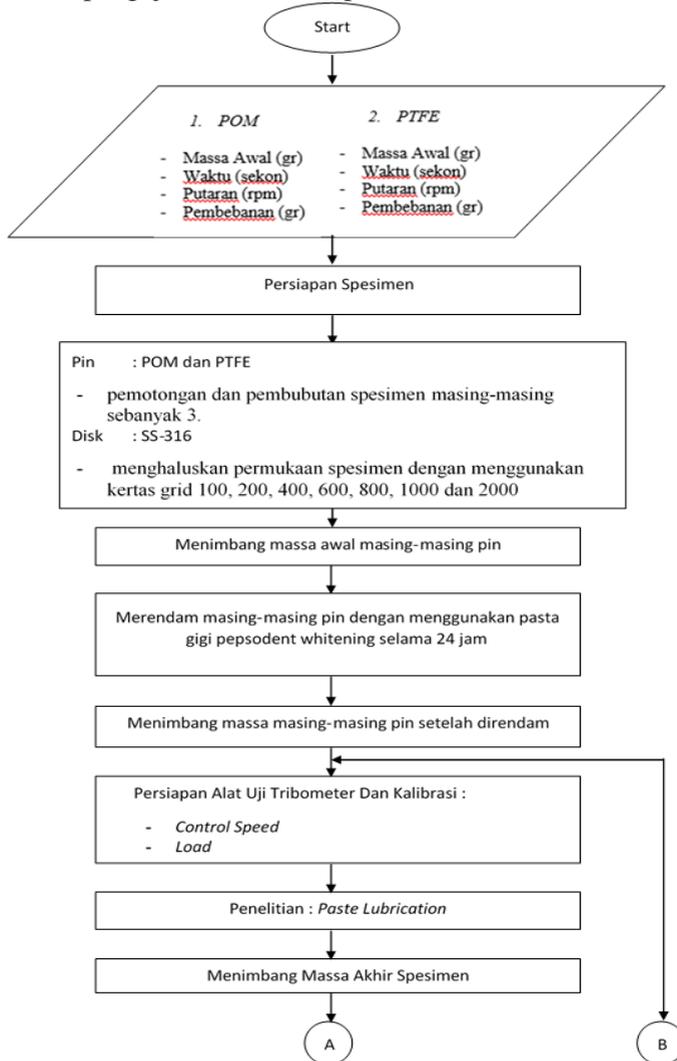
3.2.7 Pembuatan Grafik dan Analisa Hasil Penelitian

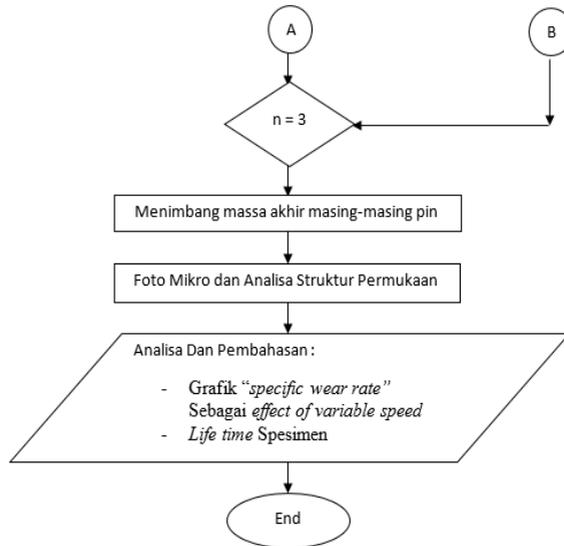
Dari data penelitian yang telah dilakukan selanjutnya akan dilakukan pembuatan grafik dan dilakukan analisa dan pembahasan dari grafik serta struktur permukaan yang ada pada spesimen. Grafik akan dikaji dan dijelaskan dengan menggunakan teori-teori yang ada.

3.2.8 Kesimpulan, Saran, dan Rekomendasi

Menyimpulkan dari keseluruhan penelitian yang telah dilakukan kemudian memberikan saran dan rekomendasi.

Selain diagram alir penelitian, untuk memperjelas dan meringkas alur penelitian juga disajikan flowchart pengujian. Flowchart pengujian bisa dilihat pada Gambar 3.2.





Gambar 3.2 Flowchart pengujian

3.3 Langkah Kerja Pengujian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa langkah kerja sebagai studi eksperimental, yaitu:

- a. Studi pustaka dan penentuan material yang hendak diuji
- b. Penimbangan massa awal spesimen (gr), penentuan putaran (rpm), waktu (sekon), pembebanan (gr)
- c. Persiapan Spesimen : PTFE (*Pin*), POM (*Pin*) dan SS316 (*Disk*)
- d. Menimbang massa awal masing-masing pin
- e. Merendam masing-masing pin dengan pasta gigi pepsodent whitening selama 24 jam
- f. Menimbang massa masing-masing pin setelah direndam
- g. Persiapan Alat Uji Tribometer Dan Kalibrasi : *Control Speed* dan *Load*
- h. Penelitian : *Paste Lubrication*
- i. Menimbang Massa Akhir Spesimen

- j. Foto Mikro dan Analisa Struktur Permukaan
- k. Analisa dan pembahasan grafik “*specific wear rate*” dan “*wear volume*” sebagai : *Effect of variable speed*, dan perhitungan *life time* material.

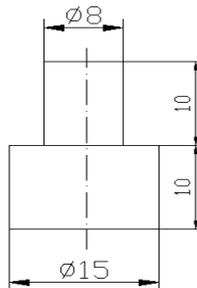
3.3.1 Studi pustaka dan penentuan material yang hendak diuji

Melakukan studi pustaka sebagai dasar-dasar teori yang akan digunakan didalam melakukan penelitian Tugas Akhir ini dan penentua material yang hendak diuji yaitu *polyoxymethylene (POM)/poly acetal* dan SS316. Serta material yang direkomendasikan yaitu *polytetrafluoroethylene (PTFE)*. Berikut adalah gambar material *polyoxymethylene (POM)/poly acetal* dan *Stainless Steel SS316* serta material rekomendasi *polytetrafluoroethylene (PTFE)* yang digunakan sebagai material uji.

3.3.2 Persiapan Spesimen

Mempersiapkan spesimen sebagai bahan uji dari penelitian. Spesimen terdiri dari tiga jenis material, yaitu *polyoxymethylene (POM)* dan *polytetrafluoroethylene (PTFE)* sebagai pin dan stainless steel sebagai disk. Untuk lebih memperjelas persiapan spesimen akan dijelaskan sebagai berikut:

- a. Pin spesimen, dengan bentuk silinder pejal dengan diameter bertingkat. Dimensi pin dilihat pada Gambar 3.6. Satuan dari dimensi ini adalah mm.



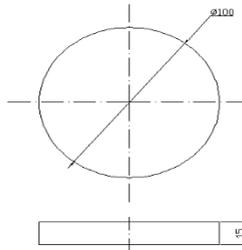
Gambar 3.3 Desain pin

Berikut ini adalah gambar pin yang telah jadi dan siap dilakukan pengujian. Gambar pin yang digunakan didalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.7.



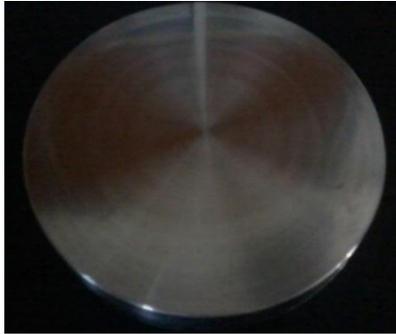
Gambar 3.4 POM dan PTFE sebagai PIN

- b. Membuat disk dengan bahan stainless steel dan dimachining dengan dimensi disk bisa dilihat pada Gambar 3.8. Satuan dari dimensi ini adalah mm.



Gambar 3.5 Desain *disk*

Setelah disk sudah jadi sesuai desain disk yang telah dibuat, langkah selanjutnya adalah menghaluskan permukaan disk dengan menggunakan kertas grid. Kertas grid yang digunakan adalah 100, 200, 400, 600, 800, 1000 dan 2000. Gambar disk yang sudah jadi dan digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.6 dibawah ini.



Gambar 3.6 *Stainless Steel* sebagai disk

3.3.3 Penimbangan massa awal spesimen (gr)

Pengukuran properties specimen dilakukan dengan menggunakan timbangan digital. Berikut adalah timbangan digital yang digunakan bisa dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.7 Timbangan Digital

3.3.4 Perendaman masing-masing pin dengan pasta gigi *pepsodent whitening*

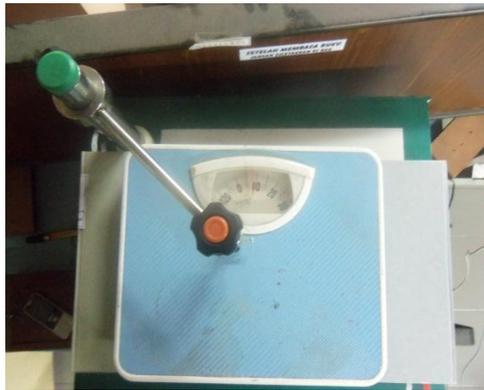
Perendaman spesimen dilakukan selama 24 jam, dan pada udara tertutup.

3.3.5 Persiapan Alat Uji Tribometer Dan Kalibrasi : *Control Speed dan Load*

Mempersiapkan alat uji tribometer tipe pin on disk. Dimana pada tahap ini dilakukan kalibrasi dari speed control, variable load, dan pen-settingan semua komponen dari tribometer. Tribometer yang digunakan bisa dilihat pada Gambar 3.8 dibawah ini.



Gambar 3.8 Tribometer Tipe *Pin on Disk*

1. Pengukuran *variable load* (F)

Gambar 3.9 Hasil kalibrasi pembebanan

2. Pengukuran putaran dengan menggunakan tachometer akan didapatkan rpm dari lima level *speed control*, panjang *wear track* dibuat konstan 700 m, sehingga akan didapatkan waktu pengujian masing masing level *speed control* dengan menggunakan rumus :

$$t = \frac{s}{\pi \cdot d \cdot Rpm} \quad (3.1)$$

Keterangan :

t = waktu pengujian (menit)

s = panjang track pin (meter)

d = diameter track pin (meter)

sehingga v_1 , v_2 , v_3 , v_4 dan v_5 dapat ditentukan dengan menggunakan rumus :

$$v = \frac{\text{panjang wear track}}{t \cdot 60} \quad (3.2)$$

3.3.6 Penelitian : *Paste Lubrication*

Pada pengujian ini, pasta yang digunakan adalah *Pepsodent Whitening*. Berikut gambar pasta gigi yang akan digunakan sebagai pelumas pada pengujian ini.



Gambar 3.10 *Paste lubrication type pepsodent whitening*

Pengujian dilakukan dengan menggunakan pembebanan konstan 8kg dan speed control 50, 60, dan 70. Berikut gambar pada saat percobaan dengan menggunakan pasta sebagai pelumas.

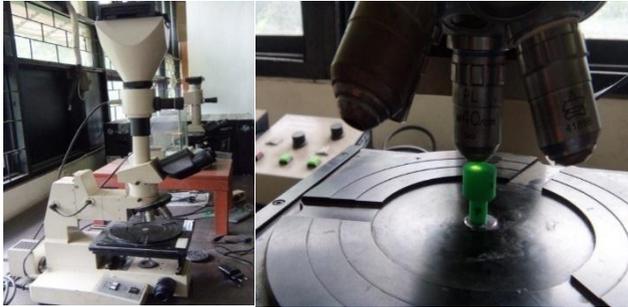


Gambar 3.11. Pengujian dengan menggunakan pelumas berupa pasta

3.3.7 Foto mikro struktur permukaan

Melakukan foto mikro permukaan dari material yang telah diuji di Laboratorium Metallurgy Teknik Mesin FTI-ITS untuk mengetahui mekanisme laju keausan dari material yang

mengalami kontak dengan menggunakan Mikroskop Optik dengan perbesaran 200 kali. Berikut Gambar 3.12 Mikroskop Optik yang digunakan.



Gambar 3.12 Mikroskop optik perbesaran 200 kali

3.3.8 Analisa dan pembahasan

Mengolah data hasil pengujian dan membuat grafik dan kemudian menganalisa grafik tersebut. Kemudian menganalisa mekanisme laju keausan (*wear rate*) dari hasil pengujian struktur permukaan. Grafik yang akan dibuat yaitu, Grafik “*Specific wear rate*” sebagai Effect of variable speed, perhitungan *life time* material.

3.4 Spesifikasi Peralatan Tribometer

Spesifikasi pin on disk yang digunakan untuk penelitian tugas akhir ini adalah :

<i>Sliding speed range</i>	: 8.37 – 250 mm/s
<i>Disc rotation speed</i>	: 8 - 60 rpm
<i>Maximum normal load</i>	: 150 N
<i>Frictional force</i>	: 0 – 150 N

Wear measurement range: 10 mm
Pin size : 8 – 15 mm diameter / diagonal
Disk size : 100 mm diameter x 20 mm tebal
Wear track diameter : 20 – 80 mm

Sedangkan spesifikasi alat ukur yang digunakan adalah :

- Untuk mengukur kecepatan putaran dengan berbagai tingkatan level yang dijaga konstan oleh *speed control* digunakan Tachometer.
- Untuk mengukur besar *load* untuk pengaturan pegas digunakan timbangan berat badan
- Untuk menimbang massa pin polimer digunakan timbangan digital dengan keakuratan 0.1 mg
- Untuk mengukur besar temperatur gesekan permukaan gesekan pin dengan disk digunakan infrared thermometer (non-kontak)
- Untuk mengukur massa jenis dari polimer digunakan pycnometer.

Spesifikasi AC motor, *speed control* dan pegas sebagaimana data berikut:

1. Spesifikasi AC motor dan gear box

AC Motor : Merk : Peei Moger
 Type : M-51K90U-CFV
 Daya : 1Ø 4P 50W CONT. 6,0Mf
 220V 50Hz 90-1400 rpm
 220V 60Hz 90-1700 rpm

Gear Box : Merk : Peei Moger
 Type : G-5U25-K
 Ratio : 1/25
 Max.T : 77 kgfcm

2. Spesifikasi *Speed control*

Merk : Peei Moger
 Type : US-5140A-C
 Range : *speed control* 0 – 100 *selectable*

3. Spesifikasi pegas

Dimensi : panjang 6 cm, diameter pegas 18 mm dan diameter kawat 4 mm

Load : 0 – 110 Newton

Pengujian operasi AC motor yang meliputi run test dan temperatur monitoring, pengujian *speed control* switching dengan menggunakan tachometer, pengujian karakteristik kekakuan pegas dengan menggunakan timbangan. Sehingga tribometer benar-benar siap digunakan untuk keperluan eksperimen. Gambar assembly tribometer dapat diamati pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13. Tribometer tipe pin on disk

Berikut ini adalah gambar holder dengan bagian – bagiannya :

a. ***Metal main holder (tiang holder) dan casing holder (selongsong)***

Metal main holder digunakan sebagai sandaran *casing holder*, *casing holder* dapat bergerak rotasi horizontal (*mounting*) dan juga dapat bergerak vertikal sepanjang sumbu metal main holder, sehingga dapat dengan mudah meletakkan pin uji dan mengatur seting *load* pada casing.

Casing holder dilengkapi dengan skala massa *load* dari variasi 2 kg hingga 10 kg. Bagian dalam casing holder berupa

komponen penyusun *load control* yang terdiri dari komponen ulir *load adjuster*, ulir penutup casing, dummy, pegas, dan komponen pencengkeram benda uji pin. Berikut ini adalah gambar *metal main holder* dan *casing holder*. Main holder dapat dilihat pada Gambar 3.14, Casing holder pada Gambar 3.15, dan pada Gambar 3.16 gambar Casing holder dengan komponennya.



Gambar 3.14. *Metal main holder*



Gambar 3.15 *Casing holder*



Gambar 3.16 *Casing holder* dan komponen penyusun bagian dalam casing

b. Ulir *load adjuster*

Ulir ini memiliki berfungsi untuk sebagai pengatur beban yang diberikan pada pin. Ulir *load adjuster* dapat dilihat pada Gambar 3.17.



Gambar 3.17 Ulir *load adjuster*

c. Ulir penutup casing

Penutup casing ini berfungsi sebagai landasan dari ulir *load adjuster*. Penutup casing ini dilengkapi dengan ulir yang digunakan untuk menyatukan dengan *casing holder*. Ulir penutup casing dapat dilihat pada Gambar 3.18.



Gambar 3.18 Ulir penutup casing

d. Dummy

Dummy akan didorong oleh *load adjuster* sehingga memberikan tekanan pada pegas. Dummy dapat dilihat pada Gambar 3.19.



Gambar 3.19 Dummy

e. Pegas

Pegas memiliki konstanta kekakuan pegas k tertentu dapat digunakan untuk memberikan gaya tekan pada pin uji saat pegas mengalami defleksi Δx Sesuai dengan gaya pegas. Pegas yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.20.

$$F = k \cdot \Delta x \quad (3.3)$$



Gambar 3.20 Pegas

f. Pencengkeram pin

Pencengkeram pin berfungsi untuk mencengkeram pin yang diikat dengan baut pengikat sehingga pin tidak berotasi atau mengalami slip saat pengujian. Pencengkeram pin dapat dilihat pada Gambar 3.21.



Gambar 3.21 Pencengkeram pin

3.5 Spesifikasi Spesimen

3.5.1 Stainless Steel

Nama Material	: Stainless Steel SS316
Density	: 0,289 lb/in2
Tensile Strength, Ultimate	: 75000 psi
Tensile Strength, Yield	: 30000 psi

3.5.2 Polyoxymethylene (POM)

Nama Material	: Polyoxymethylene (POM) / poly acetal
Density	: 0.00141 g/mm3

3.5.3 Polytetrafluoroethylene (PTFE)

Nama Material	: Polytetrafluoroethylene (PTFE)
Density	: 0.00220 g/mm3

3.6 Perancangan Eksperimen

Eksperimen yang dilakukan dalam tugas akhir ini akan dilakukan dengan menggunakan pelumas berupa pasta *pepsodent whitening*. Rancangan eksperimen untuk pengujian keausan dengan menggunakan pelumas berupa pasta *pepsodent whitening* bisa dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Rancangan eksperimen pengujian keausan *paste lubrication*

Load (kg)	Speed Control	Sliding Speed V (m/s)	Time (menit)	M_0 (gr)	M_A (gr)	ΔM (gr)	ρ (gr/mm ³)	Sliding Distance L (m)	F (N)	ΔV (mm ³)	K (mm ³ /Nm)
8	50	0.2025	57,6					700	78,48		
8	60	0,2324	50,2					700	78,48		
8	70	0,2737	42,6					700	78,48		

Keterangan :

- m_0 = massa pin awal sebelum pengujian
- m_i = massa pin akhir setelah pengujian
- Δm = $m_0 - m_i$ (perubahan massa pin atau volume aus)

Perubahan massa pin Δm didapatkan dengan menimbang pin sebelum dilakukan pengujian dan kemudian ditimbang lagi menggunakan timbangan digital setelah dilakukan pengujian. Setelah Δm diketahui, berikutnya mulai menghitung perubahan volume (ΔV) pin yang terjadi dengan menggunakan rumus seperti persamaan 3.1. dibawah ini:

$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\rho} \quad (3.4)$$

Maka *specific wear rate* K dapat dicari dengan rumus :

$$K = \frac{\Delta V}{F.L} \quad (3.5)$$

Dengan L yang digunakan adalah 900 m
 Lamanya waktu pengujian dihitung dengan menggunakan formulasi berikut ini.

$$t = \frac{L}{v} \quad (3.6)$$

Dengan $v = 2.f.s$ maka persamaan di atas dapat ditulis seperti persamaan berikut ini :

$$t = \frac{L}{2.S.f} \quad (3.7)$$

Keterangan :

v	= Kecepatan translasi <i>plate</i>	(m/s)
t	= Waktu pengujian	(s)
f	= Frekuensi rotasi motor	(Hz)
S	= Panjang Stroke	(m)

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas dan dianalisa hasil eksperimen tentang laju keausan dan umur hidup (*life time*) antara material *polyoxymethylene* (pom) / *poly acetal* dengan *stainless steel* AISI 316 dan material rekomendasi yaitu *polytetrafluoroethylene* (*ptfe*) dengan *stainless steel* AISI 316 yang diaplikasikan pada mesin pembuatan pasta.

4.1. Data Hasil Eksperimen

4.1.1 Data Hasil Penimbangan Sebelum Dan Sesudah Direndam

Sebelum dilakukan pengujian dengan menggunakan alat uji tribometer type pin on disk, langkah pertama yang dilakukan adalah merendam material *polyoxymethylene* (POM)/*poly acetal* 51 dan *polytetrafluoroethylene* (PTFE) dengan pasta gigi *pepsodent whitening*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh pasta gigi terhadap material sebelum dilakukan pengujian. Sebelum dan sesudah direndam, material ditimbang dengan menggunakan timbangan digital. Berikut data hasil penimbangan material uji sebelum dan sesudah direndam:

Tabel 4.1. data hasil penimbangan sebelum dan sesudah direndam

POM			PTFE		
<i>m</i> (gr) Sebelum direndam	<i>m</i> (gr) Sesudah direndam	Δm (gr)	<i>m</i> (gr) Sebelum direndam	<i>m</i> (gr) Sesudah direndam	Δm (gr)
3,201	3,196	0,005	5,003	5,000	0,003
3,205	3,197	0,008	5,006	4,996	0,010
3,197	3,193	0,004	5,000	4,998	0,002

4.1.2 Data Perhitungan Eksperimen

4.1.2.1 *Polyoxymethylene* (POM) / *Poly Acetal*

Hasil dari pengujian laju keausan pada *polyoxymethylene* (pom) / *poly acetal* dengan *Stainless Steel* AISI 316 dengan

menggunakan pasta sebagai pelumas (*paste lubrication*) bisa dilihat pada Tabel 4.2 dibawah ini.

Tabel 4.2 Data perhitungan hasil pengujian *polyoxymethylene* (pom) / *poly acetal* dengan *Stainless Steel* AISI 316 dengan menggunakan pasta sebagai pelumas (*paste lubrication*).

Load (kg)	Speed Control	Sliding Speed V (m/s)	Time (menit)	M_0 (gr)	M_A (gr)	ΔM (gr)	ρ (gr/mm ³)	Sliding Distance L (m)	F (N)	ΔV (mm ³)	K (mm ³ /Nm)
8	50	0,04	57,6	3,196	3,194	0,002	0,00141	700	78,48	1,41844	0,000025820
8	60	0,046	50,2	3,197	3,193	0,004	0,00141	700	78,48	2,83688	0,000051640
8	70	0,054	42,6	3,193	3,187	0,006	0,00141	700	78,48	4,25532	0,000077460

4.1.2.2 *Polytetrafluoroethylene* (PTFE)

Hasil dari pengujian laju keausan pada *polytetrafluoroethylene* (PTFE) dengan *Stainless Steel* AISI 316 dengan menggunakan pasta sebagai pelumas (*Paste Lubrication*) bisa dilihat pada Tabel 4.3 dibawah ini.

Tabel 4.3 Data perhitungan hasil pengujian *polytetrafluoroethylene* (PTFE) dengan *stainless steel* AISI 316 dengan menggunakan pasta sebagai pelumas (*paste lubrication*).

Load (kg)	Speed Control	Sliding Speed V (m/s)	Time (menit)	M_0 (gr)	M_A (gr)	ΔM (gr)	ρ (gr/mm ³)	Sliding Distance L (m)	F (N)	ΔV (mm ³)	K (mm ³ /Nm)
8	50	0,04	57,6	5,000	4,999	0,001	0,00220	700	78,48	0,454545	0,00000827
8	60	0,046	50,2	4,996	4,993	0,003	0,00220	700	78,48	1,363636	0,00002482
8	70	0,054	42,6	4,998	4,991	0,007	0,00220	700	78,48	3,181818	0,00005792

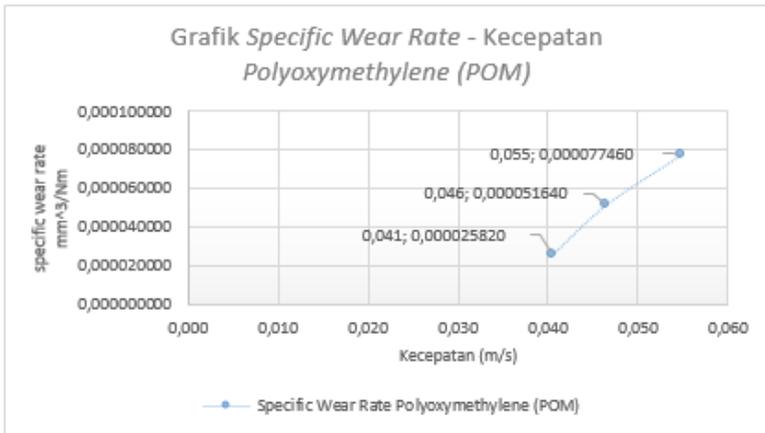
4.2 Pembahasan Grafik

4.2.1 *Polyoxymethylene* (POM) / *Poly Acetal*

4.2.1.1 Analisa Pengaruh Kecepatan Terhadap *Specific Wear Rate* Dengan Pembebanan 8 Kg

Dari data yang ada, dapat dianalisa berapa nilai *specific wear rate* yang menunjukkan besarnya volume aus atau bagian yang terkikis setiap satu satuan gaya dan jarak. Besar kecepatan

suatu material yang bergerak dan mengalami kontak mempengaruhi laju keausan spesifik (*specific wear rate*). Pada penelitian ini dilakukan 3 variasi kecepatan yaitu pada kecepatan 0,04 m/s (38,7 rpm), 0,046 m/s (44,4 rpm), dan 0,054 m/s (52,3 rpm). Berikut grafik hubungan kecepatan dengan *wear rate* dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik *specific wear rate* terhadap *speed* dengan pembebanan konstan 8 kg

Nilai *specific wear rate* terlihat semakin naik dengan semakin meningkatnya kecepatan yang diberikan. Pada grafik diatas tren grafik selalu naik dengan nilai kecepatan yang semakin tinggi. Perubahan nilai *specific wear rate* terlihat linear. Dimulai dari kecepatan 0,04 m/s hingga kecepatan 0,054 m/s tren grafik selalu naik, dan mendekati kondisi linier. Pada saat kecepatan 0,04 m/s nilai *specific wear ratenya* adalah 0,000025820, pada kecepatan 0,046 m/s nilai *specific wear ratenya* bertambah lagi yaitu 0,000051640, dan semakin meningkat pada kecepatan 0,054 m/s yaitu 0,000077460.

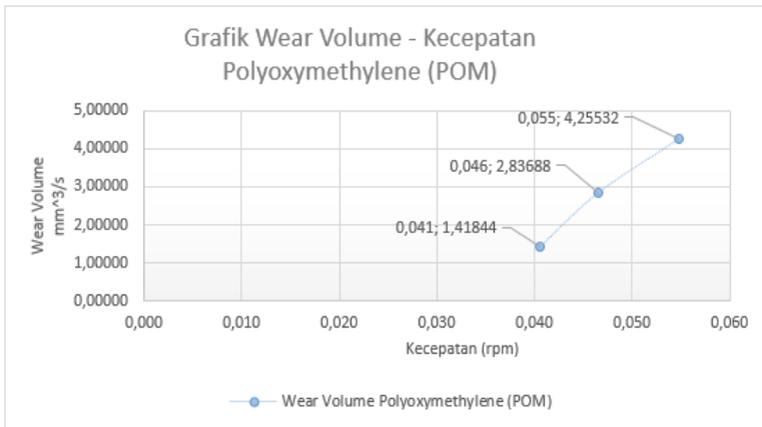
Secara teoritis, nilai *specific wear rate* akan semakin besar dengan semakin besarnya nilai kecepatan yang diberikan.

Hal ini dikarenakan *polyoxymethylene* (pom) / *poly acetal* yang diuji dengan kecepatan yang lebih tinggi akan lebih cepat mengalami peningkatan temperatur pada permukaan kontakannya, mempercepat gesekan yang terjadi pada pin, sehingga gerusan pada pin akan makin cepat serta material menjadi lebih mudah terkikis.

Dari hasil pengujian *polyoxymethylene* (pom) / *poly acetal* dengan 3 variasi kecepatan diatas, hasil yang didapatkan sudah sesuai dengan teori yang ada. Hal ini dapat terlihat dari grafik yang dihasilkan memiliki tren grafik yang semakin naik dan mendekati kondisi linier seiring dengan bertambahnya kecepatan yang diberikan. Pada kondisi operasinya, ketika nilai *specific wear rate* tinggi maka akan berpengaruh pada umur hidup (*life time*) material tersebut.

4.2.1.2 Analisa Pengaruh Kecepatan Terhadap Wear Volume Dengan Pembebanan 8 Kg

Selain nilai *specific wear rate* , didapatkan pula nilai volume yang aus pada pengujian *polyoxymethylene* (pom) / *poly acetal*. Volume yang aus pada material *polyoxymethylene* (pom) / *poly acetal* terlihat cukup signifikan perubahannya. Dapat dilihat pada Tabel 4.1, pada kecepatan 0,04 m/s (38,7 rpm) material POM yang terkikis karena gesekan sebesar $1,41844 \text{ mm}^3$. Material POM yang terkikis semakin besar dengan semakin meningkatnya kecepatan yang diberikan. Volume yang terkikis pada kecepatan 0,046 m/s (44,4 rpm) sebesar $2,83688 \text{ mm}^3$ dan pada kecepatan 0,054 m/s (52,3 rpm) sebesar $4,25532 \text{ mm}^3$. Peningkatan nilai volume yang aus ini juga dikarenakan cepatnya kenaikan temperatur akibat kecepatan yang semakin tinggi. Dapat dilihat pada gambar 4.2 dibawah ini.



Gambar 4.2 Grafik *wear volume* terhadap *speed* dengan pembebanan konstan 8 kg

Dari grafik diatas terlihat bahwasannya nilai volume yang aus mengikuti nilai *specific wear rate* yang didapatkan. Dimana tren grafik selalu naik dengan semakin bertambahnya kecepatan yang diberikan. Hal ini dikarenakan material POM yang diuji dengan kecepatan yang lebih tinggi akan lebih cepat mengalami peningkatan temperatur pada permukaan kontakannya, mempercepat gesekan yang terjadi pada pin, sehingga gerusan pada pin akan makin cepat serta material menjadi lebih mudah terkikis dan volume material semakin mudah berkurang. Berikut ini adalah foto mikro POM dengan perbesaran 200 kali yang menunjukkan adanya perubahan permukaan pada saat sebelum dilakukan pengujian dan sesudah direndam serta setelah dilakukan pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Foto mikro perbesaran 200X POM a) sebelum pengujian b) setelah direndam dengan pasta gigi *pepsodent whitening* selama 24 jam

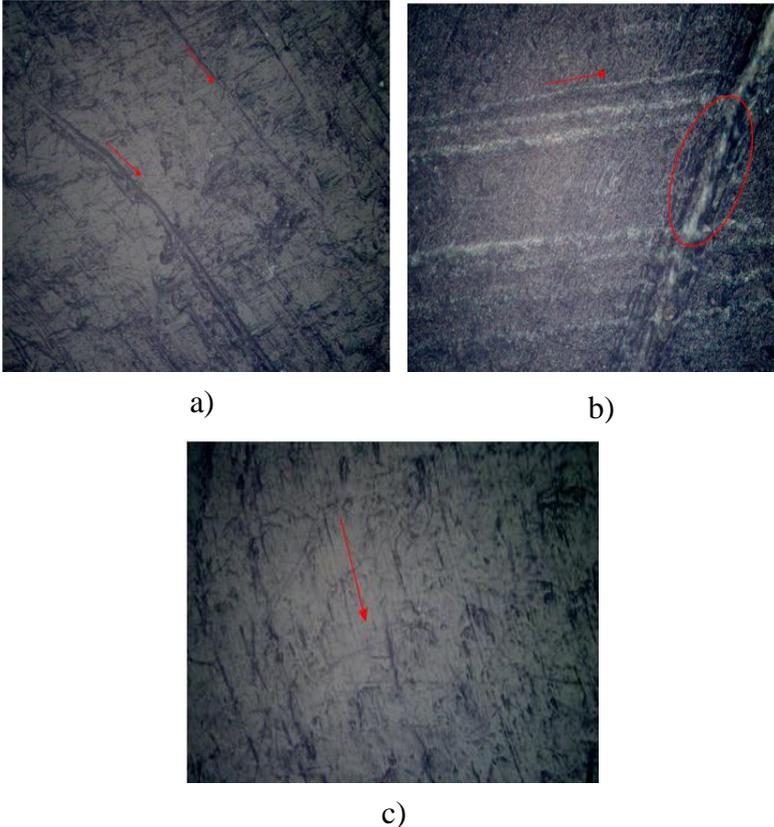
Pada foto mikro diatas terlihat ada perbedaan kontur permukaan pada saat sebelum dilakukan pengujian gambar 4.3 a) dan setelah direndam dengan pasta gigi *pepsodent whitening* selama 24 jam gambar 4.3 b). Terlihat ada beberapa bagian permukaan spesimen yang terkelupas setelah direndam. Hal ini diakibatkan karena adanya reaksi oksidasi antara zat yang terkandung pada *pepsodent whitening* dengan material POM. Adanya reaksi oksidasi ini dinamakan korosi dan berpengaruh terhadap massa material. Hal ini dibenarkan karena setelah direndam, massa POM mengalami pengurangan. Hasil penimbangan massa POM sebelum dan sesudah direndam dapat dilihat pada tabel 4.1.

Terlihat pada tabel 4.1 bahwa perbedaan yang terjadi pada sebelum direndam dan sesudah direndam tidak begitu signifikan. Hanya berbeda satu angka dibelakang koma. Perbedaan yang tidak terlalu signifikan ini dikarenakan spesimen uji hanya direndam selama satu hari, jadi tidak terlalu jauh perbedaannya. Namun meskipun hanya satu hari, bisa dikatakan spesimen ini mengalami reaksi oksidasi (laju korosi) yang disebabkan oleh kandungan kimia pada *pepsodent whitening* ini. Dan dari hasil diatas bisa dikatakan bahwasannya pasta gigi ini

berperan terhadap laju keausan yang terjadi pada spesimen uji ketika diaplikasikan pada mesin pembuatan pasta.

4.2.1.3 Analisa Struktur Permukaan Setelah Percobaan

Berikut adalah foto struktur permukaan material *polyoxymethylene* (pom) / *poly acetal* setelah percobaan bisa dilihat pada gambar 4.4 :



Gambar 4.4 Foto mikro perbesaran 200X POM pembebanan 8 kg setelah pengujian a) pada kecepatan 0,04 m/s. b) pada kecepatan 0,046 m/s. c) pada kecepatan 0,055 m/s.

Pada gambar 4.4 a) terlihat foto mikro POM dengan pembebanan 8 kg dan kecepatan 0,04 m/s setelah dilakukan pengujian dengan menggunakan pasta bahwa keausan yang terjadi diakibatkan oleh abrasif yang ditunjukkan dengan adanya guratan lurus seperti ditunjukkan pada Gambar 4.4 a) yang mengindikasikan bahwa material terkikis atau terabrasi. Hal ini disebabkan karena perbedaan nilai kekerasan antara 2 material uji yang saling kontak. Selain keausan abrasif, terlihat juga bahwa permukaan material sedikit terkelupas karena tergeser oleh material yang berkontak langsung dengan POM. Fenomena ini disebut dengan keausan adhesif. Terlihat juga ada pasta yang terjebak pada guratan-guratan akibat goresan. Material POM cenderung lebih lunak jika dibandingkan dengan material stainless steel AISI 316 yang memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi. Pada Gambar 4.4 juga terlihat banyak bintik-bintik kecil, bintik ini merupakan *wear debris* yang terjebak di dalam permukaan POM yang disebabkan pembebanan yang besar dan kecepatan yang tinggi sehingga *wear debris* menempel pada permukaan POM.

Pada gambar 4.4 b) terlihat bahwa keausan yang terjadi diakibatkan oleh abrasif yang ditunjukkan dengan adanya guratan lurus yang mengindikasikan bahwa material terkikis atau terabrasi. Akan tetapi guratan yang terjadi jauh lebih lebar dan besar dibandingkan dengan pada saat kecepatan 0,04 m/s. Terlihat juga pada struktur permukaan, bahwa guratan yang terjadi sangat lebar dan seperti menyerap partikel-partikel yang terdapat pada material yang mengalami kontak langsung dengan POM. Peristiwa ini mengakibatkan material POM menjadi semakin lunak dan mudah terkikis. Selain dipengaruhi oleh partikel-partikel yang diserap oleh POM, cepatnya laju keausan atau terkikisnya permukaan material juga dipengaruhi oleh kecepatan yang lebih tinggi sehingga membuat benda semakin mudah untuk terkikis. Dari hasil foto mikro diatas bentuk kerusakan abrasif permukaan akibat keausan abrasive adalah berupa

Scratching, dimana kerusakan *Scratching* ini diakibatkan karena adanya tekanan antara 2 material secara langsung dan mengakibatkan goresan.

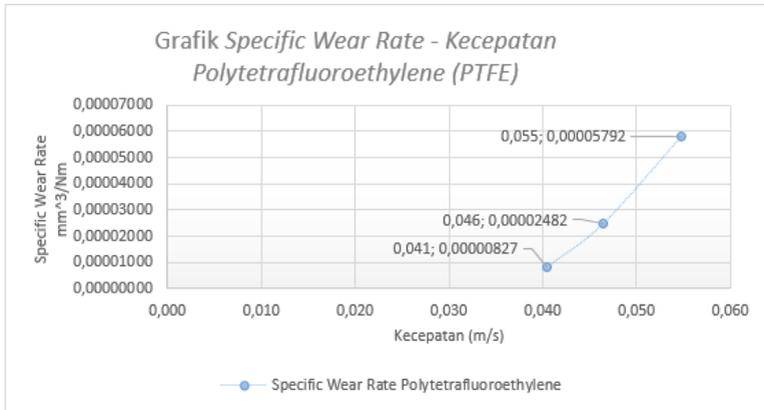
Pada gambar 4.4 c) terlihat bahwa kontur permukaan tidak memiliki keteraturan. Tampak terlihat terdapat mekanisme abrasif yang ditunjukkan dari guratan-guratan lurus namun terlihat juga bahwa pada permukaan material sedikit terkelupas karena tergeser oleh tekanan pembebanan yang berosilasi dan kecepatan yang tinggi. Penelitian ini dilakukan secara eksperimental pengambilan data secara langsung. Ketika penelitian dilakukan dengan pemberian beban, penekanan dari beban tersebut tidak dapat memberikan penekanan yang sempurna. Penekanan dari beban seharusnya terjadi secara konstan, namun pada kenyataannya penekanan beban yang terjadi mengalami osilasi. Fenomena ini bisa juga terjadi akibat material yang tak mampu menahan kecepatan tinggi, sehingga material mengalami *scratching* sekaligus pengelupasan. Guratan-guratan yang terjadi memiliki kontur yang lebih halus dibandingkan pada saat kecepatan 0,046 m/s, dan yang lebih dominan adalah terkelupasnya permukaan material akibat tekanan dan kecepatan yang tinggi. Material POM cenderung lebih lunak jika dibandingkan dengan material stainless steel AISI 316 yang memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi. Pada Gambar 4.7 juga terlihat banyak bintik-bintik kecil, bintik ini merupakan *wear debris* yang terjebak di dalam permukaan POM yang disebabkan pembebanan yang besar sehingga *wear debris* menempel pada permukaan POM.

4.2.2 Polytetrafluoroethylene (PTFE)

4.2.2.1 Analisa Pengaruh Kecepatan Terhadap Specific Wear Rate Dengan Pembebanan 8 Kg

Dari data yang ada, dapat dianalisa berapa nilai *specific wear rate* yang menunjukkan besarnya volume aus atau bagian yang terkikis setiap satu satuan gaya dan jarak. Besar kecepatan suatu material yang bergerak dan mengalami kontak

mempengaruhi laju keausan spesifik (*specific wear rate*). Pada penelitian ini dilakukan 3 variasi kecepatan yaitu pada kecepatan 0,04 m/s (38,7 rpm), 0,046 m/s (44,4 rpm), dan 0,054 m/s (52,3 rpm). Berikut grafik hubungan kecepatan dengan *wear rate* dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Grafik *specific wear rate* terhadap *speed* dengan pembebanan konstan 8 kg

Nilai *specific wear rate* terlihat semakin naik dengan semakin meningkatnya kecepatan yang diberikan. Pada grafik diatas tren grafik selalu naik dengan nilai kecepatan yang semakin tinggi. Perubahan nilai *specific wear rate* terlihat linear. Dimulai dari kecepatan 0,04 m/s hingga kecepatan 0,054 m/s tren grafik selalu naik, dan mendekati kondisi linier. Pada saat kecepatan 0,04 nilai *specific wear ratenya* adalah 0,00000827, pada kecepatan 0,046 m/s nilai *specific wear ratenya* bertambah lagi yaitu 0,00002482, dan semakin meningkat pada kecepatan 52,3 m/s yaitu 0,00005792.

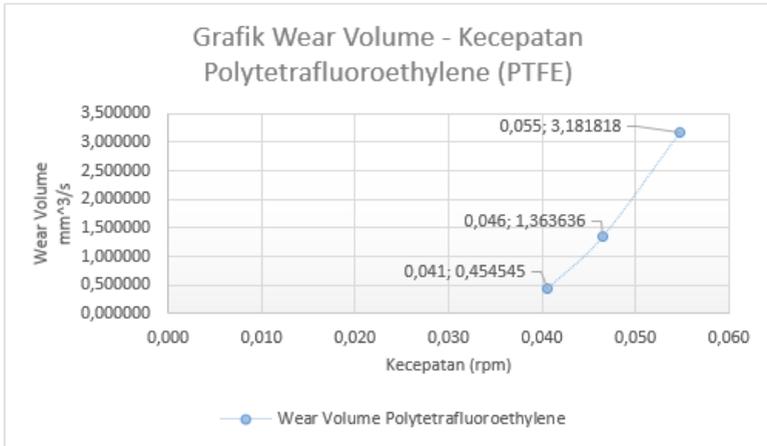
Secara teoritis, nilai *specific wear rate* akan semakin besar dengan semakin besarnya nilai kecepatan yang diberikan. Hal ini dikarenakan *polytetrafluoroethylene (PTFE)* yang diuji dengan kecepatan yang lebih tinggi akan lebih cepat mengalami

peningkatan temperatur pada permukaan kontakannya, mempercepat gesekan yang terjadi pada pin, sehingga gerusan pada pin akan makin cepat serta material menjadi lebih mudah terkikis.

Dari hasil pengujian *polytetrafluoroethylene (PTFE)* dengan 3 variasi kecepatan diatas, hasil yang didapatkan sudah sesuai dengan teori yang ada. Hal ini dapat terlihat dari grafik yang dihasilkan memiliki tren grafik yang semakin naik dan mendekati kondisi linier seiring dengan bertambahnya kecepatan yang diberikan. Pada kondisi operasinya, ketika nilai *specific wear rate* tinggi maka akan berpengaruh pada umur hidup (*life time*) material tersebut.

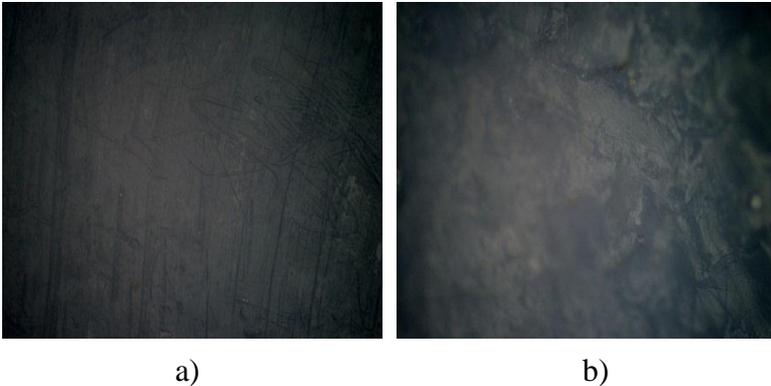
4.2.2.2 Analisa Pengaruh Kecepatan Terhadap Wear Volume Dengan Pembebanan 8 Kg

Selain nilai *specific wear rate*, didapatkan pula nilai volume yang aus pada pengujian *polytetrafluoroethylene (PTFE)*. Volume yang aus pada material *polytetrafluoroethylene (PTFE)* *Acetal* terlihat cukup signifikan perubahannya. Dapat dilihat pada Tabel 4.1, pada kecepatan 0,04 m/s (38,7 rpm) material PTFE yang terkikis karena gesekan sebesar $0,454545 \text{ mm}^3$. Material PTFE yang terkikis semakin besar dengan semakin meningkatnya kecepatan yang diberikan. Volume yang terkikis pada kecepatan 0,046 m/s (40 rpm) sebesar $1,363636 \text{ mm}^3$ dan pada kecepatan 0,054 m/s sebesar $3,181818 \text{ mm}^3$. Peningkatan nilai volume yang aus ini juga dikarenakan cepatnya kenaikan temperatur akibat kecepatan yang semakin tinggi. Dapat dilihat pada gambar 4.6 dibawah ini.



Gambar 4.6. Grafik hubungan *wearvolume* dengan variasi kecepatan pada pembebanan konstan 8 kg.

Dari grafik diatas terlihat bahwasannya nilai volume yang aus mengikuti nilai *specific wear rate* yang didapatkan. Dimana tren grafik selalu naik dengan semakin bertambahnya kecepatan yang diberikan. Hal ini dikarenakan material PTFE yang diuji dengan kecepatan yang lebih tinggi akan lebih cepat mengalami peningkatan temperatur pada permukaan kontakannya, mempercepat gesekan yang terjadi pada pin, sehingga gerusan pada pin akan makin cepat serta material menjadi lebih mudah terkikis dan volume material semakin mudah berkurang. Berikut ini adalah foto mikro PTFE dengan perbesaran 200 kali yang menunjukkan adanya perubahan permukaan pada saat sebelum dilakukan pengujian dan sesudah direndam serta setelah dilakukan pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.8.

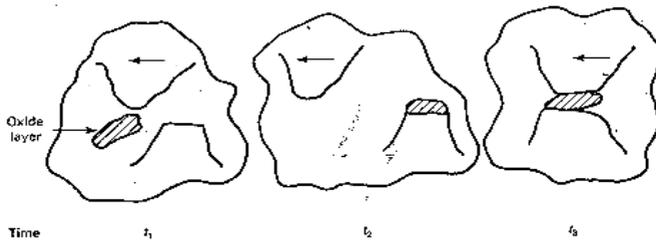


Gambar 4.7 Foto mikro perbesaran 200X PTFE a) sebelum pengujian; b) setelah direndam dengan pasta gigi Pepsodent Whitening selama 24 jam

Pada foto mikro diatas terlihat ada perbedaan kontur permukaan pada saat sebelum dilakukan pengujian gambar 4.8 a) dan setelah direndam dengan pasta gigi *pepsodent whitening* selama 24 jam gambar 4.8 b). Perbedaan kontur permukaan ini diakibatkan adanya reaksi oksidasi antara zat yang terkandung pada *pepsodent whitening* dengan material PTFE. Adanya reaksi oksidasi ini berpengaruh terhadap massa material. Hal ini dibenarkan karena setelah direndam, massa PTFE mengalami pengurangan.

Pada proses pembuatan pasta, terjadi kontak langsung antara material *polytetrafluoroethylene* (PTFE) dan SS316 dengan pasta. Menempelnya pasta gigi terhadap material *polytetrafluoroethylene* (PTFE) lambat laun akan terjadi proses oksidasi antara zat-zat yang terkandung pada pasta *pepsodent whitening* terhadap material *polytetrafluoroethylene* (PTFE) yang lebih dikenal dengan keausan korosif. Pada prinsipnya mekanisme ini dimulai dengan adanya perubahan kimiawi material di bagian permukaan oleh faktor lingkungan. Kontak dengan lingkungan ini akan menghasilkan pembentukan lapisan

pada permukaan dengan sifat yang berbeda dengan material induk. Sebagai konsekuensinya, material pada lapisan permukaan akan mengalami keausan yang berbeda. Hal ini selanjutnya mengarah kepada perpatahan interface antara lapisan permukaan dan material induk dan akhirnya seluruh lapisan permukaan itu akan tercabut.



Gambar 4.8 Ilustrasi skematis keausan oksidasi

4.2.2.3 Analisa Struktur Permukaan Setelah Percobaan

Berikut adalah foto struktur permukaan material *polyoxymethylene* (pom) / *poly acetal* setelah percobaan bisa dilihat pada gambar 4.10 :



a)



b)



c)

Gambar 4.9 Foto mikro perbesaran 200X PTFE pembebanan 8 kg setelah pengujian a) pada kecepatan 0,04 m/s. b) pada kecepatan 0,046 m/s. c) pada kecepatan 0,055 m/s.

Pada gambar 4.10 a) terlihat terdapat mekanisme abrasif yang ditunjukkan dari guratan-guratan lurus namun terlihat juga bahwa pada permukaan material sedikit terkelupas karena tergeser oleh tekanan pembebanan yang berosilasi dan tergeser oleh material SS316 yang mengalami kontak langsung dengan PTFE. Penelitian ini dilakukan secara eksperimental pengambilan data secara langsung. Ketika penelitian dilakukan dengan pemberian beban, penekanan dari beban tersebut tidak dapat memberikan penekanan yang sempurna. Penekanan dari beban seharusnya terjadi secara konstan, namun pada kenyataannya penekanan beban yang terjadi mengalami osilasi. Faktor lain yang mempengaruhi besar laju keausan adalah kecepatan yang semakin tinggi.

Pada gambar 4.10 b) terlihat dengan jelas bahwa mekanisme keausan yang terjadi akibat abrasive, hal ini ditunjukkan oleh garis merah permukaan PTFE yang memiliki guratan lurus (sejajar garis merah) yang mengindikasikan bahwa material tersebut terkikis. Pada kecepatan yang lebih tinggi yakni

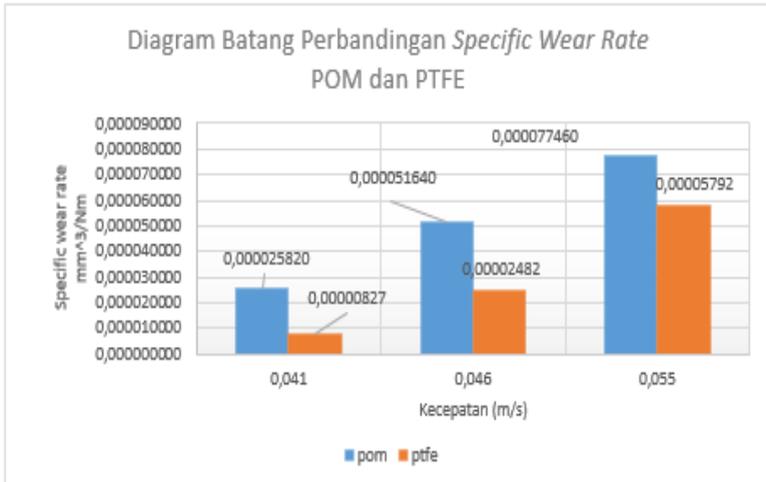
0,046 m/s mekanisme keausan yang terjadi adalah abrasive. Terlihat setelah pengujian asperity terkikis dan tergeser akibat gesekan dengan Stainless Steel.

Pada gambar 4.10 c) terlihat bahwa guratan yang terjadi semakin jelas dan hampir merata pada seluruh permukaan PTFE setelah mengalami gesekan dengan *stainless steel*. Mekanisme keausan yang terjadi akibat abrasive ini ditunjukkan oleh guratan-guratan yang sejajar dengan garis merah. Guratan yang terjadi hampir merata pada seluruh permukaan PTFE ini diakibatkan oleh kecepatan yang tinggi pada saat pengujian. Secara teori, kecepatan yang tinggi bisa mempercepat laju keausan. Selain guratan-guratan yang diakibatkan oleh mekanisme keausan abrasiv, terlihat juga bahwasannya struktur permukaan sedikit terkelupas akibat mengalami kontak dengan SS316. Peristiwa ini dinamakan mekanisme keausan adhesiv. Terlihat juga dari foto mikro diatas terdapat beberapa material yang terlihat seperti saling memadatkan dari *wear debris* yang dihasilkan. Hal ini karena beban yang diberikan sangat tinggi dan kecepatan yang diberikan juga sangat tinggi.

4.3 Grafik Perbandingan Antara POM Dan PTFE

4.3.1 Grafik Perbandingan *Specific Wear Rate* Antara POM Dan PTFE

Dari data yang ada, dapat dianalisa perbandingan nilai *specific wear rate* yang menunjukkan besarnya volume aus atau bagian yang terkikis setiap satu satuan gaya dan jarak antara material *polyoxymethylene* (POM)/*poly acetal* dan *polytetrafluoroethylene* (PTFE). Besar kecepatan suatu material yang bergerak dan mengalami kontak mempengaruhi laju keausan spesifik (*specific wear rate*). Pada penelitian ini dilakukan 3 variasi kecepatan yaitu pada kecepatan 0,04 m/s (38,7 rpm), 0,046 m/s (40 rpm), dan 0,054 m/s (52,3 rpm). Berikut grafik perbandingan nilai *specific wear rate* antara material *polyoxymethylene* (POM) / *poly acetal* dan *polytetrafluoroethylene* (PTFE) dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.10 Diagram batang perbandingan nilai *specific wear rate* terhadap kecepatan antara material *polyoxymethylene* (POM) / *poly acetal* dan *polytetrafluoroethylene* (PTFE)

Dari grafik diatas terlihat bahwa *specific wear rate* material *polyoxymethylene* (POM) / *poly acetal* lebih tinggi dibandingkan dengan material *polytetrafluoroethylene* (PTFE). Hal ini berarti bahwa material PTFE lebih baik dan lebih awet dibandingkan dengan material POM. Yaitu pada saat kecepatan 0,04 *specific wear rate* PTFE 3 kali lebih baik dibandingkan dengan material POM. Yaitu nilai *specific wear rate* pada POM $0,000025820 \text{ mm}^3/\text{Nm}$ dan *specific wear rate* pada PTFE $0,00000827 \text{ mm}^3/\text{Nm}$. Pada saat kecepatan 0,046 *specific wear rate* PTFE 2 kali lebih baik dibandingkan dengan material POM. Yaitu *specific wear rate* pada POM $0,000051640 \text{ mm}^3/\text{Nm}$ dan *specific wear rate* pada PTFE $0,00002482 \text{ mm}^3/\text{Nm}$. Dan pada saat kecepatan 52,3 *specific wear rate* PTFE 1 kali lebih baik dibandingkan dengan material POM. Yaitu nilai *specific wear*

rate pada POM 0,000077460 mm^3/Nm dan *specific wear rate* pada PTFE 0,00005792 mm^3/Nm .

Secara teoritis, nilai *specific wear rate* akan semakin besar dengan semakin besarnya nilai kecepatan yang diberikan. Hal ini dikarenakan material yang diuji dengan kecepatan yang lebih tinggi akan lebih cepat mengalami peningkatan temperatur pada permukaan kontakannya, mempercepat gesekan yang terjadi pada pin, sehingga gerusan pada pin akan makin cepat serta material menjadi lebih mudah terkikis.

Dari hasil pengujian *polyoxymethylene* (POM) / *poly acetal* dan *polytetrafluoroethylene* (PTFE) dengan 3 variasi kecepatan diatas, hasil yang didapatkan sudah sesuai dengan teori yang ada. Hal ini dapat terlihat dari diagram batang yang dihasilkan memiliki tren yang semakin naik seiring dengan bertambahnya kecepatan yang diberikan. Pada kondisi operasinya, ketika nilai *specific wear rate* tinggi maka akan berpengaruh pada umur hidup (*life time*) material tersebut. Dan dari grafik yang ada, dapat ditarik kesimpulan bahwa material *polytetrafluoroethylene* (PTFE) lebih baik dibandingkan material *Polyoxymethylene* (POM) / *Poly Acetal*. Hal ini dikarenakan nilai *specific wear rate* PTFE lebih rendah dibandingkan dengan POM.

4.4 Perhitungan Umur Hidup (Life Time) Material Uji

Pada eksperimen ini setelah dicari nilai laju keausan (*wear rate*), maka akan didapatkan umur hidup masing-masing material. Perhitungan Umur Hidup masing- masing material menggunakan rumus sebagai berikut:

$$t = \frac{L}{v}$$

t = umur hidup material (tahun)

L = panjang lintasan (meter)

v = kecepatan rata-rata (m/s)

dimana untuk mencari nilai L dapat diperoleh dengan menggunakan rumus :

$$L = \frac{V \times H}{k \times W}$$

$$V = Clearance \times A$$

- L = Panjang Lintasan (meter)
 V = Voume Batas Aus yang diijinkan (m³)
 H = nilai kekerasan pada material
 k = nilai laju keausan (m²/N)
 W = Berat pembebanan (N)
 C = clearance yaitu 0,04mm = 0,0001 m
 A = luas selimut tabung (m²)

Berdasarkan perumusan maka didapatkan hasil perhitungan yang ditampilkan dalam sebuah tabel dibawah ini :

Tabel 4.4. Hasil perhitungan umur hidup material *Polyoxymethylene (POM)* / *Poly Acetal*

Speed (rpm)	V (m ³)	H	W (N)	k (m ² /N)	L (m)	t (s)	t (bulan)	t (tahun)
38,7	4,74768E-06	72	80	3,E-11	2,E+05	8,E+05	18,91459256	1,576216047
44,4	4,74768E-06	72	80	5,E-11	8,E+04	4,E+05	8,243183919	0,686931993
52,3	4,74768E-06	72	80	8,E-11	6,E+04	2,E+05	4,665358394	0,388779866

Tabel 4.5. Hasil perhitungan umur hidup material *Polytetrafluoroethylene (PTFE)*

Speed (rpm)	V (m ³)	H	W (N)	k (m ² /N)	L (m)	t (s)	t (bulan)	t (tahun)
38,7	4,74768E-06	56	80	8,E-12	4,E+05	2,E+06	45,90775814	3,825646512
44,4	4,74768E-06	56	80	2,E-11	1,E+05	6,E+05	13,33806486	1,111505405
52,3	4,74768E-06	56	80	6,E-11	6,E+04	2,E+05	4,852855067	0,404404589

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pada bagian ini dapat disimpulkan:

1. Nilai *specific wear rate* antara *polyoxymethylene (POM)* dengan *stainless steel* yang mengalami kontak akibat variasi kecepatan 38,7 rpm, 44,4 rpm, dan 52,3 rpm akan semakin naik , yaitu rata-rata sebesar $3 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{Nm}$.
2. Nilai *specific wear rate* antara *polytetrafluoroethylen (PTFE)* dengan *stainless steel* yang mengalami kontak akibat variasi kecepatan 38,7 rpm, 44,4 rpm, dan 52,3 rpm akan semakin naik , yaitu rata-rata sebesar $2 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{Nm}$.
3. Nilai *specific wear rate* antara *polytetrafluoroethylen (PTFE)* dengan *Stainless Steel* jauh lebih baik dibandingkan dengan Nilai *Specific Wear Rate* antara *polyoxymethylene (POM)* dengan *stainless steel*, yaitu pada saat kecepatan 38,7 rpm 3x lebih baik, pada kecepatan 44,4 rpm 2x lebih baik, dan pada kecepatan 52,3 rpm 1x lebih baik.
4. Mekanisme keausan yang terjadi pada material *polyoxymethylene (POM)* yang kontak dengan *stainless steel* didominasi mekanisme abrasive dan adhesif. Guratan pada permukaan *polyoxymethylene (POM)* mengindikasikan

terjadinya abrasif dan material terkelupas mengindikasikan mekanisme adhesif.

5. Mekanisme keausan yang terjadi pada material *polytetrafluoroethylen (PTFE)* yang kontak dengan *stainless steel* didominasi mekanisme abrasif. Guratan pada permukaan *polytetrafluoroethylen (PTFE)* mengindikasikan terjadinya abrasif.
6. Umur hidup (*life time*) material *polytetrafluoroethylen (PTFE)* lebih panjang/awet dibandingkan dengan *polyoxymethylene (POM)*, yaitu pada saat kecepatan 38,7 rpm 2x lebih baik, pada kecepatan 44,4 rpm 1x lebih baik, dan pada kecepatan 52,3 rpm 1x lebih baik.

5.2 Saran

Penelitian ini masih banyak memiliki kekurangan, oleh karena itu penulis mempunyai beberapa saran, yaitu:

1. Pada penelitian ini digunakan alat tribometer dengan gerakan gesekan searah, sehingga masih bisa dikembangkan penelitian laju keausan dengan arah gerak yang bolak-balik sehingga lebih menyerupai gerak lutut sebenarnya
2. Foto mikro yang digunakan untuk mengetahui kontur permukaan gesekan masih menggunakan foto mikro perbesaran 200 kali, jadi penelitian ini lebih bisa dimaksimalkan dengan melakukan uji Scanning Electron Michroscopy (SEM) agar hasilnya lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim 14 januari 2015. *Kelebihan dan Kekurangan materia teflon*. Diakses di <http://www.pantonashare.com/4630-teflon-kelebihan-dan-kekurangannya>.
- Cong , Pei-Hong , dkk. 2009. *Efek Gaya Normal Pada Koefisien Gesekan Pada Berbagai Jenis Polimer, Yaitu Polyamide 66 (PA66), Polyphenylene Sulfide (PPS), Dan Polytetrafluoroethylene (PTFE) Dengan Pemberian Pelumas Dan Tanpa Pelumas Paraffin*.
- Khonsari, Michael M. 2001. *Applied Tribology Bearing Design and Lubrication*. New York : John Willey & Sons, Inc.
- Prayogi, Tegar. 2010. *Rancang Bangun Tribometer Tipe Pin on Disk dan Studi Eksperimental Karakteristik Tribology Polimer-polimer*. Tugas Akhir Teknik Mesin ITS .Surabaya.
- Sholichin, moch. 2008. *Experimental Study Of Specific Wear Rate On Ultra High Molecular Weight Polyethylene (Uhmwpe) With Stainless Steel On Artificial Knee Joints (Total Knee Replacement Prosthesis) Human*, Tugas Akhir Teknik Mesin ITS, Surabaya
- Zhao-Zhu Zhang, dkk. 1997. *Friction and Wear Characteristics of PTFE under Lubrication by Oil*. Laboratory of Solid Lubrication, Lanzhou Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of

Sciences, P.O. Box 97, Lanzhou 730000,
People's Republic of China.

Zhao ,Bin-yuan, dkk. 2001. *The Friction And Wear Characteristics Of Nanometer Zno Filled Polytetrafluoroethylene*. State Key Laboratory of Composite Materials of Metal Matrix, Shanghai Jiaotong University, Box A9905091, Huashan Road 1954, Shanghai 200030, PR China.

BIODATA PENULIS



Nazidatul Inayah adalah nama yang dimiliki penulis yang dilahirkan di kota Gresik pada tanggal 16 februari 1992. Penulis dilahirkan oleh seorang ibunda yang super hebat bernama Zainiyah, dan abi terbaik Akhmad Najib, S.Pdi. penulis merupakan anak ke-2 dari 6 bersaudara. Memiliki 1 kakak perempuan yang bernama Nazidatur Roziqoh (Almh). Kakak perempuan penulis sudah dipanggil oleh Allah sejak berumur 3 bulan. Namun penulis tidak kesepian dan merasa sangat beruntung karena masih diberikan 4 orang adik. 1 perempuan dan 3 laki-laki. Adik pertama penulis bernama Moh.Syaiful Ma'arif (Avin) yang sekarang sedang berada di negri Jiran. Adik ke-2 penulis bernama Diflah Haula Nabiyya (Diflah) yang saat ini telah menyelesaikan studi jenjang MTs dan akan melanjutkan sekolah ke jenjang yang lebih tinggi yaitu SMA. Adik ke-3 penulis bernama Nazid Abdullah Hayyi (Ziyad) yang saat akan naik kelas 5. Dan adik terakhir penulis bernama Moh.Mahasinul Kafa (Gafa) yang saat ini akan naik kelas 1. Untuk memulai jenjang pendidikan yang pertama, penulis memilih TK. Islamiyah selama 2 tahun. kemudian penulis melanjutkan sekolah di MI.Al-Muniroh II, berikutnya penulis melanjutkan sekolah di MTs.Al-Muniroh, dan berikutnya di MA. Al-Muniroh. Selama menempuh pendidikan dari kelas 5 Mi hingga lulus Aliyah, penulis juga aktif di Ponpes.Al-Ittihad. Setelah lulus Aliyah, penulis mengikuti program beasiswa santri berprestasi oleh kementerian agama, dan penulis diterima pada salah satu perguruan tinggi favorit yaitu

Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya Jurusan Teknik Mesin pada tahun 2010. Selama masa perkuliahan, penulis aktif pada berbagai organisasi baik intra ataupun ekstra kampus. Pada organisasi intra kampus penulis pernah menjabat sebagai bendahara umum UKM. Cinta rebana ITS. Selain itu penulis pernah menjabat sebagai staf kaderisasi JMMI ITS, dan staf kementerian Hublu BEM ITS. Pada organisasi ekstra kampus, penulis juga pernah menjabat sebagai bendahara umum CSS MoRA ITS, staff departemen kaderisasi PMII ITS, dan staff kementerian RISTEK CSS MoRA Nasional. Selain aktif di berbagai organisasi, penulis juga sering mengikuti perlombaan yang bernuansa islami. Diantaranya, pada awal penulis masuk ITS tahun 2010 penulis menyabet Juara I festival banjari bergengsi yang diadakan oleh jawa pos tingkat jawa timur. Selain itu, penulis juga pernah mewakili ITS pada Musabaqah Tilawatil Quran mahasiswa baik tingkat jawa timur maupun Nasional. Pada MTQ mahasiswa tingkat jawa timur, penulis pernah meraih Juara I cabang tartil tahun 2010 di ITS, juara III cabang qiroah sab'ah tahun 2013 di UIN Malang. Dan pada MTQ mahasiswa nasional, penulis pernah mejadi delegasi dari ITS pada MTQ Mahasiswa nasional di makassar dan padang. Dan mendapatkan juara harapan 1 pada MTQMN di Padang tahun 2013. Penulis mengambil bidang study desain di jurusan Teknik Mesin ITS. Penulis pernah menjadi asisten praktikum Dinamika teknik 2 kali, dan asisten praktikum Mekanika Getaran 2 kali. Semua prestasi yang telah diraih oleh penulis, semata-mata dipersembahkan kepada kedua orang tua tercinta. Dan saat ini penulis telah menyelesaikan program S1-Teknik Mesin ITS pada tahun 2015. Perjuangan penulis tidak hanya berhenti sampai disini. Semoga Allah selalu memberikan kemudahan pada setiap langkah yang akan dilalui oleh penulis. Amin...