



**TUGAS AKHIR - TM141585**

**STUDI EKSPERIMEN DAN ANALISA KEAUSAN  
*JOURNAL BEARING DRY CONTACT* PADA *ROTARY*  
*VALVE* MESIN PEMBUAT PASTA**

ENDAH KURNIA NINGSIH  
NRP. 2110 100 073

Dosen Pembimbing  
Ir. Yusuf Kaelani, Msc.E

Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016



**FINAL PROJECT - TM141585**

# **EXPERIMENTAL STUDY AND WEAR ANALYSIS OF JOURNAL BEARING DRY CONTACT IN ROTARY VALVE MACHINE OF PASTE MAKERS**

**ENDAH KURNIA NINGSIH**  
NRP. 2110 100 073

Adviser Lecturer  
**Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E.**

**DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING**  
Faculty of Industrial Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016

## LEMBAR PENGESAHAN

### “STUDI EKSPERIMEN DAN ANALISA KEAUSAN *JOURNAL BEARING DRY CONTACT* PADA *ROTARY VALVE* MESIN PEMBUAT PASTA “

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada  
Bidang Studi Desain  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Endah Kurnia Ningsih**

Nrp. 2110 100 073

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E ..... (Pembimbing I)  
NIP. 196511031990021001
2. Ir. Ari Joewono ..... (Penguji I)
3. Dr. Ir. Agus Sigit P., DEA ..... (Penguji II)  
NIP. 196508101991021001
4. Ir. J Lubi ..... (Penguji III)  
NIP. 194802201976031001

**SURABAYA**  
**Januari, 2016**

**STUDI EKSPERIMEN DAN ANALISA KEAUSAN  
JOURNAL BEARING DRY CONTACT PADA ROTARY  
VALVE MESIN PEMBUAT PASTA**

**Nama Mahasiswa** : Endah Kurnia Ningsih  
**NRP** : 2110100073  
**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. 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.*

*Langkah-langkah penelitian yang dilakukan adalah sebelum dilakukan pengujian pada mesin tribometer, 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 tanpa menggunakan pelumas (dry sliding) sebelum pengujian dimulai, dilakukan penimbangan akhir spesimen uji. Pengulangan pengujian 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 3x lebih baik, dan pada kecepatan 0,054 m/s 3x 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 2x lebih baik, dan pada kecepatan 0,054 m/s 2x lebih baik.

**Kata kunci :** Polyoxymethylene (POM), Polytetrafluoroethylene (PTFE), wear rate, Dry sliding.

# EXPERIMENTAL STUDY AND WEAR ANALYSIS OF JOURNAL BEARING DRY CONTACT IN ROTARY VALVE MACHINE OF PASTE MAKERS

**Name** : Endah Kurnia Ningsih  
**NRP** : 2110100073  
**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 condition dry sliding.*

*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 in condition dry sliding. 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 3x better, and at a speed of 0,054 m/s 3x 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 2x better, at a speed of 0,054 m/s 2xbetter.*

***Keywords: Polyoxymethylene (POM), polytetrafluoroethylene (PTFE), Dry slidng, wear rate***

## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan Syukur Alhamdulillah, Segala Puji bagi Allah SWT. Tuhan semesta alam yang hanya atas karena izin dan segala rahmat hidayah-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menikmati nikmatnya mengenyam bangku kuliah, yang tentu saja tidak semua orang dapat memiliki kesempatan yang sama seperti penulis.

Adapun tugas akhir yang berjudul “Study Eksperimen Dan Analisa Keausan *Journal Bearing Dry Contact* Pada *Rotary Valve* Mesin Pembua Pasta” ini diajukan guna memenuhi syarat kelulusan untuk menyelesaikan studi S1 di Teknik Mesin ITS.

Dalam pengerjaannya, penulis banyak melibatkan pihak-pihak yang membantu, memotivasi, dan mendorong penulis untuk segera menyelesaikannya. Oleh karena itu, izinkan penulis mengucapkan Terima Kasih dan Penghargaan sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa. Tugas akhir ini tidak akan terselesaikan tanpa Ridho mu ya Rabb.
2. Bp. Djumahari, dan Ibu Tasriatin. Kedua orang tua penulis, yang penulis cinta sepenuh hati. Terima Kasih atas kasih sayang dan doa, telah menjadi orang tua terbaik yang ada di dunia. Tak lupa penulis ucapkan Terima Kasih pada 4 kakak perempuan penulis. Mbak Ika, santi, Trias, dan Catur yang selalu memberikan dukungan dan motivasi
3. Ir. Yusuf Kaelani, MSc. E., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan ilmu serta pengetahuan berharga bagi penulis.
4. Bapak Arie joewono, Bapak lubi dan Bapak Agus sigit. Dosen Penguji tugas akhir penulis, Terima Kasih atas segala masukan saat seminar dan sidang tugas akhir penulis.
5. Bp. Wahyu Wijanarko selaku dosen wali yang tiap semester membantu penulis dengan saran-saran pengambilan mata kuliah.
6. Bp. Arif Wahjudi dan Bp. Wawan Aries Widodo yang pernah membantu dan saran akademik serta finansial penulis dalam bentuk bekerja.

7. Nazidatul Inayah, Partner Tugas Akhir yang selalu memberikan motivasi, berbagi keluh kesah dan dukungan, susah senang dikerjakan bersama-sama hingga selesai. Dan juga sahabat terbaik penulis.
8. Vatrem (TB), mungkin saat ini bukan siapa-siapa dalam hidup penulis, tapi selalu membawa indahnya kehidupan bagi penulis entah dalam bentuk kesenangan maupun masalah. Terkadang menjadi motivasi, dan terkadang menjadi hambatan.
9. Sahabat Sejati dan sehati penulis”Naynul, Dancunk, gallih yang selama ini menemani hari-hari penulis selama mengerjakan Tugas Akhir, Susah Senang dilalui bersama-sama. Dan juga sahabat terbaik penulis”Beta dan Raisa” yang juga selalu memberikan dukungan dan motivasi penulis.
10. Supri Arianto yang juga teman terbaik penulis, yang selalu memberikan dukungan, motivasi dan membantu dalam hal apapun hingga tidak bisa disebutkan kebaikannya. Mungkin kalau tidak ada supri, penulis tidak bisa melanjutkan kuliah hingga sampai saat ini.
11. Cewek-cewek M53. Dewi, iqa, puput, Zahra, risti, el, fitri, atik, chika, mumu, eka marlyana, isma, nava, fina, tyas dan lainnya yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang memberikan dorongan pada penulis agar bisa menyelesaikan tugas akhir ini.
12. BPH Mesin Music Club 2010 dan segenap MMC crew yang akan selalu penulis banggakan.
13. Angkatan M53, Keluarga Bidikmisi, warga laboratorium Desain serta karyawan khususnya pak mantri yang telah membantu menyelesaikan tugas akhir ini.

Dalam tugas akhir ini, tentunya tidak luput dari kesalahan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik demi kesempurnaan tugas akhir ini.

Surabaya, 25 Januari 2016

Penulis

## DAFTAR ISI

Judul	
Halaman Pengesahan	
Abstrak .....	iv
Abstract .....	vi
Kata pengantar.....	viii
Daftar isi .....	x
Daftar Gambar.....	xiv
Daftar Tabel.....	xvi

### **BAB 1 PENDAHULUAN**

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan masalah .....	2
1.3 Tujuan Masalah .....	2
1.4 Batasan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3

### **BAB 2 DASAR TEORI**

2.1 Proses Terjadinya Keausan .....	5
2.2 Polyoxymethylene (POM).....	8
2.2.1 Karakteristik Material Polyoxymethylene (POM) .....	8
2.3 <i>Stainless Steel Aisi 316</i> .....	10
2.3.1 Sifat Mekanik dan Karakteristik <i>Stainless Steel Aisi 316</i> .....	10
2.4 Material Rekomendasi.....	12
2.5 Teori Gesekan ( <i>Friction</i> ).....	13
2.5.1 Gaya Gesek Statis.....	15
2.5.1 Gaya Gesek Kinetis.....	16
2.6 Keausan .....	16
2.6.1 Keausan Gesek (sliding wear, Adhesive wear) .....	17
2.6.2 Keausan Abrasif (Abrasive wear) .....	19
2.6.3 Keausan Lelah .....	21
2.6.4 Keausan Korosi .....	23
2.7 Kesesuaian Kondisi Operasi Vs Eksperimen .....	23

2.7.1 Persamaan Gerak Linier .....	24
2.7.2 Distribusi Gaya.....	24
2.8 <i>Dry Sliding</i> .....	24

### **BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN**

3.1 Diagram Alir Penelitian.....	29
3.1.1 Studi Literatur dan Lapangan .....	30
3.1.2 Persiapan Alat Uji Tribometer Tipe Pin On Disk.....	30
3.1.2.1 Spesifikasi Perawatan Tribometer .....	30
3.1.3 Penetapan Material Rekomendasi .....	38
3.1.4 Persiapan Specimen.....	38
3.1.4.1 Polyoxymethylene (POM) .....	38
3.1.4.2 <i>Stainless steel Aisi 316</i> .....	38
3.1.4.3 Polytetrafluoroethylene (PTFE) .....	39
3.1.5 Analisa Struktur Permukaan.....	39
3.1.6 Pengambilan Data Penelitian .....	39
3.1.7 Pengolahan Data Penelitian .....	39
3.1.8 Pembuatan Grafik dan Analisa Hasil Penelitian.....	39
3.1.9 Kesimpulan dan Saran.....	39
3.2 Rancangan Penelitian.....	42
3.3 Kalibrasi <i>Speed Control</i> .....	43
3.4 Persiapan Pengambilan Data .....	45

### **BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

4.1 Data Hasil Penelitian Laju Keausan Pada Kondisi <i>Dry Sliding</i> .....	51
4.1.1 <i>Polyoxymethylene</i> (POM).....	51
4.1.2 Polytetrafluoroethylene (PTFE) .....	51
4.2 Pembahasan Grafik .....	52
4.2.1 <i>Polyoxymethylene</i> (POM).....	52
4.2.1.1 Analisa pengaruh kecepatan ( <i>Sliding Speed</i> ) terhadap Specific Wear Rate Pada Specimen <i>Polyoxymethylene</i> (POM) Pada kondisi <i>Dry Sliding</i> ....	52
4.2.1.2 Analisa Pengaruh Kecepatan Terhadap <i>Wear</i> <i>Volume</i> Dengan Pembebanan 8 Kg .....	53

4.2.1.3 Analisa Struktur Permukaan Sebelum dan Setelah Pengujian.....	55
4.2.2 <i>Polytetrafluoroethylene</i> (PTFE) .....	57
4.2.2.1 Analisa pengaruh kecepatan ( <i>Sliding Speed</i> ) terhadap Specific Wear Rate Pada Specimen <i>Polyoxymethylene</i> (POM) Pada kondisi <i>Dry Sliding</i> .....	57
4.2.2.2 Analisa Pengaruh Kecepatan Terhadap <i>Wear Volume</i> Dengan Pembebanan 8 Kg .....	58
4.2.2.3 Analisa Struktur Permukaan Sebelum dan Setelah Pengujian. ....	60
4.2.3 Grafik Perbandingan Antara POM dan PTFE.....	62
4.2.3.1 Grafik Perbandingan <i>Specific Wear Rate</i> Antara <i>POM Dan PTFE</i> .....	62
4.3 Perhitungan Umur Hidup (Life Time) Material Uji .....	64

## **KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Kesimpulan.....	67
5.2 Saran .....	68

## **DAFTAR PUSTAKA BIODATA PENULIS**

*(Halaman ini Sengaja Dikosongkan)*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Hisap Mesin Pasta .....	5
Gambar 2.2 Proses Filling Mesin Pasta .....	5
Gambar 2.3SS316 Pada <i>Rotary Valve</i> .....	6
Gambar 2.4 POM Pada <i>Rotary Valve</i> .....	6
Gambar 2.5 Pasta Inlet Pada <i>Rotary Valve</i> .....	6
Gambar 2.6 Pasta Outlet Pada <i>Rotary Valve</i> .....	6
Gambar 2.7 Komponen <i>Rotary Valve</i> .....	7
Gambar 2.8 <i>Housing</i> dan <i>Sleeve Bearing</i> .....	8
Gambar 2.9 Gaya Gesek yang Bekerja pada Balok .....	13
Gambar 2.10 Kontak <i>Asperity</i> antara 2 Buah Permukaan .....	13
Gambar 2.11 Pengamatan <i>micrographs</i> keausan gesek .....	17
Gambar 2.12 Mekanisme keausan gesek.....	18
Gambar 2.13 Pengamatan <i>Micrographs</i> Keausan Abrasive.....	20
Gambar 2.14 Mekanisme Keausan Abrasive .....	20
Gambar 2.15 Keausan Abrasi.....	20
Gambar 2.16 Mikroskopik Suatu Material Karena Keausan Lelah .....	22
Gambar 2.17 Mekanisme Keausan Lelah.....	22
Gambar 2.18 Keausan Korosif Pada Baja .....	23
Gambar 2.19 <i>Rotary Valve</i> .....	25
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian .....	29
Gambar 3.2 Bagian-Bagian Dari Alat Tribometer Tipe Pin On Disk.....	31
Gambar 3.3 Tribometer Tipe Pin On Disk Laboratorium Teknik Mesin ITS .....	34
Gambar 3.4 <i>Metal Main Holder</i> .....	35
Gambar 3.5 <i>Casing holder</i> .....	35
Gambar 3.6 <i>Casing Holder</i> dan Komponen Penyusun Bagian Dalam Casing.....	35
Gambar 3.7 Ulir <i>Load Adjuster</i> .....	36
Gambar 3.8 Ulir Penutup Casing .....	36
Gambar 3.9 Dummy .....	37
Gambar 3.10 Pegas .....	37

Gambar 3.11 Pencengkeram Pin .....	37
Gambar 3.12 Flowchart Pengujian .....	42
Gambar 3.13 Kalibrasi <i>Speed Control</i> dengan Tachometer Untuk Mencari Rpm <i>Disk</i> .....	44
Gambar 3.14 Desain Pin.....	45
Gambar 3.15 POM dan PTFE sebagai PIN .....	46
Gambar 3.16 Desain Disk.....	46
Gambar 3.17 <i>Stainless Steel</i> Sebagai Disk .....	46
Gambar 3.18 Proses Penimbangan Pin.....	47
Gambar 3.19 Pemasangan Pin .....	48
Gambar 3.20 Penyetelan Pegas dan Pengaturan Kecepatan <i>Speed Control</i> .....	49
Gambar 3.21 Mikroskop Optik Pembesaran 200 kali .....	50
Gambar 4.1 Pengaruh Kecepatan Terhadap <i>Specific Wear Rate</i> Pada Specimen PTFE .....	52
Gambar 4.2 Grafik Wear volume dengan Speed Pada Pembebanan konstan 8 kg.....	54
Gambar 4.3 Foto Mikro material POM Perbesaran 200 kali dengan pembebanan 8 Kg. a) Sebelum pengujian, b) Setelah Pengujian pada kecepatan 0,04 m/s, c) Setelah Pengujian Pada Kecepatan 0,046 m/s, d) Setelah Pengujia Pada Kecepatan 0,055 m/s .....	55
Gambar 4.4 Pengaruh Kecepatan Terhadap <i>Specific Wear Rate</i> Pada Specimen PTFE .....	57
Gambar 4.5 Grafik Wear volume dengan Speed Pada Pembebanan konstan 8 kg.....	59
Gambar 4.6 Foto Mikro material PTFE Perbesaran 200x dengan pembebanan 8 Kg. a) Sebelum pengujian, b) Setelah Pengujian pada kecepatan 0,04 m/s, c) Setelah Pengujian Pada Kecepatan 0,046 m/s, d) Setelah Pengujia Pada Kecepatan 0,055 m/s .....	60
Gambar 4.7 Diagram Batang Perbandingan Nilai <i>Specific Wear Rate</i> Terhadap Kecepatan Antara Material Polyoxymethylene (POM) dan Polytetrafluoroethylene (PTFE) .....	62

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Data Spesifikasi Pemilihan Material Rekomendasi ...	12
Tabel 2.2 <i>Coefficient of Friction</i> dari Beberapa Material .....	15
Tabel 2.3 Data Kondisi Operasi Mesin Pembuat Pasta .....	23
Tabel 3.1 Rancangan penelitian pengujian keausan <i>dry sliding</i>	42
Tabel 3.2 Kalibrasi <i>Speed Control</i> .....	44
Tabel 4.1 Data Perhitungan Hasil Pengujian pada spesimen Polyoxymethylene (POM) dengan <i>Stainless Steel</i> AISI 316 tanpa Pelumasan (Dry Sliding) .....	51
Tabel 4.2 Data Perhitungan Hasil Pengujian pada spesimen Polytetrafluoroethylene (PTFE) dengan <i>Stainless Steel</i> AISI 316 tanpa Pelumasan ( <i>Dry Sliding</i> ).....	51
Tabel 4.3 Perbandingan Nilai Specific wear rate antara <i>Polyoxymethylene</i> Dan <i>Polytetrafluoroethylene</i> .....	63
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Umur Hidup Material <i>Polyoxymethylene (POM)</i> .....	65
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Umur Hidup Material <i>Polytetrafluoroethylene (PTFE)</i> .....	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. Sedangkan *Dry Sliding* merupakan pengujian suatu material tanpa pelumas untuk mengetahui tingkat keausan antara material satu dengan yang lain dalam kondisi kering saat bergesekan. Pada proses mesin pembuat pasta, adanya pasta sebagai pelumas menyebabkan keausan pada material *Polyoxymethylene* (POM), sehingga mengakibatkan umur material pendek, dan material harus diganti setiap 3 (tiga) bulan sekali dengan material yang baru. Maka dari itu dalam penelitian tugas akhir ini, akan dilakukan proses pengujian untuk mengetahui tingkat keausan POM pada kondisi tanpa pelumas (*Dry Sliding*) dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh material ketika bergesekan dengan

material lain pada kondisi kering. Diharapkan dalam eksperimen ini diketahui umur dari material ketika dilakukan pengujian dalam kondisi kering

Oleh karena itu, pada tugas akhir ini penulis akan melakukan analisa terkait laju keausan pada material *Polyoxymethylene* (POM) terhadap *Stainless Steel* Aisi SS316 tanpa pelumas (*Dry Sliding*).

### **1.2 Perumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah pada penelitian analisa laju keausan antara material *Polyoxymethylene* (POM) dengan *Stainless Steel* Aisi SS316 tanpa pelumas (*Dry Sliding*) adalah :

1. Bagaimana laju keausan (*wear rate coefficient*) material *Polyoxymethylene* (POM) tanpa adanya pelumas (*Dry Sliding*)?
2. Berapa *life time* dari material *Polyoxymethylene* (POM) pada kondisi *Dry Sliding* ?
3. Material apakah yang sekiranya memiliki wear rate yang lebih baik dari *Polyoxymethylene* (POM) ?

### **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah dari penelitian analisa laju keausan antara material *Polyoxymethylene* (POM) dengan *Stainless Steel* Aisi SS316 ini adalah :

1. Tidak membahas struktur mikro material uji.
2. Penelitian dilakukan tanpa pelumas.
3. Tidak ada kesalahan dalam pemasangan komponen mesin.
4. Tidak ada kenaikan temperatur.
5. Kekerasan permukaan dianggap sama.
6. Tekanan operasional konstan.
7. Kecepatan yang digunakan adalah 50, 60 dan 70 m/s
8. Beban yang digunakan konstan 8 Kg

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian analisa laju keausan antara material *Polyoxymethylene* (POM) dengan *Stainless Steel* Aisi SS316 ini adalah :

1. Untuk mengetahui laju keausan (*wear rate coefficient*) material *Polyoxymethylene* (POM) tanpa adanya pelumas (*Dry Sliding*).
2. Untuk mengetahui *life time* dari material *Polyoxymethylene* (POM) pada kondisi *Dry Sliding*.
3. Mencari material alternative memiliki *wear rate* lebih baik dari *Polyoxymethylene* (POM).

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

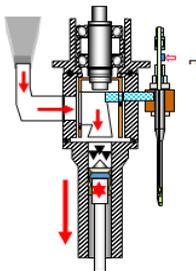
Tujuan yang ingin dicapai dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai rekomendasi dalam pemilihan material untuk mesin pembuat pasta.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

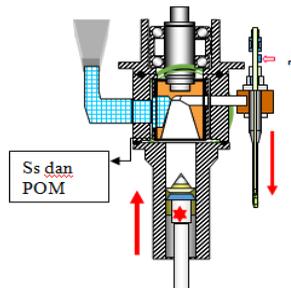
## BAB II DASAR TEORI

### 2.1 Proses Terjadinya Keausan

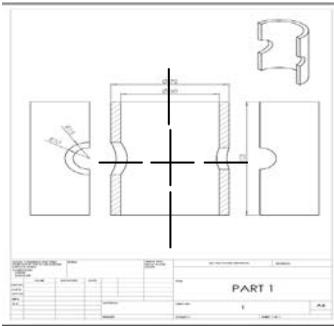
Pada proses pembuatan pasta, komponen mesin yang sering terjadi keausan adalah pada *rotary valve* pada proses pengisian (*filling*). Proses *Filling* berfungsi untuk memindahkan pasta dari *hopper* ke *tube product*, sedangkan *rotary valve* berfungsi untuk mengarahkan pasta keluar dari *dosing cylinder* 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 hopper (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*.



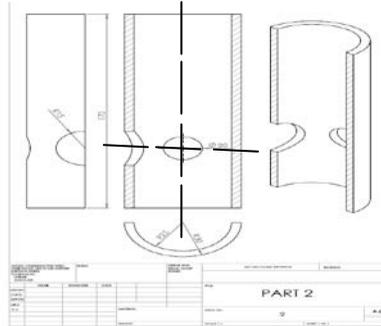
**Gambar 2.1** Proses Hisap  
Mesin Pasta



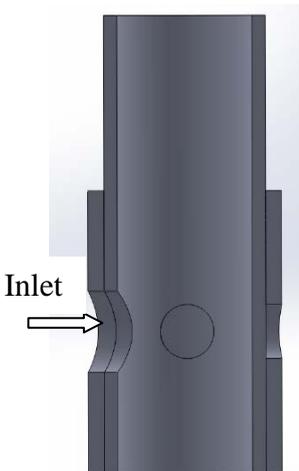
**Gambar 2.1** Proses Filling  
Mesin Pasta



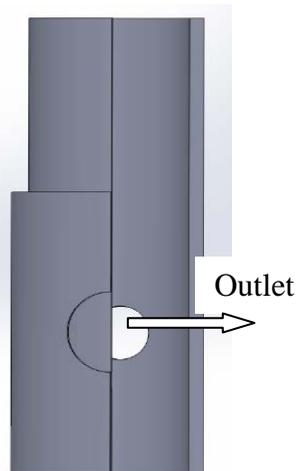
**Gambar 2.3** SS316 Pada Rotary Valve



**Gambar 2.4** POM Pada Rotary Valve



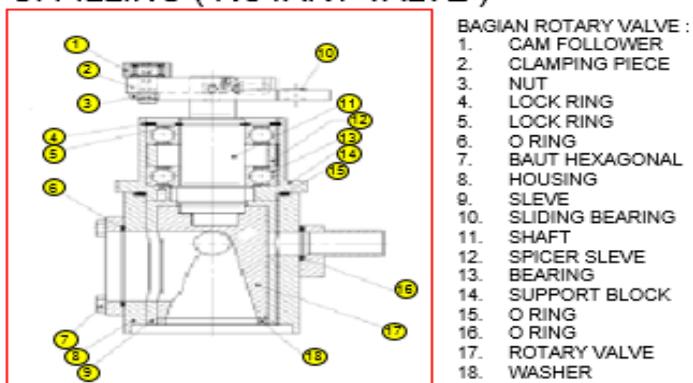
**Gambar 2.5** Pasta Intlet Pada Rotary



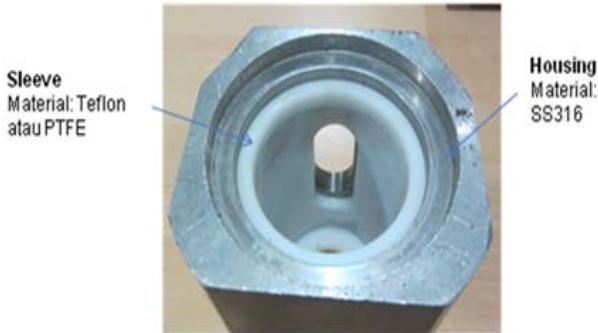
**Gambar 2.6** Pasta Outlet Pada Rotary

Dari gambar 2.5 dan gambar 2.6 merupakan proses terjadinya 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 2.7** Komponen *Rotary Valve*



**Gambar 2.8** *Housing dan Sleeve Bearing*

## 2.2 *Polyoxymethylene (POM)*

*Polyoxymethylene* 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, mesin pembuat pasta, roda dan bushing. *Polyoxymethylene (POM)* merupakan material yang ada pada kondisi operasi mesin pembuat pasta, yang dimana *Polyoxymethylene (POM)* sebagai *sleeve bearing* pada rotary valve.

### 2.2.1 **Karakteristik Material *Polyoxymethylene (POM)***

*Polyoxymethylene* 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 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 *Polyoxymethylene* yaitu homopolimer dan kopolimer. POM homopolimer merupakan polimer kristalin yang dibuat dari formal dehidra Resin ini secara tehnik disebut polioksi metilena (POM). POM homopolimer dapat dicampur daengan aditif seperti : antioksidan, pelumasan, filler, pewarna, UV stabilizer, dan lain lain. Resin ini aslinya berwarna putih buram. Sifat-sifat umum resin asetat adalah: (Naya, 2015)

### 1. **Strength**

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

### 2. **Toughness**

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

### 3. **Thermal**

Titik leleh homopolimer asetal lebih rendah daripada engineering thermoplastic lainnya.

#### 4. *Elektrikal*

Sifat elektrikalnya dipengaruhi oleh kandungan uap air. Konstanta dielektrikalnya bervariasi dari frekwensi 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 *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 Aisi 316* merupakan material yang ada pada kondisi operasi mesin pembuat pasta, yang dimana *Stainless Steel Aisi 316* sebagai *Housing bearing* pada rotary valve.

#### 2.3.1 **Sifat Mekanik dan Karakteristik Stainless Steel Aisi 316**

Adapun sifat mekanis dari *Stainless steel Aisi 316* 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. (Aldis)

## 2.4 Material yang direkomendasikan

Dalam pemilihan material alternatif untuk pengganti *Polyoxymethylene* (POM) pada mesin pembuat pasta di Rotary Valve dengan ketentuan memiliki wear rate lebih baik dari material sebelumnya atau *Polyoxymethylene* (POM). Dengan mempertimbangkan sifat mekanis yang dimiliki berpengaruh terhadap keausan. Berikut adalah material-material yang menjadi pilihan untuk dijadikan pengganti dari *Polyoxymethylene* (POM).

**Tabel 2.1** Data Spesifikasi Pemilihan Material Rekomendasi

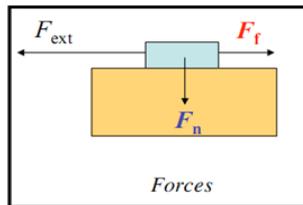
Material	Koefisien Gesek	Wear Factor (K)	E-Modulus	Kekasaran
Polytetrafluoroethylene (PTFE)	0,4	$121 \times 10^{-8} \text{ mm}^3/\text{Nm}$	2380 Mpa	58
High Density Poly Ethylene (HDPE)	0,2	$1,00\text{E}-11 \text{ mm}^3/\text{Nm}$	1300 Mpa	54
Ultra High Molecular Weigh Poly Ethylene (UHMWPE)	0,2	$3,694\text{E}-05 \text{ mm}^3/\text{Nm}$	1500 Mpa	37

Adapun sifat mekanik lainnya yang dimiliki oleh PTFE dan HDPE yaitu kekuatan dan kekerasan yang tinggi. Pada HDPE, memiliki sifat Heat Resiten, tanggung, tahan terhadap bahan kimia. Pada UHMWPE dan HDPE memiliki kepadatan yang rendah dibandingkan dengan PTFE. Dan untuk aplikasi, material PTFE biasanya digunakan pada pembuat makanan, botol susu, kaleng. Sedangkan pada UHMPE aplikasinya pada kaleng, bagian yang bergerak dari mesin pemutar, roda gigi. Sedangkan pada

HDPE, aplikasinya biasanya digunakan botol susu, kaleng, pipa air dan tempat sampah.(Zhao, dkk 2001)

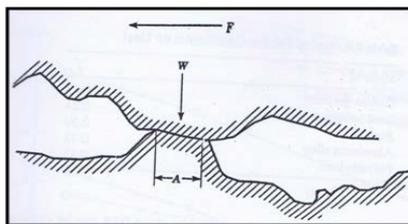
## 2.5 Teori Gesekan ( Friction)

Gaya gesek adalah gaya yang berarah melawan gerak benda atau arah kecenderungan benda untuk bergerak. Gaya gesek muncul apabila dua buah benda bersentuhan. Benda-benda yang dimaksud di sini tidak harus berbentuk padat, melainkan dapat pula berbentuk cair ataupun gas. Gaya gesek antara dua buah benda padat misalnya adalah gaya gesek statis dan kinetis, sedangkan gaya antara benda padat dan cairan serta gas adalah gaya Stokes.



**Gambar 2.9** Gaya Gesek yang Bekerja pada Balok

Di dalam suatu studi mengenai material atau biasa disebut *material science* diketahui bahwa pada permukaan logam yang sekalipun terlihat sangat mulus dalam skala makroskopis ternyata memiliki *asperity* (dalam bahasa Inggris) atau permukaan yang kasar bila dilihat dalam skala mikroskopis. Pada keadaan dua logam yang bergesekan, *asperity* inilah yang menimbulkan friksi/ pergesekan serta keausan dan juga menghasilkan panas (contoh telapak tangan).



**Gambar 2.10** Kontak *Asperity* antara 2 Buah Permukaan

Dua buah permukaan yang diperlihatkan pada Gambar 2.10 sedang menerima gaya beban sebesar  $W$ . Pada keadaan *dry sliding* luas permukaan kontak ( $A$ ) yang sebenarnya terjadi antara dua permukaan tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut ini.

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

Dimana:

$A$  : Luas permukaan asperity ( $m^2$ )

$W$  : Gaya Load (N)

$P$  : Tekanan ( bar )

Sementara itu pada material yang memiliki *shear strength* sebesar ( $s$ ), besarnya gaya ( $F$ ) yang dibutuhkan untuk memindahkan *asperity* dari material tersebut dapat di ekspresikan seperti persamaan 2.2 berikut.

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

Dimana :

$s$  = shear strength (psi)

Besarnya harga *coefficient of friction*  $\mu$  didefinisikan sebagai rasio dari  $F$  terhadap besarnya beban  $W$  yang diberikan. Hal ini dapat diperoleh dari hasil kombinasi antara persamaan 2.1 dan 2.2, sehingga diperoleh persamaan 2.3 berikut ini.

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

Dari persamaan 2.3 dapat dilihat bahwa gesekan yang ditimbulkan oleh beban  $W$  yang sama akan memiliki nilai resistansi yang sama walaupun balok memiliki panjang dan lebar yang berbeda. Selain itu, gaya gesek juga akan meningkat secara berbanding lurus dengan bertambahnya beban  $W$  yang bekerja pada benda.

Setiap benda yang berbeda maka akan memiliki harga *coefficient of friction* yang berbeda-beda pula. Beberapa nilai

coefficient of friction dari material dapat dilihat pada Tabel 2.3 berikut ini.

**Tabel 2. 2 Coefficient of Friction dari Beberapa Material**

Material	Coeff. Of friction
Carbon graphite	0,19
Lead Babbitt	0,24
Bronze	0,30
Aluminium alloy	0,33
Polyethylene	0,33

Terdapat 2 jenis gaya gesek yang bekerja pada benda yang saling kontak, yaitu gaya gesek statis dan gaya gesek kinetis. Berikut ini adalah penjelasan dari masing- masing jenis gaya gesek antara dua benda padat yang saling kontak.

### 2.5.1 Gaya Gesek Statis

Gaya gesek statis adalah gesekan antara dua benda padat yang tidak bergerak relatif satu sama lainnya. Gesekan statis dapat mencegah benda meluncur ke bawah pada bidang miring. Koefisien gesek statis umumnya dinotasikan dengan  $\mu_s$ , dan pada umumnya lebih besar dari koefisien gesek kinetis.

Gaya gesek statis dihasilkan dari sebuah gaya yang diaplikasikan tepat sebelum benda tersebut bergerak. Gaya gesekan maksimum antara dua permukaan sebelum gerakan terjadi adalah hasil dari koefisien gesek statis dikalikan dengan gaya normal. Secara matematis dapat di tuliskan seperti pada persamaan 2.2 berikut:

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

Dimana :

F : besarnya gaya gesek statis (N)

$\mu_s$  : koefisien gesek statis

$F_n$  : gaya normal yang bekerja (N)

Ketika tidak ada gerakan yang terjadi, gaya gesek dapat memiliki nilai dari nol hingga gaya gesek maksimum. Setiap gaya yang lebih kecil dari gaya gesek maksimum yang berusaha untuk menggerakkan salah satu benda akan dilawan oleh gaya gesekan yang setara dengan besar gaya tersebut namun berlawanan arah. Setiap gaya yang lebih besar dari gaya gesek maksimum akan menyebabkan gerakan terjadi. Setelah gerakan terjadi, gaya gesekan statis tidak lagi dapat digunakan untuk menggambarkan kinetika benda, sehingga digunakan gaya gesek kinetis.

### 2.5.2 Gaya Gesek Kinetis

Gaya gesek kinetis atau dinamis terjadi ketika dua benda bergerak relatif satu sama lainnya dan saling bergesekan. Koefisien gesek kinetis umumnya dinotasikan dengan  $\mu_k$  dan pada umumnya selalu lebih kecil dari gaya gesek statis untuk material yang sama. Gaya gesek kinetis dapat di formulasikan sebagai berikut : (Susastro, 2013)

$$f_k = \mu_k \cdot F_n \quad (2.5)$$

Dimana :

$f_k$  = besarnya gaya gesek kinetis (N)

$\mu_k$  = Koefisien gaya kinetis

$F_n$  = gaya normal yang bekerja (N)

### 2.6 Keausan ( Wear)

Keausan yaitu sebagai hilangnya bagian dari permukaan yang saling berinteraksi yang terjadi sebagai hasil gerak relatif pada permukaan. Keausan yang terjadi pada suatu material disebabkan oleh adanya beberapa mekanisme yang berbeda dan terbentuk oleh beberapa parameter yang bervariasi meliputi bahan, lingkungan, kondisi operasi, dan geometri permukaan benda yang

terjadi keausan. Mekanisme keausan dikelompokkan menjadi dua kelompok, yaitu keausan yang penyebabnya didominasi oleh perilaku mekanis dari bahan dan keausan yang penyebabnya didominasi oleh perilaku kimia dari bahan. Pada tahun 1957, Burwell, membagi proses keausan terjadi menjadi 4 macam, yaitu :

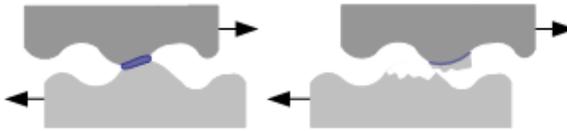
### 2.6.1 Keausan gesek (sliding wear, Adhesive wear)

Keausan gesek terjadi jika dua permukaan benda saling berkontak dan bergerak relatif satu sama lain serta mengalami pembebanan. Kontak permukaan dari kedua material tersebut mengakibatkan adanya perlekatan (*adhesive*) serta mengakibatkan deformasi plastis. Hingga pada akhirnya terjadi pengikatan (*bonding*) sebagian kecil permukaan material yang satu oleh material yang lain, seperti ditunjukkan pada gambar 2.9 dan mekanismenya pada gambar 2.10.



**Gambar 2.11** Pengamatan *micrographs* keausan gesek

### Adhesive wear



**Gambar 2.12** Mekanisme Keausan Gesek

Hukum keausan gesekan dikemukakan oleh Archard (1953). Dalam teorinya, Archard mengasumsikan jari-jari kontak yang terjadi mempunyai besar  $a$ , sehingga luas area kontak adalah  $\pi a^2$ . Dan juga diasumsikan deformasi plastis yang terjadi sama dengan nilai kekerasan (*hardness*)  $H$  dari material yang aus, sehingga gaya kontak menjadi  $\pi a^2 H$ . bila material tersebut akan bergerak sejauh  $2a$  dan diasumsikan bekas yang terjadi berbentuk hemispherical maka volume jejak tersebut adalah  $2\pi a^3/3$ .

Sehingga volume keausan  $\delta Q$  yang terjadi pada sekali jalan per satuan sliding adalah :

$$\delta Q = \frac{\left(2\pi a^3/3\right)}{3} = \pi a^2/3 \quad (2.6)$$

Dan total volume keausan  $Q$  per satuan jarak sliding adalah :

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

Dimana :

$Q$  = Volume Keausan ( $\text{mm}^3$ )

$n$  = angka total kontak yang terjadi

Beban yang diberikan adalah  $\pi a^2 H$ , sehingga total beban adalah:

$$W = n\pi a^2 H$$

$$n\pi a^2 = W/H$$

atau bisa ditulis menjadi :

$$Q = W/3H \quad (2.8)$$

Dari persamaan di atas mengisyaratkan bahwa :

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

Namun dalam eksperimen yang telah dilakukan oleh Archard ada perbedaan hasil antara teori dan eksperimen yang telah dilakukan. Kemudian diperkenalkan konstanta k, sehingga persamaan di atas menjadi :

$$Q = k W/3H = K W/H \quad (2.9)$$

Dimana :

$K = k/3$  adalah suatu konstanta yang di dapat dari percobaan.

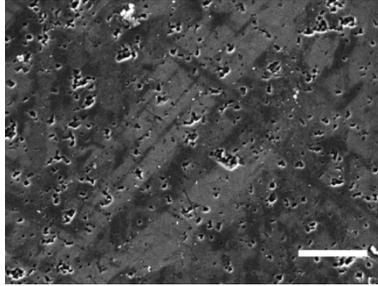
$K$  = Keausan ( $\text{mm}^3/\text{N.m}$ )

$W$  = Gaya Beban (N)

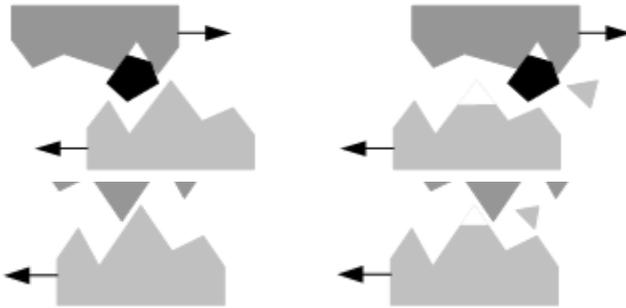
$H$  = Hardness

### 2.6.2 Keausan Abrasi (Abrasive wear)

Keausan Abrasi terjadi jika partikel abrasif yang kasar dan keras berkontak dengan permukaan suatu material yang lebih lunak sehingga terjadi pemotongan material yang lebih lunak, seperti diperlihatkan pada gambar 2.10 dan mekanismenya pada gambar 2.11

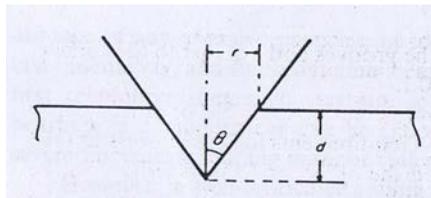


**Gambar 2.13** Pengamatan *Micrographs* Keausan Abrasive



**Gambar 2.14** Mekanis Mekeausan Abrasive

Untuk mencari persamaan keausan abrasif diasumsikan terlebih dahulu bahwa permukaan dari partikel abrasif sangat tajam yang mempunyai sudut teta seperti pada gambar 2.15.



**Gambar 2.15** Keausan Abrasi

Dari gambar tersebut menggambarkan satu partikel abrasif yang melewati permukaan material lunak. Volume material yang mengalami keausan adalah sebesar  $V = r.d$ . Dimana  $d = r \tan \theta$  sehingga  $V = r^2 \tan \theta$ . Untuk mempermudah perhitungan diasumsikan material mempunyai nilai kekerasan yang rendah sehingga beban normal yang diberikan adalah sebesar  $\pi r^2 H/2$ , dimana  $H$  adalah nilai kekerasan suatu material yang rendah.

Missal ada  $n$  partikel yang kontak dengan suatu material lunak, maka beban total yang diterima material tersebut adalah  $W = n\pi r^2 H/2$  dan volume total debris per satuan sliding adalah  $Q = nr^2 \tan \theta$ .

Eliminasi  $n$ ,

$$Q = 2W \tan \theta / \pi H$$

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

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

$$Q = K W / H$$

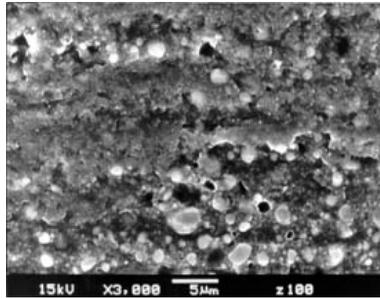
Dimana  $K = k \tan \theta / \pi$

### 2.6.3 Keausan lelah

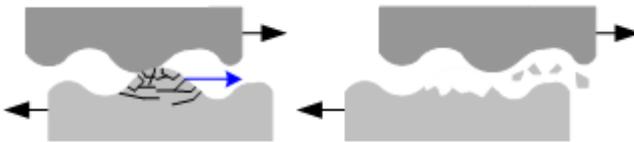
Keausan lelah merupakan mekanisme yang relatif berbeda dibandingkan dengan dua mekanisme sebelumnya, yaitu dalam hal interaksi permukaan. Baik keausan adesif maupun abrasif melibatkan hanya satu interaksi, sementara pada keausan lelah dibutuhkan multi interaksi.

Keausan lelah dibagi menjadi dua fenomena penting, yaitu makroskopik dan mikroskopik. Keausan lelah makroskopik terjadi jika beban tidak tepat pada permukaan material, seperti pada rolling contact. Sedangkan Keausan lelah mikroskopik

terjadi antara dua material yang bergerak sliding. 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 2.13 menunjukkan mikroskopik suatu material karena keausan lelah dan Gambar 2.14 menunjukkan mekanisme keausan lelah.



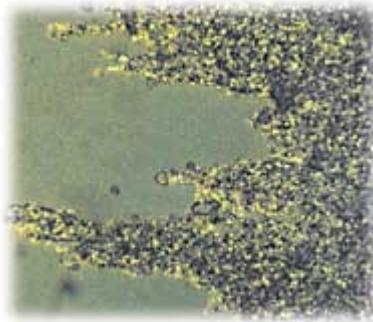
**Gambar 2.16** Mikroskopik Suatu Material Karena Keausan Lelah



**Gambar 2.17** Mekanisme Keausan Lelah

#### 2.6.4 Keausan korosi

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 2.15 (Goffar, 2013)



**Gambar 2.18** Keausan Korosif Pada Baja

#### 2.7 Kesesuaian Kondisi Operasi Vs Eksperimen

Dalam penyesuaian kondisi operasi pada mesin pembuat pasta dengan alat yang digunakan pada penelitian terhadap laju keausan. Berikut ini adalah data yang ada pada mesin pembuat pasta :

**Tabel 2.3** Data Kondisi Operasi Mesin Pembuat Pasta

Kecepatan	Tekanan	Sudut putar	$r_L$ (Luar)	$r_D$ (dalam)	Ketebalan Presisi	T
44 Rpm	0,17 bar	$90^0$	72 mm	60 mm	6 mm	35-40 $^0C$

### 2.7.1 Persamaan Gerak Linier

Dalam penelitian ini, kondisi operasi penelitian yang ada di laboratorium disesuaikan dengan kondisi yang ada dalam produksi mesin pembuat pasta. Dengan menggunakan perasamaan kecepatan linier, akan didapatkan kecepatan sudut. Dimana kecepatan yang ada di mesin adalah 40 rpm. Dari kecepatan mesin didapat kecepatan sudut :

$$\omega_1 = 40 \text{ rpm} \times \frac{2\pi}{60} = 4,605 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$$

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

$$V_R = r \times \omega_1 \quad (2.13)$$

Dimana :

$r$  : jari-jari material *Polytetrafluoroethylene* (m)

$\omega_1$  : kecepatan rotational mesin pembuat pasta ( $\frac{\text{rad}}{\text{sec}}$ )

Diketahui :

$$r = 72 \text{ mm} = 0,072 \text{ m}$$

$$\omega_1 = 0,67 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$$

Sehingga :

$$V_R = 0,072 \text{ m} \times 0,67 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$$

$$= 2,88 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

### 2.7.2 Distribusi Gaya

Gaya (F) yang terdistribusi pada journal bearing dapat diketahui dari tekanan yang terjadi pada proses hisap. Dimana



Sehingga :

$$\begin{aligned} A &= 2\pi \times r \times t \\ &= 2 \times 3,14 \times 0,072 \text{ m} \times 0,105 \text{ m} \\ &= 0,0474 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Setelah diketahui gaya-gaya yang terdistribusi pada journal bearing, maka untuk menyamakan kondisi operasi dengan percobaan digunakan persamaan :

$$F = w \times g$$

dimana :

F = distribusi gaya pada journal bearing (Kg)

w = Load (kg)

g = gaya gravitasi ( $9,81 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$ )

$$\begin{aligned} W &= \frac{F}{g} & F &= P \times A \\ &= \frac{80,71 \text{ Kg}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}} & &= 17000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0,0474 \text{ m}^2 \\ &= 8,2 \text{ Kg} & &= 80,71 \text{ N} \\ & & &= 8,71 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Sehingga beban (*load*) yang digunakan pada saat percobaan adalah 8,2 kg, dan beban (*load*) ini dijaga konstan (Naya, 2015)

## 2.8 Dry Sliding

*Dry Sliding* merupakan pengujian suatu material tanpa pelumas untuk mengetahui tingkat keausan antara material satu dengan yang lain dalam kondisi kering saat bergesekan. Pada proses mesin pembuat pasta, adanya pasta sebagai pelumas menyebabkan keausan pada material *Polyoxymethylene* (POM),

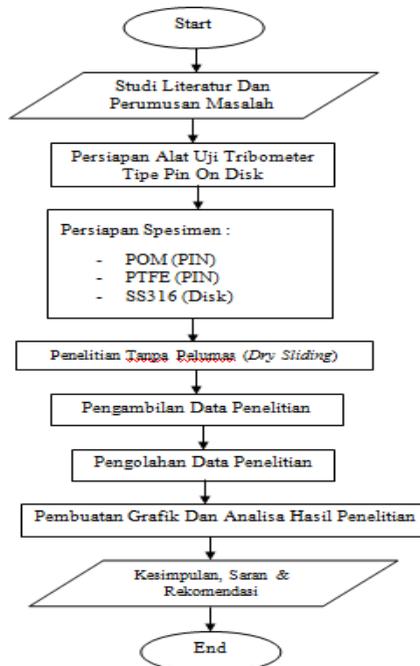
sehingga mengakibatkan umur material pendek, dan material harus diganti setiap 3 (tiga) bulan sekali dengan material yang baru. Maka dari itu dalam penelitian tugas akhir ini, akan dilakukan proses pengujian untuk mengetahui tingkat keausan POM pada kondisi tanpa pelumas (*Dry Sliding*) dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh material ketika bergesekan dengan material lain pada kondisi kering. Diharapkan dalam eksperimen ini diketahui umur dari material ketika dilakukan pengujian dalam kondisi kering, serta perubahan gap ( $\Delta V$ ) untuk mengetahui tingkat keausan material. Apabila pada saat pengujian diketahui bahwasannya perubahan gap yang terjadi semakin besar maka dapat disimpulkan bahwasanya pengujian tanpa pelumas menyebabkan material POM semakin aus. Hasil dari pengujian yang dilakukan untuk mengetahui tingkat keausan POM tanpa pelumas akan dibandingkan dengan pengujian POM dengan pelumas, jika tingkat keausan yang diperoleh ternyata tidak terlalu signifikan maka dapat disimpulkan bahwasanya pasta tidak mempengaruhi laju keausan POM.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## 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** Diagram Alir Penelitian

Adapun tahap-tahap dalam penelitian pengujian keausan pada material *Polyoxymethylene* (POM) dengan *Stainless Steel* Aisi *SS316* tanpa pelumas adalah sebagai berikut :

- a. Studi Literatur dan lapangan
- b. Persiapan Alat Uji Tribometer Tipe Pin on Disk
- c. Persiapan Specimen Uji
- d. Uji Keausan
- e. Analisa struktur permukaan
- f. Pengambilan data penelitian
- g. Pengolahan data penelitian
- h. Pembuatan grafik dan analisa hasil penelitian
- i. Kesimpulan dan saran

### **3.1.1 Studi Literatur dan lapangan**

Studi pustaka dan lapangan dilakukan untuk mengkaji permasalahan, membantu pemilihan prosedur penelitian, mendalami landasan teori yang berhubungan dengan permasalahan, mengkaji kelebihan dan kekurangan hasil penelitian terdahulu, menghindari duplikasi penelitian dan menunjang perumusan masalah.

### **3.1.2 Persiapan Alat Uji Tribometer Tipe Pin on Disk**

Langkah 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.

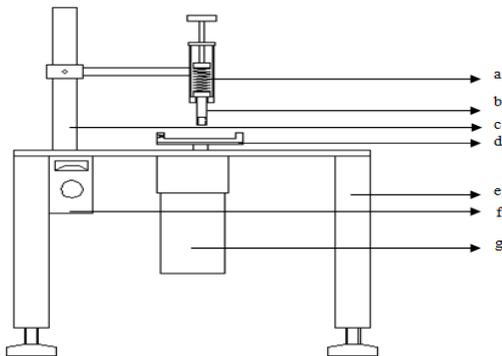
#### **3.1.2.1 Spesifikasi Peralatan Tribometer**

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

*Sliding speed range* : 8.37 – 250 mm/s

Disc rotation speed	: 8 - 60rpm
Maximum normal load	: 150 N
Frictional force	: 0- 150 N
Wear measurement range	: 10 mm
Pin size	: 8 -15 mm diameter / diagonal
Disk size tebal	: 100 mm diameter x 20 mm
Wear track diameter	: 20 – 80 mm
Pin	: <i>Polyoxymethylene</i> (POM)
Disk	: ( <i>Stainless steel</i> ) SS316

Berikut ini adalah gambar 3.2 merupakan peralatan dari Tribometer pada penelitian Uji Keausan *Polyoxymethylene* (POM) dan *Stainless Steel* tipe *SS316* tanpa Pelumas (*Dry Sliding*).



**Gambar 3.2** Bagian-Bagian Dari Alat Tribometer Tipe Pin On Disk

Keterangan :

- a. *Load control with adjustabel spring*
- b. Pin spesimen holder with lock
- c. *Metal main holder with flexible mounting dan flexible radius (adjustabel)*
- d. *Round metal disk table with rigid design*
- e. *Tribometertabel with rigid design and low damping / vibration effect*
- f. *Speed control with selec tabel level*
- g. *AC motor with reducer gear box*

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

Berikut ini adalah assembly part/komponen dan dilanjutkan dengan individual test dari komponen utama. Individual test yang dimaksud adalah : 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 3.3.



**Gambar 3.3** Tribometer Tipe Pin On Disk Laboratorium Teknik Mesin ITS.

Berikut ini adalah gambar holder dengan bagian – bagiannya :

- *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 3.4, Casing holder pada Gambar 3.5, dan pada Gambar 3.6 gambar Casing holder dengan komponennya.



**Gambar 3.4** *Metal Main Holder*



**Gambar 3.5** *Casing holder*



**Gambar 3.6** *Casing Holder dan Komponen Penyusun Bagian Dalam Casing*

- *Ulir load adjuster*

Ulir ini memiliki berfungsi untuk sebagai pengatur beban yang diberikan pada pin. Ulir load adjuster dapat dilihat pada Gambar 3.7.



**Gambar 3.7** Ulir *Load Adjuster*

- Ulir penutup casing

Penutup casing ini berfungsi sebagai landasan dari ulir *loadadjuster*. Penutup casing ini dilengkapi dengan ulir yang digunakan untuk menyatukan dengan *casing holder*. Ulir penutup casing dapat dilihat pada Gambar 3.8.



**Gambar 3.8** Ulir Penutup Casing

- Dummy

Dummy akan didorong oleh *loadadjuster* sehingga memberikan tekanan pada pegas. Dummy dapat dilihat pada Gambar 3.9.



**Gambar 3.9** Dummy

- Pegas

Pegas memiliki konstanta kekakuan pegas  $k$  tertentu dapat digunakan untuk memberikan gaya tekan pada pin uji saat pegas mengalami defleksi  $\Delta x$  Sesuai dengan gaya pegas. Pegas yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.10.

$$F = k \cdot \Delta x \quad (3.1)$$



**Gambar 3.10** Pegas

- 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 3.11.



**Gambar 3.11** Pencengkeram Pin

### 3.1.3 Penetapan Material Rekomendasi

Berdasarkan pemilihan material yang baik untuk dijadikan pengganti, dengan ketentuan memiliki wear rate yang lebih baik dari material sebelumnya. Dari pemilihan material yang sudah dijelaskan pada dasar teori sub.bab 2.4. Dapat disimpulkan bahwa material *Polytetrafluoroethylene* (PTFE) merupakan pemilihan material yang baik dan sesuai dengan karakteristik dibandingkan material lain yang dijadikan material pengganti *Polyoxymethylene* (POM). Meskipun memiliki koefisien gesek yang rendah dibandingkan *Polyoxymethylene* (POM). Namun *Polytetrafluoroethylene* (PTFE) memiliki wear faktor yang baik yaitu sebesar  $121 \times 10^{-8} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ , sedangkan *Polyoxymethylene* (POM) memiliki nilai wear factor (K) sebesar  $131 \times 10^{-8} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ , sehingga terjadinya aus lebih rendah dibandingkan material sebelumnya. *Polytetrafluoroethylene* (PTFE) merupakan material yang *Food Grade*. Sehingga *Polytetrafluoroethylene* (PTFE) layak menjadi material pengganti.

### 3.1.4 Persiapan Specimen

Pada penelitian eksperimen uji keausan, dilakukan dengan menggunakan material *Polyoxymethylene* (POM), *Polytetrafluoroethylene* (PTFE) dan *Stainless steel* AISI 316. Adapun spesifikasi dari material tersebut adalah :

#### 3.1.4.1 *Polyoxymethylene* (POM)

- Nama material : *Polyoxymethylene* (POM)
- *Density* :  $0,00141 \text{ gr/mm}^3$
- *Wear Factor (K)* :  $131 \times 10^{-8} \text{ mm}^3/\text{Nm}$
- *E-Modul* : 2600 Mpa
- *Coefficient Friction* : 0,35

#### 3.1.4.2 *Stainless steel Aisi 316*

- Nama material : *Stainless Steel Aisi SS316*
- *Density* :  $0,289 \text{ lb/in}^2$
- *Tensile Strength Ultimate* : 75000 psi
- *Tensile Strength Yield* : 30000 psi

### 3.1.4.3 Polytetrafluoroethylene (PTFE)

- Nama material : *Polytetrafluoroethylene* (PTFE)
- *Density* : 0,000220 gr/mm<sup>3</sup>
- *Wear Factor (K)* :  $121 \times 10^{-8}$  mm<sup>3</sup>/Nm
- *E-Modul* : 2380 Mpa
- *Coefficient Friction* : 0,40

### 3.1.5 Analisa struktur permukaan

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

### 3.1.6 Pengambilan Data Penelitian

Langkah 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 3.1.

### 3.1.7 Pengolahan Data Penelitian

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

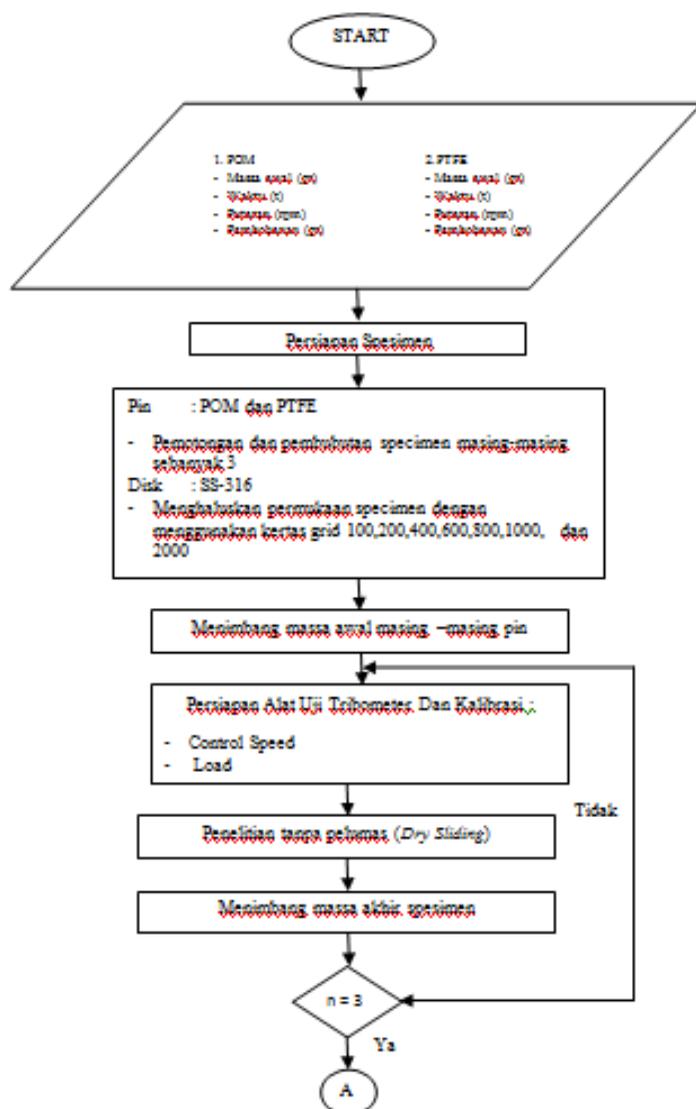
### 3.1.8 Pembuatan Grafik dan Analisa Hasil Penelitian

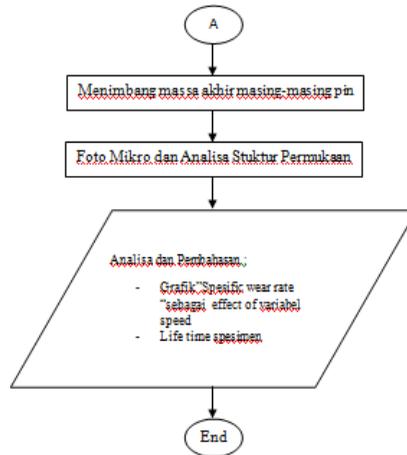
Dari data penelitian yang telah dilakukan selanjutnya akan dilakukan pembuatan grafik dan dilakukan analisa dan pembahasan dari grafik serta struktur permukaan yang ada pada spesimen. Grafik akan dikaji dan dijelaskan dengan menggunakan teori-teori yang ada.

### 3.1.9 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan berisi tentang point penting dan evaluasi yang dapat diambil dari keseluruhan hasil dari pengujian yang telah dilakukan pada penelitian. (Tegar Prayogi, 2010)

Selain diagram alir penelitian, untuk memeperjelas dan meringkas alur penelitian juga disajikan flowchart pengujian. Flowchart pengujian bisa dilihat pada Gambar 3.12.





**Gambar 3.12 Flowchart Pengujian**

### 3.2 Rancangan Penelitian

Penelitian yang dilakukan dalam tugas akhir dengan satu kondisi yaitu pengujian keausan tanpa pelumasan (*Dry sliding*). Adapun rancangan penelitian untuk pengujian keausan tanpa pelumasan bisa dilihat pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Rancangan penelitian pengujian keausan *dry sliding*

Load (kg)	Speed Control	Sliding Speed V (m/s)	Time (menit)	$M_0$ (gr)	$M_A$ (gr)	$\Delta M$ (gr)	$\rho$ (gr/mm <sup>3</sup> )	Sliding Distance L (m)	F (N)	$\Delta V$ (mm <sup>3</sup> )	K (mm <sup>3</sup> /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
- $\Delta m$  =  $m_0 - m_i$  (perubahan massa pin atau volume aus)

Perubahan massa pin  $\Delta m$  didapatkan dengan menimbang pin sebelum dilakukan pengujian dan kemudian ditimbang lagi menggunakan timbangan digital setelah dilakukan pengujian. Setelah  $\Delta m$  diketahui, berikutnya mulai menghitung perubahan volume ( $\Delta V$ ) 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 :

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

**Dimana :**  $L$  yang digunakan dalam penelitian ini adalah 700 m

Lamanya waktu pengujian dihitung dengan menggunakan formulasi berikut ini.

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

Dengan  $v = \pi.d.rpm$  maka persamaan di atas dapat ditulis seperti persamaan berikut ini:

$$t = \frac{L}{\pi.d.rpm} \quad (3.7)$$

Keterangan :

$v$  = Kecepatan translasi *plate* (m/s)

$L$  = Panjang track pin (m)

$t$  = Waktu pengujian (menit)

$d$  = Diameter track pin (m)

### 3.3 Kalibrasi *Speed Control*

*Speed control* dikalibrasi dengan menggunakan tachometer untuk mencari putaran per menit (rpm) disk dari

setiap level *speed control* yang akan dipilih dalam pengujian keausan. Hasil dari kalibrasi *speed control* dapat dilihat pada tabel 3.13



**Gambar 3.13** Kalibrasi *Speed Control* dengan Tachometer Untuk Mencari Rpm Disk

**Tabel 3.2** Kalibrasi *Speed Control*

<i>Speed control</i>	Rpm	Rps	Panjang track s(m)	t (m)	t (m)
<b>50</b>	38,7	0,64 5	700	57,606 46347	75
<b>60</b>	44,4	0,74	700	50,209 44511	50
<b>70</b>	52,3	0,87 1667	700	42,625 21053	42

### 3.4 Persiapan Pengambilan Data

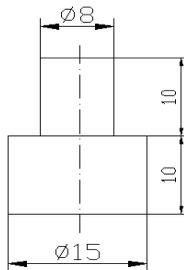
#### Kondisi initial yang sama

Pengambilan data dilakukan secara bertahap dengan mempertimbangkan kondisi initial yang relatif sama. Kondisi initial yang dimaksud adalah temperatur mula pin, disk dan bodi motor penggerak yang relatif sama. Sehingga terdapat jeda waktu antar pengambilan beberapa titik data untuk mengembalikan kondisi initial yang sama. Temperatur udara bukan merupakan variabel yang divariasikan dalam penelitian ini, sehingga nilainya diupayakan konstan.

#### 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.



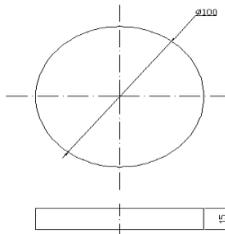
**Gambar 3.14** Desain Pin

Berikut ini adalah gambar pin yang telah jadi dan siap dilakukan pengujian. Gambar pin yang digunakan didalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.15



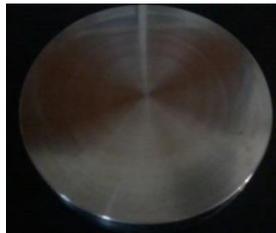
**Gambar 3.15** POM dan PTFE sebagai PIN

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



**Gambar 3.16** 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 3.17** *Stainless Steel* sebagai Disk

### Penimbangan pin

Sebelum pengujian dilakukan, pin diberi nomor berdasarkan *load* dan *sliding speed* yang akan diujikan pada pin tersebut, pin kemudian ditimbang untuk mengetahui massa awal pin. Penimbangan pin dilakukan dengan timbangan digital dengan akurasi 0.001mg. Timbangan digital ini juga dilengkapi dengan kaca isolasi untuk menghindari fluktuasi massa akibat aliran udara *ambient*. Sehingga akurasi timbangannya akan menjadi lebih baik. Proses penimbangan pin, sebagaimana ditunjukkan oleh gambar 3.13 berikut.



**Gambar 3.18** Proses Penimbangan Pin

### Pemasangan posisi pin pada pencengkeram pin

Pin dipasang pada pencengkeram pin seperti pada gambar 3.20, diukur posisi vertikal ketinggian dari dasar permukaan pin hingga casing setinggi 3 cm, karena dari hasil pengukuran pegas di dalam casing, pin setinggi 3 cm dari casing memberikan pembebanan konstan sebesar 8 Kg.



**Gambar 3.19** Pemasangan Posisi Pin

#### Penyetelan pegas dan pengatur kecepatan

Persiapan pengambilan data berikutnya adalah penyetelan pegas (pembebanan) dan pengaturan kecepatan (*speed control*) sebelum motor penggerak dijalankan. Penyetelan pegas pada tribometer dilakukan dengan cara memutar knoop pegas adjustment searah jarum jam untuk menambah beban dan berlawanan arah jarum jam untuk mengurangi beban. Besarnya beban bisa dilihat pada skala yang terdapat casing. Pada setiap satu strip skala berarti massa beban 2 kg. Pembebanan yang digunakan konstan sebesar 8 Kg. Sedangkan untuk pengaturan kecepatan cukup dilakukan dengan memutar knoop *speed control* sesuai dengan level *speed* yang dikehendaki. Speed control yang digunakan adalah 50 m/s, 60 m/s dan 70 m/s. Setelah pengaturan selesai, tombol On pada *speed control* ditekan, sehingga motor mulai bekerja.

Penyetelan pegas dan pengatur kecepatan, sebagaimana ditunjukkan oleh gambar 3.20 berikut.



**Gambar 3.20** Penyetelan Pegas dan Pengaturan Kecepatan *Speed Control*

#### Foto mikro Struktur Permukaan

Melakukan foto mikro permukaan dari material yang telah diuji di Laboratorium METALURGI Teknik Mesin FTI ITS untuk mengetahui mekanisme laju keausan dari material yang mengalami kontak dengan menggunakan Mikroskop Optik dengan perbesaran 200 kali. Berikut Gambar 3.17 Mikroskop Optik yang digunakan. (Moch.Solichin, 2012)



**Gambar 3.21** Mikroskop Optik Pembesaran 200 kali

## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Data Hasil Penelitian Laju Keausan Pada Kondisi *Dry Sliding*

#### 4.1.1 *Polyoxymethylene* (POM)

Hasil dari pengujian laju keausan pada *polyoxymethylene* (POM) dengan Stainless Steel AISI 316 dengan kondisi tanpa pelumas (*Dry Sliding*). bisa dilihat pada Tabel 4.1 dibawah ini.

**Tabel 4.1** Data Perhitungan Hasil Pengujian pada spesimen *Polyoxymethylene* (POM) dengan *Stainless Steel* AISI 316 tanpa Pelumasan (*Dry Sliding*).

Data ke	$M_0$ (gr)	$M_A$ (gr)	$\Delta m$ (gr)	Speed Control (m/s)	Sliding Speed V(m/s)	t (menit)	$\rho$ (gr/cm <sup>2</sup> )	Sliding Distance L(m)	$\Delta V$ (mm <sup>3</sup> )	F(N)	K (mm <sup>3</sup> /Nm)
1	5.000	4.998	0.002	50	0,04	57,6	0,00220	700	0,909091	78,48	0,00001655
2	5.004	5.001	0.003	60	0,046	50,2	0,00220	700	1,363636	78,48	0,00002482
3	5.005	5.001	0.004	70	0,054	42,62	0,00220	700	1,818182	78,48	0,00003310

#### 4.1.2 *Polytetrafluoroethylene* (PTFE)

Hasil dari pengujian laju keausan pada *Polytetrafluoroethylene* (PTFE) dengan Stainless Steel AISI 316 dengan kondisi tanpa pelumas (*Dry Sliding*). bisa dilihat pada Tabel 4.2 dibawah ini.

**Tabel 4.2** Data Perhitungan Hasil Pengujian pada spesimen *Polytetrafluoroethylene* (PTFE) dengan *Stainless Steel* AISI 316 tanpa Pelumasan (*Dry Sliding*)

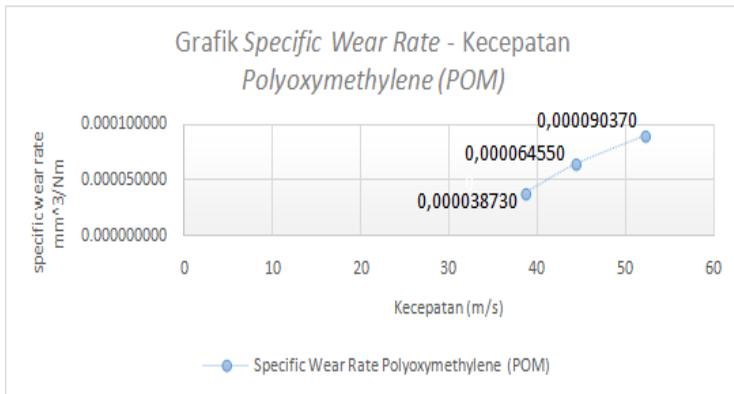
Data ke-n	$M_0$ (gr)	$M_A$ (gr)	$\Delta m$ (gr)	Speed Control (m/s)	Sliding Speed V(m/s)	t (menit)	Load (Kg)	$\rho$ (gr/cm <sup>2</sup> )	Sliding Distance L(m)	$\Delta V$ (mm <sup>3</sup> )	F(N)	K(mm <sup>3</sup> /N.m)
1	3.191	3.188	0.003	50	0.04	57.6	8	0.00141	700	2.12766	78.48	0.000038730
2	3.192	3.187	0.005	60	0.046	50.2	8	0.00141	700	3.45610	78.48	0.000064550
3	3.191	3.191	0.007	70	0.054	42.6	8	0.00141	700	4.96454	78.48	0.000090370

## 4.2 Pembahasan Grafik

### 4.2.1 Polyoxymethylene (POM)

#### 4.2.1.1 Analisa pengaruh kecepatan (*Sliding Speed*) terhadap Specific Wear Rate Pada Specimen Polyoxymethylene (POM) Pada kondisi *Dry Sliding*

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** Pengaruh Kecepatan Terhadap *Specific Wear Rate* Pada Specimen POM

Pada Gambar 4.1 dapat dilihat jelas bahwa grafik mengalami kemiringan yang landai antara *Sliding Speed* 38,7 rpm, 44,4 rpm dan 52,3 rpm. Sementara kemiringan paling besar terjadi antara *Sliding Speed* 44,4 rpm dan 52,3 rpm. Pada *Sliding Speed* 38,7

rpm pada material POM yang terkikis secara rata sebesar 0,0003 gr dengan nilai *Specific Wear Rate* sebesar  $3,8730 \times 10^{-5} \text{mm}^3/\text{Nm}$ . Masa material yang terkikis menjadi semakin cepat pada penambahan *Sliding Speed* berikutnya, yaitu untuk *Sliding Speed* 44,4 rpm dan 52,3 rpm dengan masing-masing memiliki rata-rata perubahan masa sebesar 0,005 gr dan 0,007 gr dengan nilai *Specific Wear Rate* sebesar  $6,4550 \times 10^{-5} \text{mm}^3/\text{Nm}$  dan  $9,0370 \times 10^{-5} \text{mm}^3/\text{Nm}$ . Semakin besar *Sliding Speed* justru membuat pertambahan massa yang terbuang semakin pesat lagi, bahkan memiliki gradien kemiringan graik yang paling tinggi dari pada variasi kecepatan lainnya, yaitu bernilai 0.007 untuk *Sliding Speed* 52,3 rpm dengan *Specific Wear Rate* sebesar  $9,0730 \times 10^{-5} \text{mm}^3/\text{Nm}$ .

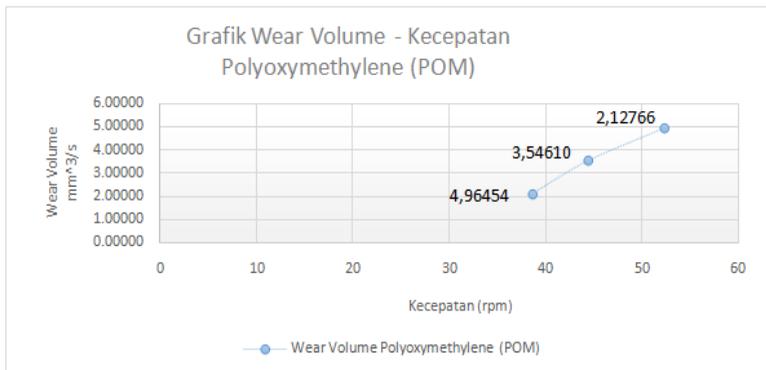
Secara teoritis, dapat dijelaskan bahwa besarnya nilai *Specific Wear Rate* berbanding lurus dengan volume POM yang terkikis. Hal ini dikarenakan *polyoxymethylene* (POM) yang diuji dengan kecepatan yang lebih tinggi akan lebih cepat mengalami peningkatan temperatur pada permukaan kontakannya, mempercepat gesekan yang terjadi pada pin, sehingga gerusan pada pin akan makin cepat serta material menjadi lebih mudah terkikis.

Hasil pengujian dan pengukuran *specific wear rate* (K) untuk kondisi tanpa pelumasan disajikan seperti grafik 4.1. Kenaikan ini menunjukkan bahwa dengan semakin bertambahnya *speed control* maka volume keausan yang terjadi untuk setiap satuan kecepatan per satuan panjang lintasan pada 3 variasi *speed control* menjadi semakin 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). Volume aus pada material *Polyoxymethylene* (POM) terlihat cukup signifikan

perubahannya. Dapat dilihat pada Tabel 4.1, pada kecepatan 0,2 m/s (38,7 rpm) material POM yang terkikis karena gesekan sebesar 2.12766  $\text{mm}^3$ . Material POM yang terkikis semakin besar dengan semakin meningkatnya kecepatan yang diberikan. Volume yang terkikis pada kecepatan 0,23 m/s (44,4 rpm) sebesar 3.54610  $\text{mm}^3$  dan pada kecepatan 0,27 m/s (52,3 rpm) sebesar 4.96454  $\text{mm}^3$ . Peningkatan nilai volume yang aus ini juga dikarenakan cepatnya kenaikan temperatur akibat kecepatan yang semakin tinggi. Dapat dilihat pada gambar 4.2 dibawah ini.

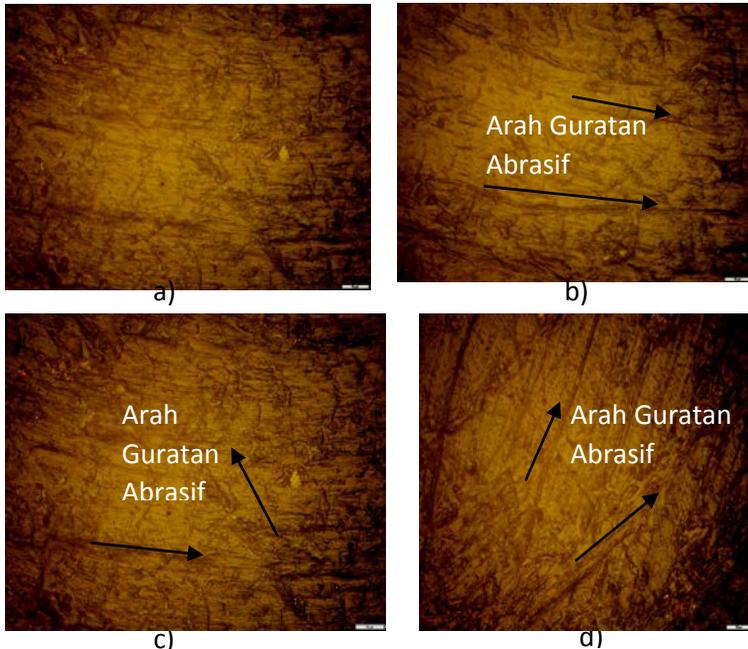


**Gambar 4.2** Grafik *Wear Volume* Terhadap *Speed* Dengan Pembebanan Konstan 8 Kg

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.

### 4.1.2.3 Analisa Struktur Permukaan Sebelum dan Setelah Pengujian.

Berikut adalah foto struktur permukaan material *Polyoxymethylene* (POM) sebelum dan setelah percobaan bisa dilihat pada gambar 4.4 :



**Gambar 4.3** Foto Mikro Material POM Perbesaran 200 Kali DenganPembebanan 8 Kg a) Sebelum Pengujian. b) Setelah Pengujian Pada Kecepatan 0,04 m/s c) Setelah Pengujian Pada Kecepatan 0,046 m/s. d) Setelah Pengujian Pada Kecepatan 0,055 m/s

Pada foto mikro diatas terlihat ada perbedaan kontur permukaan pada saat sebelum dilakukan pengujian gambar 4.3a) dengan setelah pengujian gambar4.3 b), 4.3c) dan 4.3 d). Terlihat ada beberapa bagian permukaan spesimen yang terkelupas setelah dilakukan pengujian.

Pada gambar 4.3b) terlihat foto mikro POM dengan pembebanan 8 kg dan kecepatan 0,04m/s setelah dilakukan pengujian dengan kondisi *dry sliding* bahwa keausan yang terjadi diakibatkan oleh mekanisme keausan abrasif yang ditunjukkan dengan adanya guratan lurus. Hal ini disebabkan karena perbedaan nilai kekerasan antara 2 material uji yang saling kontak. Selain keausan abrasif, material POM cenderung lebih lunak jika dibandingkan dengan material Stainless Steel AISI 316 yang memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi.

Dapat terlihat pada gambar 4.4 c) terjadi mekanisme keausan 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.

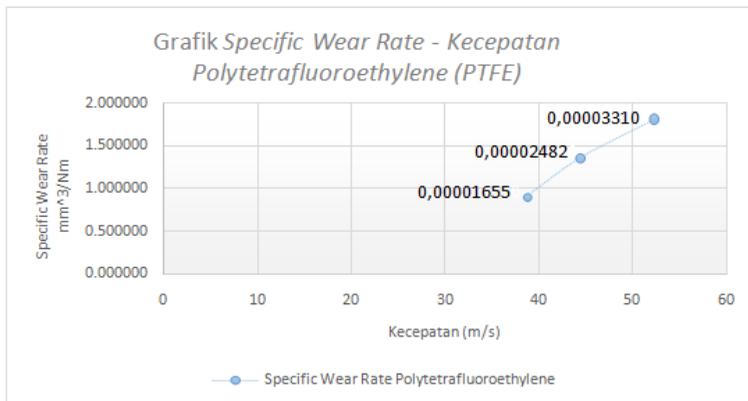
Mekanisme keausan yang terjadi diakibatkan oleh abrasif yang ditunjukkan pada gambar 4.4 d) dengan adanya guratan lurus yang mengindikasikan bahwa material terkikis atau terabrasi. Terlihat juga pada struktur permukaan, bahwa guratan yang terjadi sangat lebar dan lebih halus, seperti menyerap partikel-partikel yang terdapat pada material yang mengalami kontak langsung dengan POM. Peristiwa ini mengakibatkan material POM menjadi semakin lunak dan mudah terkikis. 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. Guratan-guratan yang terjadi memiliki kontur yang lebih halus pada saat kecepatan 0,055 m/s.

## 4.2.2 Polytetrafluoroethylene (PTFE)

### 4.2.2.1 Analisa pengaruh kecepatan (*Sliding Speed*) terhadap Specific Wear Rate Pada Specimen *Polytetrafluoroethylen* (PTFE) Pada kondisi *Dry Sliding*

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 0,2 m/s (38,7 rpm), 0,23 m/s (40 rpm), dan 0,27 m/s (52,3 rpm). Berikut grafik hubungan kecepatan dengan *wear rate* dapat dilihat pada Gambar 4.4.



**Gambar 4.4** Pengaruh Kecepatan Terhadap *Specific Wear Rate* Pada Specimen PTFE

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 38,7 rpm hingga kecepatan 52,3 rpm tren grafik selalu naik, dan mendekati kondisi linier. Pada saat kecepatan 38,7 nilai *specific wear ratenya* adalah 0,00001655 mm<sup>3</sup>/Nm, pada kecepatan 44,4 rpm nilai *specific wear ratenya* bertambah lagi yaitu 0,00002482 mm<sup>3</sup>/Nm, dan semakin meningkat pada kecepatan 52,3 rpm dengan nilai *specific wear ratenya* sebesar 0,00003310 mm<sup>3</sup>/Nm.

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.

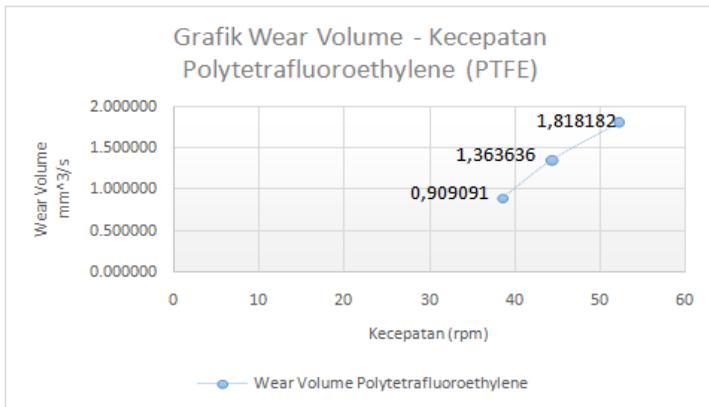
Dari hasil pengujian *polytetrafluoroethylene (PTFE)* dengan 3 variasi kecepatan diatas, hasil yang didapatkan sudah sesuai dengan teori yang ada. Hal ini dapat terlihat dari grafik yang dihasilkan memiliki tren grafik yang semakin naik dan mendekati kondisi linier seiring dengan bertambahnya kecepatan yang diberikan. Pada kondisi operasinya, ketika nilai *specific wear ratetinggi* 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* terlihat cukup signifikan perubahannya. Dapat dilihat pada Tabel 4.1, pada kecepatan 0,2 m/s (38,7 rpm) material PTFE yang terkikis karena gesekan sebesar 0,909091 mm<sup>3</sup>. PTFE yang terkikis semakin besar dengan semakin meningkatnya kecepatan yang diberikan. Volume yang terkikis pada kecepatan 0,23 m/s (40 rpm) sebesar 1,363636 mm<sup>3</sup> dan pada kecepatan 0,27 m/s (52,3

rpm) sebesar  $1.818182 \text{ mm}^3$ . Peningkatan nilai volume yang aus ini juga dikarenakan cepatnya kenaikan temperatur akibat kecepatan yang semakin tinggi. Dapat dilihat pada gambar 4.6 dibawah ini.

pada gambar 4.5 dibawah ini.

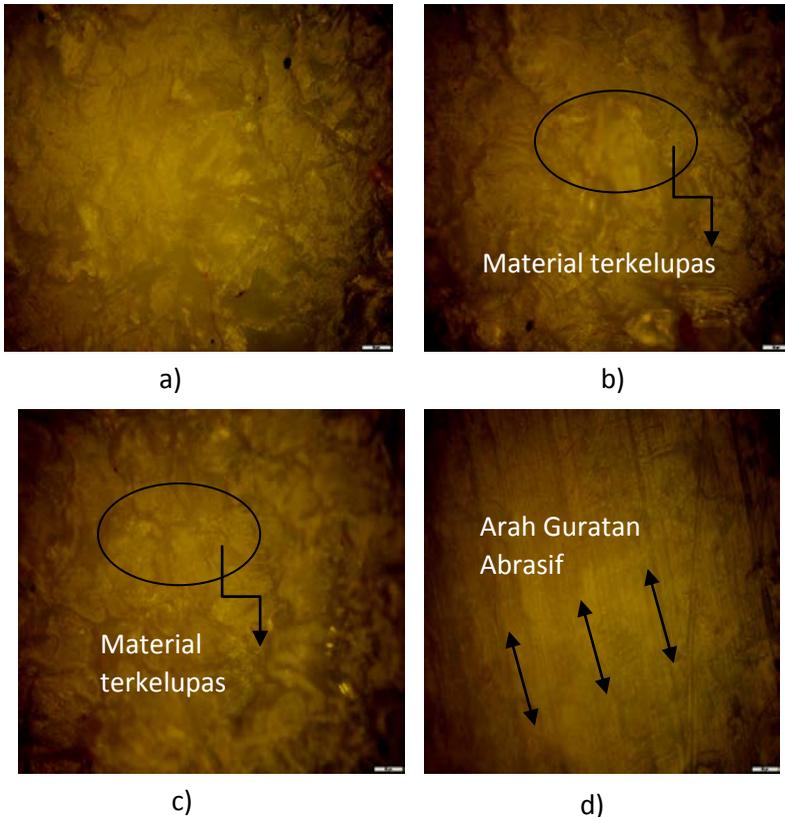


**Gambar 4.5** Grafik *wear volume* dengan *Speed* Pada pembebanan konstan 8 kg.

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.

#### 4.2.2.3 Analisa Struktur Permukaan Sebelum dan Setelah Pengujian

Berikut adalah foto struktur permukaan material *polytetrafluoroethylene* (PTFE) sebelum dan setelah percobaan bisa dilihat pada gambar 4.4 :



**Gambar 4.6** Foto Mikro Material PTFE Perbesaran 200x dengan Pembebanan 8 Kg. a) Sebelum Pengujian. b) Setelah Pengujian Pada Kecepatan 0,04 m/s. c) Setelah Pengujian Pada Kecepatan 0,046 m/s. d) Setelah Pengujian Pada Kecepatan 0,055 m/s

Pada foto mikro diatas terlihat ada perbedaan kontur permukaan pada saat sebelum dilakukan pengujian pada gambar 4.6 a) dan setelah pengujian gambar 4.3 6), 4.6 c), dan 4.6 d). Terlihat ada beberapa bagian permukaan spesimen yang tergores setelah dilakukan pengujian.

Pada gambar 4.6b) terlihat terjadi murni mekanisme keausan adhesive yang ditunjukkan adanya material yang 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.

Dapat terlihat pada gambar 4.6c) terlihat bahwa kontur permukaan tidak memiliki keteraturan. Tampak terlihat terdapat mekanisme abrasif yang ditunjukkan sedikit guratan-guratan lurus, namun terlihat juga bahwa pada permukaan material yang 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.

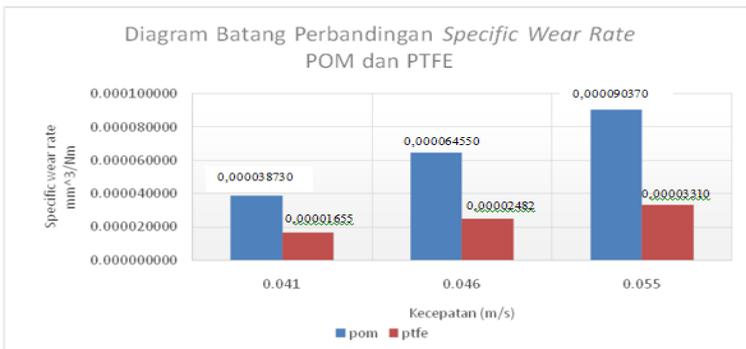
Terlihat guratan yang terjadi semakin jelas dan hampir merata pada seluruh permukaan PTFE setelah mengalami gesekan dengan *stainless steel* ditunjukkan pada gambar 4.6 d). Mekanisme keausan yang terjadi akibat abrasive ini ditunjukkan

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. Hal ini karena beban yang diberikan sangat tinggi dan kecepatan yang diberikan juga sangat tinggi.

#### 4.2.3 Grafik Perbandingan Antara POM Dan PTFE

##### 4.2.3.1 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) 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 0,2m/s (38,7 rpm), 0,23 m/s (40 rpm), dan 0,27 m/s (52,3 rpm). Berikut grafik perbandingan nilai *specific wear rate* antara material *polyoxymethylene* (POM) dan *Polytetrafluoroethylene* (PTFE) dapat dilihat pada Gambar 4.7.



**Gambar 4.7** Diagram Batang Perbandingan Nilai *Specific Wear Rate* Terhadap Kecepatan Antara Material *Polyoxymethylene* (POM) Dan *Polytetrafluoroethylene* (PTFE)

**Tabel 4.3** Perbandingan Nilai Specific wear rate antara *Polyoxymethylene* Dan *Polytetrafluoroethylene* .

Kecepatan (m/s)	Specific wera rate (K) mm <sup>3</sup> /Nm		Perbandingan
	POM	PTFE	
0,041	0,000038730	0,00001655	PTFE 2x lebih baik dari POM
0,046	0,000064550	0,00002482	PTFE 3x lebih baik dari POM
0,055	0,000090370	0,00003310	PTFE 3x lebih baik dari POM

Dari grafik diatas terlihat bahwa *specific wear rate* material *polyoxymethylene* (POM) 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 38,7 *specific wear rate* PTFE 2 kali lebih baik dibandingkan dengan material POM. Yaitu nilai *specific wear rate* pada POM 0,00003870 mm<sup>3</sup>/Nm dan *specific wear rate* pada PTFE 0,00001655 mm<sup>3</sup>/Nm. Pada saat kecepatan 44,4 *specific wear rate* PTFE 3 kali lebih baik dibandingkan dengan material POM. Yaitu *specific wear rate* pada POM 0,000064550 mm<sup>3</sup>/Nm dan *specific wear rate* pada PTFE 0,00002482 mm<sup>3</sup>/Nm. Dan pada saat kecepatan 52,3 *specific wear rate* PTFE 3 kali lebih baik dibandingkan dengan material POM. Yaitu nilai *specific wear rate* pada POM 0,000090370 mm<sup>3</sup>/Nm dan *specific wear rate* pada PTFE 0,00003310 mm<sup>3</sup>/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) 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). Hal ini dikarenakan nilai *specific wear rate* PTFE lebih rendah dibandingkan dengan POM.

#### 4.3 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:

$$t = \frac{L}{v} \quad (4.1)$$

Keterangan :

- 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 :

$$L = \frac{V \times H}{k \times W} \quad (4.2)$$

$$V = \text{Clearance} \times a \quad (4.3)$$

Keterangan ;

L = Panjang Lintasan (meter)

V = Voume Batas Aus yang diijinkan (m<sup>3</sup>)

H = Nilai kekerasan pada material

k = Nilai laju keausan (m<sup>2</sup>/N)

W = Berat pembebanan (N)

C = Clearance yang di ijinakan yaitu 0,2 mm = 0,0001 m

a = Radian Wear

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

**Tabel 4.4** Hasil Perhitungan Umur Hidup Material *Polyoxymethylene (POM)*

Speed (Rpm)	V (m <sup>3</sup> )	H	W (N)	k (m <sup>2</sup> /N)	L (m)	T (s)	T (bulan)	T (tahun)
38.7	4.75E-06	72	80	4.E-11	1.E+05	5.E+05	12.60972837	1.050811
44.4	4.75E-06	72	80	6.E-11	7.E+04	3.E+05	6.594547135	0.549546
52.3	4.75E-06	72	80	9.E-11	5.E+04	2.E+05	3.998878623	0.33324

**Tabel 4.5** Hasil Perhitungan Umur Hidup Material *Polytetrafluoroethylene (PTFE)*

Speed (Rpm)	V (m <sup>3</sup> )	H	W (N)	k (m <sup>2</sup> /N)	L (m)	T (s)	T (bulan)	T (tahun)
38.7	4.7E-06	56	80	2.E-11	2.E+05	1.E+06	22.9538791	1.91282
44.4	4.7E-06	56	80	2.E-11	1.E+05	6.E+05	13.3380649	1.11151
52.3	4.7E-06	56	80	3.E-11	1.E+05	4.E+05	8.49249637	0.70771

Berdasarkan hasil perhitungan umur hidup (life time), perbandingan dari pada material *Polyoxymethylene* (POM) dan *Polytetrafluoroethylene* (PTFE) rata-ratanya adalah 2 kali lebih besar. Dimana pada kecepatan (*Speed Control*) 38,7 Rpm umur dari material *Polyoxymethylene* (POM) adalah 1 tahun (12,6 bulan) sedangkan umur dari material *Polytetrafluoroethylene* (PTFE) adalah 2 kali lebih besar yaitu 2 tahun (22,9 bulan).

Pada kecepatan (*Speed Control*) 44,4 Rpm umur hidup dari pada material *Polytetrafluoroethylene* (PTFE) 2 kali lebih besar dari *Polyoxymethylene* (POM) yaitu 1 tahun (13 bulan) sedangkan 0,5 tahun (6,5 bulan) pada material *Polyoxymethylene* (POM).

Dan dengan kecepatan (*Speed Control*) 52,3 Rpm, umur hidup dari pada material *Polytetrafluoroethylene* (PTFE) 2 kali lebih besar dari *Polyoxymethylene* (POM) yaitu 0,3 tahun (4 bulan) sedangkan 0,7 tahun (8 bulan) pada material *Polyoxymethylene* (POM). Dan dapat disimpulkan dengan melakukan pengujian keausan pada kondisi tanpa pelumas (*Dry Sliding*), material *Polytetrafluoroethylene* (PTFE) lebih lunak sehingga umur hidupnya lebih lama dari pada material *Polyoxymethylene* (POM).

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari eksperimen proses pengujian tribometer tipe pin on Disk adalah :

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

permukaan *Polytetrafluoroethylen (PTFE)* mengindikasikan terjadinya abrasi dan adhesi.

5. 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 2x lebih baik, dan pada kecepatan 52,3 rpm 2x 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 Microscopy (SEM) agar hasilnya lebih akurat.
3. Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya laboratorium memiliki alat Uji Scanning Electron Microscopy (SEM) untuk mempercepat proses pengambilan data selanjutnya, serta adanya kalibrasi pada alat Tribometer Tipe Pin On Disk yang ada di Laboratorium Desain Jurusan Teknik Mesin ITS.

## BIODATA PENULIS



Endah Kurnia Ningsih adalah nama yang dimiliki penulis yang dilahirkan di kota Nganjuk pada tanggal 26 februari 1992. Penulis dilahirkan oleh seorang ibunda yang super hebat bernama Tasriatin, dan bapak terbaik Djumahari. penulis merupakan anak ke-5 dari 5 bersaudara. Memiliki 4 kakak perempuan, yang pertama bernama Ika Warsiana saat ini telah bekerja menjaga warnet di usaha kakak saya yang ketiga yaitu Trias Kurnia Wati yang sudah berkeluarga dan memiliki 2 anak yang cantik dan lucu yaitu Syifa dan Nayla. Kakak kedua bernama Dwi Warsanti yang saat ini tinggal di kalimantan bersama keluarganya dan memiliki 2 anak yang lucu sekali yaitu Raihan dan Nabila. Dan kakak keempat dari penulis yaitu Catur Kurnia Rahmadani yang juga sudah berkeluarga dan memiliki 1 anak yang ganteng yaitu Farel.

Untuk memulai jenjang pendidikan yang pertama, penulis memilih TK Baron 1 selama 2 tahun. kemudian penulis melanjutkan sekolah di SDN 3 Baron, berikutnya penulis melanjutkan sekolah di SMP Negeri 1 Baron dan setelah itu melanjutkan sekolah SMA Muhammadiyah 2 Kertosono, Selama menempuh pendidikan dari SMAM hingga lulus, penulis aktif di Organisasi Marching Band. Setelah lulus SMA, penulis mengikuti program beasiswa Bidikmisi oleh kementerian Pendidikan yang dipimpin oleh Bapak Nuh, 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 organisasi musik

yang disebut dengan Mesin Music Club (MMC) sesuai dengan hobi penulis yaitu mendengarkan musik dan main musik. Penulis menjabat disebuah organisasi dimulai dari staff pada periode 2011/2012 hingga Bendahara Umum di Mesin Music Club pada periode 2013. Banyak event-event besar diselenggarakan di organisasi MMC. Penulis juga pernah menampilkan disebuah acara Ulang tahun MMC yang ke-7, serta Malam Keakraban (MAKRAB) angkatan 2011 sebagai vokalis. MMC crew merupakan bagian keluarga juga dari penulis dengan kesolidan dan kasih sayang yang diberikan kepada semua crew. Dan sekarang penulis menjadi Pengurus Luar Biasa (PLB) di MMC. 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...

## DAFTAR PUSTAKA

- Aldis-asia.blogspot.co.id/2013/09/stainless-steel-food-grade\_11.html/.
- Ghoffar, Abdul. 2012. *Rancang Bangun Tribometer Tipe Pin-On-Plate Dan Studi Eksperimental Karakteristik Tribologi Polimer To Polimer*. Teknik Mesin. Insitut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Inayah, Nazidatul. 2015. *Studi Eksperimen Dan Analisa Keausan (Wear Analysis) Journal Bearing Dengan Lapisan Pasta Pada Rotary Valve Mesin Pembuat Pasta*. Tugas Akhir. Teknik Mesin. Insitut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Prayogi, Tegar. 2010. *Rancang Bangun Tribometer Tipe Pin on Disk dan Studi Eksperimental Karakteristik Tribology Polimer-polimer*.Tugas Akhir. Teknik Mesin. Insitut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Susastro. 2013. *Study Eksperimental Laju Keausan Pada 2 Buah High Density Polyethylene Dengan Variasi Normal Load pada Kondisi Reciprocating Sebagai Sendi Rahang (Temporomandibular Join) Manusia*. Tugas Akhir. Teknik Mesin. Insitut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- 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

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*