



**TUGAS AKHIR - TM 141585**

**STUDI EKSPERIMEN DAN ANALISA LAJU  
KEAUSAN MATERIAL ALTERNATIF BEARING  
PADA POROS PROPELLER KAPAL**

Bisma Aditya Permana  
NRP. 2112 106 023

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

JURUSAN TEKNIK MESIN  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - TM 141585

# EKSPERIMENTAL STUDY AND ANALYSIS WEAR RATE OF ALTERNATIVE MATERIAL ON SHIP PROPELLER SHAFT

BISMA ADITYA PERMANA  
NRP. 2112106023

Academic Supervisor  
Ir. Yusuf Kaelani, M.Sc.E

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2016

**“STUDI EKSPERIMEN DAN ANALISA LAJU  
KEAUSAN MATERIAL ALTERNATIF BEARING  
PADA POROS PROPELLER KAPAL”**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

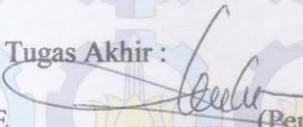
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

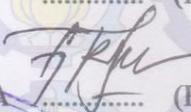
**Bisma Aditya Permana**  
Nrp. 2112 106 023

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Yusuf Kaelani , MSc.E  
NIP : 196511031996021001

  
..... (Pembimbing)

2. Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA  
NIP : 196508101991021001

  
..... (Penguji 1)

3. Moch Solichin ST. MT  
NIP : 2100201405003

  
..... (Penguji 2)

4. Ir. Arino Anzip, M.Eng.Sc.  
NIP : 196107141988031003

  
..... (Penguji 3)

  
**SURABAYA  
JANUARI, 2016**

# STUDI EKSPERIMEN DAN ANALISA LAJU KEAUSAN MATERIAL ALTERNATIF BEARING PADA POROS PROPELLER KAPAL

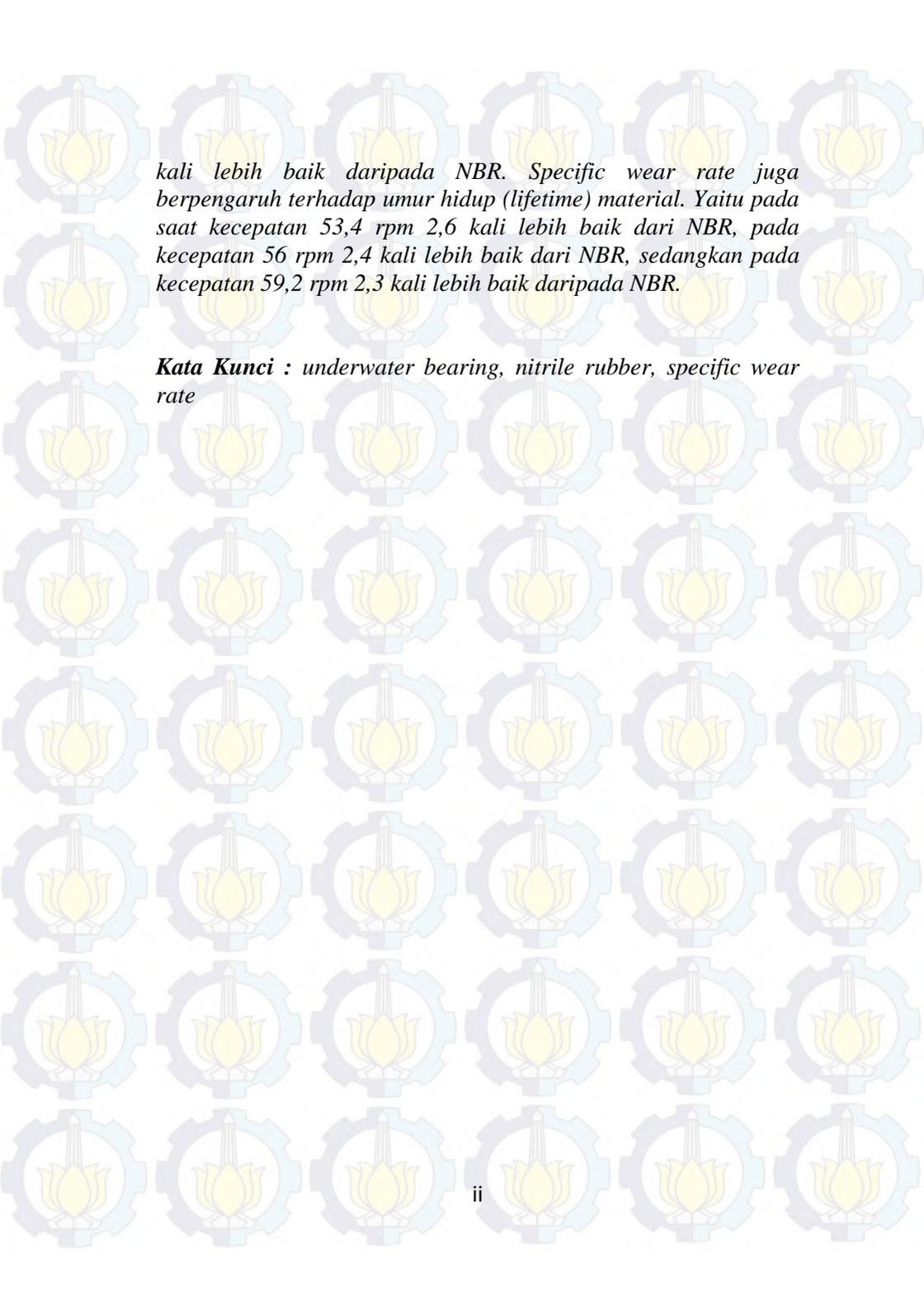
**Nama Mahasiswa** : BISMA ADITYA PERMANA  
**NRP** : 2112 106 023  
**Jurusan** : Teknik Mesin FTI-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Ir.Yusuf Kaelani,Msc.E

## *Abstrak*

*Karet Nitril yang digunakan sebagai material dari cutlass bearing pada poros propeller kapal, sering mengalami keausan dini daripada perkiraan awalnya yaitu 1000 jam pemakaian. Hal ini terjadi dikarenakan adanya kontak antara material Karet Nitril sebagai Bearing dan SS316 sebagai poros propeller kapal. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui laju keausan material karet nitril dengan menggunakan air laut sebagai pelumas.*

*Pengujian keausan dilakukan pada alat Tribometer pin on disc, dengan menggunakan air laut sebagai pelumas. Spesimen uji ditimbang dengan timbangan digital sebelum dilakukan pengujian untuk mengetahui berat awal. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan kecepatan yaitu pada speed control 80, 90, dan 100. Sedangkan beban yang digunakan konstan yaitu 8kg. Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali sesuai dengan speed control yang ditetapkan.*

*Hasil dari pengujian diatas didapatkan material rekomendasi yang memiliki nilai specific wear rate lebih baik dibandingkan dengan Nitrile Rubber (NBR), yaitu Ultra High Molecular Weight Polyetyhlene (UHMWPE) dimana nilai specific wear rate UHMWPE lebih baik dibandingkan material NBR. Yaitu pada saat kecepatan 53,4 rpm material UHMWPE 1,8 kali lebih baik daripada NBR. Dan pada saat kecepatan 56 rpm material UHMWPE 1,7 kali lebih baik daripada NBR. Sedangkan pada saat kecepatan 59,2 rpm material UHMWPE 1,6*

The background of the page is a repeating pattern of a light blue gear with a yellow lotus flower inside it. The text is centered in the upper half of the page.

*kali lebih baik daripada NBR. Specific wear rate juga berpengaruh terhadap umur hidup (lifetime) material. Yaitu pada saat kecepatan 53,4 rpm 2,6 kali lebih baik dari NBR, pada kecepatan 56 rpm 2,4 kali lebih baik dari NBR, sedangkan pada kecepatan 59,2 rpm 2,3 kali lebih baik daripada NBR.*

***Kata Kunci :*** *underwater bearing, nitrile rubber, specific wear rate*

# **EKSPERIMENTAL STUDY AND ANALYSIS WEAR RATE OF ALTERNATIVE MATERIAL BEARING ON SHIP PROPELLER SHAFT**

**Name** : Bisma Aditya Permana  
**NRP** : 2112 106 023  
**Departement** : Mechanical Engineering FTI – ITS  
**Advisor Lecture** : Ir. Yusuf Kaelani MSc.E.

## ***Abstract***

*Nitrile Rubber is used as the material of cutlass Bearing on the shaft propeller, usually have premature wear than the initial estimates of 1000 hours of usage. This occurs due the contact between the material Nitrile Rubber as Bearing and SS316 as propeller shaft. Therefore it is necessary to investigate the wear rate of nitrile rubber material by using sea water as a lubricant.*

*The wear test use Tribometer pin on disc,using sea water as a lubricant. Specimen weighed with digital scales prior to determine the initial weight. Eksperiment is done by varying the speed control 80, 90and 100. While the load is constant 8kg. Eksperiment have 3 times repetition accordance the speed control set.*

*Result of the test is obtained recommendation material which wear rate better than the nitrile Rubber (NBR) is Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE) which the value of specific wear rate of UHMWPE better than NBR. When the speed 53,4 rpm UHMWPE 1,8 times better than NBR. And at speed 56 rpm UHMWPE 1,7 times better than NBR. While at speed 59,2 rpm UHMWPE 1,6 times better than NBR. Specific wear value also affects the lufetime of materials. Which at speed 53,4 rpm 2,2 times better than NBR, at speed 56rpm 2 times better than NBR, while at speed 59,2 rpm 1,9 times better than NBR.*

***Keywords : lifetime, nitrile rubber, polyethylene, wear rate***

## KATA PENGANTAR

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan,  
sungguh bersama kesulitan itu ada kemudahan”  
(QS : Al-Insyirah : 5-6)

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Studi Eksperimen dan Analisa Laju Keausan Material Alternatif *Bearing* pada Poros *Propeller* Kapal” tepat pada waktunya. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk meraih gelar sarjana strata 1 jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Keberhasilan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bimbingan, bantuan, dukungan serta dorongan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Yusuf Kaelani, M.Sc.E selaku dosen pembimbing, yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan ide, arahan, bimbingan dan motivasi selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA, Bapak Moch Solichin, ST, MT, dan Bapak Ir. Arino Anzip, M.Eng.Sc. selaku dosen penguji atas semua masukan dan arahan demi kesempurnaan tugas akhir ini.
3. Orangtua tercinta, Ayah Achmad Arifin dan Ibu Asmarani serta Kakak Indri Andarini, dan Abang Jaka Arastya atas semua doa, perhatian dan dukungan baik moril maupun materil yang telah diberikan.
4. Ibu Wiwiek Hendrowati ST. MT. selaku dosen wali yang telah memberikan arahan selama masa perkuliahan.

5. Segenap Bapak/Ibu Dosen Pengajar dan Karyawan di Jurusan S1 Teknik Mesin ITS, yang telah banyak memberikan ilmu serta bantuan selama menjalani kuliah.
6. Teman dan saudara penghuni SPR23: Kemal, Windra, Arifin, Archit, Joseph dan Momo. Atas ide, saran, canda dan tawa selama tinggal bersama di surabaya.
7. Seluruh teman-teman seperjuangan LJ Mesin 2012 yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu, terimakasih untuk semua bantuan serta dukungan selama menjalani masa perkuliahan bersama juga untuk semua tawa serta canda yang selalu membuat masa perkuliahan lebih berwarna.
8. Erlin Kencanawati yang telah menjadi teman berbagi fikiran dan terus memberikan dukungan, doa dan semangat kepada penulis.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang dapat mengembangkan Tugas Akhir ini menjadi lebih baik. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan pembaca pada umumnya.

Surabaya, 26 Januari 2016

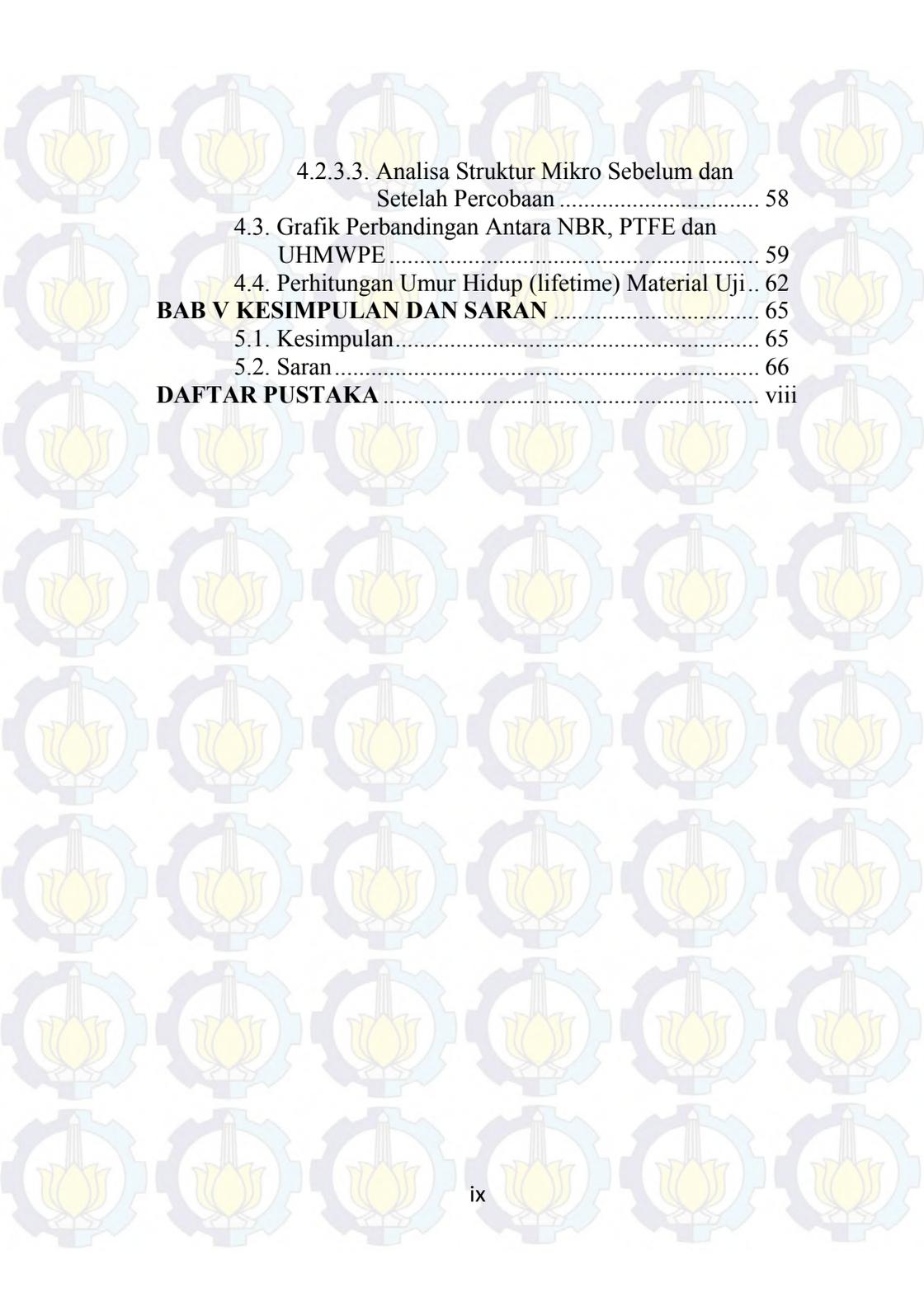
Penulis

# DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	
<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iv
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	x
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang Masalah .....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	2
1.3. Batasan Masalah .....	3
1.4. Tujuan Penelitian .....	3
1.5. Manfaat Hasil Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTKA DAN DASAR TEORI</b>	
2.1. Tinjauan Pustaka .....	5
2.1.1. <i>Friction and wear behaviour of UHMWPE sliding against stainless steel</i> .....	5
2.1.2. Tribological behaviour of PTFE Sliding against steel in sea water .....	6
2.1.3. Study on wear behaviour of NBR under water lubricated condition .....	7
2.2. Landasan Teori .....	9
2.2.1. Tribologi .....	9
2.2.2. Friksi ( <i>Friction</i> ) .....	10
2.2.3. Keausan ( <i>Wear</i> ) .....	13
2.2.3.1. Pengertian Keausan .....	13
2.2.3.2. Jenis – Jenis Keausan .....	14
2.2.3.2.1. Keausan Ashesive ( <i>Adhesive Wear</i> ) ...	14
2.2.3.2.2. Keausan Abrasive ( <i>Abrasive Wear</i> ) ...	15
2.2.3.2.3. Keausan Lelah ( <i>Surface Fatigue Wear</i> ) .....	17

2.2.3.2.4. Keausan Oksidasi/Korosif ( <i>Tribo Chemical Wear</i> ).....	18
2.2.3.2.5. Keausan Erosi ( <i>Erosion Wear</i> ).....	19
2.2.3.3. Pengurangan Keausan .....	20
2.2.4. <i>Cutlass Bearing</i> .....	21
2.2.4.1. Pengertian <i>Cutlass Bearing</i> .....	21
2.2.4.2. Kegagalan Bearing ( <i>Bearing Failure</i> ).....	22
2.2.4.3. Karakteristik Material Karet Nitril ( <i>Nitrile Rubber</i> ).....	23
2.2.5. Material Yang Direkomendasikan .....	23
2.2.5.1. <i>Ultra High Molecular Weight Polyethylene</i> (UHMWPE).....	24
2.2.5.2. <i>Polytetrafluoroethylene</i> (PTFE).....	25
2.2.6. <i>Stainless Steel AISI 316</i> .....	26
<b>BAB III METODOLOGI</b> .....	27
3.1. Diagram Alir Penelitian.....	27
3.2. Langkah – Langkah Penelitian .....	28
3.2.1. Perumusan Masalah dan Studi Pustaka.....	28
3.2.2. Persiapan Alat Uji Tribometer Tipe Pin On Disk.....	28
3.2.3. Persiapan Spesimen .....	29
3.2.4. Pengambilan Data Penelitian .....	29
3.2.5. Pengolahan Data Penelitian .....	29
3.2.6. Pembuatan Grafik Dan Analisa Hasil Penelitian.....	29
3.2.7. Kesimpulan, Saran Dan Rekomendasi.....	30
3.3. Diagram Alir Pengujian.....	31
3.4. Langkah Kerja Pengujian .....	32
3.4.1. Studi Pustaka Dan Penentuan Material Yang Diuji.....	33
3.4.2. Persiapan Spesimen .....	33
3.4.3. Penimbangan Massa Awal Spesimen .....	36
3.4.4. Persiapan Alat Uji Tribometer dan Kalibrasi : Control Speed dan Load.....	36
3.4.5. Penelitian : Seawater Lubricant.....	38

3.4.6. Analisa dan Pembahasan .....	39
3.5. Spesifikasi Peralatan Tribometer .....	39
3.6. Spesifikasi Spesimen Uji .....	39
3.6.1. UHMWPE .....	39
3.6.2. Nitrile Rubber .....	41
3.6.3. Polytetrafluoroethylene (PTFE) .....	41
3.6.4. Stainless Steel 316 .....	42
3.7. Perancangan Eksperimen .....	42
<b>BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>45</b>
4.1. Data Perhitungan Eksperimen .....	45
4.1.1. Nitrile Rubber (NBR) .....	45
4.1.2. Polytetrafluoroethylene (PTFE) .....	45
4.1.3. Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE) .....	46
4.2. Pembahasan Grafik .....	46
4.2.1. Nitrile Rubber (NBR) .....	46
4.2.1.1. Analisa Pengaruh Kecepatan Terhadap Specific Wear Rate .....	46
4.2.1.2. Analisa Pengaruh Kecepatan Terhadap Wear Volume .....	48
4.2.1.3. Analisa Struktur Mikro Sebelum dan Setelah Percobaan .....	49
4.2.2. Polytetrafluoroethylene (PTFE) .....	51
4.2.2.1. Analisa Pengaruh Kecepatan Terhadap Specific Wear Rate .....	51
4.2.2.2. Analisa Pengaruh Kecepatan Terhadap Wear Volume .....	52
4.2.2.3. Analisa Struktur Mikro Sebelum dan Setelah Percobaan .....	53
4.2.3. Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE) .....	55
4.2.3.1. Analisa Pengaruh Kecepatan Terhadap Specific Wear Rate .....	55
4.2.3.2. Analisa Pengaruh Kecepatan Terhadap Wear Volume .....	57



4.2.3.3. Analisa Struktur Mikro Sebelum dan Setelah Percobaan .....	58
4.3. Grafik Perbandingan Antara NBR, PTFE dan UHMWPE .....	59
4.4. Perhitungan Umur Hidup (lifetime) Material Uji..	62
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>65</b>
5.1. Kesimpulan .....	65
5.2. Saran .....	66
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>viii</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. nitrile rubber cutlass bearing pada poros propelle .....	2
Gambar 2.1. Coefficients of friction, dan laju keausan dari material UHMWPE bergesekan dengan GCr15 dan Ni-P alloy dengan kondisi pelumasan yang berbeda : dry, pure water, seawater dan NaCl .....	5
Gambar 2.2. Variasi dan Koefisien gesek berdasarkan sliding time dan laju keausan PTFE dengan media lubricant yang berbeda .....	7
Gambar 2.3. kurva karakteristik pengaruh kecepatan dan pengaruh pembebanan terhadap koefisien gesek NBR .....	8
Gambar 2.4. Efek tekanan dan kecepatan pada laju keausan NBR .....	9
Gambar 2.5. Pemindahan patung besar di mesir .....	10
Gambar 2.6. Proses perpindahan logam secara adhesi .....	15
Gambar 2.7. Keausan Abrasive pada proses cutting .....	16
Gambar 2.8. Perpindahan material karena adhesive wear yang menghasilkan formasi penggarukan sehingga menyebabkan abrasive wear .....	17
Gambar 2.9. Ilustrasi dari proses subsurface pertumbuhan retak .....	18
Gambar 2.10. Model interaksi antara agen korosif dan permukaan yang rusak .....	19
Gambar 2.11. Ilustrasi Keausan Erosi .....	20
Gambar 2.12. Proses pembuatan dan produk jadi dari Nitrile Rubber Cutless bearing .....	21
Gambar 2.13. Rubber Cutlass bearing yang mengalami keausan .....	22
Gambar 3.1. Flowchart Penelitian .....	27
Gambar 3.2. Alat Uji tribometer pin on disc di jurusan teknik mesin ITS .....	29
Gambar 3.3. Flowchart Pengujian .....	32

Gambar 3.4. Dimensi Pin .....	33
Gambar 3.5. NBR, UHMWPE dan PTFE Sebagai Pin .....	34
Gambar 3.6. Dimensi Disc .....	35
Gambar 3.7. Stainless Steel 316 Sebagai Disk.....	35
Gambar 3.8. Timbangan digital untuk mengukur berat spesimen.....	36
Gambar 3.9. Instalasi Spesimen pada alat tribometer .....	37
Gambar 3.10. Kalibrasi Variabel Load.....	37
Gambar 3.11. Disk Sebagai Penampung Air Laut .....	38
Gambar 3.12. Mechanical properties UHMWPE.....	40
Gambar 3.13. Mechanical Properties Nitrile Rubber .....	41
Gambar 3.14. Mechanical Properties PTFE .....	41
Gambar 3.15. Mechanical Properties SS316 .....	42
Gambar 4.1. Grafik specific wear rate NBR terhadap kecepatan.....	47
Gambar 4.2. Grafik wear volume NBR terhadap kecepatan .....	49
Gambar 4.3. Foto Mikro permukaan NBR sebelum dan setelah pengujian.....	50
Gambar 4.4. Grafik specific wear rate PTFE terhadap kecepatan.....	51
Gambar 4.5. Grafik wear volume PTFE terhadap kecepatan....	53
Gambar 4.6. Foto Mikro permukaan PTFE sebelum dan setelah pengujian .....	54
Gambar 4.7. Grafik specific wear rate UHMWPE terhadap kecepatan.....	56
Gambar 4.8. Grafik wear volume UHMWPE terhadap kecepatan.....	57
Gambar 4.9. Foto Mikro permukaan UHMWPE sebelum dan setelah pengujian .....	58
Gambar 4.10. Diagram batang perbandingan specific wear rate NBR, PTFE dan UHMWPE .....	60

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Hasil pengukuran spesimen pin setelah dilakukan Pembubutan.....	34
Tabel 3.2. matriks rancangan hasil penelitian berdasarkan kecepatan putaran.....	42
Tabel 4.1. Data perhitungan hasil pengujian material NBR.....	45
Tabel 4.2. Data perhitungan hasil pengujian material PTFE.....	46
Tabel 4.3. Data perhitungan hasil pengujian material UHMWPE.....	46
Tabel 4.4. Hasil Perhitungan umur hidup material NBR.....	63
Tabel 4.4. Hasil Perhitungan umur hidup material PTFE.....	63
Tabel 4.4. Hasil Perhitungan umur hidup material UHMWPE.....	63

## DAFTAR PUSTAKA

- Inayah Nazidatul, Yusuf Kaelani. 2015. Studi Eksperimen dan Analisa Keausan Jurnal Bearing Dengan Lapisan Pasta Pada Rotary Valve Mesin Pembuat Pasta. Tugas Akhir Teknik Mesin ITS, Surabaya.
- Sholichin moch, Yusuf Kaelani 2008. Experimental Study Of Specific Wear Rate On Ultra High Molecular Weight Polyethylene (Uhmwpe) With Stainless Steel On Artificial Knee Joints (Total Knee Replacement Prosthesis) Human, Tugas Akhir Teknik Mesin ITS, Surabaya.
- Prayogi Tegar, Yusuf Kaelani. 2010. Rancang Bangun Tribometer Tipe Pin on Disk dan Studi Eksperimental Karakteristik Tribology Polimer-polimer. Tugas Akhir Teknik Mesin ITS .Surabaya.
- Conglin Dong, Chengqing Yuan, dkk. 2014. Study on wear behaviour and wear model of nitrile butadiene rubber under water lubricated conditions. Key laboratory of Marine power Engineering & Technology (Ministry of Transport), Wuhan University of Technology, Wuhan 430063, PR China.
- Jianzhang Wang, Fengyuan Yan, Qunji Xue. 2009. Tribological behaviour of PTFE sliding against steel in sea water. State key Laboratory of solid Librication, Lanzhou Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, No 18, Tianshui Middle Road, Lanzhou 730000, PR China



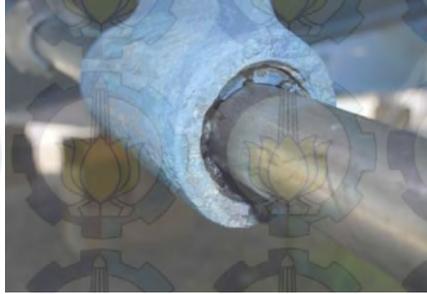
Mingyi Liao, Bo Xin, Qibiao Li. 2013. Study on Friction and Wear Properties of Water Lubricated Rubber Bearing. Transportation Equipments and Ocean Engineering College, Dalian Maritime University, Liaoning, Dalian, 116026, People's Republic of China.

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1. Latar Belakang

Sebelum tahun 1950an, poros *propeller* yang dioperasikan di dalam air menggunakan *bearing* dengan material *lignum vitae* (kayu padat). Namun *bearing* jenis ini diperlukan penggantian yang rutin karena menghasilkan keausan yang kurang wajar dari waktu ke waktu, dan permasalahan yang lain adalah mutu dan ketahanan yang tak sama atau seragam. Sebab itu pemakaian *cutlass bearing* akhir – akhir ini menjadi populer untuk mesin – mesin berputaran menengah dan tinggi. Material yang digunakan untuk *cutlass bearing* dibuat dengan peleburan dan memasukan karet lunak kelubang dalam tabung metal. Beberapa alur dalam arah longitudinal dibentuk pada permukaan karet tersebut. ([rachmatcorps.file.wordpress](http://rachmatcorps.file.wordpress))

Bantalan *cutless* ini umumnya menggunakan karet nitril sebagai materialnya ([wikipedia.org/stave\\_bearing](http://wikipedia.org/stave_bearing)). *Cutlass bearing* dengan bahan karet nitril dapat bertahan dalam 1000 jam pemakaian dalam kondisi normal tanpa ada gangguan yang terjadi. Akan tetapi material jenis ini sangat sering terjadi kerusakan / keausan dini, keausan *cutlass bearing* ini banyak disebabkan oleh masuknya material – material debris pada alur bantalan seperti pasir, lumpur, batu dan lain lain, keausan juga sangat erat kaitanya dengan kecepatan putaran dari *propeller*, semakin cepat putaran poros, maka semakin cepat pula keausan yang terjadi, Keausan yang terjadi pada *cutlass bearing* ini akan menyebabkan *bending*-nya poros *propeller*, menyebabkan bunyi dan getaran pada saat poros berputar, dan dapat menyebabkan kerusakan lebih lanjut pada mesin ([powerandmotoryacht.com](http://powerandmotoryacht.com)). Pemasangan instalasi *cutlass bearing* pada poros propeller kapal dapat dilihat pada gambar 1.1 dibawah ini.



**Gambar 1.1.** *nitrile rubber cutlass bearing* pada poros *propeller* (sumber, <http://www.cruisingworld.com>)

Pada tugas akhir ini akan dilakukan penelitian terhadap laju keausan material karet nitril yang biasa digunakan sebagai *bearing* pada poros *propeller* kapal. Dimana material ini sangat sering terjadi keausan dini dari perkiraan awal pabrikan yaitu 1000 jam pada kondisi normal. Faktor yang menyebabkan keausan pada material ini salah satunya kecepatan putaran poros *propeller* kapal. Penelitian ini juga bertujuan untuk mendapatkan material alternatif yang memiliki laju keausan yang lebih baik dari material *Nitrile Rubber*.

Maka dari itu pada tugas akhir ini akan dilakukan penelitian besarnya laju keausan (*specific wear rate*) pada material karet nitril dengan memvariasikan kecepatan putaran dengan menggunakan air laut sebagai pelumas, mencari *life time* dari material. Dan merekomendasikan material alternatif yang memiliki laju keausan yang lebih baik daripada material karet nitril.

## 1.2. Perumusan Masalah

Sehubungan dengan penelitian mengenai analisa laju keausan *Nitrile Rubber* terhadap *Stainless steel* 316 ini maka rumusan permasalahan yang akan dibahas adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mengetahui pengaruh kecepatan putaran terhadap laju keausan material *nitrile rubber* terhadap material SS 316 dengan air laut sebagai pelumas?
2. Bagaimana mengetahui *life time* material *nitrile rubber*?
3. Material alternatif apa yang memiliki *specific wear rate* (laju keausan) yang lebih baik dari *nitrile rubber*?

### 1.3. Batasan Masalah

Agar pengujian yang dilakukan tidak keluar dari permasalahan yang ingin dicari pemecahannya, maka ditentukan batasan permasalahan. Adapun batasan masalah untuk penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Tidak membahas struktur mikro material uji
2. Tidak ada kesalahan dalam pemasangan komponen mesin uji
3. Pada saat pengujian kondisi temperatur pada suhu ruangan.
4. Tidak ada material debris yang ikut menambah keausan
5. Menggunakan air laut sebagai pelumas
6. *Speed control* yang digunakan 80, 90 dan 100
7. Beban yang digunakan konstan 8 kg
8. Kekasaran permukaan dianggap sama
9. Alat uji yang digunakan dari penelitian ini adalah tribometer *pin on disc*

### 1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui pengaruh kecepatan putaran terhadap laju keausan material *nitrile rubber* terhadap material SS 316 dengan air laut sebagai pelumas.
2. Untuk mengetahui *life time* material *Nitrile Rubber*
3. Mencari material alternatif yang memiliki *specific wear rate* (laju keausan) yang lebih baik dari *nitrile rubber*

### 1.5. Manfaat Hasil Penelitian

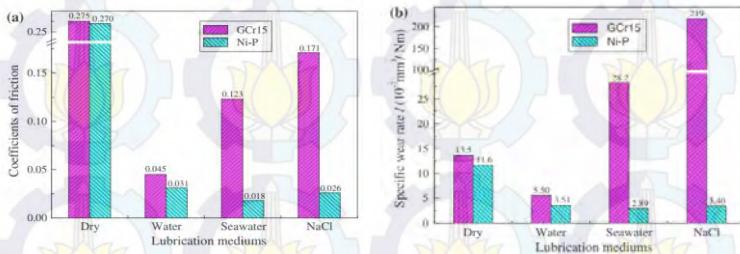
Tujuan yang ingin dicapai dalam melakukan penelitian ini adalah memberikan rekomendasi dalam pemilihan material yang digunakan sebagai *bearing* pada poros propeller kapal.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

### 2.1 Tinjauan pustaka

#### 2.1.1. *Friction and wear behavior of UHMWPE sliding against stainless steel*

J. wang pada papernya yang berjudul *friction and wear behavior of Ultra-High Molecular Weight Polyethylene Sliding Against GCr15 Steel and Electroless Ni-P Alloy Coating Under the Lubrication of Seawater (2009)*, meneliti tentang sifat – sifat tribologi material UHMWPE dengan menggunakan tiga jenis media pelumasan, yaitu air, 3.5 wt % NaCl *solution* dan air laut. Bergesekan dengan GCr15 dan Ni-P alloy, Gcr15 steel (AISI 52100 steel, dengan komposisi: 0.95-1.05%C, 1.30-1.65% Cr, 0.15-0.35%Si, 0.2-0.4%Mn,) dan electroless Ni-P alloy coating yang digunakan sebagai material *counter*. GCr15 sering digunakan sebagai bearing, dengan sifat – sifat mekanis yang baik, namun ketahanan korosi yang buruk terhadap air laut. Sedangkan electroless Ni-P alloy coatig mempunyai sifat mekanis yaitu kekerasan yang tinggi, ketahanan korosi yang baik, ketahanan aus, dan dilapisi elektromagnetik sehingga material ini sangat berpotensi untuk digunakan di lingkungan kelautan. Hasil – hasil penelitian wang dapat dilihat pada gambar 2.1 dibawah ini

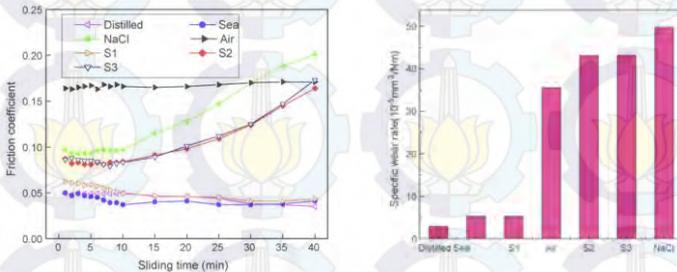


**Gambar 2.1.** (a) *Coefficients of friction*, dan (b) laju keausan dari material UHMWPE bergesekan dengan GCr15 dan Ni-P alloy dengan kondisi lubrikasi yang berbeda : *dry*, *pure water*, *seawater* dan NaCl.

Dari grafik diatas hasil yang didapatkan dari penelitian J wang adalah bahwa UHMWPE memiliki *coeficient of friction* dan laju keausan yang kecil ketika bergesekan dengan Ni-P alloy dengan menggunakan air laut sebagai *lubricant* yang berarti lubrikasi dengan air laut lebih baik dibandingkan dengan air biasa dan NaCl. Ketika sliding melawan GCr15 dengan air laut dan NaCl, UHMWPE didominasi keausan korosive tak langsung dan mengalami laju keausan yang lebih tinggi daripada lubricant yang lain, yang berarti material – material baja mengalami korosi yang serius jika digunakan dalam media yang mengandung sifat korosif.

### **2.1.2 Tribological behavior of PTFE sliding against steel in sea water**

J.Wang, F.Yan, Q.Xue pada papernya yang berjudul ***Tribological behavior of PTFE sliding against steel in sea water***, yang meneliti tentang sifat – sifat tribologi dari material *Polytetrafluoroethylene* (PTFE) yang bergesekan dengan baja GCr15 dengan menggunakan air yang disuling, air laut dan 3.5wt % NaCl Solution. Pada penelitian ini komposisi kimia air laut dibuat menjadi empat jenis yaitu air laut, Solution I (NaCl + Sodium Sulphate + Divalent metal salt), Solution II (NaCl + Sodium Sulphate + Other trace components), dan Solution III (NaCl + Sodium Sulphate). Penelitian yang dilakukan oleh J.wang dan kawan – kawan ini dilakukan pada tribometer ring on block test rig. Hasil dari penelitian dapat dilihat pada gambar 2.2 dibawah ini.



**Gambar 2.2.** Variasi dari koefisien gesek berdasarkan sliding time dan laju keausan dari material PTFE dengan media lubricant yang berbeda

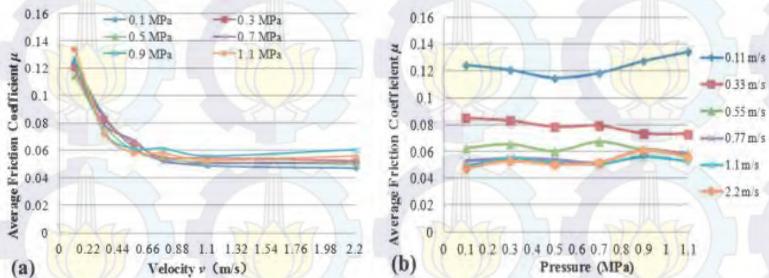
Berdasarkan grafik pada gambar 2.2 diatas dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu, Gesekan antara PTFE dan GCr15 pada air laut relatif stabil. Koefisien gesek pada air laut sedikit lebih rendah daripada air yang disuling. Tapi laju keausan yang terjadi pada PTFE dengan air laut sebagai pelumas sedikit lebih besar daripada air yang disuling. Laju keausan material PTFE paling kecil ketika menggunakan air suling sebagai pelumas dibandingkan dengan tujuh media pelumas lainnya.

Penambahan komposisi kimia Cl pada air laut juga berpengaruh terhadap laju keausan yang terjadi pada PTFE. Penambahan Cl dapat menyebabkan korosi yang sangat tinggi pada material baja sebagai media counterface PTFE. Korosi ini menyebabkan perubahan dari kekasaran permukaan material GCr15 dan menyebabkan keausan yang terjadi pada PTFE, keausan ini disebut sebagai keausan korosif tak langsung (*indirect corrosive wear*).

### 2.1.3 Study on Wear Behaviour of NBR Under Water Lubricated Condition

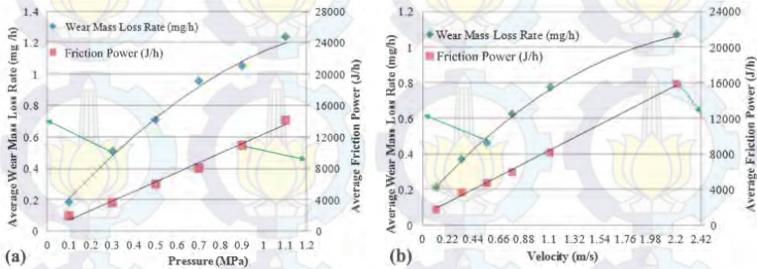
C.Dong, C.Yuan, X.Bai pada papernya yang berjudul *Study on Wear Behaviour of Nitrile Butadiene Rubber Under Water Lubricated Condition*, melakukan penelitian terhadap

*Nitrile Butadiene Rubber* yang umum digunakan sebagai *stern tube bearing* pada kapal. Penelitian dilakukan antara NBR sebagai pin dan 1Cr18Ni9Ti stainless steel sebagai disc dilakukan dengan air sebagai *lubricant*. Penelitian yang dilakukan C.Dong ini bertujuan sebagai pembuktian dari studi tentang teori keausan NBR dan dapat digunakan untuk mengoptimasi *water – lubricated rubber stern tube bearing*. Hasil – hasil dari pengujian dapat dilihat pada gambar 2.3 dan 2.4 dibawah ini.



**Gambar 2.3.** (a) kurva karakteristik pengaruh kecepatan terhadap koefisien gesek NBR. (b) kurva pengaruh pembebanan terhadap koefisien gesek NBR

Berdasarkan grafik yang terdapat pada gambar 2.3 diatas. Dapat dilihat bahwa ketika velocity (kecepatan) berada pada range 0-0.66 m/s, koefisien gesek menurun secara drastis, ketika velocity melewati 0.66 m/s koefisien gesek akan berada dalam kondisi stabil. Fenomena ini disebabkan oleh terdapat pelumasan diantara bagian yang bergesek sehingga koefisien gesek mengalami penurunan. Pada gambar 2.3 (b) diatas dapat jelas terlihat koefisien gesek berubah – ubah dengan meningkatnya tekanan (pressure) pada kecepatan yang sama. Grafik tersebut dapat mengindikasikan bahwa beban mempunyai sedikit efek terhadap koefisien gesek antara benda yang bergesekan pada kondisi yang tetap.



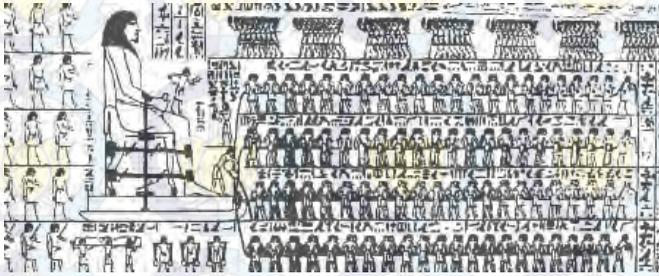
**Gambar 2.4** (a) *Nominal Pressure effect on the wear mass loss rates and average friction powers of NBR.* (b) *Speed effects on the wear mass loss rates and Average friction power of NBR*

Berdasarkan grafik pada gambar 2.4 (a) diatas dapat dilihat bahwa laju keausan yang terjadi pada NBR berkorelasi positif terhadap tekanan. Semakin meningkat tekanan (pressure) semakin tinggi pula laju keausan yang terjadi. Tekanan juga berkorelasi dengan gaya gesek (friction powers) antara material yang bergesekan. NBR akan semakin mudah aus pada proses gesekan tersebut. Grafik pada gambar 2.4 (b) menunjukkan korelasi antara laju keausan NBR dengan kecepatan (velocity) untuk tekanan yang sama. Semakin cepat putaran yang terjadi maka semakin tinggi laju keausan material NBR.

## 2.2 Landasan Teori

### 2.2.1 Tribologi

Tribology berasal dari kata *tribos* (bahasa Yunani yang berarti *rubbing*, dan *logy* atau *logia* artinya *studi*. Tribologi adalah studi tentang interaksi atau *rubbing* dari permukaan yang saling bergerak relatif. Walaupun penggunaan pelumas sudah dimulai sejak jaman kuno, misalnya pada peralatan seperti roda pembuatan keramik, engsel pintu, roda kereta, seluncur untuk menyeret batu besar/patung di Mesir seperti yang terlihat pada gambar 2.5 dibawah ini. Namun pembahasan secara ilmiah terhadap teknologi pelumas dan pelumasan ini relatif baru.



**Gambar 2.5.** Pemindahan patung besar di mesir (sumber, *History of tribology*, D.Dowson)

Perumusan pertama hukum tribologi baru mengemuka pada abad 15, pada saat itu insinyur-artis, Leonardo da Vinci (1452-1519), menemukan bahwa gaya friksi sebanding dengan gaya normal. Terminologi TRIBOLOGI diperkenalkan baru sekitar tahun 1966 sebagai ilmu sains tentang friksi (*friction*), keausan (*wear*) pelumasan (*lubrication*), dan sudah digunakan secara global untuk menggambarkan aktifitas yang jangkauannya luas ini.

*Friction* biasanya merupakan cabang ilmu dari bidang teknik mesin ataupun fisika. *Wear* biasanya bagian dari ilmu bahan atau metalurgi. *Lubrication* adalah cabang teknik mesin. Dengan demikian tribologi adalah ilmu interdisipliner dalam semua aspek, dan memberikan dasar sains untuk memahami fenomena gesekan dan pelumasan dalam sistem tribologi. Efisiensi pelumasan dan aplikasi pelumas selanjutnya tergantung pada parameter kunci seperti konsistensi, properti aliran atau viskositas untuk cairan yang selalui muncul pada spesifikasi semua pelumas.

### 2.2.2 Friksi (*Friction*)

Friksi adalah gaya yang menahan gerakan *sliding* atau *rolling* satu benda terhadap benda lainnya. Friksi merupakan

faktor yang penting dalam mekanisme operasi sebagian besar peralatan atau mesin.

Friksi besar (*high friction*) dibutuhkan untuk bekerjanya mur dan baut, klip kertas, penjepit (tang catut), sol sepatu, alat pemegang dll. Gaya friksi dibutuhkan pada saat kita jalan agar tidak terpeleset. Friksi juga dibutuhkan agar dapat menumpuk pasir, apel dll. Namun friksi juga merupakan tahanan terhadap gerakan yang bersifat merugikan. 20% tenaga mesin mobil dipergunakan untuk mengatasi gaya friksi pada elemen mesin yang bergerak. Oleh karena itu friksi kecil (*low friction*), dikehendaki untuk benda yang bergerak seperti mesin tenaga (*engine*), ski, elemen arloji/jam dll. Disamping itu juga dibutuhkan friksi konstan (*constant friction*) yaitu untuk rem, dan kopling agar geakkan tidak tersendat sendat.

Friksi telah dipelajari sebagai cabang mekanika beberapa ratus tahun yang lalu, dan hukum dan metode untuk memperkirakan besarnya friksi telah diketahui 2 abad lalu. Namun mekanisme friksi, yaitu proses hilangnya energi jika dua permukaan saling bergesek tidak dapat diterangkan dengan baik. Penyebab utama friksi antara dua logam kelihatannya adalah gaya tarik (adesi) daerah kontak (*contact region*) dari permukaan yang secara mikroskopik tidak beraturan. Jika diperbesar permukaan menyerupai bukit dan lembah.

Jika ada beban, ketika 2 permukaan bersinggungan, dua bukit menempel (adesi atau menyatu) atau terkunci dilembah permukaan dihadapannya. Friksi timbul akibat adanya geseran (*shearing*) bukit yang menyatu tersebut dan juga akibat ketidakaturan permukaan tersebut, bagian yang keras tertanam kepada bagian lunak.

Friksi dari *slidding* dua benda padat yang diperoleh dari eksperimen sederhana menghasilkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Besarnya friksi hampir tidak bergantung pada luas kontak .  
*Jika sebuah bata ditarik diatas meja, gaya friksi tetap sama, baik posisi bata berdiri ataupun tidur.* (Leonardo da Vinci (1452-1519)

2. Friksi berbanding lurus dengan beban yang bekerja pada permukaan.

*Jika bata ditumpuk empat ditarik diatas meja, besarnya friksi empatkalinya friksi satu batayang ditarik.*

Jadi rasio gaya friksi  $F$  terhadap beban  $L$  adalah tetap. Rasio yang tetap tersebut disebut koefisien friksi (*coefficient of friction*) dan biasanya diberi simbol huruf Yunani  $\mu$  ( $\mu$ ). Secara matematik persamaan dapat ditulis sbb :

$$\mu = \frac{F}{N}$$

Koefisien friksi tidak punya satuan, karena friksi dan beban yang diukur dalam satuan gaya (*pound atau Newton*) saling meniadakan. Sebagai contoh : Harga koefisien friksi  $\mu=0,5$  untuk kasus bata ditarik diatas kayu yang berarti bahwa dibutuhkan gaya sebesar setengah dari berat bata untuk mengatasi friksi, dan menjaga bata bergerak secara konstan. Gaya friksi arahkan berlawanan dengan arah gerak bata. Karena friksi timbul antara permukaan yang bergerak maka ini disebut friksi kinetik (*kinetic friction*). Ini untuk membedakan dengan friksi statik (*static friction*), yang bekerja pada permukaan yang diam. Harga friksi statik selalu lebih besar dari friksi kinetik

Friksi rolling (*rolling friction*) terjadi jika suatu roda, sylinder ataupun bola menggelinding bebas diatas permukaan, seperti halnya pada *ball* atau *roller bearing*. Sumber friksi utama dalam gerakan *rolling* adalah disipasi energi yang melibatkan deformasi benda. Jika bola keras menggelinding diatas permukaan, bola sedikit peyang dan permukaan sedikit legok pada daerah kontak. Deformasi elastik atau kompresi pada daerah kontak tersebut merupakan penghambat gerakan dan energinya tidak kembali saat benda kembali ke bentuk semula. Energi yang hilang pada kedua bagian permukaan sama dengan energi yang hilang pada bola yang jatuh dan terpantul. Besarnya friksi *sliding* pada umumnya 100 sampai 1000 kali lebih besar dibandingkan dengan friksi *rolling*.Keuntungan gerakan *rolling* dipahami oleh manusia pendahulu sehingga ditemukan roda.

Ada beberapa jenis friksi antara lain:

- a. *Dry friction*
- b. *Fluid friction*
- c. *Lubricated friction*
- d. *Skin friction*
- e. *Internal friction*

### 2.2.3 Keausan (*Wear*)

#### 2.2.3.1 Pengertian Keausan

Keausan adalah penguraian ketebalan permukaan akibat gesekan yang terjadi pada pembebanan dan gerakan, keausan umumnya dianalogikan sebagai hilangnya materi sebagai akibat interaksi mekanik dua permukaan yang bergerak *sliding* dan dibebani ini merupakan fenomena normal yang terjadi jika dua permukaan saling bergesekan, maka akan ada keausan atau perpindahan materi yang terjadi antara dua benda yang bergesekan.

Suatu komponen struktur dan mesin agar berfungsi dengan baik sebagaimana mestinya sangat tergantung pada sifat-sifat yang dimiliki material material yang tersedia dan dapat digunakan oleh para *engineer* sangat beraneka ragam, seperti logam, polimer, keramik, gelas, dan komposit. Sifat yang dimiliki material terkadang membatasi kinerjanya, namun demikian, jarang sekali kinerja suatu material hanya ditentukan oleh satu sifat, tetapi lebih kepada kombinasi dari beberapa sifat. Salah satu contohnya adalah ketahanan aus (*wear resistance*) merupakan fungsi dari beberapa sifat material (kekerasan, kekuatan, dll), *friction* serta pelumasan.

Material apapun dapat mengalami keausan disebabkan oleh mekanisme yang beragam pengujian. Pengujian keausan dapat dilakukan dengan berbagai macam metode dan teknik, yang semuanya bertujuan untuk mensimulasikan kondisi keausan aktual. Salah satunya adalah metode ogoshi dimana benda uji memperoleh beban gesek dari cincin yang berputar (*revolving disc*). Pembebanan gesek ini akan menghasilkan kontak antar

permukaan yang berulang ulang yang pada akhirnya akan mengambil sebagian material pada permukaan benda uji. Besarnya jejak permukaan dari material tergesek itulah yang dijadikan dasar penentuan tingkat keausan pada material. Semakin besar dan dalam jejak keausan maka semakin tinggi volume material yang terkelupas dari benda uji.

Keausan sendiri mempunyai dua sifat yaitu keausan normal dan keausan tidak normal (akibat penggantian minyak pelumas yang tidak teratur). Kemudian hal-hal yang mempengaruhi keausan adalah:

1. Pembebanan
2. Kecepatan
3. Jumlah minyak pelumas
4. Jenis minyak pelumas
5. Temperatur
6. Kekerasan permukaan
7. Kehalusan permukaan
8. Adanya benda - benda asing
9. Adanya benda - benda kimia

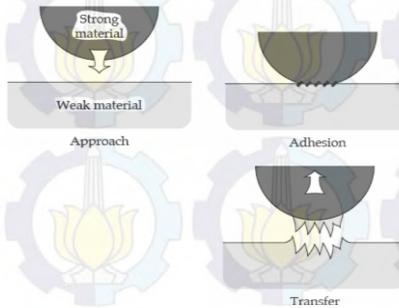
Sebagaimana telah dijelaskan, material jenis apapun akan mengalami keausan dengan mekanisme yang beragam, yaitu keausan adhesive, keausan abrasive, keausan lelah, keausan oksidasi dan keausan erosi

### **2.2.3.2 Jenis – Jenis Keausan**

#### **2.2.3.2.1 Keausan Adhesive (*Adhesive Wear*)**

Keausan adhesive adalah salah satu jenis keausan yang disebabkan oleh terikat atau melekat (*adhesive*) atau berpindahannya partikel dari suatu permukaan material yang lemah ke material yang lebih keras serta deformasi plastis dan pada akhirnya terjadi pelepasan atau pengoyakan salah satu material. Proses bermula ketika benda dengan kekerasan yang lebih tinggi menyentuh permukaan yang lemah kemudian terjadi pengikatan. Pengikatan ini terjadi secara spontan dan dapat terjadi dalam suhu yang rendah atau moderat. *Adhesive wear* sering juga

disebut *galling*, *scoring*, *scuffing*, *seizure* atau *seizing*. Mekanisme keausan adhesive dapat dilihat pada gambar 2.6. dibawah ini.



**Gambar 2.6.** Proses perpindahan logam secara adhesi (Stachowiak, GW. And A.W. Batchelor . 2000)

Faktor-faktor yang menyebabkan keausan adhesive:

- Kecenderungan dari material yang berbeda untuk membentuk larutan padat atau senyawa intermetalik.
- Kebersihan permukaan.

Jumlah *wear* debris akibat terjadinya aus meliputi mekanisme adhesive ini dapat dikurangi dengan cara antara lain:

- Mengurangi material keras.
- Material dengan jenis yang berbeda, misal berbeda struktur dan kristalnya.

### 2.2.3.2.2 Keausan Abrasive (*Abrasive Wear*)

Keausan jenis ini terjadi apabila suatu partikel keras (*asperity*) dari material tertentu meluncur pada permukaan material lain yang lebih lunak sehingga terjadi penetrasi atau pemotongan material yang lebih lunak. Tingkat keausan pada mekanisme ini ditentukan oleh derajat kebebasan (*degree of freedom*) partikel keras atau *asperity* tersebut.

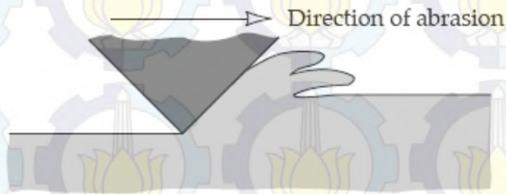
Sebagai contoh partikel pasir silika akan menghasilkan keausan yang lebih tinggi ketika diikat pada suatu permukaan

seperti kertas amplas, dibandingkan bila partikel tersebut berada didalam sistem slury. Pada kasus pertama, partikel tersebut kemungkinan akan tertarik sepanjang permukaan dan akhirnya mengakibatkan pengoyakan. Sementara pada kasus terakhir. Partikel tersebut mungkin hanya berputar (*rolling*) tanpa efek abrasi.

Ada dua katekori keausan ini, yaitu:

a. *Two body abrasion*

Keausan ini disebabkan oleh hilangnya material karena proses *rubbing* (penggarukan) oleh material lain yang lebih keras dibanding material yang lain. Sehingga material yang lunak akan terabrasi contohnya pada proses permesinan antara lain *cutting*. Atau *turning*. Mekanisme keausan *two body abrasive* dapat dilihat pada gambar 2.7 dibawah ini.

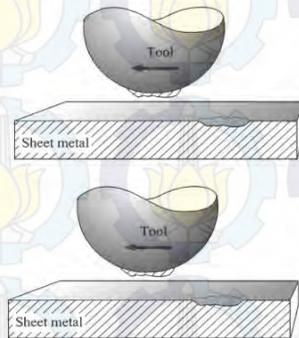


**Gambar 2.7.** Keausan Abrasive pada proses cutting (*Stachowiak, GW. And A.W. Batchelor . 2000*)

b. *Three body abrasion*

Aus yang disebabkan proses *galling* sehingga serpihan hasil gesekan yang terbentuk (debris) mengeras serta ikut berperan dalam hilangnya material, karena proses gerakan yang terjadi secara berulang-ulang. Jadi pengertian “tiga benda” disini adalah dua material yang saling bergesekan dan sebuah benda serpihan hasil gesekan. Sedangkan pada keausan “dua benda”, debris atau serpihan hasil gesekan tidak ada. Debris berasal dari logam lembaran yang teradhesi pada permukaan alat cetak,

kemudian karena proses pembentukan yang terjadi serpihan ini akan menggaruk permukaan pelat, sehingga terjadilah keausan secara abrasif. Mekanisme keausan Three Body Abrasion dapat dilihat pada gambar 2.8 dibawah ini.



**Gambar 2.8.** Perpindahan material karena *adhesive wear* yang menghasilkan formasi penggarukan sehingga menyebabkan *abrasive wear*. (Carlsson, P. 2005)

Faktor yang berperan dalam kaitannya dengan ketahanan material terhadap *abrasive wear* antara lain:

- *Material hardness*
- Kondisi struktur mikro
- Ukuran abrasif
- Bentuk abrasif

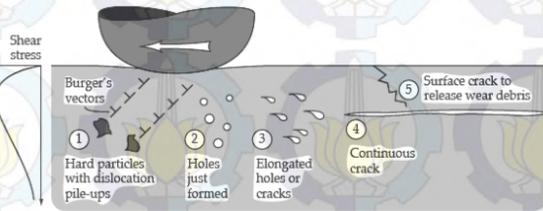
Bentuk kerusakan permukaan akibat abrasif wear, antara lain:

- *Scratching*
- *Scoring*
- *Gouging*

#### 2.2.3.2.3 Keausan Lelah (*Surface Fatigue Wear*)

Keausan lelah/ fatik pada permukaan pada hakikatnya bisa terjadi baik secara abrasif atau adhesif. Tetapi keausan jenis ini terjadi secara berulang – ulang dan periodik. Hal ini akan

berakibat pada meningkatnya tegangan geser. Pada gambar 2.9 dibawah ini mengilustrasikan tentang pertumbuhan retak pada permukaan benda. Ketidak sempurnaan dalam struktur material salah satu penyebabnya adalah lokasi yang kosong yang ada dalam susunan butir pembentuk material.



**Gambar 2.9.** Ilustrasi dari proses subsurface pertumbuhan retak (*Stachowiak, G.W. And A.W. Batchelor . 2000*)

Karena tekanan yang terjadi selama gesekan antara dua benda, maka lubang yang ada akan melebar, proses berikutnya adalah menyatunya lubang yang telah melebar tadi menjadi alur retak sehingga perambatan retak yang terjadi akan mengakibatkan terlepasnya permukaan menjadi debris.

#### 2.2.3.2.4 Keausan Oksidasi/Korosif (Tribo Chemical Wear)

Keausan kimiawi merupakan kombinasi antar proses mekanis dan proses termal yang terjadi pada permukaan benda serta lingkungan sekitarnya.

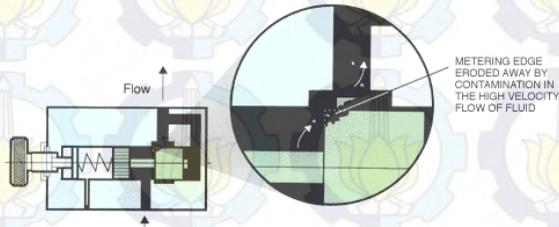


**Gambar 2.10.** Model interaksi antara agen korosif dan permukaan yang rusak (*Stachowiak, GW. And A.W. Batchelor . 2000*)

Sebagai contoh, proses oksidasi yang sering terjadi pada sistem kontak luncur (*sliding contact*) antar logam, proses ini lama kelamaan akan menyebabkan perambatan retak dan juga terjadi abrasi. Peningkatan suhu dan perubahan sifat mekanis pada asperiti adalah akibat dari keausan kimiawi. Keausan jenis ini akan menyebabkan korosi pada logam. Interaksi antara agen korosif dan permukaan yang rusak seperti terlihat dalam gambar 2.10 diatas. Korosi diawali dengan keausan adhesive yang merusak lapisan film. *Sliding* yang terus menerus akan menghilangkan lapisan. Karena adanya bahan yang reaktif, maka korosi berlangsung dengan cepat.

#### 2.2.3.2.5 Keausan Erosi (*Erosion Wear*)

Proses erosi disebabkan oleh gas dan cairan yang membawa partikel padatan yang membentur permukaan material. Jika sudut benturannya kecil. Keausan yang dihasilkan analog dengan abrasive. Namun, jika sudut benturannya membentuk sudut gaya normal (90 derajat) maka keausan yang terjadi akan mengakibatkan *brittle failure* pada permukaannya.



**Gambar 2.11.** Ilustrasi Keausan Erosi

Pada gambar 2.11 dapat dilihat bagaimana keausan erosi yang terjadi diakibatkan adanya aliran dari fluida dengan kecepatan yang tinggi membentur bagian material dan menyebabkan sudut-sudut pada material mengalami keausan.

### 2.2.3.3 Pengurangan Keausan

Untuk mengurangi keausan yang terjadi, ada berbagai konsep yang diterapkan para ahli tribologi selain dengan pemberian cairan pelumas pada permukaan yang bergesekan. Dalam proses pembentukan lembaran logam, galling yang terjadi bisa diminimalisasi dengan perlakuan pada pelat ataupun pada alat pembentuknya. Galling adalah pemberian cairan pelumas pada permukaan pelat. *Dry lubricant* dengan proses pelapisan tipis pada pelat dengan logam paduan lain dan pelapisan pada alat pembentuk atau *tool*. Pelapisan ini bisa dengan metode *physical vapor* (PVD) atau dengan cara *chemical vapor deposition* (CVD) pengaruh keausan, jika keausan terjadi pada:

1. Bantalan, maka akan menimbulkan getaran dengan amplitude dan frekuensi yang berlainan
2. Alat-alat ukur akan mengurangi ketelitian
3. Alat-alat reproduksi, maka akan mengurangi kualitas dan kapasitas

Hal – hal yang dapat dilakukan untuk mengurangi keausan adalah:

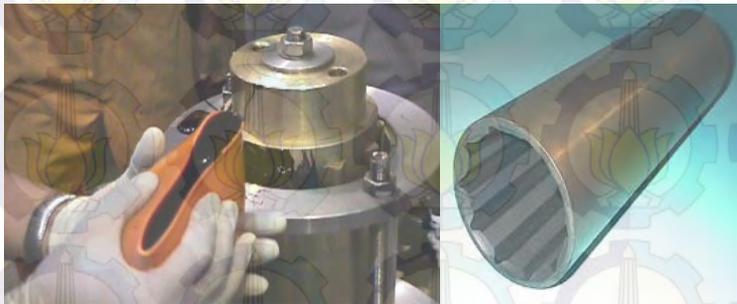
1. Pertahankan agar kontak gaya tetap rendah antara permukaan – permukaan yang bergeser

2. Pertahankan suhu rendah pada permukaan-permukaan yang berhubungan
3. Gunakan permukaan-permukaan kontak yang keras.
4. Haluskan permukaan-permukaan yang berhubungan.
5. Pertahanan pelmasan yang terus menerus untuk mengurangi gesekan.
6. Pertahankan agar kekentalan relatif antara permukaan-permukaan tetap rendah
7. Tentukan bahan-bahan yang memiliki sifat keausan yang baik.

## 2.2.4 *Cutlass Bearing*

### 2.2.4.1 Pengertian *Cutlass Bearing*

*Cutless Bearing* (merk dagang dari *water lubricated rubber bearing*) yang menjadi dudukan dari propeller dan ujung – ujung dari poros propeller. Permukaan dari bantalan ini mempunyai bentuk garis – garis longitudinal dengan bahan karet nitril. Alur / garis – garis ini berfungsi untuk masuknya air / air laut yang akan melumasi dan mendinginkan permukaan bantalan. Proses produksi pembuatan *cutlass bearing* dan contoh produk jadi dari *cutlass bearing* dapat dilihat pada gambar 2.12 dibawah ini.



**Gambar 2.12.** Proses pembuatan dan produk jadi dari Nitrile Rubber Cutless bearing (*khia.belzona.com*)

Baik poros maupun bantalan cutless dirancang ukuran masing – masing agar dapat masuk dengan pas tanpa memaksa. Jika poros propeller dilakukan *alignment* dengan baik maka cutlass bearing ini akan bertahan selama beberapa ribu jam tergantung pada penggunaan. *Missalignment* pada poros akan menyebabkan keausan yang tidak merata pada bearing. Ketika bearing mulai mengalami keausan poros akan mulai bergetar dan keausan akan lebih cepat terjadi. Getaran juga akan ditransmisikan ke poros output transmisi yang menyebabkan kegagalan bearing (*bearing failure*) dan seal lebih cepat.

#### 2.2.4.2. Kegagalan *Bearing* (*Bearing Failure*)

Penyebab keausan *bearing* lebih cepat adalah ketika dioperasikan di air yang berlumpur dan berpasir. Lumpur dan pasir yang memasuki alur – alur bantalan bersamaan dengan air pendingin akan menjadi “amplas” bagi bearing maupun poros. Dan ketika diameter poros berkusang / aus, tidak akan ada bantalan cutlass yang dapat dipasang dengan pas, kemudian harus mengganti poros yang rusak dan menyebabkan biaya yang lebih besar. Pada gambar 2.13 dapat dilihat bentuk NBR bearing yang mengalami keausan.



**Gambar 2.13.** *Rubber Cutlass bearing* yang mengalami keausan (captfklainier.com)

Penyebab lain dari kegagalan bearing adalah mesin yang dijalankan ketika kapal berada diluar air, permukaan bearing yang terbuat dari karet akan mengalami peningkatan suhu panas dengan cepat dan akan sepenuhnya meleleh, karena mesin bukan satu-satunya yang membutuhkan air pendingin.

#### **2.2.4.3. Karakteristik Material Karet Nitril (*Nitrile rubber*)**

Karet nitril juga dikenal sebagai *Buna-N*, *Perbunan*, *acrylonitrile butadiene rubber*, dan NBR, adalah kopolimer karet sintesis dari akrilonitril (ACN) dan butadiena. Karet nitril adalah keluarga dari kopolimer tak jenuh dari 2 propenenitrile dan berbagai monomer butadiena. Meskipun sifat fisik dan kimianya berbeda-beda tergantung pada komposisi polimer dan nitrile. Karet nitril biasanya tahan terhadap minyak, bahan bakar, dan bahan kimia lainnya, semakin banyak nitril dalam polimer, semakin tinggi resistensi terhadap minyak tapi menurunkan fleksibilitas material.

Penggunaan karet nitril ini misalnya pada sarung tangan sekali pakai (non-latex), *belt* transmisi otomotif, selang, bantalan, O-Ring, gasket, seal oli, V belt, kulit sintesis, dan lain – lain. NBR lateks juga dapat diginakan dalam penyusunan perekat dan sebagai pengikat pigmen. Proses produksi dari NBR ini tidak terlalu rumit, peralatan yang dibutuhkan sederhana dan mudah untuk didapatkan. Karena itu banyak negara- negara seperti china dan taiwan yang memproduksi produk ini.

#### **2.2.5 Material yang Direkomendasikan**

Dengan banyaknya kasus – kasus keausan yang terjadi pada *cutlass bearing* ini, maka banyak dilakukan pengujian material – material baru yang dapat mengurangi masalah keausan pada bearing tersebut. Dibandingkan dengan metal dan keramik, polimer dan *polymer based composite* mempunyai resistansi terhadap korosi yang sangat baik juga mempunyai *tribological property* yang baik. Penelitian tentang sifat – sifat tribologi dari polimer juga telah banayak dilakukan oleh peneliti.

### 2.2.5.1. *Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE)*

UHMWPE adalah bagian dari polyethylene termoplastik. Juga dikenal sebagai *High Modulus Polyethylene* (HMPE), atau *High performance Polyethylene* (HPPE), memiliki rantai yang sangat panjang dengan massa molekul biasanya antara 2 dan 6 juta u. Tingginya massa molekul membuat plastik ini sangat kuat. Dengan kekuatan *impact* tertinggi dari semua jenis termoplastik yang pernah dibuat.

UHMWPE tidak berbau, tidak berasa, dan tidak beracun. Juga sangat tahan terhadap bahan kimia korosif kecuali *oxidizing acid*. UHMWPE juga memiliki daya serap air yang sangat rendah, koefisien gesek yang rendah, *self lubricating*, dan tahan terhadap abrasi, pada beberapa bentuk menjadi 15 kali lebih tahan terhadap abrasi daripada baja karbon. Koefisien gesek UHMWPE jauh lebih rendah dari nilon dan asetal, dan sebanding dengan *polytetrafluoroethylene* (PTFE, Teflon), namun UHMWPE memiliki ketahanan abrasi yang lebih baik daripada PTFE. Karena pada poros propeller kapal membutuhkan material dengan karakteristik koefisien gesek rendah maka material UHMWPE ini cocok untuk dijadikan material bearing pada poros propeller kapal.

Polimerisasi UHMWPE dikomersialkan pada tahun 1950 oleh Ruhrchemie AG, yang berubah nama selama bertahun – tahun. Sekarang bahan bubuk UHMWPE dapat langsung dicetak menjadi suatu produk. UHMWPE terus berkembang ke dalam aplikasi industri termasuk sektor otomotif dan pembotolan sejak tahun 1960. UHMWPE juga menjadi bahan pilihan untuk *total joint arthroplasty* di bidang ortopedi dan implan tulang belakang. Serat UHMWPE, dikomersialkan pada akhir tahun 1970 oleh perusahaan kimia belanda DSM, yang banyak digunakan dalam perlindungan balistik, aplikasi pertahanan, dan peralatan medis.

### 2.2.5.2 *Polytetrafluoroethylene (PTFE)*

Teflon adalah nama merek dagang dari sebuah *compound polimer* yang ditemukan oleh Roy J. Plunket (1910-1994) di DuPont pada 1938 dan diperkenalkan sebagai produk komersial pada 1946. Teflon merupakan sebuah fluoropolimer thermoplastik. Teflon adalah nama dagang terdaftar dari bahan plastik yang berguna yaitu *Polytetrafluoroethylene (PTFE)*. PTFE adalah salah satu kelas dari plastik yang dikenal sebagai fluoropolymers.

Suatu polimer adalah senyawa yang terbentuk oleh reaksi kimia yang menggabungkan partikel atau molekul – molekul ke dalam kelompok – kelompok. Polimer biasanya berbentuk serat sintesis seperti polyster dan nilon. PTFE memiliki banyak sifat-sifat unik, yang membuatnya berharga dalam sejumlah aplikasi. Teflon memiliki titik lebur yang sangat tinggi, dan juga stabil pada suhu sangat rendah. Teflon sangat tahan panas dan tahan korosi. Teflon merupakan bahan yang sangat baik untuk melapisi bagian – bagian mesin yang terkena panas, pakaian, dan sebagai lapisan untuk peralatan masak dan peralatan lainnya. PTFE digunakan untuk memberi perlindungan terhadap kain, karpet dan penutup dinding, dan tahan cuaca di luar ruangan.

Teflon adalah bahan sintetik yang sangat kuat, umumnya berwarna putih. Teflon mempunyai performa yang baik pada temperatur ekstrim, tahan pada temperatur  $-240^{\circ}\text{C}$  dan tahan terhadap panas sampai kira – kira  $250^{\circ}\text{C}$ . Diatas  $250^{\circ}\text{C}$  teflon mulai melunak, di dalam api akan meleleh dan sulit menjadi arang. Teflon juga anti radiasi *Ultra Violet* dan tahan segala cuaca, dan anti lengket. Berat jenisnya kira – kira  $2,2 \text{ g/cm}^3$ . Tahan terhadap banyak bahan kimia termasuk *ozobe*, *chlorine*, *acetic acid*, *amonia sulfuric acid*, dan *hydrochloric acid*. Satu – satunya bahan kimia yang bisa merusak lapisan teflon adalah lelehan logam alkali.

Pada jurnal – jurnal akademik dan tinjauan pustaka yang telah penulis baca, material PTFE memiliki koefisien gesek yang rendah sehingga laju keausan ketika bergesekan pada material

baja (*steel*) juga rendah, dengan karakteristik ini maka material PTFE cocok untuk direkomendasikan sebagai material alternatif bearing pada poros propeller kapal.

### 2.2.6 Stainless Steel Aisi 316

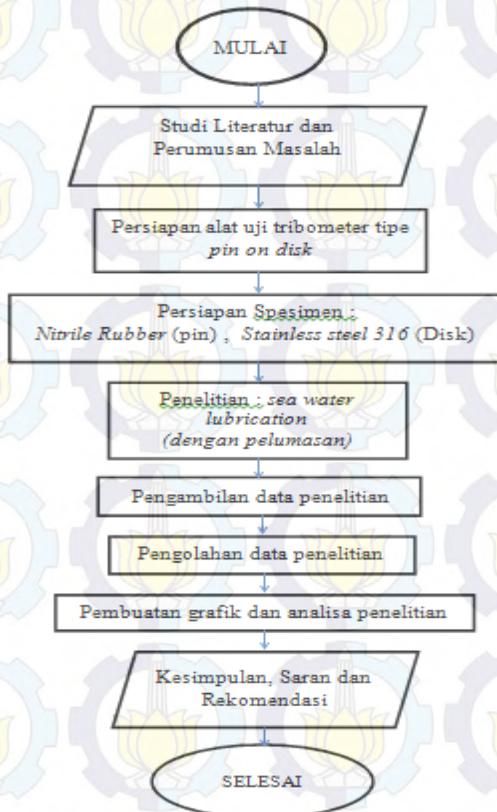
*Stainless Steel* adalah logam paduan dari beberapa unsur logam dengan komposisi tertentu. Sehingga didapatkan sifat baru dari logam tersebut lebih kuat, lebih tahan korosif, dan sifat unggul lainnya. *Stainless steel* terbagi menjadi beberapa *grade* berdasarkan struktur metalurginya khusus untuk aplikasi dalam pembuatan mesin pengolahan makanan dan teknologi kelautan, biasanya digunakan jenis *stainless steel food grade* (SS3014, SS306). *Grade 316* selain disebut sebagai *food grade*, juga dikenal sebagai *marine grade*, daya tahan korosinnya lebih baik dari *grade 304*, dan memiliki daya tahan korosi terhadap air garam (*saltwater*), serta harganya lumayan lebih mahal dari *grade 304*.

SS316 mengandung 16% chromium, 10% nickel dan 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.

## 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* dari spesimen uji.



Gambar 3.1 Flowchart Penelitian

### 3.2 Langkah-Langkah Penelitian

Adapun langkah-langkah dalam penelitian pengujian laju keausan (*wear rate*) pada *Nitrile Rubber* terhadap *Stainless Steel* 316 yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

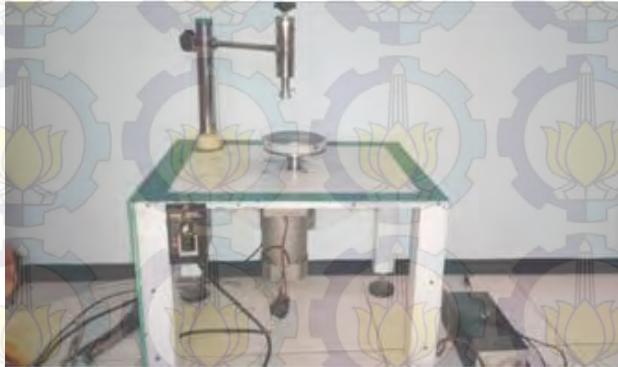
- a. Studi literatur dan perumusan masalah.
- b. Persiapan alat uji Tribometer *Pin On Disk*.
- c. Persiapan spesimen *Nitrile Rubber* (pin) dan *Stainless Steel* 316 (disk).
- d. Pengambilan data penelitian.
- e. Penelitian : *seawater lubrication*.
- f. Pengolahan data penelitian.
- g. Pembuatan grafik dan analisa hasil penelitian.
- h. Kesimpulan saran rekomendasi.

#### 3.2.1. Perumusan Masalah dan Studi pustaka

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

#### 3.2.2. Persiapan Alat Uji Tribometer Tipe *Pin On Disk*

Secara garis besar pada penelitian ini variabel yang divariasikan, yaitu kecepatan putaran. Variabel lain konstan yaitu dengan pembebanan (*load*) = 8Kg, 3 variasi speed control (80, 90 dan 100). Pengambilan variasi kecepatan putaran adalah skala lab yang disesuaikan dengan spesifikasi dari tribometer yang ada pada lab jurusan teknik mesin ITS. Alat tribometer yang ada pada jurusan teknik mesin ITS dapat dilihat pada gambar 3.2 dibawah ini.



**Gambar 3.2.** Alat Uji tribometer *pin on disc* di jurusan teknik mesin ITS

### **3.2.3. Persiapan Spesimen**

Spesimen yang digunakan pada penelitian ini ada tiga, yaitu karet nitril, UHMWPE dan PTFE sebagai pin dan *stainless steel* 316 sebagai disk. Masing - masing spesimen akan dicari spesifikasinya.

### **3.2.4. Pengambilan Data Penelitian**

Tahap ini merupakan tahapan yang penting karena pada tahap inilah akan dilakukan penelitian yang nantinya akan digunakan sebagai bahan pembahasan serta analisa.

### **3.2.5. Pengolahan Data Penelitian**

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

### **3.2.6. Pembuatan Grafik Dan Analisa Hasil Penelitian**

Dari data penelitian yang telah dilakukan selanjutnya akan dilakukkann pembuatan grafik dan dilakukan analisa dan pembahasan dari grafik serta struktur permukaan yang ada pada

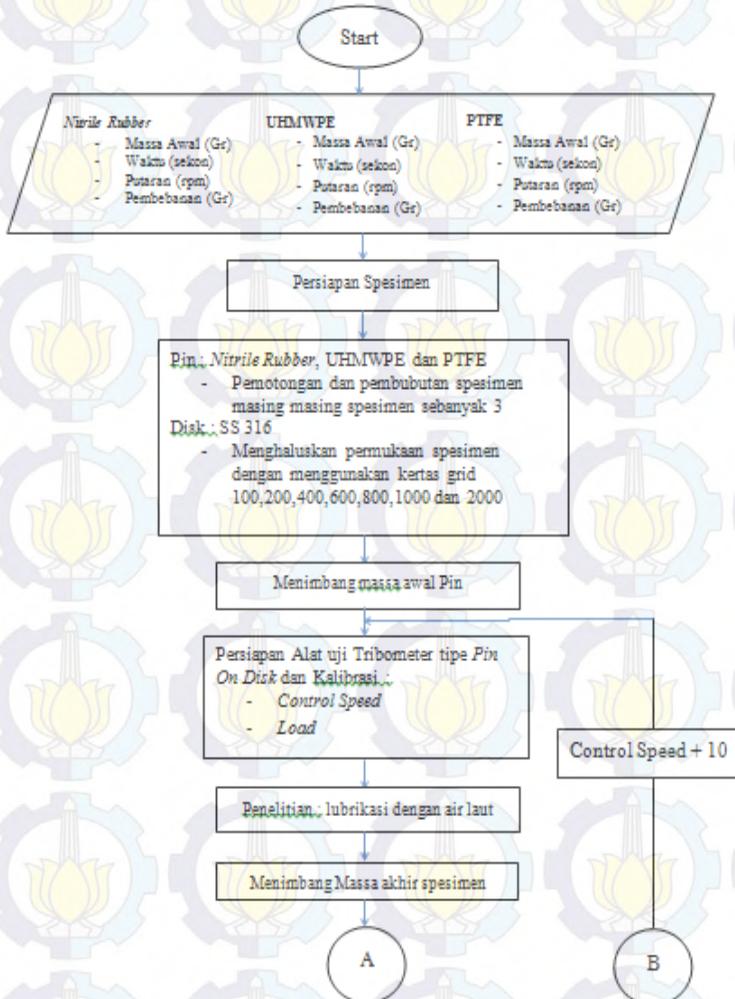
spesimen. Grafik akan dikaji dan dijelaskan dengan menggunakan teori-teori yang ada.

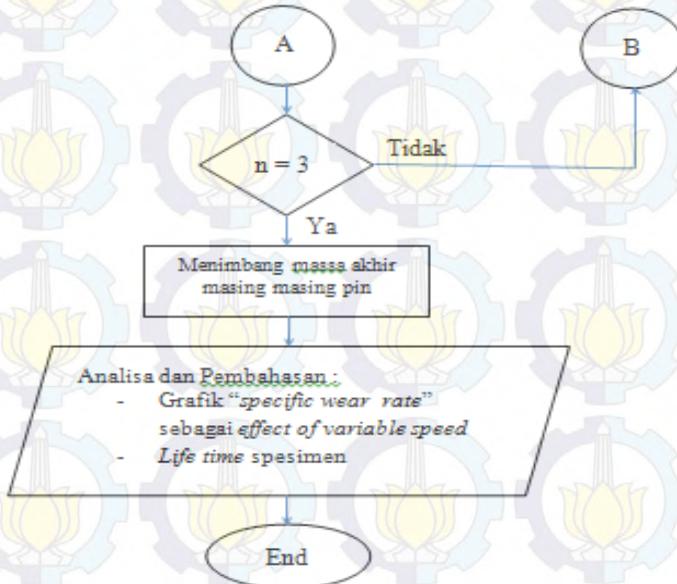
### **3.2.7. Kesimpulan, Saran, dan Rekomendasi**

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

### 3.3. Diagram Alir Pengujian.

Selain diagram alir penelitian, untuk memperjelas dan meringkas alur penelitian, untuk memperoleh dan meringkas alur penelitian juga disajikan flowchart pengujian. Flowchart pengujian bisa dilihat pada gambar 3.3 dibawah ini.





**Gambar 3.3.** Flowchart Pengujian

### 3.4 Langkah Kerja Pengujian

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

- Studi pustaka dan penentuan material yang hendak diuji
- Penimbangann massa awal spesimen (gr), penentuan *speed control* divariasikan sebanyak 3 *Speed Control* yaitu; 80, 90, 100, waktu (sekon), pembebanan (gr) konstan 8kg.
- Persiapan Spesimen: *Nitrile Rubber*, UHMWPE dan PTFE (pin), SS 316 (Disk)
- Menimbang massa awal pin
- Persiapan alat uji tribometer dan kalibrasi : *Control speed dan Load*

- f. Penelitian : *seawater lubricant*
- g. Menimbang masa akhir spesimen
- h. Analisa dan pembahasan graik “*specific wear rate*” dan “*wear volume*” sebagai : *Effect of variable speed* dan perhitungan *life time material*.

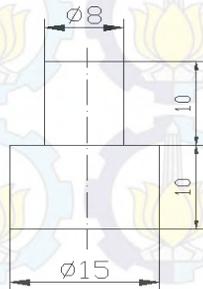
### 3.4.1 Studi Pustaka dan Penentuan Material yang Hendak Diuji.

Melakukan studi pustaka sebagai dasar-dasar teori yang akan digunakan didalam melakukan penelitian tugas akhir ini dan penentuan material yang hendak diuji yaitu Karet Nitril dan SS 316. Serta material yang hendak direkomendasikan *Ultra High Molecular Weight Polyethylenene* (UHMWPE) dan *Polytetrafluoroethylene* (PTFE) yang digunakan sebagai material uji.

### 3.4.2 Persiapan Spesimen

Mempersiapkan spesimen sebagai bahan uji dari penelitian. Spesimen terdiri dari dua jenis material, yaitu UHMWPE, PTFE dan Karet Nitril sebagai pin dan SS 316 sebagai disk. Agar lebih jelas dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a. Pin spesimen , dengan bentuk silinder pejal dengan diameter bertingkat. Dimensi pin dilihat pada gambar 3.4. dibawah ini satuan dari dimensi ini adalah mm.



**Gambar 3.4.** Dimensi Pin

Berikut ini adalah gambar pin yang telah jadi dan siap dilakukan pengujian. Gambar pin yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.5.



**Gambar 3.5.** NBR UHMWPE dan PTFE Sebagai Pin

Hasil Pengukuran Spesimen setelah dilakukan pembubutan dapat dilihat pada tabel 3.1 dibawah ini. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan jangka sorong (vernier caliper) dengan ketelitian 0,05 mm.

**Tabel 3.1** Hasil pengukuran spesimen pin setelah dilakukan pembubutan

Material	D1	D2	t1	t2	
NBR	1	7,9	14,9	10,3	10
	2	7,9	15	10,15	10
	3	7,95	14,95	10	10
PTFE	1	7,8	15	10,05	10
	2	7,75	15	10,1	10,15
	3	7,9	14,8	10	10,1
UHMWPE	1	7,8	14,7	10,5	10
	2	7,7	14,85	10	10
	3	7,9	14,9	10,6	9,4

Keterangan

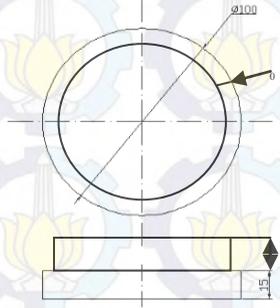
D1 : Diameter Kecil (mm)

D2 : Diameter Besar (mm)

t1 : Tinggi diameter kecil (mm)

t2 : Tinggi diameter besar (mm)

- b. Membuat disk dengan bahan steel, dimensi disk dapat dilihat pada gambar 3.6.dibawah ini satuan dari dimensi ini adalah mm.



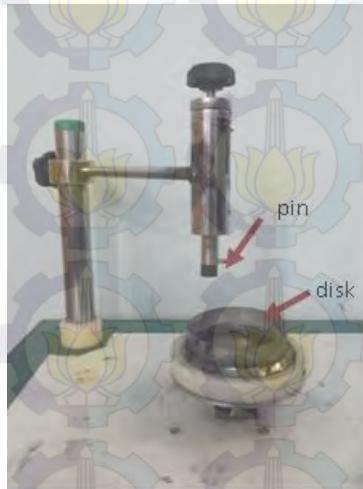
**Gambar 3.6.** Dimensi Disc

Disk dibuat sesuai dengan design setelah itu menghaluskan permukaan disk dengan menggunakan kertas grid. Kertas grid yang digunakan adalah 100, 100 400, 600, 800, 1000 dan 2000. Kemudian dilakukan proses las pada disk sesuai dengan design sebagai penampung air laut yang digunakan sebagai cairan pelumas. Gambar disk yang sudah jadi dan digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.7 dibawah ini.



**Gambar 3.7.** Stainless Steel 316 Sebagai Disk





**Gambar 3.9.** Instalasi specimen pin dan disk pada alat tribometer tipe pin on disc

- a. Pengukuran variable load ( $F$ )  
Pengukuran variable load dilakukan dengan timbangan berat biasa. Dapat dilihat pada gambar 3.10 dibawah ini.



**Gambar 3.10** Kalibrasi variabel load dengan menggunakan timbangan berat biasa

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

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

Keterangan :

t = waktu pengujian (menit)

s = panjang track pin (meter)

d = diameter track pin (meter)

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

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

### 3.4.5 Penelitian : *Seawater Lubricant*

Pada pengujian ini, dilakukan pengujian dengan menggunakan air laut sebagai *lubricant*, air laut ditampung pada disk dengan menggunakan 3 *speed control* 80, 90, 100. Instalasi sistem disk untuk penampung cairan pelumas dapat dilihat pada gambar 3.11 dibawah ini.



**Gambar 3.11.** Disk Sebagai Penampung Air Laut.

### 3.4.6 Analisa dan Pembahasan

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

### 3.5 Spesifikasi peralatan Tribometer

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

<i>Sliding speed range</i>	: 8.37-250 mm/s
<i>Disc rotation speed</i>	: 8 – 60 rpm
<i>Maximum normal load</i>	: 150 N
<i>Frictional force</i>	: 0 – 150 N
<i>Wear measurement range</i>	: 10 mm
<i>Pin size</i>	: 8 – 15 mm diameter / diagonal
<i>Disk size</i>	: 100 mm diameter x 20 mm (tebal)
<i>Wear track diameter</i>	: 20 – 80 mm

Sedangkan spesifikasi alat ukur yang digunakan adalah.

- Untuk mengukur kecepatan putaran dengan berbagai tingkatan level yang dijaga konstan oleh speed control digunakan *tachometer*.
- Untuk mengukur besar *load* untuk pengaturan pegas digunakan timbangan berat badan.
- Untuk menimbang massa pin (*Nitrile Rubber*, UHMWPE dan PTFE) digunakan timbangan digital dengan keakuratan 0,1 mg
- Untuk mengatur massa jenis dari pin digunakan pycnometer.

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

- a. Spesifikasi AC motor dan Gear box
  - AC motor merk : Peei moger
  - Type : M – 51K90U-CFV

Daya : 1Ø 4P 50W CONT. 6,0 Mf  
 220V 50Hz 90-1400 rpm  
 220V 60Hz 90-1700 rpm  
 Gear Box Merk : Peei Moger  
 Type : G-5U25-K  
 Ratio : 1/25  
 Max T : 77kgfcm

b. Spesifikasi *Speed Control*

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

c. Spesifikasi Pegas

Dimensi : Panjang 6 cm, diameter pegas  
 18 mm dan diameter kawat 4mm  
 Load : 0 – 110 Newton

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

### 3.6 Spesifikasi Spesimen Uji

#### 3.6.1 *Ultra High Molecular Weight Polyethelene (UHMWPE)*

Spesifikasi sifat- sifat mekanis material UHMWPE dapat dilihat pada gambar 3.12 di bawah ini.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	0.940 g/cc	0.0340 lb/in <sup>3</sup>	DIN 53479
Water Absorption at Saturation	0.00 %	0.00 %	ASTM D570
Molecular Weight	500000 g/mol	500000 g/mol	
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Shore D	60 - 68	60 - 68	DIN 53505
Tensile Strength, Ultimate	24.5 MPa	3560 psi	DIN 53455
Elongation at Break	>= 300 %	>= 300 %	DIN 53455
Izod Impact, Notched (ISO)	NB	NB	DIN 53453
Charpy Impact Unnotched	>= 2.50 J/cm <sup>2</sup>	>= 11.9 ft-lb/in <sup>2</sup>	ISO 11542/2
Coefficient of Friction	0.15 - 0.20	0.15 - 0.20	

**Gambar 3.12.** *Mechanical properties* UHMWPE (matweb.com)

### 3.6.2 Nitrile Rubber

Sifat mekanis material *Nitrile Rubber* dapat dilihat pada gambar 3.13 dibawah ini.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	1.00 g/cc 1.15 - 1.35 g/cc	0.0361 lb/in <sup>3</sup> 0.0415 - 0.0488 lb/in <sup>3</sup>	Base Elastomer Compounded
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Shore D	30 - 95	30 - 95	Depends on compounding
Tensile Strength, Ultimate	6.89 - 24.1 MPa 0.896 MPa 4.83 MPa	1000 - 3500 psi 130 psi 700 psi	Reinforced
Elongation at Break	400 - 600 % 20 % 120 %	400 - 600 % 20 % 120 %	Reinforced
	Temperature 204 °C	Temperature 400 °F	
	Temperature 121 °C	Temperature 250 °F	
100% Modulus	0.00300 GPa	0.435 ksi	200 mm/min
Compression Set	5.0 %	5.0 %	

**Gambar 3.13.** *Mechanical Properties Nitrile Rubber (Matweb.com)*

### 1.6.3. Polytetrafluoroethylene (PTFE)

Sifat mekanis material PTFE dapat dilihat pada gambar 3.14 dibawah ini.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Specific Gravity	2.19 g/cc	2.19 g/cc	ASTM D4895
Bulk Density	0.485 g/cc	0.0175 lb/in <sup>3</sup>	ASTM D4895
Water Absorption	<= 0.010 %	<= 0.010 %	24 hours; ASTM D570
Particle Size	485 µm	485 µm	ASTM D4895
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Rockwell R	58	58	ASTM D785
Hardness, Shore A	98	98	ASTM D2240
Hardness, Shore D	50 - 65	50 - 65	ASTM D2240
Tensile Strength, Ultimate	21.0 - 34.0 MPa	3050 - 4930 psi	ASTM D1457, 1708, 638
Elongation at Break	300 - 500 %	300 - 500 %	ASTM D 1457, 1708, 638
Flexural Modulus	0.496 GPa	71.9 ksi	ASTM D790
Poissons Ratio	0.46	0.46	approaches a limit of 0.50 at higher temperature
Izod Impact, Notched	1.89 J/cm	3.54 ft-lb/in	ASTM D256
Coefficient of Friction	0.050 - 0.10	0.050 - 0.10	ASTM D 1894
Coefficient of Friction.	0.10	0.10	V = 10 fpm; P= 800 - 1000 psi

**Gambar 3.14.** *Mechanical Properties PTFE (Matweb.com)*

### 3.6.4. Stainless Steel 316

Sifat mekanis material SS 316 dapat dilihat pada gambar 3.15 dibawah ini.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	7.99 g/cc	0.289 lb/in <sup>3</sup>	
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Rockwell B	79	79	
Tensile Strength, Ultimate	579 MPa	84000 psi	
Tensile Strength, Yield	290 MPa @Strain 0.200 %	42100 psi @Strain 0.200 %	
Elongation at Break	50 %	50 %	in 2 inches
Modulus of Elasticity	193 GPa	28000 ksi	tension
Poissons Ratio	0.25	0.25	Calculated
Shear Modulus	77.0 GPa	11200 ksi	torsion

**Gambar 3.15.** *Mechanical Properties SS316 (Matweb.com)*

### 3.7. Perancangan Eksperimen

Eksperimen yang dilakukan dalam tugas akhir ini akan dilakukan dengan menggunakan *seawater lubrication*, rancangan eksperimen untuk pengujian keausan dengan menggunakan *seawater lubrication* dapat dilihat pada table 3.2 dibawah ini.

**Tabel 3.2.** matriks rancangan hasil penelitian berdasarkan kecepatan putaran

Load (Kg)	Speed Control	Sliding Speed V (m/s)	Time (menit)	Mo (gr)	Ma (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							700			
8	60							700			
8	70							700			

Keterangan:

$m_o$  = massa pin awal sebelum pengujian

$m_a$  = massa pin akhir setelah pengujian.

$\Delta m$  =  $m_o - m_a$  (perubahan massa pin atau volume aus)

Perubahan massa pin  $\Delta m$  didapatkan dengan menimbang pin menggunakan timbangan digital sebelum dilakukan pengujian dan setelah dilakukan pengujian. Setelah  $\Delta m$  diketahui, berikutnya mulai menghitung perubahan volume ( $\Delta V$ ) pin yang terjadi dengan menggunakan rumus 3.4. dibawah ini:

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

Maka *specific wear rate* K dapat dicari dengan rumus

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



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas dan dianalisa data hasil eksperimen tentang laju keausan dan umur hidup (life time) material *Nitrile Rubber* (NBR) dan material alternatif yang direkomendasikan yaitu *Polytetrafluoroethylene* (PTFE) dan *Ultra High Molecular Weight Polyethylene* (UHMWPE), masing – masing material bergesekan dengan *Stainless Steel* AISI 316 dengan menggunakan air laut sebagai cairan pelumas.

### 4.1. Data Perhitungan Eksperimen

#### 4.1.1. *Nitrile Rubber* (NBR)

Hasil dari pengujian laju keausan pada material *Nitrile Rubber* (NBR) yang bergesekan dengan *Stainless Steel* AISI 316 dengan menggunakan air laut sebagai pelumas dapat dilihat pada tabel 4.1 dibawah ini.

**Tabel 4.1.** Data perhitungan hasil pengujian material karet nitril (NBR) bergesekan dengan *Stainless Steel* AISI 316 dengan menggunakan air laut sebagai pelumas.

Load (Kg)	Speed Control	Sliding Speed V (m/s)	Time (menit)	M <sub>0</sub> (gr)	M <sub>A</sub> (gr)	Δm (gr)	ρ (gr/mm <sup>3</sup> )	Sliding Distance L (m)	F (N)	ΔV (mm <sup>3</sup> )	K (mm <sup>3</sup> /Nm)
8	80	0,173016	67,4311	3,291	3,289	0,0011	0,00093	700	78,48	1,182796	0,00002153
8	90	0,18144	64,3004	3,275	3,274	0,0012	0,00093	700	78,48	1,290323	0,00002348
8	100	0,191808	60,8247	3,287	3,286	0,0013	0,00093	700	78,48	1,397849	0,00002544

#### 4.1.2. *Polytetrafluoroethylene* (PTFE)

Hasil dari pengujian laju keausan pada material *Polytetrafluoroethylene* (PTFE) yang bergesekan dengan *Stainless Steel* AISI 316 dengan menggunakan air laut sebagai pelumas dapat dilihat pada tabel 4.2 dibawah ini

**Tabel 4.2.** Data perhitungan hasil pengujian material *Polytetrafluoroethylene (PTFE)* bergesekan dengan *Stainless Steel AISI 316* dengan menggunakan air laut sebagai pelumas

Load (Kg)	Speed Control	Sliding Speed V (m/s)	Time (menit)	M <sub>0</sub> (gr)	M <sub>A</sub> (gr)	Δm (gr)	ρ (gr/mm <sup>3</sup> )	Sliding Distance L (m)	F (N)	ΔV (mm <sup>3</sup> )	K (mm <sup>3</sup> /Nm)
8	80	0,173016	67,4311	5,216	5,205	0,0107	0,0022	700	78,48	4,863636	0,00008853
8	90	0,18144	64,3004	5,203	5,191	0,0114	0,0022	700	78,48	5,181818	0,00009432
8	100	0,191808	60,8247	5,199	5,183	0,0158	0,0022	700	78,48	7,181818	0,00013073

#### 4.1.3. *Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE)*

Hasil dari pengujian laju keausan pada material *Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE)* yang bergesekan dengan *Stainless Steel AISI 316* dengan menggunakan air laut sebagai pelumas dapat dilihat pada tabel 4.3 dibawah ini.

**Tabel 4.3.** Data perhitungan hasil pengujian material *Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE)* bergesekan dengan *SS AISI 316* dengan menggunakan air laut sebagai pelumas

Load (Kg)	Speed Control	Sliding Speed V (m/s)	Time (menit)	M <sub>0</sub> (gr)	M <sub>A</sub> (gr)	Δm (gr)	ρ (gr/mm <sup>3</sup> )	Sliding Distance L (m)	F (N)	ΔV (mm <sup>3</sup> )	K (mm <sup>3</sup> /Nm)
8	80	0,173016	67,4311	1,993	1,992	0,0006	0,00095	700	78,48	0,631579	0,00001149
8	90	0,18144	64,3004	2,079	2,078	0,0007	0,00095	700	78,48	0,736842	0,00001341
8	100	0,191808	60,8247	2,056	2,056	0,0008	0,00095	700	78,48	0,842105	0,00001532

## 4.2. Pembahasan Grafik

### 4.2.1. *Nitrile Rubber (NBR)*

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

Dari Data yang telah didapatkan, 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 tiga variasi kecepatan yaitu pada kecepatan 0,173 m/s (53,4 rpm), 0,181 m/s (56 rpm) dan 0,191 (59,2 rpm). Grafik hubungan kecepatan dengan wear rate material NBR dapat dilihat pada gambar 4.1 dibawah ini.



**Gambar 4.1.** Grafik *specific wear rate* terhadap kecepatan dengan pembebanan konstan 8 Kg

Nilai *specific wear rate* terlihat berbanding lurus dengan kecepatan, semakin naik kecepatan yang diberikan, semakin naik pula laju keausan material. Perubahan grafik *specific wear rate* terlihat linear. Dimulai dari kecepatan 0,173 m/s hingga kecepatan 0,191 m/s tren grafik selalu naik, dan mendekati kondisi linier. Pada kecepatan 0,173 m/s nilai *specific wear ratenya* adalah 0,00002153 mm<sup>3</sup>/Nm, pada kecepatan 0,181 m/s nilai *specific wear ratenya* bertambah lagi yaitu 0,00002348 mm<sup>3</sup>/Nm, dan semakin tinggi pada kecepatan 0,191 yaitu 0,00002544 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 karet nitril yang diuji dengan kecepatan yang lebih tinggi akan lebih cepat mengalami peningkatan temperatur pada permukaan kontakannya, mempercepat gesekan

yang terjadi pada pin, sehingga gerusan akan semakin cepat serta material lebih mudah terkikis.

Dari hasil pengujian material karet nitril dengan tiga variasi kecepatan diatas, hasil yang didapatkan sudah sesuai dengan teori yang ada. Hal ini dapat terlihat dari grafik yang dihasilkan memiliki tren grafik yang semakin naik dan mendekati kondisi linier seiring dengan bertambahnya kecepatan yang diberikan. Pada kondisi operasinya, ketika nilai *specific wear rate* tinggi maka akan berpengaruh pada umur hidup (*lifetime*) 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 *Nitrile Rubber (NBR)*. Dapat dilihat pada Tabel 4.1, pada kecepatan 0,173 m/s (53,4 rpm) material NBR yang terkikis karena gesekan sebesar 1,18279 mm<sup>3</sup>. Material NBR yang terkikis semakin besar dengan semakin meningkatnya kecepatan yang diberikan. Volume yang terkikis pada kecepatan 0,181 m/s (56 rpm) sebesar 1,29032 mm<sup>3</sup> dan pada kecepatan 0,191 m/s (59,2 rpm) sebesar 1,39784 mm<sup>3</sup>. 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 kecepatan dengan pembebanan konstan 8 Kg

Dari grafik diatas terlihat bahwa 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 NBR yang diuji dengan kecepatan yang lebih tinggi akan lebih cepat mengalami peningkatan temperatur pada permukaannya 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.

#### 4.2.1.3 Analisa Struktur Mikro Sebelum dan Setelah Percobaan

Berikut adalah foto struktur permukaan material Nitrile Rubber sebelum dan setelah percobaan, dapat dilihat pada gambar 4.3 dibawah ini.



a)

b)

**Gambar 4.3a)** Foto Mikro permukaan material Nitrile Rubber Sebelum Pengujian. **4.3b)** Foto Mikro Material Nitrile Rubber Setelah Pengujian.

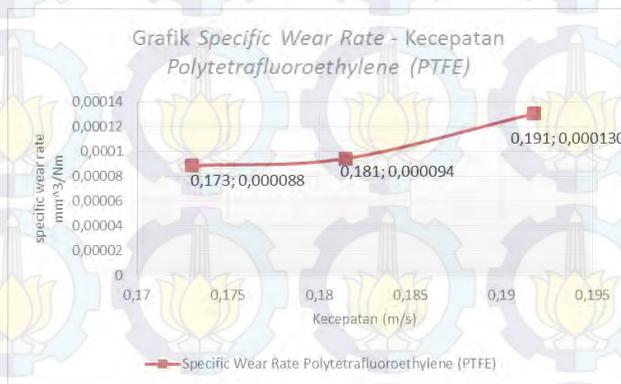
Pada foto mikro diatas terlihat ada perbedaan kontur permukaan pada saat sebelum dilakukan pengujian dan setelah dilakukan pengujian. Struktur mikro material setelah pengujian terlihat lebih bergelombang daripada struktur material sebelum pengujian. Hal ini diakibatkan karena adanya reaksi oksidasi antara material NBR dan zat yang terkandung dalam air laut. Reaksi oksidasi ini dinamakan Korosi dan berpengaruh pada saat percobaan. Dapat terlihat pada gambar 4.3b) terdapat guratan akibat goresan yang mengindikasikan bahwa material terkikis atau terabrasi. Hal ini disebabkan karena perbedaan nilai kekerasan antara 2 material uji yang saling kontak. Material karet nitril cenderung lebih lunak daripada *stainless steel* AISI 316. Penelitian ini dilakukan secara eksperimental penelitian secara langsung. Ketika penelitian dilakukan dengan pemberian beban, penekanan dari beban tersebut tidak 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. Tidak terdapat keausan termal pada pengujian ini karena menggunakan air laut sebagai *lubricant* dengan putaran mesin yang relatif rendah. Tidak terdapat keausan

lelah pada spesimen karena pada saat pengujian hanya dilakukan satu kali pengujian. Karena material NBR tahan terhadap sifat kimia korosif maka tidak terdapat keausan kimia (keausan korosif).

#### 4.2.2. *Polytetrafluoroethylene (PTFE)*

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

Dari Data yang telah didapatkan, 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 tiga variasi kecepatan yaitu pada kecepatan 0,173 m/s (53,4 rpm), 0,181 m/s (56 rpm) dan 0,191 m/s (59,2 rpm). Grafik hubungan kecepatan dengan wear rate material PTFE dapat dilihat pada gambar 4.4 dibawah ini.



**Gambar 4.4.** Grafik *specific wear rate* terhadap kecepatan dengan pembebanan konstan 8 Kg

Nilai *specific wear rate* terlihat berbanding lurus dengan kecepatan, semakin naik kecepatan yang diberikan, semakin naik pula laju keausan material. Perubahan grafik *specific wear rate*

terlihat linear. Dimulai dari kecepatan 0,173 m/s hingga kecepatan 0,191 m/s tren grafik selalu naik, dan mendekati kondisi linier. Pada kecepatan 0,173 m/s nilai *specific wear ratenya* adalah 0,00008853 mm<sup>3</sup>/Nm, pada kecepatan 0,181 m/s nilai *specific wear ratenya* bertambah lagi yaitu 0,00009432 mm<sup>3</sup>/Nm, dan semakin tinggi pada kecepatan 0,191 yaitu 0,000130731 mm<sup>3</sup>/Nm.

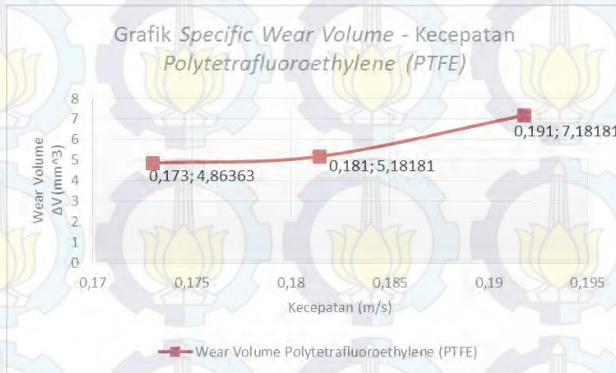
Secara teoritis, nilai *specific wear rate* akan semakin besar dengan semakin besarnya nilai kecepatan yang diberikan. Hal ini dikarenakan material karet nitril yang diuji dengan kecepatan yang lebih tinggi akan lebih cepat mengalami peningkatan temperatur pada permukaan kontakannya, mempercepat gesekan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

Dari hasil pengujian material PTFE dengan tiga variasi kecepatan diatas, hasil yang didapatkan sudah sesuai dengan teori yang ada. Hal ini dapat terlihat dari grafik yang dihasilkan memiliki tren grafik yang semakin naik dan mendekati kondisi linier seiring dengan bertambahnya kecepatan yang diberikan. Pada kondisi operasinya, ketika nilai *specific wear rate* tinggi maka akan berpengaruh pada umur hidup (*lifetime*) 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)* Dapat dilihat pada Tabel 4.2, pada kecepatan 0,173 m/s (53,4 rpm) material PTFE yang terkikis karena gesekan sebesar 4,8636364 mm<sup>3</sup>. Material PTFE yang terkikis semakin besar dengan semakin meningkatnya kecepatan yang diberikan. Volume yang terkikis pada kecepatan 0,181 m/s (56 rpm) sebesar 5,1818182 mm<sup>3</sup> dan pada kecepatan 0,191 m/s (59,2 rpm) sebesar 7,1818182 mm<sup>3</sup>. Peningkatan nilai volume yang aus ini juga

dikarenakan cepatnya kenaikan temperatur akibat kecepatan yang semakin tinggi. Dapat dilihat pada gambar 4.5 dibawah ini

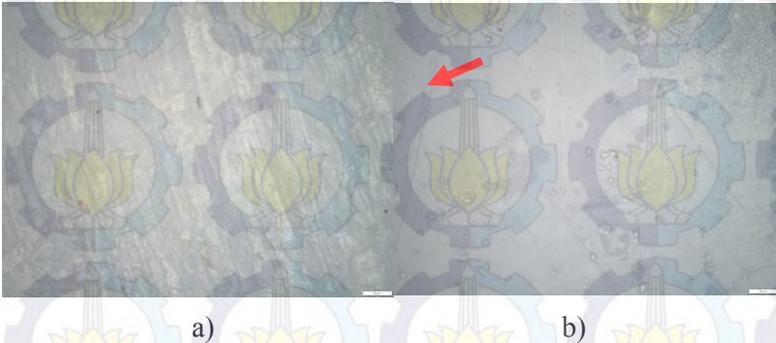


**Gambar 4.5.** Grafik *wear* volume terhadap kecepatan dengan pembebanan konstan 8 Kg

Dari grafik diatas terlihat bahwa 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 Mikro Sebelum dan Setelah Percobaan

Berikut adalah foto struktur permukaan material PTFE sebelum dan setelah percobaan, dapat dilihat pada gambar 4.6 dibawah ini.



**Gambar 4.6a)** Foto Mikro permukaan material PTFE Sebelum Pengujian. **4.6b)** Foto Mikro Material PTFE Setelah Pengujian.

Pada foto mikro diatas terlihat ada perbedaan kontur permukaan pada saat sebelum dilakukan pengujian dan setelah dilakukan pengujian. Struktur mikro material setelah pengujian terlihat lebih halus daripada struktur material sebelum pengujian, hal ini mengindikasikan terjadi pengikisan yang sangat besar pada material PTFE. Dapat terlihat pada gambar 4.6b) terdapat guratan akibat goresan yang mengindikasikan bahwa material terkikis atau terabrasi. Hal ini disebabkan karena perbedaan nilai kekerasan antara 2 material uji yang saling kontak. Material PTFE cenderung lebih lunak daripada *stainless steel* AISI 316. Penelitian ini dilakukan secara eksperimental penelitian secara langsung. Ketika penelitian dilakukan dengan pemberian beban, penekanan dari beban tersebut tidak 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 juga bahwa struktur permukaan sedikit terkelupas akibat mengalami kontak dengan SS316, peristiwa ini dinamakan mekanisme keausan adhesive. Pada gambar 4.6b) diatas juga terdapat banyak bintik- bintik kecil, bintik ini merupakan *wear debris* yang terjebak di dalam

permukaan material PTFE yang disebabkan pembebanan yang tinggi sehingga *wear debris* tersebut menempel pada permukaan PTFE. Tidak terdapat keausan kimia (korosif) yang terjadi pada penelitian ini karena material PTFE tahan terhadap bahan kimia korosif termasuk air laut. Keausan lelah (*fatigue wear*) tidak terjadi karena pada saat pengujian hanya dilakukan satu kali pengujian dengan waktu selama 67 menit. Material PTFE mempunyai performa yang baik di temperatur ekstrim dengan titik lunak pada suhu 250°C, dengan pengujian yang dilakukan menggunakan air laut sebagai pelumas, dan putaran mesin yang relatif rendah yaitu 59,2 rpm maka tidak terdapat fenomena keausan thermal yang terjadi.

#### **4.2.3. Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE)**

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

Dari Data yang telah didapatkan, 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 tiga variasi kecepatan yaitu pada kecepatan 0,173 m/s (53,4 rpm), 0,181 m/s (56 rpm) dan 0,191 (59,2 rpm). Grafik hubungan kecepatan dengan wear rate material UHMWPE dapat dilihat pada gambar 4.7 dibawah ini.



**Gambar 4.7.** Grafik *specific wear rate* terhadap kecepatan dengan pembebanan konstan 8 Kg

Nilai *specific wear rate* terlihat berbanding lurus dengan kecepatan, semakin naik kecepatan yang diberikan, semakin naik pula laju keausan material. Perubahan grafik *specific wear rate* terlihat linear. Dimulai dari kecepatan 0,173 m/s hingga kecepatan 0,191 m/s tren grafik selalu naik, dan mendekati kondisi linier. Pada kecepatan 0,173 m/s nilai *specific wear ratenya* adalah 0,00001149 mm<sup>3</sup>/Nm, pada kecepatan 0,181 m/s nilai *specific wear ratenya* bertambah lagi yaitu 0,00001341 mm<sup>3</sup>/Nm, dan semakin tinggi pada kecepatan 0,191 yaitu 0,00001532 mm<sup>3</sup>/Nm.

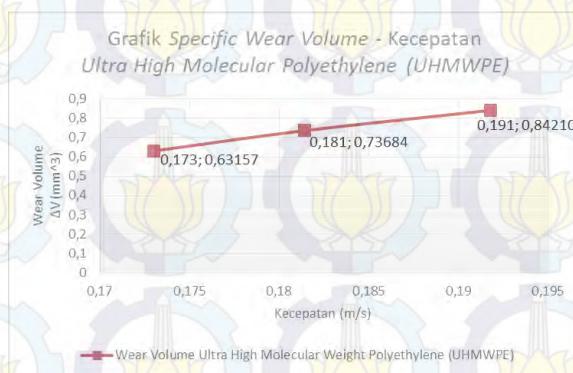
Secara teoritis, nilai *specific wear rate* akan semakin besar dengan semakin besarnya nilai kecepatan yang diberikan. Hal ini dikarenakan material karet nitril yang diuji dengan kecepatan yang lebih tinggi akan lebih cepat mengalami peningkatan temperatur pada permukaan kontakannya, mempercepat gesekan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

Dari hasil pengujian material UHMWPE dengan tiga variasi kecepatan diatas, hasil yang didapatkan sudah sesuai dengan teori yang ada. Hal ini dapat terlihat dari grafik yang

dihasilkan memiliki tren grafik yang semakin naik dan mendekati kondisi linier seiring dengan bertambahnya kecepatan yang diberikan. Pada kondisi operasinya, ketika nilai *specific wear rate* tinggi maka akan berpengaruh pada umur hidup (*lifetime*) material tersebut.

#### 4.2.3.2. Analisa Pengaruh Kecepatan Terhadap Wear Volume Dengan Pembebanan 8 Kg

Selain nilai *specific wear rate*, didapatkan pula nilai volume yang aus pada pengujian *Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE)* Dapat dilihat pada Tabel 4.3, pada kecepatan 0,173 m/s (53,4 rpm) material PTFE yang terkikis karena gesekan sebesar 0,6315789 mm<sup>3</sup>. Material UHMWPE yang terkikis semakin besar dengan semakin meningkatnya kecepatan yang diberikan. Volume yang terkikis pada kecepatan 0,181 m/s (56 rpm) sebesar 0,7368421 mm<sup>3</sup> dan pada kecepatan 0,191 m/s (59,2 rpm) sebesar 0,8421053 mm<sup>3</sup>. Peningkatan nilai volume yang aus ini juga dikarenakan cepatnya kenaikan temperatur akibat kecepatan yang semakin tinggi. Dapat dilihat pada gambar 4.8 dibawah ini



**Gambar 4.8.** Grafik wear volume terhadap kecepatan dengan pembebanan konstan 8 Kg

Dari grafik diatas terlihat bahwa 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 UHMWPE yang diuji dengan kecepatan yang lebih tinggi akan lebih cepat mengalami peningkatan temperatur pada permukaannya 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.

#### 4.2.3.3 Analisa Struktur Mikro Sebelum dan Setelah Percobaan

Berikut adalah foto struktur permukaan material UHMWPE sebelum dan setelah percobaan, dapat dilihat pada gambar 4.9 dibawah ini.



a)

b)

**Gambar 4.9a)** Foto Mikro permukaan material UHMWPE Sebelum Pengujian. **4.9b)** Foto Mikro Material UHMWPE Setelah Pengujian.

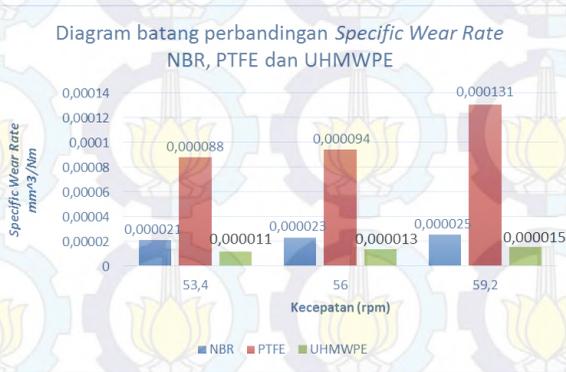
Pada foto mikro diatas terlihat ada sedikit perbedaan kontur permukaan pada saat sebelum dilakukan pengujian dan setelah dilakukan pengujian. Struktur mikro material setelah pengujian terlihat sedikit lebih halus daripada struktur material sebelum pengujian, hal ini mengindikasikan terjadi pengikisan pada

material UHMWPE. Dapat terlihat pada gambar 4.9b) terdapat guratan guratan akibat goresan yang mengindikasikan bahwa material terkikis atau terabrasi. Hal ini disebabkan karena perbedaan nilai kekerasan antara 2 material uji yang saling kontak. Material UHMWPE cenderung lebih lunak daripada *stainless steel* AISI 316. Penelitian ini dilakukan secara eksperimental penelitian secara langsung. Ketika penelitian dilakukan dengan pemberian beban, penekanan dari beban tersebut tidak 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 juga bahwa struktur permukaan sedikit terkelupas akibat mengalami kontak dengan SS316, peristiwa ini dinamakan mekanisme keausan adhesive. Pada gambar 4.9b) diatas juga terdapat banyak bintik- bintik kecil yang ditunjukkan panah merah, bintik ini merupakan *wear debris* yang terjebak di dalam permukaan material UHMWPE yang disebabkan pembebanan yang tinggi sehingga *wear debris* tersebut menempel pada permukaan UHMWPE. Tidak terdapat keausan kimia (korosif) yang terjadi pada penelitian ini karena material UHMWPE tahan terhadap bahan kimia korosif termasuk air laut. Keausan lelah (*fatigue wear*) tidak terjadi karena pada saat pengujian hanya dilakukan satu kali pengujian dengan waktu selama 67 menit. Material UHMWPE mempunyai titik lunak pada suhu diatas 150°C, dengan pengujian yang dilakukan menggunakan air laut sebagai pelumas, dan putaran mesin yang relatif rendah yaitu 59,2 rpm maka tidak terdapat fenomena keausan thermal yang terjadi.

#### **4.3. Grafik Perbandingan Antara NBR, PTFE dan UHMWPE**

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 *Nitrile Rubber (NBR)*, *Polytetrafluoroethylene (PTFE)* dan *Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE)*. Besar kecepatan suatu material yang bergerak dan mengalami kontak mempengaruhi laju keausan spesifik (*specific wear rate*). Pada penelitian ini dilakukan tiga variasi kecepatan yaitu pada kecepatan 0,173 m/s (53,4 rpm), 0,181 m/s (56 rpm) dan 0,191 (59,2 rpm). Berikut grafik perbandingan nilai *specific wear rate* antara material *Nitrile Rubber (NBR)*, *Polytetrafluoroethylene (PTFE)* dan *Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE)*. Dapat dilihat pada gambar 4.10 dibawah ini.



**Gambar 4.10.** Diagram batang perbandingan nilai *specific wear rate* terhadap kecepatan antara material *Nitrile Rubber (NBR)*, *Polytetrafluoroethylene (PTFE)* dan *Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE)*.

Dari grafik diatas terlihat bahwa *specific wear rate* material UHMWPE paling rendah dibandingkan nilai *specific wear rate* dari PTFE dan NBR. Hal ini berarti bahwa material UHMWPE lebih baik dan lebih tahan terhadap aus dibandingkan material PTFE dan NBR. Dan terlihat juga bahwa nilai *specific wear rate* material PTFE paling tinggi dibandingkan dengan nilai *specific wear rate* material UHMWPE dan NBR. Hal ini juga berarti

material PTFE memiliki ketahanan yang paling buruk diantara dua material uji yang lain. Yaitu pada saat kecepatan 53,4 rpm material UHMWPE 1,8 kali lebih baik daripada NBR dan 7,7 kali lebih baik daripada PTFE. Yaitu nilai specific wear rate NBR 0,00002153 mm<sup>3</sup>/Nm, PTFE 0,00008853 mm<sup>3</sup>/Nm dan pada UHMWPE 0,00001149 mm<sup>3</sup>/Nm. Dan pada saat kecepatan 56 rpm material UHMWPE 1,7 kali lebih baik daripada NBR dan 7 kali lebih baik daripada PTFE. Yaitu nilai specific wear rate NBR 0,00002348 mm<sup>3</sup>/Nm, PTFE 0,00009432 mm<sup>3</sup>/Nm dan pada UHMWPE 0,00001341 mm<sup>3</sup>/Nm. Sedangkan pada saat kecepatan 59,2 rpm material UHMWPE 1,6 kali lebih baik daripada NBR dan 8,5 kali lebih baik daripada PTFE. Yaitu nilai specific wear rate NBR 0,00002544 mm<sup>3</sup>/Nm, PTFE 0,000130731 mm<sup>3</sup>/Nm dan pada UHMWPE 0,00001532 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 semakin cepat serta material menjadi lebih mudah terkikis.

Dari hasil pengujian material *Nitrile Rubber (NBR)*, *Polytetrafluoroethylene (PTFE)* dan *Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE)* dengan tiga 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 *Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE)* lebih baik dibandingkan material *Nitrile Rubber (NBR)* dan material *Polytetrafluoroethylene (PTFE)*. Hal ini dikarenakan nilai *specific wear rate* dari material

*Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE)* lebih rendah dibandingkan dengan NBR dan PTFE.

#### 4.4. Perhitungan Umur Hidup (*lifetime*) Material Uji

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

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

t = umur hidup material (tahun)

L = panjang lintasan (meter)

v = kecepatan rata – rata (m/s)

Dimana untuk mencari nilai L dapat diperoleh dengan menggunakan rumus:

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

V = Clearance x A

L = Panjang Lintasan (meter)

V = Volume Batas Aus yang Diijinkan (m<sup>3</sup>)

H = Nilai Kekerasan Material

K = Nilai Laju Keausan (m<sup>2</sup>/N)

W = Berat Pembebanan (N)

C = Clearance

A = Luas Selimut Tabung Bearing (m<sup>2</sup>)

Berdasarkan perumusan maka didapatkan hasil perhitungan yang ditampilkan pada tabel 4.4, 4.5 dan 4.6 dibawah ini.

**Tabel 4.4.** Hasil Perhitungan Umur Hidup Material *Nitrile Rubber (NBR)*

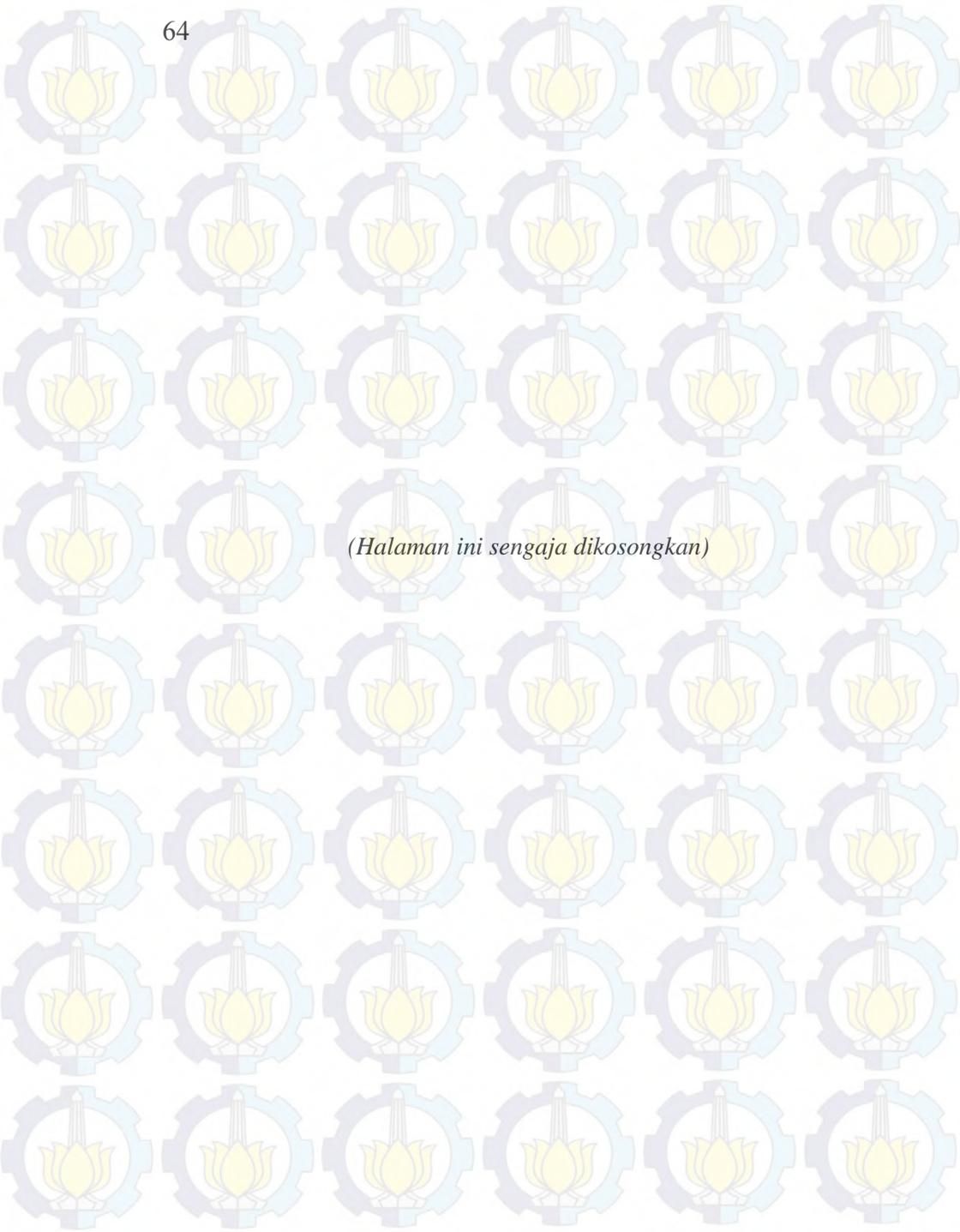
v (kecepatan) m/s	H (Kelasaran Material)	K (Laju Keausan) m <sup>3</sup> /Nm	W (Berat Pembebanan) N	V (Volume Batas Aus) m <sup>3</sup>	Clearance (m)	A (luas Selimut Tabung) m <sup>2</sup>	L	t (s)	t (jam)	t (tahun)
0,173016	58	2,153E-14	78,48	2,48688E-07	0,00002	0,0124344	8536499,1	49339362	13705,38	1,564541
0,18144	58	2,348E-14	78,48	2,48688E-07	0,00002	0,0124344	7827547,9	43141247	11983,68	1,368
0,191808	58	2,544E-14	78,48	2,48688E-07	0,00002	0,0124344	7224482,1	37665176	10462,55	1,194355

**Tabel 4.5.** Hasil perhitungan Umur Hidup Material *Polytetrafluoroethylene (PTFE)*

v (kecepatan) m/s	H (Kelasaran Material)	K (Laju Keausan) m <sup>3</sup> /Nm	W (Berat Pembebanan) N	V (Volume Batas Aus) m <sup>3</sup>	Clearance (m)	A (luas Selimut Tabung) m <sup>2</sup>	L	t (s)	t (jam)	t (tahun)
0,173016	65	8,853E-14	78,48	2,48688E-07	0,00002	0,0124344	2326583,9	13447218	3735,338	0,426409
0,18144	65	9,432E-14	78,48	2,48688E-07	0,00002	0,0124344	2183762,5	12035728	3343,258	0,38165
0,191808	65	1,3073E-13	78,48	2,48688E-07	0,00002	0,0124344	1575556,3	8214237	2281,732	0,260472

**Tabel 4.6.** Hasil Perhitungan Umur Hidup Material *Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE)*

v (kecepatan) m/s	H (Kelasaran Material)	K (Laju Keausan) m <sup>3</sup> /Nm	W (Berat Pembebanan) N	V (Volume Batas Aus) m <sup>3</sup>	Clearance (m)	A (luas Selimut Tabung) m <sup>2</sup>	L	t (s)	t (jam)	t (tahun)
0,173016	68	1,149E-14	78,48	2,48688E-07	0,00002	0,0124344	18753603	1,08E+08	30108,97	3,437097
0,18144	68	1,341E-14	78,48	2,48688E-07	0,00002	0,0124344	16068523	88561086	24600,3	2,808254
0,191808	68	1,532E-14	78,48	2,48688E-07	0,00002	0,0124344	14065202	73329592	20369,33	2,325266



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Pada Penelitian kali ini dapat disimpulkan:

1. Nilai *specific wear rate* antara material *Nitrile Rubber (NBR)* dengan *Stainless Steel* AISI 316 yang mengalami kontak akibat tiga variasi kecepatan 53,4 rpm, 56 rpm dan 59,2 rpm akan semakin naik, yaitu rata – rata sebesar  $8 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$
2. Nilai *specific wear rate* antara material *polytetrafluoroethylen (PTFE)* dengan *Stainless Steel* AISI 316 yang mengalami kontak akibat tiga variasi kecepatan 53,4 rpm, 56 rpm dan 59,2 rpm akan semakin naik, yaitu rata – rata sebesar  $3 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{Nm}$
3. Nilai *specific wear rate* antara material *Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE)* dengan *Stainless Steel* AISI 316 yang mengalami kontak akibat tiga variasi kecepatan 53,4 rpm, 56 rpm dan 59,2 rpm akan semakin naik, yaitu rata-rata sebesar  $4 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{Nm}$
4. Nilai *specific wear rate* material *Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE)* dengan *Stainless Steel* AISI 316 lebih baik dibandingkan dengan material *Nitrile Rubber (NBR)* dan *polytetrafluoroethylen (PTFE)*, yaitu pada saat kecepatan 53,4 rpm material UHMWPE 1,8 kali lebih baik daripada NBR dan 7,7 kali lebih baik daripada PTFE. Dan pada saat kecepatan 56 rpm material UHMWPE 1,7 kali lebih baik daripada NBR dan 7 kali lebih baik daripada PTFE. Sedangkan pada saat kecepatan 59,2 rpm material UHMWPE 1,6 kali lebih baik daripada NBR dan 8,5 kali lebih baik daripada PTFE.
5. Mekanisme Keausan yang terjadi pada material *Nitrile Rubber (NBR)* didominasi mekanisme keausan abrasive dan. Guratan pada permukaan Nitrile Rubber (NBR) mengindikasikan terjadinya abrasive.

6. Mekanisme Keausan yang terjadi pada material *polytetrafluoroethylen (PTFE)* didominasi mekanisme abrasif dan adhesif. Guratan pada PTFE mengindikasikan terjadinya abrasif dan material terkelupas mengindikasikan terjadinya adhesif.
7. Mekanisme Keausan yang terjadi pada material *Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE)* didominasi mekanisme abrasif dan adhesif. Guratan pada UHMWPE mengindikasikan terjadinya abrasif dan material terkelupas mengindikasikan mekanisme adhesif
8. Umur Hidup (*lifetime*) material UHMWPE lebih awet dibandingkan dengan NBR dan PTFE, yaitu pada saat kecepatan 53,4 rpm 2,2 kali lebih baik dari NBR dan 9 kali lebih baik dari PTFE, pada kecepatan 56 rpm 2 kali lebih baik dari NBR dan 7 kali lebih baik daripada PTFE, sedangkan pada kecepatan 59,2 rpm 1,9 kali lebih baik daripada NBR dan 9 kali lebih baik daripada PTFE.

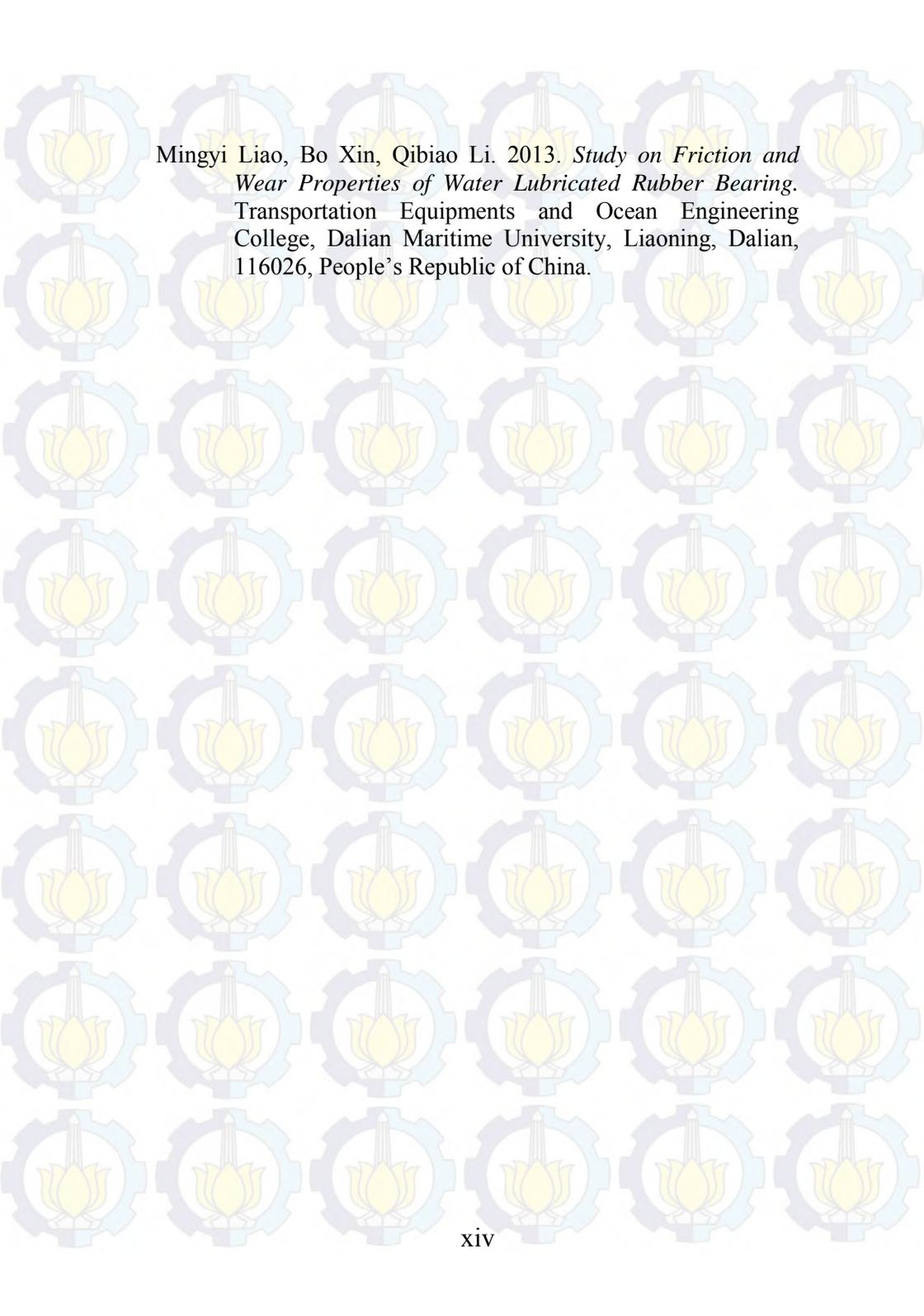
## 5.2 Saran

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

1. Pada Penelitian ini keterbatasan alat uji tribometer dengan beban maksimal 8 Kg, sehingga masih dapat dikembangkan lagi dengan skala yang lebih baik lagi.
2. Pada Penelitian ini untuk mengetahui kontur permukaan gesekan masih menggunakan foto mikro dengan perbesaran 200 kali, jadi penelitian ini masih bisa dimaksimalkan, agar hasil yang didapatkan lebih akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Inayah Nazidatul, Yusuf Kaelani. 2015. *Studi Eksperimen dan Analisa Keausan Jurnal Bearing Dengan Lapisan Pasta Pada Rotary Valve Mesin Pembuat Pasta*. Tugas Akhir Teknik Mesin ITS, Surabaya.
- Sholichin moch, Yusuf Kaelani 2008. *Experimental Study Of Specific Wear Rate On Ultra High Molecular Weight Polyethylene (Uhmwpe) With Stainless Steel On Artificial Knee Joints (Total Knee Replacement Prosthesis) Human*, Tugas Akhir Teknik Mesin ITS, Surabaya.
- Prayogi Tegar, Yusuf Kaelani. 2010. *Rancang Bangun Tribometer Tipe Pin on Disk dan Studi Eksperimental Karakteristik Tribology Polimer-polimer*. Tugas Akhir Teknik Mesin ITS .Surabaya.
- Conglin Dong, Chengqing Yuan, dkk. 2014. *Study on wear behaviour and wear model of nitrile butadiene rubber under water lubricated conditions*. Key laboratory of Marine power Engineering & Technology (Ministry of Transport), Wuhan University of Technology, Wuhan 430063, PR China.
- Jianzhang Wang, Fengyuan Yan, Qunji Xue. 2009. *Tribological behaviour of PTFE sliding against steel in sea water*. State key Laboratory of solid Librication, Lanzhou Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, No 18, Tianshui Middle Road, Lanzhou 730000, PR China



Mingyi Liao, Bo Xin, Qibiao Li. 2013. *Study on Friction and Wear Properties of Water Lubricated Rubber Bearing*. Transportation Equipments and Ocean Engineering College, Dalian Maritime University, Liaoning, Dalian, 116026, People's Republic of China.

## BIODATA PENULIS



Bisma Aditya Permana, lahir di Sungailiat, Bangka Belitung pada tanggal 18 Juli 1991, merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Achmad Arifin dan Ibu Asmarani. Penulis memulai pendidikan formal di SDN 405 Sungailiat Bangka. Kemudian penulis melanjutkan sekolah menengah pertama pada tahun 2003 di SMPN 2 Sungailiat. Pada tahun 2006, penulis melanjutkan sekolah di SMAN 1 Sungailiat dan lulus pada tahun 2009. Kemudian penulis menempuh studi D3 di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung dengan Jurusan Perawatan dan Perbaikan Mesin. Pada tahun 2012. Pada jenjang D3 penulis memutuskan untuk kembali melanjutkan studi jenjang Strata -I dan memilih jurusan Teknik Mesin ITS Surabaya sebagai tempat belajar berikutnya. Penulis pernah mengikuti Kontes Robot Indonesia pada tahun 2011. Di Teknik Mesin ITS, penulis mengambil bidang Mekanika Benda Padat sebagai bidang studi yang dipilih dalam pengerjaan Tugas Akhir. Hingga akhirnya penulis dinyatakan lulus setelah menjalani sidang tugas akhir pada 12 Januari 2016.

Penulis dapat dihubungi melalui email:

**[bapbisma@yahoo.com](mailto:bapbisma@yahoo.com)**