



SKRIPSI – ME184834

**STUDI EKSPERIMENTAL NILAI KEAUSAN PADA BANTALAN
POROS STERN TUBE BERBAHAN KOMPOSIT POLYURETHANE
ELASTOMERS DAN NITRILE RUBBER PADA PENGUJIAN
TRIBOMETER PIN ON DISK**

Angga Adi Wibowo

NRP. 04211746000024

Dosen Pembimbing

Ir. Amiadji, MM, M.Sc

Achmad Baidowi, S.T., M.T

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA**

2020



TUGAS AKHIR - ME 184834

**STUDI EKSPERIMENTAL NILAI KEAUSAN PADA BANTALAN
POROS *STERN TUBE* BERBAHAN KOMPOSIT *POLYURETHANE
ELASTOMERS* DAN *NITRILE RUBBER* PADA PENGUJIAN
*TRIBOMETER PIN ON DISK***

Angga Adi Wibowo
NRP: 0421174600024

Dosen Pembimbing :
Ir. Amiadji, MM, M.Sc.
Achmad Baidowi, S.T., M.T

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - ME 184834

**EXPERIMENTAL STUDY OF WEAR VALUE ON STERN TUBE
SHAFT BEARING MADE FROM POLYURETHANE AND NITRILE
RUBBER ON TRIBOMETER PIN ON DISK TEST**

Angga Adi Wibowo
NRP: 04211746000024

Supervisor :
Ir. Amiadji, MM, M.Sc.
Achmad Baidowi, S.T., M.T

**MARINE ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

**STUDI EKSPERIMENTAL NILAI KEAUSAN PADA BANTALAN
POROS STERN TUBE BERBAHAN KOMPOSIT *POLYURETHANE*
ELASTOMERS DAN *NITRILE RUBBER* PADA PENGUJIAN
*TRIBOMETER PIN ON DISK***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

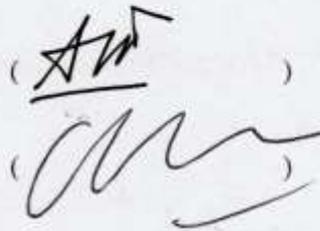
Bidang Studi *Marine Manufacturing and Design* (MMD)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ANGGA ADI WIBOWO
NRP 0421 17 4600 0024

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Ir. Amiadji, MM, M.Sc.
NIP. 196103241988031001
2. Achmad Baidowi, S.T., M.T



SURABAYA, JANUARI 2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI EKSPERIMENTAL NILAI KEAUSAN PADA BANTALAN POROS *STERN TUBE* BERBAHAN KOMPOSIT *POLYURETHANE* *ELASTOMERS* DAN *NITRILE RUBBER* PADA PENGUJIAN *TRIBOMETER PIN ON DISK*

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjan Teknik

Pada

Bidang Studi *Marine Manufacturing and Design* (MMD)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ANGGA ADI WIBOWO
NRP 0421 17 4600 0024

Disetujui Oleh Kepala Departemen
Teknik Sistem Perkapalan



SURABAYA, JANUARI 2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

STUDI EKSPERIMENTAL NILAI KEAUSAN PADA BANTALAN POROS *STERN TUBE* BERBAHAN KOMPOSIT *POLYURETHANE ELASTOMERS* DAN *NITRILE RUBBER* PADA PENGUJIAN *TRIBOMETER PIN ON DISK*

Nama Mahasiswa : Angga Adi Wibowo
NRP : 0421174600024
Dosen Pembimbing :
1. Ir. Amiadji, MM, M.Sc.
2. Achmad Baidowi, S.T.,M.T

ABSTRAK

Bantalan poros propeler dapat dibuat dari beberapa material berupa kayu, karet, maupun logam. Setiap material yang digunakan untuk bantalan *stern tube* memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan untuk masing-masing materialnya. Komposit *polyurethane elastomers* dapat digunakan sebagai *bearing stern tube* karena sifat *wearness*, *bending*, dan *yield stress* yang lebih baik dibandingkan bearing dengan bahan material lainnya terutama bearing dengan bahan *nitrile rubber* yang sekarang banyak digunakan. Kelebihan dari komposit *polyurethane elastomers* memiliki nilai keausan yang relatif kecil dan cocok untuk *heavy duty industry*, elastisitas yang sangat baik dan tahan terhadap kelelahan, tetap *flexible* pada temperature rendah, kemampuan isolasi yang baik, ketahanan terhadap keburukan yang disebabkan oleh atmosfer, oksigen dan ozon, serta tahan terhadap oli, gemuk dan beberapa bahan kimia.

Pengujian keausan dilakukan menggunakan alat uji berupa *tribometer pin on disk*, dengan skema pin menggunakan material berbahan *nitrile rubber* dan *polyurethane elastomers* dan disk menggunakan bahan *stainless steel 316* dan dilakukan variasi waktu pengujian dengan variasi yaitu 50 menit, 60 menit, dan 70 menit, serta menggunakan variasi pembebanan yang secara teknis diberikan oleh pin berbahan *polyurethane dan nitrile rubber* tersebut kepada disk berbahan *stainless steel 316* dengan variasi pembebanan sebesar 1 kg, 2 kg, 3 kg serta untuk pelumasannya menggunakan pelumasan air laut. Setelah dilakukan running test maka dilakukan pengukuran untuk menentukan seberapa besar volume aus (*wear volume*), laju keausan spesifik (*specific wear rate*), dan umur pakai (*lifetime*) yang terjadi dari beberapa variasi untuk dapat menyimpulkan bahan dengan material antara *nitrile rubber* atau *polyurethane* yang lebih baik digunakan sebagai bahan dari bearing propeler ditinjau dari nilai keausan yang terjadi dan umur pakainya.

Dalam pengujian didapatkan hasil *wear volume* dari rata-rata nilai variabel waktu pengujian (50, 60, 70 menit) pada material *nitrile rubber* yaitu 0,287 mm³ pada load 1 kg, 0,6093 mm³ pada load 2 kg, dan 2,832 mm³ pada load 3 kg. Pada material *polyurethane* didapat nilai *wear volume* yaitu 0,419 mm³ pada load 1 kg, 0,857 mm³ pada load 2 kg, dan 2,571 mm³ pada load 3 kg. Didapatkan pula hasil pengujian berupa *specific wear rate* pada material *nitrile rubber* yaitu 0,0000835 mm²/Nm pada load 1 kg, 0,000089 mm²/Nm pada load 2 kg, 0,000275 mm²/Nm pada load 3 kg. Pada material *polyurethane* didapat nilai *specific wear rate* yaitu 0,000122 mm²/Nm pada

load 1 kg, 0,000125 mm²/Nm pada load 2 kg, 0,000239 mm²/Nm pada load 3 kg. Untuk nilai umur pakai (*lifetime*) pada material *nitrile rubber* sebesar 4,9 tahun pada load 1 kg, 1,9 tahun pada load 2 kg, 0,4 tahun pada load 3 kg. Pada material *polyurethane* didapat nilai *lifetime* yaitu 3,9 tahun pada load 1 kg, 1,9 tahun pada load 2 kg, 0,62 tahun pada load 3 kg. Dan didapatkan kesimpulan bahwa material *polyurethane* lebih unggul dari *nitrile rubber* untuk penggunaan beban kerja tinggi yang pada pengujian diberikan beban tertinggi sebesar 3 kg dilihat dari segi volume aus, laju keausan, maupun umur pakainya.

Keyword: Bantalan Stern Tube, Polyutethane Elastomers, Nitrile Rubber, Uji Keausan, Tribometer pin on disk.

EXPERIMENTAL STUDY OF WEAR VALUE ON STERN TUBE SHAFT BEARING MADE FROM POLYURETHANE AND NITRILE RUBBER ON TRIBOMETER PIN ON DISK TEST

Name : **Angga Adi Wibowo**
NRP : **04211746000024**
Supervisor :
1. Ir. Amiadji, MM, M.Sc.
2. Achmad Baidowi, S.T.,M.T

ABSTRACT

Propeller shaft bearings can be made of several materials in the form of wood, rubber, or metal. Each material used for stern tube bearings has several advantages and disadvantages for each material. Composite polyurethane elastomers can be used as stern tube bearings because of better weariness, bending, and yield stress compared to bearings with other materials, especially bearings with nitrile rubber which are now widely used. The advantages of polyurethane elastomers composites have relatively small wear values and are suitable for heavy duty industries, excellent elasticity and resistance to fatigue, remain flexible at low temperatures, good insulation ability, resistance to deterioration caused by the atmosphere, oxygen and ozone, and resistant to oil, grease and some chemicals.

The wear test is carried out using a test tool in the form of a pin on disk tribometer, with a pin scheme using material made of nitrile rubber and polyurethane elastomers and the disk uses 316 stainless steel material and variations of the testing time with variations are 50 minutes, 60 minutes and 70 minutes, and using loading variations that are technically provided by the polyurethane and nitrile rubber pins to 316 stainless steel disks with loading variations of 1 kg, 2 kg, 3 kg and for lubrication using sea water lubrication. After running tests, measurements are taken to determine how much wear volume, specific wear rate, and lifetime that occur from several variations to be able to deduce material with material between nitrile rubber or polyurethane it is better to be used as material from propeller bearings in terms of wear value and its useful life.

In the test results obtained wear volume from the average value of the test time variable (50, 60, 70 minutes) on the nitrile rubber material that is 0.287 mm³ at 1 kg load, 0.6093 mm³ at load 2 kg, and 2,832 mm³ at a load of 3 kg. In polyurethane material, the value of wear volume is 0,419 mm³ at 1 kg load, 0,857 mm³ at 2 kg load, and 2,571 mm³ at 3 kg load. Also obtained test results in the form of a specific wear rate on nitrile rubber material that is 0.0000835 mm² / Nm at a load of 1 kg, 0.000089 mm² / Nm at a load of 2 kg, 0,000275 mm² / Nm at a load of 3 kg. In the polyurethane material the specific wear rate value is 0,000122 mm² / Nm at 1 kg load, 0,000125 mm² / Nm at 2 kg load, 0,000239 mm² / Nm at 3 kg load. For the lifetime value (nitrile rubber) of 4.9 years at 1 kg load, 1.9 years at 2 kg load, 0.4 years at 3 kg load. In the polyurethane material, the lifetime value is 3.9 years at 1 kg load, 1.9 years at 2 kg load, 0.62 years at 3 kg load. And it was concluded that

the polyurethane material was better than nitrile rubber material for the use of high workloads which in the test were given the highest load of 3 kg in terms of wear volume, wear rate, and lifetime.

Keyword: Stern Tube Bearing, Polyurethane Elastomers, Nitrile Rubber, Wearness Test, Tribometer pin on disk.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan segala bentuk kenikmatan-kenikmatanNya yang agung, terutama kenikmatan iman dan Islam. Shalawat serta salam semoga tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, segenap keluarganya, para sahabatnya, dan seluruh umatnya yang senantiasa mencintai, mendambakan dan mengikuti beliau.

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan pendidikan Program Sarjana Lintas Jalur di Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Dengan tugas akhir yang berjudul **“STUDI EKSPERIMENTAL NILAI KEAUSAN PADA BANTALAN POROS STERN TUBE BERBAHAN KOMPOSIT POLYURETHANE ELASTOMERS DAN NITRILE RUBBER PADA PENGUJIAN TRIBOMETER PIN ON DISK”** ini, penulis berharap bisa bermanfaat untuk segala lapisan masyarakat pada umumnya dan kalangan akademisi pada khususnya.

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 Ir. Amiadji, MM, M.Sc. dan Bapak Achmad Baidowi, S.T., M.T 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. Yusuf Kaelani, M.Sc.E, dosen Jurusan Teknik Mesin, FTI, ITS, yang telah memberikan perijinan dalam peminjaman dan pemakaian alat uji *tribometer pin on disk*.
3. Orangtua tercinta, Adik atas semua doa, perhatian dan dukungan baik moril maupun materil yang telah diberikan.
4. Bapak Nurhadi Siswanto, ST., MT. selaku dosen wali yang telah memberikan arahan selama masa perkuliahan.
5. Segenap Bapak/Ibu Dosen Pengajar dan Karyawan di Jurusan S1 Teknik Sistem Perkapalan ITS, yang telah banyak memberikan ilmu serta bantuan selama menjalani kuliah.
6. Teman dan saudara: Hanafi, Linggar, Rahim, Hanung, Deni, Dhimas dan Adit. Atas ide, saran, dan motivasi dalam pengerjaan Laporan

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa laporan ini masih jauh dari kesempurnaan. Untuk itu adanya kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan penulisan selanjutnya.

Surabaya, Desember 2019

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

COVER	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
LEMBAR PENGESAHAN.....	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR GAMBAR	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
2.1. State of The Art	5
<u>2.1.1 Jurnal Penelitian 1</u>	5
<u>2.1.2 Jurnal Penelitian 2</u>	5
<u>2.1.3 Jurnal Penelitian 3</u>	6
2.2 Landasan Teori.....	7
<u>2.2.1 Komposit</u>	7
<u>2.2.2 Polyurethane</u>	7
<u>2.2.3 Polyurethane Elastomer</u>	8
<u>2.2.4 Nitril Rubber</u>	9
<u>2.2.5 Stainless Steel Aisi 316</u>	9
<u>2.2.6 Bantalan Stern Tube</u>	10
<u>2.2.7 Wearness (Keausan)</u>	12
<u>2.2.8 Metode keausan adhesif</u>	13
<u>2.2.9 Metode keausan abrasif</u>	15
<u>2.2.10 Menghitung Laju Keausan</u>	16
<u>2.2.11 Study Literatur</u>	17
BAB III.....	19

METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Flow Chart Penelitian.....	19
3.2. Perancangan Eksperimen (<i>Wearness Test</i>).....	25
3.3 Spesifikasi Spesimen Uji.....	26
<i>BAB IV</i>	27
4.1 Data Hasil Pengujian	27
4.1.1 <i>Nitrile Rubber (NBR)</i>	27
4.1.1.1 <i>Data Hasil Pengujian Nitrile Rubber dengan Pembebanan 1 kg.</i>	27
4.1.1.2 <i>Data Hasil Pengujian Nitrile Rubber dengan Pembebanan 2 kg.</i>	28
4.1.1.3 <i>Data Hasil Pengujian Nitrile Rubber dengan Pembebanan 3 kg.</i>	29
4.1.2 Polyurethane Elastomere	30
4.1.2.1 <i>Data Hasil Pengujian Polyurethane Elastomere dengan</i>	30
<i>Pembebanan 1 kg/m².</i>	30
4.1.2.2 <i>Data Hasil Pengujian Polyurethane Elastomere dengan</i>	31
4.1.2.3 <i>Data Hasil Pengujian Polyurethane Elastomere dengan</i>	32
4.2 Data Hasil Analisis	33
4.2.1 <i>Tabel Hasil Analisis</i>	33
4.2.1.1 <i>Volume Aus (Wear Volume)</i>	33
4.2.1.2 <i>Laju Keausan (Specific Wear Rate)</i>	35
4.2.1.3 <i>Umur Pakai (Life Time)</i>	36
4.2.1.3.1 <i>Data Perhitungan Umur Pakai bahan Nitrile Rubber</i>	37
4.2.1.3.2 <i>Data Perhitungan Umur Pakai bahan Polyurethane Elastomere</i> ..	38
4.2.2 <i>Grafik Hasil Analisis</i>	41
4.2.2.1 <i>Grafik Analisis pengaruh waktu terhadap Wear Volume pada</i>	41
4.2.2.2 <i>Grafik Analisis pengaruh waktu terhadap Wear Volume pada</i>	42
4.2.2.3 <i>Grafik Analisis pengaruh waktu terhadap Wear Volume pada</i>	43
4.2.2.4 <i>Grafik Analisis pengaruh waktu terhadap Specific Wear Rate pada</i>	44
4.2.2.5 <i>Grafik Analisis pengaruh waktu terhadap Specific Wear Rate pada</i>	45
4.2.2.6 <i>Grafik Analisis pengaruh waktu terhadap Specific Wear Rate pada</i>	47
4.2.2.7 <i>Grafik Analisis pengaruh waktu terhadap Life Time pada</i>	48
4.2.2.8 <i>Grafik Analisis pengaruh waktu terhadap Life Time pada</i>	49
4.2.2.9 <i>Grafik Analisis pengaruh waktu terhadap Life Time pada</i>	51

BAB V.....	53
KESIMPULAN DAN SARAN	53
5.1. Kesimpulan.....	53
5.2 <i>Saran</i>	54
DAFTAR PUSTAKA.....	55

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1. Hasil Pengujian spesimen pin berbahan Nitrile Rubber Pada beban pengujian 1 kg	28
Tabel 4. 2. Hasil Pengujian spesimen pin berbahan Nitrile Rubber Pada beban pengujian 2 kg	29
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian spesimen pin berbahan Nitrile Rubber Pada beban pengujian 3 kg	30
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian spesimen pin berbahan Polurethane Elastomere Pada beban pengujian 1 kg	31
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian spesimen pin berbahan Polurethane Elastomere Pada beban pengujian 2 kg	32
Tabel 4. 6 Hasil Pengujian spesimen pin berbahan Polurethane Elastomere Pada beban pengujian 3 kg	33
Tabel 4. 7 Nilai Volume Aus Pin Berbahan Rubber vs Polyurethane Pada beban 1 kg.....	34
Tabel 4. 8 Nilai Volume Aus Pin Berbahan Rubber vs Polyurethane Pada beban 2 kg.....	34
Tabel 4. 9 Nilai Volume Aus Pin Berbahan Rubber vs Polyurethane Pada beban 3 kg.....	34
Tabel 4. 10 Nilai Laju Keausan Pin Berbahan Rubber vs Polyurethane Pada beban 1 kg.....	35
Tabel 4. 11 Nilai Laju Keausan Pin Berbahan Rubber vs Polyurethane Pada beban 2 kg.....	35
Tabel 4. 12 Nilai Laju Keausan Pin Berbahan Rubber vs Polyurethan Pada beban 3 kg.....	36
Tabel 4. 13 Data Perhitungan Umur Pakai Pin Berbahan Nitrile Rubber Pada beban 1 kg.....	37
Tabel 4. 14 Data Perhitungan Umur Pakai Pin Berbahan Nitrile Rubber Pada beban 2 kg.....	38
Tabel 4. 15 Data Perhitungan Umur Pakai Pin Berbahan Nitrile Rubber Pada beban 3 kg.....	38
Tabel 4. 16 Data Perhitungan Umur Pakai Pin Berbahan Polyurethane Pada beban 1 kg.....	38
Tabel 4. 17 Data Perhitungan Umur Pakai Pin Berbahan Polyurethane Pada beban 2 kg.....	39
Tabel 4. 18 Data Perhitungan Umur Pakai Pin Berbahan Polyurethane Pada beban 3 kg.....	39
Tabel 4. 19 Nilai Umur Pakai Pin Berbahan Rubber vs Polyurethane Pada beban 1 kg.....	40
Tabel 4. 20 Nilai Umur Pakai Pin Berbahan Rubber vs Polyurethane Pada beban 2 kg.....	40
Tabel 4. 21 Nilai Umur Pakai Pin Berbahan Rubber vs Polyurethane Pada beban 3 kg.....	40

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Ilustrasi Penyusun Komposit	7
Gambar 2. 2 Material Polyurethane.....	8
Gambar 2. 3 Material Polyurethane.....	8
Gambar 2. 4 Bearing sterntube kayu poghout	11
Gambar 2. 5 Bearing sterntube nitrile rubber	11
Gambar 2. 6 Metode Keausan Adhesiv	13
Gambar 2. 7 Metode Keausan Abrasiv.....	15
Gambar 3. 1 Proyeksi 2D Potongan Propulsi Kapal	21
Gambar 3. 2 Proyeksi 3D Potongan Propulsi Kapal	21
Gambar 4. 1 Pengukuran perubahan massa (Δm) pada pin bahan Nitrile Rubber.	27
Gambar 4. 2 Pengukuran perubahan massa (Δm) pada pin bahan Nitrile Rubber.	28
Gambar 4. 3 Pengukuran perubahan massa (Δm) pada pin bahan Nitrile Rubber.	29
Gambar 4. 4 Pengukuran perubahan massa (Δm) pada pin bahan Polyurethane Elastomere	30
Gambar 4. 5 Pengukuran perubahan massa (Δm) pada pin bahan Polyurethane Elastomere	31
Gambar 4. 6 Pengukuran perubahan massa (Δm) dengan timbangan digital pada pin bahan Polyurethane Elastomere.	32

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4. 1 Grafik wear volume terhadap waktu dengan pembebanan 1 kg	41
Grafik 4. 2 Grafik wear volume terhadap waktu dengan pembebanan 2 kg	42
Grafik 4. 3 Grafik wear volume terhadap waktu dengan pembebanan 3 kg	43
Grafik 4. 4 Grafik specific wear rate terhadap waktu dengan pembebanan 1 kg	45
Grafik 4. 5 Grafik specific wear rate terhadap waktu dengan pembebanan 2 kg	46
Grafik 4. 6 Grafik specific wear rate terhadap waktu dengan pembebanan 3 kg	47
Grafik 4. 7 Grafik Lifetime terhadap waktu dengan pembebanan 1 kg	48
Grafik 4. 8 Grafik Lifetime terhadap waktu dengan pembebanan 2 kg	50
Grafik 4. 9 Grafik Lifetime terhadap waktu dengan pembebanan 3 kg	51

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem propulsi merupakan suatu sistem yang sangat vital pada moda transportasi laut, seperti pada kapal, dimana sistem ini dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu mesin utama, transmisi, dan alat gerak/propulsor. Ketika terjadi gangguan atau error disalah satu bagian nya, maka akan menyebabkan beberapa kerugian, seperti kehilangan kecepatan dinasnya atau tak mencapai standart, konsumsi bahan bakar tidak effisien, mempengaruhi getaran pada kapal secara keseluruhan.

Dalam bagian utama yaitu pada sistem propulsi terdapat alat gerak berupa propeler yang digerakkan oleh mesin yang sebelumnya ditransmisikan dulu dengan tujuan meneruskan gerak mesin ke gerak propulsi yang di perantarai oleh poros. Dalam poros ini terdapat bearing yang mana bearing ini bertujuan untuk melindungi poros dari gesekan langsung dengan stern tube. Pemilihan bahan yang tepat untuk bahan dari bearing ini sangat diperlukan, pasalnya bearing inilah yang melindungi langsung poros sebagai bantalan, dimana apabila terjadi kerusakan pada bearing maka akan berakibat langsung pada kerja poros, keausan merupakan suatu masalah yang sering timbul pada bantalan ini.

Keausan merupakan salah satu masalah yang sering ditemui pada bagian sebuah rangkain mesin, terutama pada rangkaian antar bagian yang bersinggungan secara langsung, apabila masalah tersebut tidak diatasi, maka akan berdampak pada meningkatnya biaya operasional atau biaya perawatan dari mesin tersebut. Bagian yang pada umumnya bersinggungan secara langsung tersebut ialah bearing. Bearing merupakan sebuah elemen mesin yang mempunyai fungsi untuk membatasi gerak relatif antar dua atau lebih komponen mesin agar selalu bergerak pada arah yang diinginkan. Bearing menjaga poros agar selalu berputar terhadap sumbu porosnya atau menjaga suatu komponen yang bergerak linier agar selalu bergerak pada jalurnya.

Keausan sendiri merupakan sebuah fenomena yang diakibatkan kontak antar komponen. Kontak antar komponen ini memiliki beberapa tipe, yaitu *static contact*, *rolling contact*, dan *sliding contact*. Kontak mekanik ini merupakan suatu hal yang penting, yang mana dengan itu dapat mengetahui struktur topografi permukaan yang mengalami deformasi.

Gaya gesek atau *friction* merupakan gaya yang ditimbulkan oleh dua benda yang saling bergesekan dan arah yang berlawanan. Gaya gesek tersebut mempunyai dua tipe yaitu gaya gesek statis and dinamis. Gaya gesek statis yaitu jika benda yang saling berkontak bergesekan tak mengalami pergerakan, jika gaya gesek dinamis ketika benda saling bergesekan tersebut menghasilkan gaya yang cukup untuk membuat benda tersebut bergerak. Gesekan yang terjadi secara terus menerus itulah yang akan menyebabkan benda yang saling kontak tersebut mengalami keausan atau *wearness*.

Pada umumnya penggunaan bearing pada *stern tube* menggunakan bahan *nitrile rubber*, yang dimana bahan tersebut memiliki beberapa kekurangan, seperti material yang dapat mengalami keausan tinggi pada beban kerja tinggi, serta umur pakai yang

cenderung kecil. Berdasarkan permasalahan diatas salah satu solusi maka dilakukan dengan cara penggantian/ replacement bearing berbahan *nitrile rubber* tersebut dengan bearing berbahan komposit *Polyurethane Elastomers*. Yang dimana komposit tersebut memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan bearing berbahan *nitrile rubber* tersebut, yaitu bahan yang ringan, tahan terhadap temperatur tinggi, tahan terhadap beban tinggi yang biasa diberikan poros propeler pada bearing, serta biaya operasional yang relatif rendah dibandingkan dengan *nitrile rubber*.

Pada penelitian ini dilakukan pengujian pada komposit *polyurethane* dengan *nitrile rubber* tersebut untuk mengetahui nilai keausannya dengan menggunakan alat uji berupa *Tribometer pin on disk*. Pengujian ini dilakukan dengan cara menggesekan benda uji yaitu pin berbahan komposit *polyurethane Elastomers* dan *nitrile rubber* dengan disk berbahan *stainless steel 316* pada alat uji *Tribometer pin on disk* ini. Dari hasil pengujian maka didapatkan nilai berupa volume aus (*wear volume*), laju keausan spesifik (*specific wear rate*), dan nilai umur pakai (*lifetime*) dari pin berbahan *polyurethane* dan *nitrile rubber*. Yang dimana diharapkan dengan dilakukannya pengujian ini dapat mengetahui nilai keausan dari komposit *polyurethane* ini dan mendapatkan kesimpulan apakah bearing berbahan *polyurethane* mempunyai performa lebih baik dari segi ketahanan ausnya dibandingkan bearing berbahan *nitril rubber* dan juga diharapkan bearing berbahan *polyurethane* dapat menjadi alternatif pengganti bearing berbahan *nitrile rubber* tersebut.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian, yaitu :

1. Bagaimana mengetahui pengaruh waktu dan beban pengujian terhadap volume keausan (*wear volume*) material *nitrile rubber* dan *Polyurethane* terhadap material *Stainless Steel 316* dengan air laut sebagai pelumas?
2. Bagaimana mengetahui pengaruh waktu dan beban pengujian terhadap laju keausan spesifik (*specific wear rate*) material *nitrile rubber* dan *Polyurethane* terhadap material *Stainless Steel 316* dengan air laut sebagai pelumas?
3. Bagaimana mendapatkan nilai umur pakai (*lifetime*) dari material *Polyurethane Elastomer* dan *Nitrile Rubber*.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat mengetahui pengaruh waktu dan beban pengujian terhadap volume keausan (*wear volume*) material *nitrile rubber* dan *Polyurethane* terhadap material *Stainless Steel 316* dengan air laut sebagai pelumas?
2. Dapat mengetahui pengaruh waktu dan beban pengujian terhadap laju keausan spesifik (*specific wear rate*) material *nitrile rubber* dan *Polyurethane* terhadap material *Stainless Steel 316* dengan air laut sebagai pelumas?
3. Dapat mengetahui nilai umur pakai (*lifetime*) dari material *Polyurethane Elastomer* dan *Nitrile Rubber*.

1.4 Batasan Masalah

Pembatasan suatu masalah digunakan untuk menghindari adanya penyimpangan maupun pelebaran pokok masalah agar penelitian tersebut lebih terarah dan memudahkan dalam pembahasan sehingga tujuan penelitian akan tercapai. Beberapa batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Komposit yang digunakan adalah *polyurethane elastomer*.
2. Tidak mencari nilai vibrasi dari pengujian yang dilakukan.
3. Tidak mencari nilai temperatur yang terjadi akibat pengaruh uji gesek ini.
4. Tidak melihat struktur mikro akibat pengujian gesek ini.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. State of The Art

Pada bagian ini dilakukan pembahasan mengenai beberapa penelitian yang melatar belakangi dan menjadi literatur pada penelitian ini

2.1.1 Jurnal Penelitian 1

“Analisis Penggunaan Foam Polyurethane Pada Kapal Ikan 5 Gt Sebagai Daya Apung Cadangan Di Pt. Jelajah Samudera Internasional Kabupaten Jepara.”

Herry Boesono dalam penelitian “Analisis Penggunaan Foam Polyurethane Pada Kapal Ikan 5 Gt Sebagai Daya Apung Cadangan Di Pt. Jelajah Samudera Internasional Kabupaten Jepara” membahas tentang manfaat dari foam polyurethane yang mana hal yang mendasarinya ialah Kapal fiber bila terjadi kebocoran di laut maka kapal akan tenggelam, hal tersebut dikarenakan massa jenis fiber lebih besar daripada massa jenis air, oleh karena itu perlu dianalisis dan dihitung seberapa banyak foam polyurethane tersebut yang diperlukan untuk mengapungkan kapal sesuai dengan berat kapal yakni 5 GT.

Pada penelitian ini menggunakan metode yaitu metode Deskriptif. Penelitian ini terdiri atas dua bagian, yakni penelitian pengamatan langsung di galangan dan penelitian skala laboratorium.

Hasil dari penelitian ini ialah Hasil uji daya apung pada Foam Polyurethane yaitu terbukti bahwa Foam Polyurethane dapat menahan beban fiber. Berdasarkan uji apung diketahui bahwa 15 gr foam polyurethane dapat menahan beban fiber sebesar 1 kg; Hasil perhitungan kebutuhan jumlah dan harga foam polyurethane yang diperlukan untuk mengapungkan kapal ukuran 5 GT yaitu diketahui kebutuhan minimum foam polyurethane yakni sebesar 45 kg. Pada kebutuhan 45 kg foam polyurethane, jika kapal mengalami kebocoran dilaut maka kondisi kapal akan tetap terapung sama dengan permukaan air.

Pada penelitian memiliki mempunyai kelemahan yaitu tidak dilakukan mengenai pengujian *wearness*, *bending*, dan *yield stress*, serta sifat-sifat material lainnya.

2.1.2 Jurnal Penelitian 2

“Pengaruh Penguatan Polyurethane Rigid Foam Dengan Square Cells Terhadap Tegangan Bending Dan Tekan Panel Sandwich Sebagai Bahan Lambung Haluan Perahu.”

Agus Dwi Catur dalam penelitian “Pengaruh Penguatan Polyurethane Rigid Foam Dengan Square Cells Terhadap Tegangan Bending Dan Tekan Panel Sandwich Sebagai Bahan Lambung Haluan Perahu” membahas tentang komposit sandwich yang diuji diperuntukkan sebagai bahan lambung haluan perahu. Komposit sandwich dengan core yang dikuatkan dibuat, diuji tekan dan bending untuk mengetahui pengaruh variasi ukuran

penguat core terhadap kekuatan tekan dan bending komposit sandwich. Core berupa polyurethane rigid foam yang diperkuat dengan square cells kertas buffalo yang telah dikeraskan dengan polyester.

Pada penelitian ini menggunakan metode yaitu metode deskriptif. Penelitian ini dilakukan pada skala laboratorium.

Hasil dari penelitian ini ialah dengan semakin kecil dimensi (ukuran) sel dari square cells berat jenis komposit sandwich semakin tinggi. Berat jenis komposit sandwich yang paling tinggi adalah pada variasi panjang sisi square cells 10 mm yaitu sebesar 352,89 kg/m³. Dengan semakin kecil dimensi (ukuran) sel dari square cells kekuatan bending komposit sandwich semakin tinggi. Kekuatan bending komposit sandwich paling tinggi adalah pada komposit sandwich dengan variasi panjang sisi square cells 10 mm yaitu sebesar 61,776 Mpa.

Pada penelitian memiliki mempunyai kelemahan yaitu tidak dilakukan mengenai pengujian *wearness*, *bending*, dan *yield stress*, serta sifat-sifat material lainnya.

2.1.3 Jurnal Penelitian 3

“Karakterisasi Sifat Fisik Dan Sifat Mekanik Komposit

Polyurethane/Serbuk Bambu Sebagai Aplikasi Panel Pintu Mobil.”

Siti Komariyah dalam penelitian “Karakterisasi Sifat Fisik Dan Sifat Mekanik Komposit Polyurethane/Serbuk Bambu Sebagai Aplikasi Panel Pintu Mobil” membahas tentang Panel pintu yang merupakan bagian badan mobil yang pada umumnya terbuat dari material termoplastik dengan kekuatan lentur antara 11-25 MPa. Akan tetapi, sejak tahun 2015, European Union’s end-of-life of Vehicles (ELV) menekankan untuk menggunakan material daur ulang, yang menjadikan penambahan serat natural pada beberapa badan mobil sebagai trend terbaru. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis komposit polyurethane/serbuk bambu (PU-SB)

Pada penelitian ini menggunakan metode yaitu metode deskriptif. Penelitian ini dilakukan pada skala laboratorium.

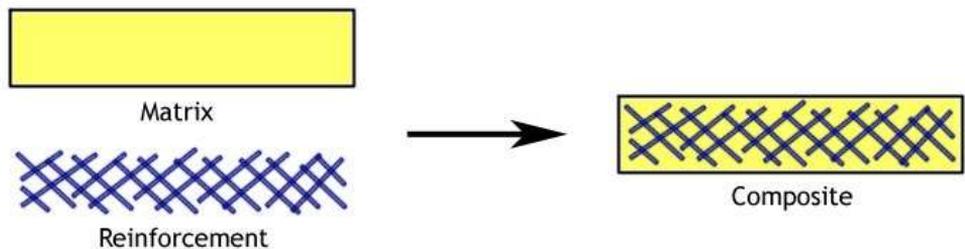
Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis komposit polyurethane/serbuk bambu (PU-SB) sebagai material kandidat panel pintu mobil dan mengetahui pengaruh penambahan serbuk bambu pada komposit PU-SB.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Komposit

Komposit adalah suatu jenis bahan baru hasil rekayasa yang terdiri dari dua atau lebih bahan dengan sifat masing-masing bahan berbeda satu sama lainnya baik itu sifat kimia maupun fisiknya dan tetap terpisah dalam hasil akhir bahan tersebut (bahan komposit). Material komposit tersusun atas dua tipe material penyusun yakni matriks dan fiber (reinforcement). Keduanya memiliki fungsi yang berbeda, fiber berfungsi sebagai material rangka yang menyusun komposit, sedangkan matriks berfungsi untuk merekatkan fiber dan menjaganya agar tidak berubah posisi. Campuran keduanya akan menghasilkan material yang keras, kuat, namun ringan. Fiber memiliki sifat yang mudah untuk diubah bentuknya dengan cara dipotong atau juga dicetak sesuai dengan kebutuhan desainnya. Selain itu, perbedaan pengaturan susunan fiber akan merubah pula sifat-sifat komposit yang dihasilkan.

Matriks umumnya terbuat dari bahan resin, yang berfungsi sebagai perekat material fiber sehingga tumpukan fiber dapat merekat dengan kuat. Resin akan saling mengikat material fiber sehingga beban yang dikenakan pada komposit akan menyebar secara merata. Selain itu resin juga berfungsi untuk melindungi fiber dari serangan bahan kimia atau juga kondisi cuaca ekstrim yang dapat merusaknya. Selain kemudahan untuk medesain komposit ke dalam bentuk apapun, salah satu alasan utama penggunaan material komposit adalah didapatkannya kekuatan material tinggi dengan bobot yang jauh lebih ringan daripada material-material konvensional.



Gambar 2. 1 Ilustrasi Penyusun Komposit

2.2.2 Polyurethane

Polyurethane adalah suatu bahan campuran atau hasil pengisolvenan antara karet dan plastik sehingga didapatkan pelarutan material yang memiliki keunggulan sangat tahan gesek, tahan aus, tahan terhadap beberapa kimia ringan, stabil dalam suhu dingin dan panas. Kimia suatu bahan atau campuran yang didalamnya terdapat kandungan nitrogen, karbon dioksida dan oksigen, *Polyurethane* merupakan bahan *polymeric* yang mengandung berbagai kumpulan *urethane* (-NH-CO-O-) yang terbentuk dari reaksi antara *polyol* (alkohol dengan lebih dari dua grup hidroksil reaktif per molekul) dengan *diisocyanate* atau *polymeric isocyanate* dengan ketersediaan katalis yang sesuai serta bahan-bahan tambahan.



Gambar 2. 2 Material Polyurethane

Polyurethane untuk pertama kalinya dikembangkan sebagai pengganti kayu. Keanekaragaman kegunaan polimer organik baru ini serta kemampuannya dalam menggantikan bahan-bahan yang langka, telah mendorong penggunaannya secara luas. Saat ini *Polyurethane* diproduksi dan digunakan dalam skala industri, dan dapat dipesan dengan diformulasikan untuk kegunaan tertentu. *Polyurethane* dapat ditemukan pada bahan pelapis dan bahan perekat, elastomers, dan busa yang keras. *Polyurethane* memiliki keunikan karakteristik tersendiri serta memiliki beberapa keunggulan dibandingkan material lain untuk menghasilkan dan atau mendukung suatu proses kegiatan produksi.

2.2.3 Polyurethane Elastomer

Polyurethane elastomer merupakan solid *polyurethane* yang dapat dijadikan bahan pelapis maupun perekat dari suatu barang agar terlihat lebih bagus dan tahan lama yang juga mempunyai sifat yang sangat elastis, lentur, tahan terhadap abrasi, tahan benturan dan tahan terhadap cuaca / faktor lingkungan.



Gambar 2. 3 Material Polyurethane

Pada dasarnya elastomer polyurethane dibagi menjadi 3 yaitu :

1. T.P.U/ Thermoplastic Polyurethane
2. Millable polyurethane
3. Casted polyurethane

Berdasarkan ke 3 *elastomer polyurethane* ini, yang paling baik *mechanical properties*-nya adalah casted polyurethane, dimana proses pembuatannya terdiri dari 1 hingga 3 komponen liquid yang dipanaskan pada temperatur tertentu dan dituang dalam suatu cetakan. Beberapa keunggulan *polyurethane elastomer* :

- Amat sangat tahan aus
- Amat sangat tahan pukulan
- Amat sangat tahan gesek
- Cocok untuk heavy duty industry
- Kekenyalan yang sangat baik dan tahan terhadap kelelahan
- Tetap flexible pada temperature rendah
- kemampuan isolasi yang baik
- Ketahanan terhadap keburukan yang disebabkan oleh atmosfer, oksigen dan ozon
- Tahan terhadap oli, lemak dan beberapa bahan kimia

2.2.4 Nitril Rubber

Karet nitril juga dikenal sebagai *Buna-N, Perbunan, acrylonitrile butadiene rubber*, dan NBR, adalah kopolimer karet sintetis 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 sintetis, dan lain – lain. NBR lateks juga dapat digunakan 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 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 korosinya 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*.

2.2.6 Bantalan Stern Tube

Bantalan stern tube kapal adalah suatu elemen atau bagian yang memiliki kemampuan untuk menumpu poros yang berbeban, sehingga putaran dan gerakan bolak – baliknya dapat berlangsung secara halus, aman dan panjang umur. Bantalan yang akan menumpu poros baling– baling haruslah cukup kokoh dan kuat untuk memungkinkan poros baling – baling serta elemen mesin pendukung lainnya dapat bekerja dengan baik, jika bantalan tersebut jika berfungsi dengan baik maka akan menyebabkan penurunan kinerja sistem poros, sehingga tidak dapat bekerja sebagai mana biasanya. Kapal yang sedang berlayar merupakan suatubenda yang terapung dan bergerak di mdia air dimana untuk menjalankannya memerlukan kerjasama yang baik antara mesin, poros baling– baling, bantalan dan baling–baling itu sendiri. Sehingga kapal dapat bergerak sesuai dengan kemampuan alat penggeraknya.

Menurut “Sularso dan Kiyukatsu Suga dalam elemen mesin“ bantalan dari *stern tube* dapat dikelompokkan sebagai berikut :

1. Berdasarkan gerakan bantalan terhadap poros:
 - a. Bantalan lucur

Pada bantalan ini terjadi gesekan luncur antara poros dan bantalan karena permukaan poros ditumpu oleh permukaan bantalan dengan perantaraan lapisan pelumas.
 - b. Bantalan gelinding

Pada bantalan ini terjadi gesekan gelinding antara bagaian yan berputar dengan yang diam melalui elemen gelinding.
2. Berdasarkan arah beban terhadap poros
 - a. Bantalan aksial

Arah beban yang ditumpu bantalan ini adalah tegak lurus sumbu poros.
 - b. Bantalan radial

Arah beban bantalan sejajar dengan sumbu poros.
 - c. Bantalan gelinding khusus

Bantalan ini dapat menumpu beban yang arahnya sejajar tegak lurus sumbu poros
3. Berdasarkan bahan bantalan
 - a. Bantalan kayu

Bantalan poros baling baling yang bahannya terbuat dari kayu dapat berupa Silinder dan dapat berupa segmen, bantalan yang berupa silinder kadang – kadang dapat langsung dimasukan pada tabung poros baling – baling (tanpa rumah bantalan) ataupun dengan rumah bantalan sesdangkan bantalan kayu yang berupa segmen harus mempunyai rumah bantalan. Untuk bantalan kayu digunakan pada poros propeller yang terbuat dari baja karbon (Carbon steel).

Selain itu bantalan dipakai pada poros propeller dengan menggunakan pelumasan air laut dan bagian dalamnya menggunakan penindis cek spalling untuk menghambat rembesan air laut yang masuk melalui poros.



Gambar 2. 4 Bearing sterntube kayu poghout

Bantalan darai karet digunakan pada poros propeller yang terbuat dari stainless steel dan carbon steel yang system pelumasan porosnya menggunakan air laut dengan memakai penindis cek spalling untuk menghambat rembesan air yang masuk dari poros.

Kelebihan dari bantalan karet adalah mempunyai koefisien gesekan yang rendah, apabila air sebagai pelumasnya, karet mempunyai daya tahan yang lebih baik terhadap keausan, serta konstruksinya sederhana dan murah, selain itu juga memberikan ketahanan yang baik, dapat meredam bunyi serta getaran vertikal dari poros baling-baling.



Gambar 2. 5 Bearing sterntube nitrile rubber

c. Bantalan logam mental

Logam metal merupakan campuran dengan unsur induk adalah Sn dengan campuran Sb, Cu atau kadang Pb. Campuran-campuran ini akan berpengaruh pada jumlah presentase tiap-tiap unsur yang tergantung atas kegunaan logam metal tersebut. Oleh karena itu bantalan logam metal dengan pelumasan minyak lumas diperlukan alur yang arahnya memanjang agar pelumasan dapat dicapai seluh permukaan poros baling-baling pada bantalan. Dengan adanya kelonggaran antara poros baling-balaing dan bantalan, secara teoritis minyak lumas akan keluar terus, sehingga ini dapat dihindari dengan adanya cederval (oil seal gland).



Gambar 2.6 *Bearing sterntube logam*

2.2.7 Wearness (Keausan)

Keausan umumnya didefinisikan sebagai kehilangan material secara progresif. Material jenis apapun akan mengalami keausan dengan mekanisme yang beragam. Berikut mekanisme- mekanisme yang terdapat pada fenomena keausan.

a. Keausan Abrasif

Keausan abrasif terjadi bila suatu partikel keras (*asperity*) dari material tertentu meluncur pada permukaan material lain yang lebih lunak sehingga terjadi penetrasi atau pemotongan material yang lebih lunak.

b. Keausan Adhesif

Keausan *adhesive* terjadi bila kontak permukaan dari dua material atau lebih mengakibatkan adanya pelekatan satu sama lain yang saling mengunci dan pada akhirnya terjadi pelepasan atau pengoyakan salah satu material akibat adanya tekanan local yang semakin tinggi pada partikel keras (*asperity*) dan mengakibatkan *asperity* cacat.

c. Keausan *Fatigue* (lelah)

Permukaan yang mengalami beban (*surface in compression*) dan berulang akan mengarah pada pembentukan retak – retak mikro (*microcracks*), retak – retak tersebut pada akhirnya menyatu dan menghasilkan pengelupasan material (*cracks*). Tingkat keausan sangat tergantung pada tingkat pembebanan.

d. Keausan Korosif atau Keausan

Oksidasi Pada prinsipnya mekanisme ini dimulai dengan adanya perubahan kimiawi material di bagian permukaan oleh faktor lingkungan yang menghasilkan pembentukan lapisan pada permukaan dengan sifat yang berbeda dengan material induk. Sebagai konsekuensinya, material pada lapisan permukaan akan mengalami keausan yang berbeda. Hal ini mengarah kepada perpatahan interface antara lapisan permukaan dan material induk dan akhirnya seluruh lapisan permukaan itu akan tercabut.

e. Keausan Erosi (*Erosion wear*)

Proses erosi disebabkan oleh gas dan cairan yang membawa partikel padatan yang membentur permukaan material.

Metode Menghitung Volume yang Tergerus

Terdapat 2 metode yang dapat digunakan dalam menghitung volume yang tergerus, yakni metode keausan adhesif dan metode keausan abrasif.

2.2.8 Metode keausan adhesif

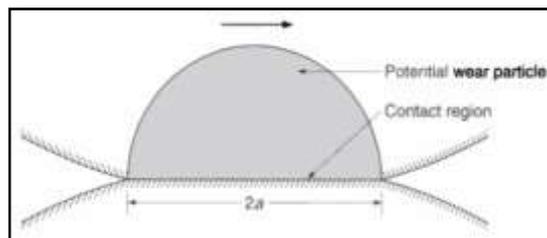
Gambar 2.9 adalah gambar hipotesis model permukaan partikel dua material yang sedang mengalami gesekan pada saat *sliding*. Jika diasumsikan titik kontak n dan total jumlah titik kontak konstan selama *sliding*, dengan asumsi radius partikel a seperti pada Gambar 2.9, maka volume keausan dari partikel yang berbentuk setengah bola adalah:

$$\frac{1}{2} \cdot \text{volume bola} = \frac{1}{2} \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot a^3 = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot a^3 \quad (2.1)$$

Berdasarkan asumsi diatas, volume keausan V untuk n titik kontak setelah menempuh *sliding distance* L , maka dapat dirumuskan:

$$V = n \cdot \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot L/2a \cdot a^3 \quad (2.2)$$

Gambar Hipotesis Model Partikel Setengah Bola Yang bergesekan pada saat sliding



Gambar 2. 6 Metode Keausan Adhesif

Karena tekanan kontak dalam kondisi deformasi plastis sama dengan nilai kekerasan (*hardness*) H dari material

yang aus dan beban normal F diberikan pada material, maka luasan total kontak dapat dinyatakan:

$$n \cdot \pi \cdot a^2 = \frac{F}{H} \quad (2.3)$$

Dengan mensubstitusi persamaan (2.2) pada persamaan (2.3) akan diperoleh:

$$V = \frac{1}{3} \frac{F \cdot L}{H} \quad (2.4)$$

Persamaan (2.4) menunjukkan bahwa volume keausan adhesif proporsional dengan beban normal dan *sliding distance*, tetapi tidak proporsional dengan kekerasan dari material.

Untuk mengakomodasi semua variabel, parameter K_{ad} diperkenalkan sebagai pengubah, sehingga volume keausan menjadi:

$$V = K_{ad} \cdot \frac{F \cdot L}{H} \quad (2.5)$$

Dimana,
 V = Volume Keausan
 K_{ad} = Koefisien Keausan Adhesif F = Beban
 L = Panjang Lintasan Gesek
 H = Kekerasan Material

Persamaan (2.5) biasa disebut sebagai persamaan Archard, dimana K_{ad} disebut koefisien keausan untuk keausan adesif, secara fisik K_{ad} adalah fraksi volume keausan pada daerah kontak plastis. Untuk material logam, koefisien gesekan K_{ad} bervariasi diantara 10^{-7} hingga 10^{-2} tergantung kondisi operasional dan *properties* material (Archard, 1953; Hirst, 1957)^[9].

Dalam *text book "Friction, wear, Lubrication"* oleh Ludema (1996)^[4] persamaan Archard dapat juga dituliskan sebagai berikut:

$$\Psi = k \cdot \frac{W \cdot v}{H} \quad (2.6)$$

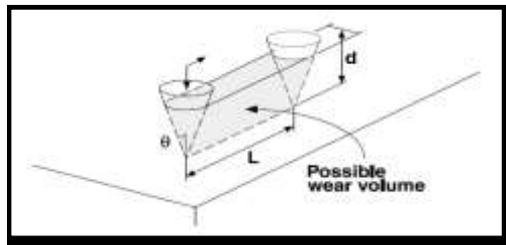
Ψ adalah *time rate of wear* atau *wear rate* dengan satuan m^3/s , W adalah beban dengan satuan N, v adalah *sliding speed* dengan satuan m/s, H adalah *hardness* material dengan satuan Pa, sedangkan k adalah *wear coefficient* tanpa satuan.

2.2.9 Metode keausan abrasif

Untuk mengetahui volume keausan material yang ditimbulkan oleh keausan abrasif, diasumsikan sebuah model kontak berbentuk kerucut bersudut θ dan kedalaman indentasi abrasif d seperti ditunjukkan pada Gambar 2.10. berikut.

Berdasarkan model, volume keausan (V) yang disebabkan identor setelah menempuh *sliding distance* sejauh (L) adalah:

$$V = d^2 \cdot \tan \theta \cdot L \quad (2.7)$$



Gambar 2. 7 Metode Keausan Abrasiv

Karena tekanan normal kontak pada kondisi plastis diasumsikan nilai *hardness* H dari material yang aus dan luasan kontak $\pi \cdot (d \cdot \tan \theta)^2 / 2$ dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{\pi}{2} \cdot \pi \cdot (d \cdot \tan \theta)^2 = \frac{W}{H} \quad (2.8)$$

Substitusi persamaan (2.7) kedalam persamaan (2.8) diperoleh volume keausan V sebagai berikut:

$$V = \frac{2}{\pi \cdot \tan \theta} \cdot \frac{WL}{H} \quad (2.9)$$

Untuk mengakomodasi semua variabel, parameter K_{ab} diperkenalkan sebagai pengubah, sehingga volume keausan menjadi:

$$V = K_{ab} \cdot \frac{WL}{H} \quad (2.10)$$

Dimana,

V = Volume Keausan

K_{ab} = Koefisien Keausan Abrasif W = Beban

L = Panjang Lintasan Gesek H = Kekerasan Material

Keausan abrasif untuk logam bervariasi antara 10^{-4} sampai 10^{-1} (Rabinowicz, 1980) tergantung dari kondisi kontak dan

properties material. [7]

Perhitungan nilai volume keausan yang terjadi juga dapat menggunakan metode pengukuran dengan menggunakan nilai perbedaan massa benda sebelum dan sesudah terjadi keausan beserta nilai massa jenisnya, yang mana didapatkan rumus nya yaitu :

$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\rho}$$

Dimana,

Δm = Perubahan massa
 ρ = Densitas *wearness object*

2.2.10 Menghitung Laju Keausan

Dalam mendeterminasikan keausan, teknik pengukuran yang berbeda dapat digunakan. Hal tersebut disebabkan oleh volume keausan, V , yang dapat diasumsikan merupakan fungsi dari *sliding distance*, L , kekerasan dari material yang lebih lunak, H , pembebanan yang diberikan, W , dan *sliding velocity*, \tilde{V} (persamaan 2.11).

$$V = f(L, W, H, \tilde{V})$$

Berdasarkan standar *German DIN 50321*, “*Wear- quantities*”, keausan dapat dideteksi dengan mengukur secara langsung kuantitas keausan, yaitu dengan mengukur:

Perubahan geometri pada spesimen:

1. Perubahan pada dimensi secara linier
2. Perubahan pada *cross-sections*
3. Perubahan pada volume
4. Perubahan massa pada spesimen
5. Jumlah dari *worn material-loss*

Atau dengan mengukur kuantitas keausan secara relatif, yaitu *wear rates* sebagai berikut:

1. *The wear-time-ratio (wear velocity)*
2. *The wear-distance-ratio*

Atau dengan mengukur koefisien keausan (*wear coefficient*) dan laju keausan spesifik (*specific wear rate*) yang didefinisikan sebagai berikut:

$$K' = \frac{\Delta V}{F.L}$$

Dimana,	K'	=	<i>Specific wear rate</i>
	K	=	<i>Wear coefficient</i>
	ΔV	=	Volume Aus
	F	=	Beban
	L	=	Jarak lintasan gesek
	H	=	Kekerasan material

Atau dengan mengukur *dimensionless Archard's wear coefficient* yang didefinisikan sebagai berikut:

$$K = \frac{\text{wear volume.hardness}}{\text{load.distance}}$$

2.2.11 Study Literatur

Pada tahap ini dilakukan *study* mengenai penelitian yang dilakukan yaitu aplikasi komposit *polyurethane elastomer* pada bantalan *stern tube*, untuk mendapatkan referensi dari penelitian sebelumnya yang telah tercantum pada *paper position*.

1. Standarisasi Pengujian
 - 1.1 Standarisasi pengujian mengacu pada ISO 845 untuk standarisasi pembuatan komposit Polyurethane Elastomere.
 - 1.2 ASTM g99 untuk standarisasi metode pengujian wearness menggunakan tribometer.
 - 1.3 Penentuan nilai gaya yang diberikan pada benda uji pada tribometer disesuaikan dengan kebutuhan pengujian, maka diambil besar nilai gaya mengacu pada ABS (*American Bureau of Shipping*) tentang besaran gaya yang diijinkan untuk bearing dengan material tertentu.

Dilihat dari tabel bahwa untuk bearing dengan material komposit Polyurethane Elastomere masuk pada penggolongan tekanan yang diijinkan sebesar 5,5 N/mm², maka untuk variasi pengujian ditentukan besarnya ialah sebesar 1 N/mm², 2 N/mm², 3 N/mm²

TABLE 6
Allowable Bearing Surface Pressure (2012)

<i>Bearing Material</i>	<i>p_a</i> †		
	<i>N/mm²</i>	<i>kgf/mm²</i>	<i>psi</i>
lignum vitae	2.5	0.25	360
white metal, oil lubricated	4.5	0.46	650
synthetic material with hardness between 60 and 70 Shore D *	5.5	0.56	800
steel § and bronze and hot-pressed bronze-graphite materials	7.0	0.71	1000

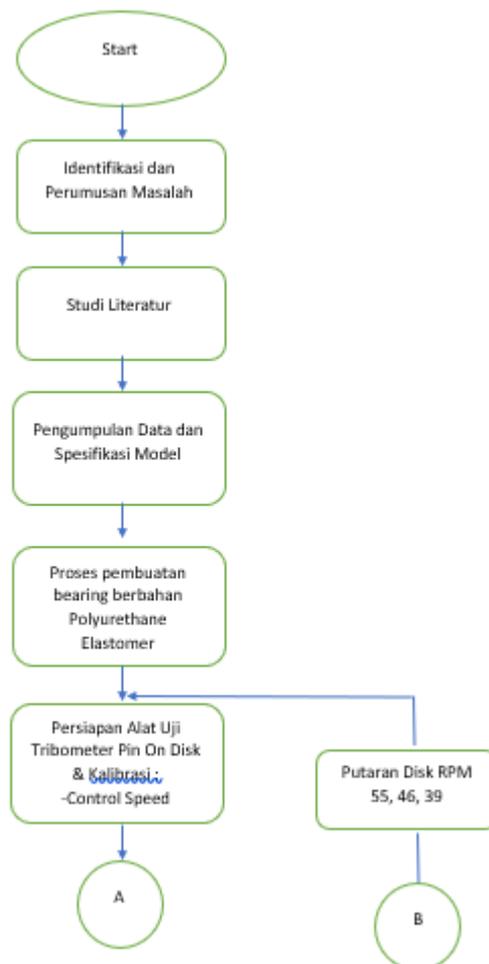
Sumber : American Bureau of Shipping, Part 3 Chapter 2 Section 14

2. Menurut standarisasi ASTM g99 “Standart Test Method for Wear Testing with Pin on Disk” ukuran pin sebagai spesimen uji keausan memiliki diameter antara 2 – 10 mm, dan untuk ukuran plate harus memiliki ukuran diameter antara 30 – 100 mm dengan ketebalan plate antara 2 – 10 mm, maka dari itu mengacu pada standarisasi pengujian diatas, maka pengujian ini menggunakan spesimen berupa pin berukuran 10 mm dan plate berukuran 100 mm dengan ketebalan 2 mm.
3. Menurut standarisasi ASTM g99 “Standart Test Method for Wear Testing with Pin on Disk” pengukuran *wearness* harus berdasarkan acuan panjang lintasan *wearness* atau *sliding distance* dari *wear track*, namun untuk nilainya disesuaikan dengan kebutuhan pengujian, maka untuk itu ditentukan bahwa panjang *sliding distance* pada pengujian ini sebesar 350 m.

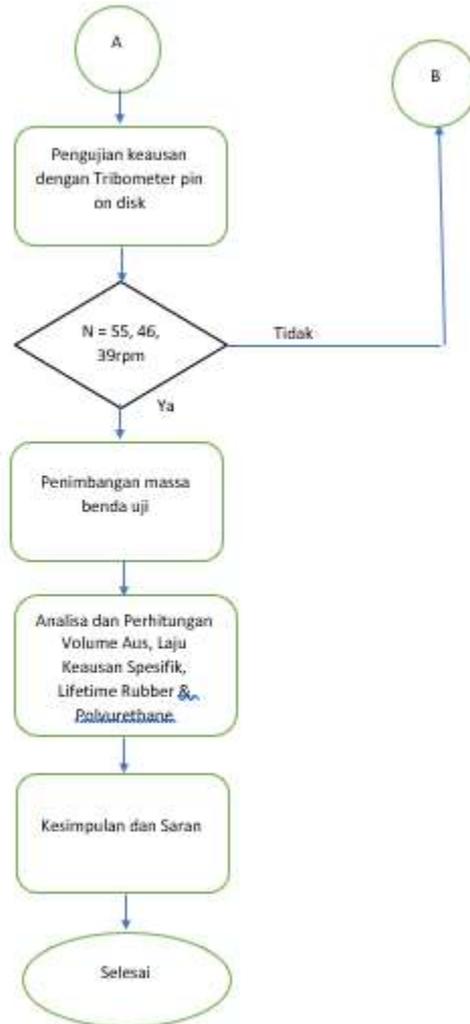
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada Penelitian kali ini akan menggunakan metode eksperimen. Eksperimen akan dilakukan sedemikian rupa untuk melakukan pendekatan kepada tujuan dari penelitian ini, yaitu berupa pengujian Keausan pada komposit berbahan Polyurethane Elastomere menggunakan alat uji Tribometer tipe pin on disk. Berikut akan dipaparkan proses eksperimen pengujian hingga mendapatkan nilai Keausan dan Umur pakai.

3.1 Flow Chart Penelitian



Eksperimen	
- Variasi Beban	
	1 Kg
	2 Kg
	3 Kg
- Variasi Waktu Pengujian	
	50 menit
	60 menit
	70 menit

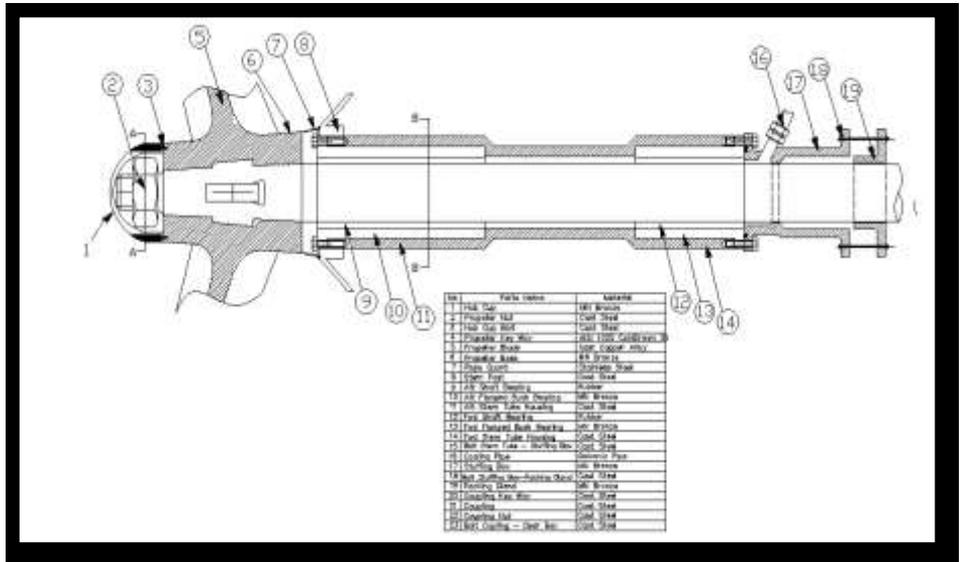


a. Study Literatur

Pada tahap ini dilakukan *study* mengenai penelitian yang dilakukan yaitu aplikasi komposit *polyurethane elastomer* pada bantalan *stern tube*, untuk mendapatkan referensi dari penelitian sebelumnya yang telah tercantum pada *paper position*.

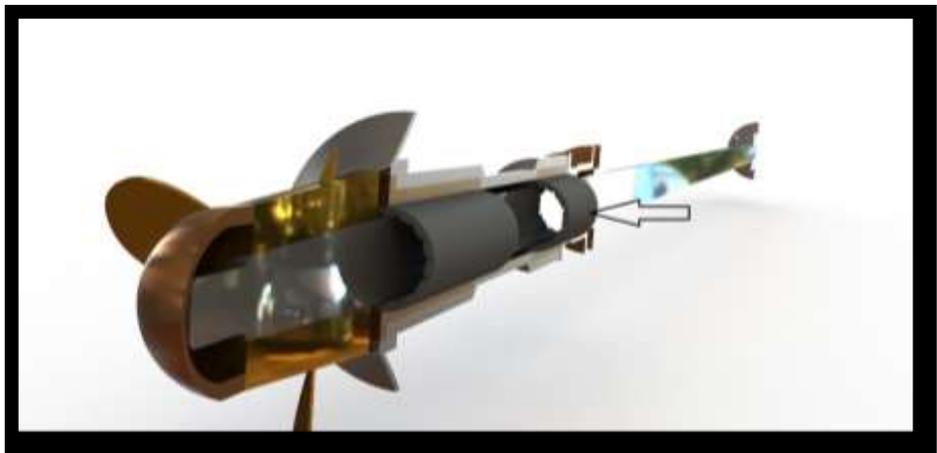
b. Pengumpulan Data & Spesifikasi Model

Pada tahap ini dikumpulkan data mengenai material *polyurethane elastomer* dijadikan bahan untuk dilakukan proses simulasi dan *polyurethane elastomer* dimodelkan menjadi bantalan *stern tube*.



Gambar 3. 1 Proyeksi 2D Potongan Propulsi Kapal

Gambar diatas merupakan gambar 2D dari *Software AutoCad* yang mana menunjukkan letak posisi bearing sterntube yang akan dilakukan penggantian dengan bearing berbahan *Polyurethane Elastomere* ditunjukkan oleh nomer 12 pada gambar berupa *Forward Shaft Bearing*.



Gambar 3. 2 Proyeksi 3D Potongan Propulsi Kapal

Pada gambar diatas merupakan gambar 3D dari *Software SolidWork* berupa gambar potongan propulsi kapal, yang mana dapat dilihat pada gambar terdapat bearing pada stern tube yang akan dilakukan penggantian dengan bearing berbahan baku *Polyurethane Elastomere*, ditunjukkan oleh tanda panah yang berupa *Forward Shaft Bearing*.

c. Pembuatan *Polyurethane Elastomer*

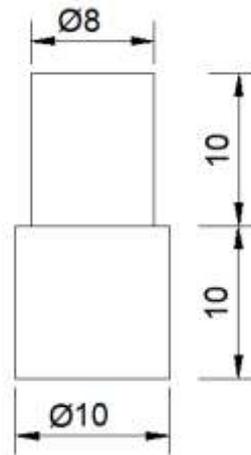
Pada tahap ini *polyurethane elastomer* dibuat menjadi model jadi bantalan *stern tube* untuk dibandingkan dengan bantalan *stern tube* yang umumnya terbuat dari material kayu pokhout ataupun rubber.

Pada eksperimen ini dilakukan pengujian dengan campuran komposit yang telah ditentukan yaitu dari bahan komposit *Polyurethane*.

d. Eksperimen uji keausan

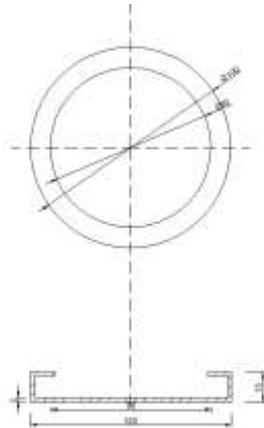
Pada tahap ini dilakukan eksperimen mengenai *wearness* pada material komposit *polyurethane elastomer*, menggunakan mesin *Tribometer pin on disk* dengan skema:

1. Komposit *Polyurethane elastomer* dan *Nitrile Rubber* dicetak berbentuk pin silinder pejal berdiameter 10 mm.
(Menggunakan dasar pengujian *ASTM g99 “Standart Test Method for Wear Testing with Pin on Disk”* range diameter spesimen pin adalah 2 – 10 mm).



Gambar 3.3 Spesimen Pin
Bahan Rubber NBR & Polyurethane

2. Pembentukan Steel 316 berupa disk dengan diameter 100 mm.
(Menggunakan dasar pengujian *ASTM g99 “Standart Test Method for Wear Testing with Pin on Disk”* range diameter spesimen plate adalah 30 – 100 mm, thickness 2 – 10 mm).



Gambar 3.4 Spesimen Disk
Bahan Stainless Stell 316

3. Menimbang massa dari pin berbahan komposit dan rubber yang diuji untuk dimasukkan ke metode perhitungan untuk mendapatkan nilai volume aus
4. Perhitungan putaran (RPM) didapatkan melalui perhitungan dari panjang weartrack dan waktu pengujian, yang mana panjang *wear track* dibuat konstan (350 m), dan variabel waktu pengujian adalah 50, 60, 70 menit sehingga akan didapatkan besaran RPM masing-masing dengan menggunakan rumus:

$$RPM = \frac{S}{\pi \cdot d \cdot t}$$

Keterangan :

t = waktu pengujian (menit)

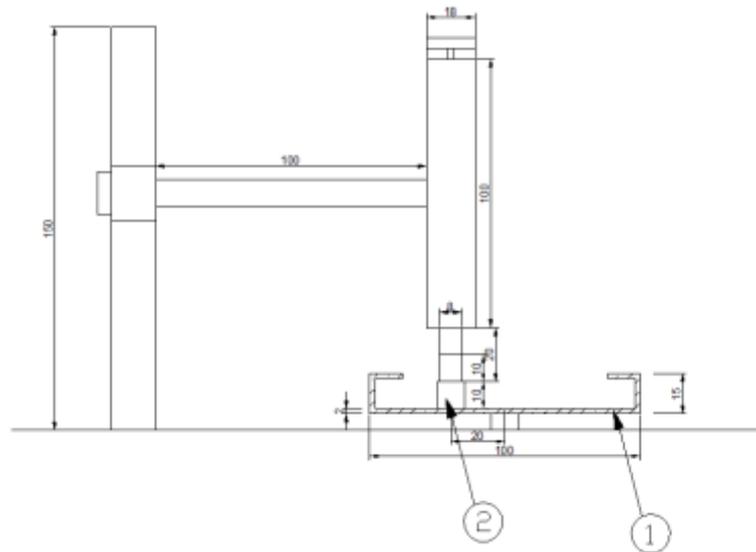
s = panjang track pin (meter)

d = diameter track pin (meter)

sehingga v_1 , v_2 , v_3 dapat ditentukan dengan menggunakan rumus:

$$V = \frac{S}{t \cdot 60}$$

5. Dilakukan pengujian keausan pada alat uji tribometer pin on disk dengan variasi waktu running 50 menit, 60 menit, dan 70 menit dan variasi pembebanan 1 kg, 2 kg, 3 kg dengan panjang lintasan sebesar 350 m berdasarkan standarisasi ASTM g99, yang mana panjang lintasan merupakan acuan sebagai jarak yang harus ditempuh saat penggetesan berlangsung untuk sebuah pengujian *wearness* menggunakan *tribometer pin on disk*, dan untuk besarnya disesuaikan dengan kebutuhan pengujian.



Gambar 3.5 Spesimen Uji Pin & Disk Terpasang

Keterangan gambar :

No	Part Name	Material	Keterangan
1	Disk	Stainless Steel 316	Berputar dengan RPM 55 ; 46 ; 39
2	Pin	Rubber Nitril & Polyurethane	Menekan disk dengan besaran beban 1, 2 ,3 Kg

e. Pengamatan hasil uji

Pada proses pengamatan ini yang pertama dilakukan penimbangan massa benda uji untuk mendapatkan delta massa nya untuk menentukan nilai volume keausannya.

f. Analisa

Pada tahap ini dilakukan analisa mengenai eksperimen yang telah dilakukan dan hasilnya sehingga apakah *polyurethane elastomer* dapat dijadikan bantalan *stern tube* sebagai pengganti bantalan berbahan rubber. Hasil yang akan didapatkan meliputi beberapa data, yaitu nilai volume aus (*wearness Volume*), nilai laju keausan spesifik (*Spesific Wear Rate*), dan umur pakai (*Lifetime*).

3.2. Perancangan Eksperimen (*Wearness Test*)

Hasil eksperimen ini merupakan pengujian untuk mendapatkan perbandingan nilai wearness antara komposit *polyurethane* dan *nitrile rubber* (NBR) bergesekan dengan *stainless steel AISI 316* menggunakan peralatan tribometer *pin on disk* dengan pelumasan air laut.

Bahan	Load (Kg)	Speed Control	Sliding Speed V (m/s)	Time (menit)	Mo (gr)	Ma (gr)	Δm (gr)	ρ (gr/mm ³)	Sliding Distance L (m)	F (N)	ΔV (mm ³)	K" (mm ³ /Nm)
Rubber	1			50					350			
	1			60					350			
	1			70					350			
Bahan	Load (Kg)	Speed Control	Sliding Speed V (m/s)	Time (menit)	Mo (gr)	Ma (gr)	Δm (gr)	ρ (gr/mm ³)	Sliding Distance L (m)	F (N)	ΔV (mm ³)	K" (mm ³ /Nm)
Polyurethane	1			50					350			
	1			60					350			
	1			70					350			

Keterangan:

m_o = massa pin awal sebelum pengujian m_a = massa pin akhir setelah pengujian.

Δm = $m_o - m_a$ (perubahan massa pin atau volume aus)

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

$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\rho}$$

Dimana,

Δm = Perubahan massa

= Densitas *wearness object*

Maka *specific wear rate* K dapat dicari dengan rumus

$$K' = \frac{\Delta V}{F.L}$$

Dimana,	K'	= Specific wear rate
	K	= Wear coefficient
	ΔV	= Volume Aus
	F	= Beban
	L	= Jarak lintasan gesek
	H	= Kekerasan material

3.3 Spesifikasi Spesimen Uji

1. Polyurethane Elastomer

- Nama Material : *Polyurethane Elastomer*
- Density : 1.175 kg/m³
- Konduktivitas Thermal : 0.19 W/mK
- Tensile Strength, Ultimate : 196-10400 psi
- Modulus of Elasticity : 400.000 psi
- Melting Point : 100-230 °C
- Hardness : 101 Mpa

2. Nitril Rubber

- Nama Material : *NBR, Acrylonitrile-Butadienen Rubber*
- Density : 0,93 kg/m³
- Max Service Temp : 120 °C
- Tensile Strength, Ultimate : 1000-3500 psi
- Hardness : 65 Mpa

3. Stainless Steel 316

- Nama Material : *Steel 316*
- Density : 7,99 g/cc
- Hardness : 79
- Tensile Strength, Ultimate : 84000 psi
- Modulus of Elasticity : 193 GPa

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dilakukan pembahasan dan analisa data dari hasil pengujian tentang volume keausan, laju keausan dan umur pakai (*lifetime*) dari material *Nitrile Rubber* (NBR) dan material alternatif yaitu *Polyurethane Elastomere* (PU) masing – masing material bergesekan dengan *Stainless Steel* AISI 316 dengan menggunakan air laut sebagai media pelumasan.

4.1 Data Hasil Pengujian

4.1.1 *Nitrile Rubber* (NBR)

Hasil pengujian laju keausan dilakukan pada material uji berbahan *Nitrile Rubber* (NBR) bergesekan dengan disk berbahan *Stainless Steel* AISI 316 dan menggunakan air laut.

4.1.1.1 Data Hasil Pengujian *Nitrile Rubber* dengan Pembebanan 1 kg.

Pada pengujian ini akan dilakukan analisa tentang volume keausan, laju keausan, dan umur pakai. Dan untuk itu dibutuhkan nilai pengujian berupa perubahan massa sebelum dan sesudah pengujian (Δm). Berikut merupakan hasil pengujian berupa perubahan massa (Δm) untuk pin berbahan *Nitrile Rubber* pada pembebanan pengujian 1 kg.



Gambar 4. 1 Pengukuran perubahan massa (m) pada pin bahan Nitrile Rubber.

Gambar diatas menunjukkan pengukuran perubahan massa berupa nilai massa sebelum pengujian (sebelah kiri) dan sesudah pengujian (sebelah kanan) pin bahan *Nitrile Rubber*. Contoh yang diambil berupa pengujian pada variabel waktu pengujian 60 menit, load 1 kg

Data hasil pengujian material *Nitrile Rubber* (*NBR*) yang bergesekan dengan *Stainless Steel* AISI 316 dengan pembebanan pengujian sebesar 1 kg dan menggunakan air laut sebagai pelumas. Dapat dilihat pada tabel 4.1 dibawah berikut :

Tabel 4. 1. Hasil Pengujian spesimen pin berbahan Nitrile Rubber Pada beban pengujian 1 kg

Load (Kg)	Speed Control	Sliding Speed V (m/s)	Time (menit)	M_1 (gr)	M_2 (gr)	Δm (gr)	ρ (gr/mm ³)	Sliding Distance L (m)	F (N)
1	80	0,2333	50	1,8649	1,8648	0,0001	0,00093	350	9,81
1	60	0,1944	60	2,0914	2,0912	0,0002	0,00093	350	9,81
1	40	0,1666	70	2,127	2,1265	0,0005	0,00093	350	9,81

4.1.1.2 Data Hasil Pengujian *Nitrile Rubber* dengan Pembebanan 2 kg.

Pada pengujian ini akan dilakukan analisa tentang volume keausan, laju keausan, dan umur pakai. Dan untuk itu dibutuhkan nilai pengujian berupa perubahan massa sebelum dan sesudah pengujian (Δm). Berikut merupakan hasil pengujian berupa perubahan massa (Δm) untuk pin berbahan *Nitrile Rubber* pada pembebanan pengujian 2 kg.



Gambar 4. 2 Pengukuran perubahan massa (Δm) pada pin bahan Nitrile Rubber.

Gambar diatas menunjukkan pengukuran perubahan massa berupa nilai massa sebelum pengujian (sebelah kiri) dan sesudah pengujian (sebelah kanan) pin bahan *Nitrile Rubber*. Contoh yang diambil berupa pengujian pada variabel waktu pengujian 60 menit, load 2 kg.

Data hasil pengujian material *Nitrile Rubber* (*NBR*) yang bergesekan dengan *Stainless Steel* AISI 316 dengan pembebanan pengujian sebesar 2 kg dan menggunakan air laut sebagai pelumas. Dapat dilihat pada tabel 4.2 dibawah berikut :

Tabel 4. 2. Hasil Pengujian spesimen pin berbahan Nitrile Rubber Pada beban pengujian 2 kg

Load (Kg)	Speed Control	Sliding Speed V (m/s)	Time (menit)	M ₁ (gr)	M ₂ (gr)	Δm (gr)	ρ (gr/mm ³)	Sliding Distance L (m)	F (N)
2	80	0,2333	50	2,1453	2,145	0,0003	0,00093	350	19,62
2	60	0,1944	60	2,1224	2,1219	0,0005	0,00093	350	19,62
2	40	0,1666	70	2,21	2,2091	0,0009	0,00093	350	19,62

4.1.1.3 Data Hasil Pengujian *Nitrile Rubber* dengan Pembebanan 3 kg.

Pada pengujian ini akan dilakukan analisa tentang volume keausan, laju keausan, dan umur pakai. Dan untuk itu dibutuhkan nilai pengujian berupa perubahan massa sebelum dan sesudah pengujian (Δm). Berikut merupakan hasil pengujian berupa perubahan massa (Δm) untuk pin berbahan *Nitrile Rubber* pada pembebanan pengujian 3 kg.



Gambar 4. 3 Pengukuran perubahan massa (m) pada pin bahan Nitrile Rubber.

Gambar diatas menunjukkan pengukuran perubahan massa berupa nilai massa sebelum pengujian (sebelah kiri) dan sesudah pengujian (sebelah kanan) pin bahan *Nitrile Rubber*. Contoh yang diambil berupa pengujian pada variabel waktu

pengujian 70 menit, load 3 kg.

Data hasil pengujian material *Nitrile Rubber (NBR)* yang bergesekan dengan *Stainless Steel AISI 316* dengan pembebanan pengujian sebesar 3 kg dan menggunakan air laut sebagai pelumas. Dapat dilihat pada tabel 4.3 dibawah berikut :

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian spesimen pin berbahan Nitrile Rubber Pada beban pengujian 3 kg

Load (Kg)	Speed Control	Sliding Speed V (m/s)	Time (menit)	M ₁ (gr)	M ₂ (gr)	Δm (gr)	ρ (gr/mm ³)	Sliding Distance L (m)	F (N)
3	80	0,2333	50	1,9694	1,9684	0,001	0,00093	350	29,43
3	60	0,1944	60	2,0848	2,0823	0,0025	0,00093	350	29,43
3	40	0,1666	70	2,1270	2,1181	0,0059	0,00093	350	29,43

4.1.2 Polyurethane Elastomere

Hasil pengujian laju keausan pada material uji berbahan *Polyurethane Elastomere* bergesekan dengan disk berbahan *Stainless Steel AISI 316* dan menggunakan air laut sebagai pelumas disajikan dalam tabel dibawah ini

4.1.2.1 Data Hasil Pengujian *Polyurethane Elastomere* dengan Pembebanan 1 kg.

Pada pengujian ini akan dilakukan analisa tentang volume keausan, laju keausan, dan umur pakai. Dan untuk itu dibutuhkan nilai pengujian berupa perubahan massa sebelum dan sesudah pengujian (Δm). Berikut merupakan hasil pengujian berupa perubahan massa (Δm) untuk pin berbahan *Polyurethane Elastomere* pada pembebanan pengujian 1 kg.



Gambar 4. 4 Pengukuran perubahan massa (Δm) pada pin bahan Polyurethane Elastomers

Gambar diatas menunjukkan pengukuran perubahan massa berupa nilai massa sebelum pengujian (sebelah kiri) dan sesudah pengujian (sebelah kanan) pin bahan *Polyurethane Elastomere*. Contoh yang diambil berupa pengujian pada variabel waktu pengujian 50 menit, load 1 kg.

Data hasil pengujian material *Polyurethane Elastomere* yang bergesekan dengan *Stainless Steel* AISI 316 dengan pembebanan pengujian sebesar 1 kg dan menggunakan air laut sebagai pelumas. Dapat dilihat pada tabel 4.4 dibawah berikut :

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian spesimen pin berbahan Polurethane Elastomere Pada beban pengujian 1 kg

Load (Kg)	Speed Control	Sliding Speed V (m/s)	Time (menit)	M _i (gr)	M _f (gr)	Δm (gr)	ρ (gr/mm ³)	Sliding Distance L (m)	F (N)
1	80	0,2333	50	2,2495	2,2492	0,0003	0,00175	350	9,81
1	60	0,1944	60	2,2519	2,2512	0,0007	0,00175	350	9,81
1	40	0,1666	70	2,2454	2,2444	0,001	0,00175	350	9,81

4.1.2.2 Data Hasil Pengujian *Polyurethane Elastomere* dengan Pembebanan 2 kg.

Pada pengujian ini akan dilakukan analisa tentang volume keausan, laju keausan, dan umur pakai. Dan untuk itu dibutuhkan nilai pengujian berupa perubahan massa sebelum dan sesudah pengujian (Δm). Berikut merupakan hasil pengujian berupa perubahan massa (Δm) untuk pin berbahan *Polyurethane Elastomere* pada pembebanan pengujian 2 kg.



Gambar 4. 5 Pengukuran perubahan massa (Δm) pada pin bahan Polyurethane Elastomers

Gambar diatas menunjukkan pengukuran perubahan massa berupa nilai massa sebelum pengujian (sebelah kiri) dan sesudah pengujian (sebelah kanan) pin bahan *Polyurethane Elastomere*. Contoh yang diambil berupa pengujian pada variabel waktu pengujian 50 menit, load 2 kg.

Data hasil pengujian material *Polyurethane Elastomere* yang bergesekan dengan *Stainless Steel AISI 316* dengan pembebanan pengujian sebesar 2 kg dan menggunakan air laut sebagai pelumas. Dapat dilihat pada tabel 4.5 dibawah berikut :

Tabel 4. 5 Hasil Pengujian spesimen pin berbahan Polurethane Elastomere Pada beban pengujian 2 kg

Load (Kg)	Speed Control	Sliding Speed V (m/s)	Time (menit)	M ₁ (gr)	M ₂ (gr)	Δm (gr)	ρ (gr/mm ³)	Sliding Distance L (m)	F (N)
2	80	0,2333	50	2,4066	2,4061	0,0005	0,00175	350	19,62
2	60	0,1944	60	2,4059	2,4046	0,0013	0,00175	350	19,62
2	40	0,1666	70	2,5826	2,5805	0,0021	0,00175	350	19,62

4.1.2.3 Data Hasil Pengujian *Polyurethane Elastomere* dengan Pembebanan 3 kg.

Pada pengujian ini akan dilakukan analisa tentang volume keausan, laju keausan, dan umur pakai. Dan untuk itu dibutuhkan nilai pengujian berupa perubahan massa sebelum dan sesudah pengujian (Δm). Berikut merupakan hasil pengujian berupa perubahan massa (Δm) untuk pin berbahan *Polyurethane Elastomere* pada pembebanan pengujian 3 kg.



Gambar 4. 6 Pengukuran perubahan massa (m) dengan timbangan digital pada pin bahan Polyurethane Elastomere.

Gambar diatas menunjukkan pengukuran perubahan massa berupa nilai massa sebelum pengujian (sebelah kiri) dan sesudah pengujian (sebelah kanan) pin bahan *Polyurethane Elastomere*. Contoh yang diambil berupa pengujian pada variabel waktu pengujian 70 menit, load 3 kg.

Data hasil pengujian material *Polyurethane Elastomere* yang bergesekan dengan *Stainless Steel* AISI 316 dengan pembebanan pengujian sebesar 3 kg dan menggunakan air laut sebagai pelumas. Dapat dilihat pada tabel 4.6 dibawah berikut :

Tabel 4. 6 Hasil Pengujian spesimen pin berbahan Polurethane Elastomere Pada beban pengujian 3 kg

Load (Kg)	Speed Control	Sliding Speed V (m/s)	Time (menit)	M ₁ (gr)	M ₂ (gr)	Δm (gr)	ρ (gr/mm ³)	Sliding Distance L (m)	F (N)
3	80	0,2333	50	2,2615	2,2574	0,0041	0,00175	350	29,43
3	60	0,1944	60	2,2483	2,2438	0,0045	0,00175	350	29,43
3	40	0,1666	70	2,2512	2,2463	0,0049	0,00175	350	29,43

4.2 Data Hasil Analisis

4.2.1 Tabel Hasil Analisis

4.2.1.1 Volume Aus (Wear Volume)

Selama pengujian berlangsung tentunya terdapat besaran nilai volume dari benda uji yang berubah dari volume spesimen uji awal sebelum pengujian dilakukan akibat dikenai gaya gesek dari pengujian gesek ini.

Perhitungan perubahan volume spesimen ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan rumus yaitu dengan melihat perubahan massa pin (Δm) yang didapatkan dengan menimbang pin menggunakan timbangan digital sebelum dilakukan pengujian dan setelah dilakukan pengujian. Setelah Δm diketahui, berikutnya mulai menghitung perubahan volume (ΔV) pin yang terjadi dengan menggunakan rumus dibawah ini:

$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\rho}$$

Dimana,

Δm = Perubahan massa
= Densitas *wearness object*

Data hasil analisis volume aus (*Wear Volume*) material *Nitrile Rubber* vs *Polyurethane Elastomere* yang bergesekan dengan *Stainless Steel* AISI 316 dengan pembebanan pengujian sebesar 1 kg dan menggunakan air laut sebagai pelumas.

Dapat dilihat pada tabel 4.7 dibawah berikut :

Tabel 4. 7 Nilai Volume Aus Pin Berbahan Rubber vs Polyurethane Pada beban 1 kg

Time (menit)	Nitrile Rubber Δm (gr)	Polyurethane Elastomere Δm (gr)	Nitrile Rubber ΔV (mm ³)	Polyurethane Elastomere ΔV (mm ³)
50	0,0001	0,0003	0,108	0,286
60	0,0002	0,0007	0,215	0,400
70	0,0005	0,001	0,538	0,571

Data hasil analisis volume aus (*Wear Volume*) material *Nitrile Rubber* vs *Polyurethane Elastomere* yang bergesekan dengan *Stainless Steel* AISI 316 dengan pembebanan pengujian sebesar 2 kg dan menggunakan air laut sebagai pelumas. Dapat dilihat pada tabel 4.8 dibawah berikut :

Tabel 4. 8 Nilai Volume Aus Pin Berbahan Rubber vs Polyurethane Pada beban 2 kg

Time (menit)	Nitrile Rubber Δm (gr)	Polyurethane Elastomere Δm (gr)	Nitrile Rubber ΔV (mm ³)	Polyurethane Elastomere ΔV (mm ³)
50	0,0003	0,0005	0,323	0,629
60	0,0005	0,0013	0,538	0,743
70	0,0009	0,0021	0,968	1,2

Data hasil analisis volume aus (*Wear Volume*) material *Nitrile Rubber* vs *Polyurethane Elastomere* yang bergesekan dengan *Stainless Steel* AISI 316 dengan pembebanan pengujian sebesar 3 kg dan menggunakan air laut sebagai pelumas. Dapat dilihat pada tabel 4.9 dibawah berikut :

Tabel 4. 9 Nilai Volume Aus Pin Berbahan Rubber vs Polyurethane Pada beban 3 kg

Time (menit)	Nitrile Rubber Δm (gr)	Polyurethane Elastomere Δm (gr)	Nitrile Rubber ΔV (mm ³)	Polyurethane Elastomere ΔV (mm ³)
50	0,0010	0,0041	1,075	2,343
60	0,0025	0,0045	2,688	2,571
70	0,0059	0,0049	4,731	2,8

4.2.1.2 Laju Keausan (*Specific Wear Rate*)

Dalam pengujian gesek ini juga dilakukan analisis tentang laju keausan yang mana laju keausan ini menunjukkan besarnya volume aus yang merupakan bagian yang terkikis setiap satu satuan gaya dan jarak.

Specific wear rate K dapat dicari dengan rumus

$$K' = \frac{\Delta V}{F.L}$$

Dimana,	K'	= Spesific wear rate
	ΔV	= Volume Aus
	F	= Beban
	L	= Jarak lintasan gesek
	H	= Kekerasan material

Data hasil analisis laju keausan (*Specific Wear Rate*) material *Nitrile Rubber* vs *Polyurethane Elastomere* yang bergesekan dengan *Stainless Steel* AISI 316 dengan pembebanan pengujian sebesar 1 kg dan menggunakan air laut sebagai pelumas. Dapat dilihat pada tabel 4.10 dibawah berikut :

Tabel 4. 10 Nilai Laju Keausan Pin Berbahan Rubber vs Polyurethane Pada beban 1 kg

Time (menit)	Nitrile Rubber ΔV (mm ³)	Polyurethane Elastomere ΔV (mm ³)	Nitrile Rubber K (mm ³ / Nm)	Polyurethane Elastomere K (mm ³ / Nm)
50	0,108	0,286	0,0000313	0,0000832
60	0,215	0,400	0,000626	0,0001165
70	0,538	0,571	0,0001566	0,0001664

Data hasil analisis laju keausan (*Specific Wear Rate*) material *Nitrile Rubber* vs *Polyurethane Elastomere* yang bergesekan dengan *Stainless Steel* AISI 316 dengan pembebanan pengujian sebesar 2 kg dan menggunakan air laut sebagai pelumas. Dapat dilihat pada tabel 4.11 dibawah berikut :

Tabel 4. 11 Nilai Laju Keausan Pin Berbahan Rubber vs Polyurethane Pada beban 2 kg

Time (menit)	Nitrile Rubber ΔV (mm ³)	Polyurethane Elastomere ΔV (mm ³)	Nitrile Rubber K (mm ³ / Nm)	Polyurethane Elastomere K (mm ³ / Nm)
50	0,323	0,629	0,0000470	0,0000915
60	0,538	0,743	0,0000783	0,0001082
70	0,968	1,2	0,00001409	0,0001747

Data hasil analisis laju keausan (*Specific Wear Rate*) material *Nitrile Rubber* vs *Polyurethane Elastomere* yang bergesekan dengan *Stainless Steel* AISI 316 dengan pembebanan pengujian sebesar 3 kg dan menggunakan air laut sebagai pelumas. Dapat dilihat pada tabel 4.12 dibawah berikut :

Tabel 4. 12 Nilai Laju Keausan Pin Berbahan Rubber vs Polyurethan Pada beban 3 kg

Time (menit)	Nitrile Rubber ΔV (mm ³)	Polyurethane Elastomere ΔV (mm ³)	Nitrile Rubber K (mm ³ / Nm)	Polyurethane Elastomere K (mm ³ / Nm)
50	1,075	2,343	0,00010	0,000227
60	2,688	2,571	0,00026	0,000250
70	4,731	2,8	0,00046	0,000272

4.2.1.3 Umur Pakai (*Life Time*)

Selama pengujian berlangsung tentunya terdapat besaran nilai umur pakai yang mana menunjukkan perbandingan antar laju keausannya terhadap nilai volume aus yang diijinkan dari benda uji pin berbahan *nitrile rubber* dan *polyurethane* tersebut. Dan mengindikasikan waktu yang dibutuhkan untuk bahan tersebut mencapai nilai volume batas aus.

Perhitungan umur pakai spesimen ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan rumus yaitu dengan melihat nilai laju keausan dari kedua bahan tersebut dan nilai volume batas ausnya dan akan mendapatkan nilai panjang aus nya (l), yang berikutnya mulai menghitung nilai umur pakai nya (tahun) dengan menggunakan pendekatan rumus.

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 = lifetime material (tahun)

l = Panjang Aus (m)

v = kecepatan rata – rata (m/s)

Dimana untuk mencari nilai l dapat diperoleh dengan menggunakan rumus:

$$l = \frac{V \times H}{K \times W}$$

l = Panjang Aus (m)
 $V = C \times A$
 V = Volume Batas Aus yang Diijinkan (m³)
 H = Nilai Kekerasan Material *nitrile rubber* &
Polyurethane Elastomere
 K = Nilai Laju Keausan (m²/N)
 W = Berat Pembebanan (N)
 C = Clearence poros bearing = 2,5 mm
 A = Luas selimut tabung bearing = 109837 mm

Dan untuk mencari nilai v dapat diperoleh dengan menggunakan rumus:

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

v = Kecepatan rata-rata (m/s)
 L = Panjang Lintasan (m)
 t = Waktu (*hours*)
 (variabel pengujian: 50, 60, 70 menit)

4.2.1.3.1 Data Perhitungan Umur Pakai bahan *Nitrile Rubber*

Data perhitungan material *Nitrile Rubber* yang bergesekan dengan *Stainless Steel* AISI 316 dengan pembebanan pengujian sebesar 1 kg dan menggunakan air laut sebagai pelumas. Dapat dilihat pada tabel 4.13 dibawah berikut :

Tabel 4. 13 Data Perhitungan Umur Pakai Pin Berbahan Nitrile Rubber Pada beban 1 kg

Hardness H (Mpa)	Laju Keausan K (m ³ /Nm)	F (N)	Volume Batas Aus V (m ³)	Panjang Aus l (m)	Kecepatan rata-rata v (m/s)	Lifetime (tahun)
65	3,1317E-14	9,81	2,76E-07	58373542,5	0,2333	7,93
65	6,2634E-14	9,81	2,76E-07	29186771,25	0,1944	4,76
65	1,56585E-13	9,81	2,76E-07	11674708,5	0,1666	2,22

Data perhitungan material *Nitrile Rubber* yang bergesekan dengan *Stainless Steel* AISI 316 dengan pembebanan pengujian sebesar 2 kg dan menggunakan air laut sebagai pelumas. Dapat dilihat pada tabel 4.14 dibawah berikut :

Tabel 4. 14 Data Perhitungan Umur Pakai Pin Berbahan Nitrile Rubber Pada beban 2 kg

Hardness H (Mpa)	Laju Keausan K (m ³ /Nm)	F (N)	Volume Batas Aus (m ³)	Panjang Aus l (m)	Kecepatan rata-rata v (m/s)	Lifetime (tahun)
65	4,69755E-14	19,62	2,76E-07	19457847,5	0,2333	2,64
65	7,82925E-14	19,62	2,76E-07	11674708,5	0,1944	1,9
65	1,40926E-13	19,62	2,76E-07	6485949,167	0,1666	1,23

Data perhitungan material *Nitrile Rubber* yang bergesekan dengan *Stainless Steel* AISI 316 dengan pembebanan pengujian sebesar 3 kg dan menggunakan air laut sebagai pelumas. Dapat dilihat pada tabel 4.15 dibawah berikut :

Tabel 4. 15 Data Perhitungan Umur Pakai Pin Berbahan Nitrile Rubber Pada beban 3 kg

Hardness H (Mpa)	Laju Keausan K (m ³ /Nm)	F (N)	Volume Batas Aus (m ³)	Panjang Aus l (m)	Kecepatan rata-rata v (m/s)	Lifetime (tahun)
65	1,0439E-13	29,43	2,76E-07	5837354,25	0,2333	0,79
65	2,60975E-13	29,43	2,76E-07	2334941,7	0,1944	0,38
65	4,59316E-13	29,43	2,76E-07	1326671,42	0,1666	0,25

4.2.1.3.2 Data Perhitungan Umur Pakai bahan *Polyurethane Elastomers*

Data perhitungan material *Polyurethane Elastomere* yang bergesekan dengan *Stainless Steel* AISI 316 dengan pembebanan pengujian sebesar 1 kg dan menggunakan air laut sebagai pelumas. Dapat dilihat pada tabel 4.16 dibawah berikut :

Tabel 4. 16 Data Perhitungan Umur Pakai Pin Berbahan Polyurethane Pada beban 1 kg

Hardness H(Mpa)	Laju Keausan K (m ³ /Nm)	F (N)	Volume Batas Aus (m ³)	Panjang Aus l(m)	Kecepatan rata-rata v (m/s)	Lifetime (tahun)
101	8,32137E-14	9,81	2,76E-07	34135727,5	0,2333	4,64
101	1,16499E-14	9,81	2,76E-07	24382662,5	0,1944	3,98
101	1,66427E-13	9,81	2,76E-07	17067863,75	0,1666	3,25

Data perhitungan material *Polyurethane Elastomere* yang bergesekan dengan *Stainless Steel* AISI 316 dengan pembebanan pengujian sebesar 2 kg dan menggunakan air laut sebagai pelumas. Dapat dilihat pada tabel 4.17 dibawah berikut :

Tabel 4. 17 Data Perhitungan Umur Pakai Pin Berbahan Polyurethane Pada beban 2 kg

Hardness H(Mpa)	Laju Keausan K (m ³ /Nm)	F (N)	Volume Batas Aus (m ³)	Panjang Aus l(m)	Kecepatan rata-rata v (m/s)	Lifetime (tahun)
101	9,15351E-14	19,62	2,76E-07	15516239,77	0,2333	2,11
101	1,08178E-14	19,62	2,76E-07	13129125,96	0,1944	2,14
101	1,74749E-13	19,62	2,76E-07	8127554,167	0,1666	1,55

Data perhitungan material *Polyurethane Elastomere* yang bergesekan dengan *Stainless Steel* AISI 316 dengan pembebanan pengujian sebesar 3 kg dan menggunakan air laut sebagai pelumas. Dapat dilihat pada tabel 4.18 dibawah berikut :

Tabel 4. 18 Data Perhitungan Umur Pakai Pin Berbahan Polyurethane Pada beban 3 kg

Hardness H(Mpa)	Laju Keausan K (m ³ /Nm)	F (N)	Volume Batas Aus (m ³)	Panjang Aus l(m)	Kecepatan rata-rata v (m/s)	Lifetime (tahun)
101	2,27451E-13	29,43	2,76E-07	4162893,59	0,2333	1,03
101	2,49641E-13	29,43	2,76E-07	3792858,61	0,1944	0,96
101	2,71831E-13	29,43	2,76E-07	3483237,5	0,1666	0,88

Berdasarkan perumusan maka didapatkan hasil perhitungan *lifetime* material *nitrile rubber* dan *polyurethane elastomere* yang akan ditampilkan pada tabel 4.19 hingga 4.21.

Data hasil analisis umur pakai (*Life Time*) material *Nitrile Rubber* vs *Polyurethane Elastomere* yang bergesekan dengan *Stainless Steel* AISI 316 dengan pembebanan pengujian sebesar 1 kg dan menggunakan air laut sebagai pelumas. Dapat dilihat pada tabel 4.19 dibawah berikut :

Tabel 4. 19 Nilai Umur Pakai Pin Berbahan Rubber vs Polyurethane Pada beban 1 kg

Waktu Pengujian (menit)	Nitrile Rubber t (tahun)	Polyurethane Elastomere t (tahun)
50	7,93	4,64
60	4,76	3,98
70	2,22	3,25

Data hasil analisis umur pakai (*Life Time*) material *Nitrile Rubber* vs *Polyurethane Elastomere* yang bergesekan dengan *Stainless Steel* AISI 316 dengan pembebanan pengujian sebesar 2 kg dan menggunakan air laut sebagai pelumas. Dapat dilihat pada tabel 4.20 dibawah berikut :

Tabel 4. 20 Nilai Umur Pakai Pin Berbahan Rubber vs Polyurethane Pada beban 2 kg

Waktu Pengujian (menit)	Nitrile Rubber t (tahun)	Polyurethane Elastomere t (tahun)
50	2,64	2,11
60	1,9	2,14
70	1,23	1,55

Data hasil analisis umur pakai (*Life Time*) material *Nitrile Rubber* vs *Polyurethane Elastomere* yang bergesekan dengan *Stainless Steel* AISI 316 dengan pembebanan pengujian sebesar 3 kg dan menggunakan air laut sebagai pelumas. Dapat dilihat pada tabel 4.21 dibawah berikut :

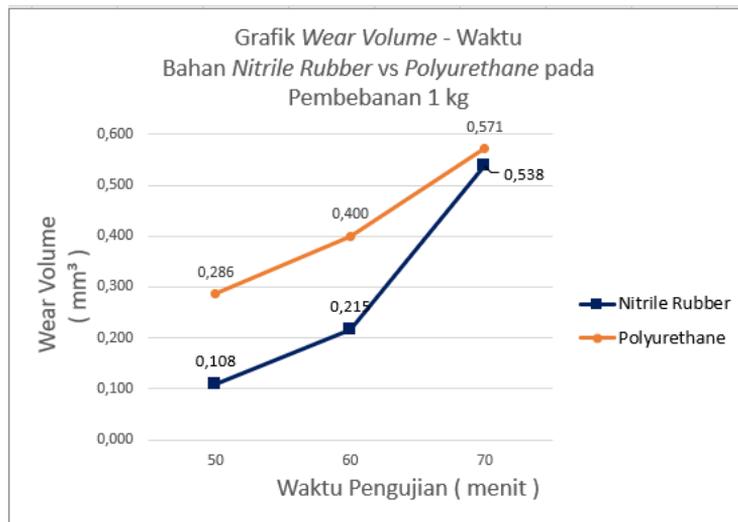
Tabel 4. 21 Nilai Umur Pakai Pin Berbahan Rubber vs Polyurethane Pada beban 3 kg

Waktu Pengujian (menit)	Nitrile Rubber t (tahun)	Polyurethane Elastomere t (tahun)
50	0,79	1,03
60	0,38	0,96
70	0,25	0,88

4.2.2 Grafik Hasil Analisis

4.2.2.1 Grafik Analisis pengaruh waktu terhadap *Wear Volume* pada pembebanan 1 kg

Berdasarkan data yang didapatkan, dapat dilakukan analisa berupa nilai *Wear Volume* yang mana menunjukkan besarnya nilai volume yang tergerus akibat dikenai gaya gesek pada percobaan ini. Pada percobaan untuk mengetahui besaran volume aus ini dilakukan tiga variasi waktu pengujian yaitu selama 50 menit, 60 menit, 70 menit. Grafik hubungan antara wear volume dan waktu dengan perbandingan bahan *nitrile rubber* dan *polyurethane* elastomere dapat dilihat pada grafik 4.1 dibawah ini.



Grafik 4. 1 Grafik wear volume terhadap waktu dengan pembebanan 1 kg

Nilai *wear volume* antar *nitrile rubber* dan *polyurethane* terlihat berbanding lurus dengan waktu pengujian, yang mana semakin naik waktu pengujian yang diberikan maka semakin naik pula volume aus pada kedua material tersebut. Dimulai pada nilai saat pengujian bahan *nitrile rubber* dilakukan pada variasi waktu 50 menit hingga 60 menit kenaikan grafik cenderung landai dengan nilai wear volume di menit 50 sebesar 0,108 mm² dan di menit 60 sebesar 0,215 mm², namun untuk menit ke 70 cenderung mempunyai nilai wear volume yang naik lebih tinggi dari sebelumnya yaitu sebesar 0,538 mm². Untuk nilai saat pengujian bahan *polyurethane elastomere* kenaikan grafik cenderung landai dari variasi menit 50 hingga 70.

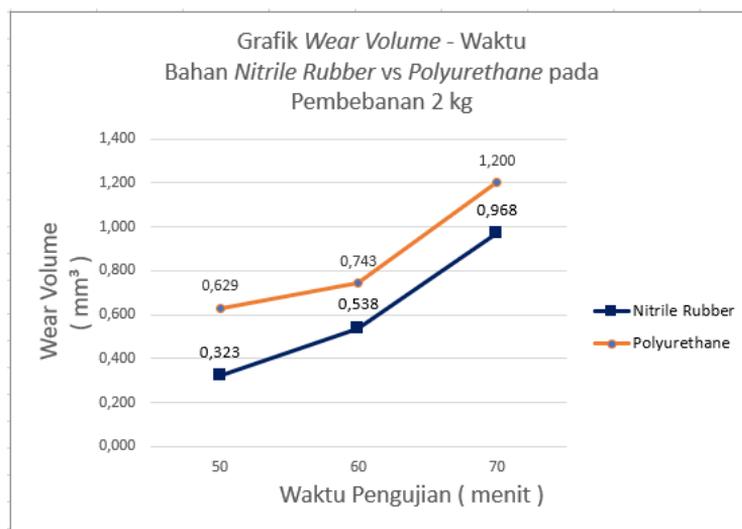
Secara teoritis, nilai wear volume akan semakin besar dengan semakin besarnya waktu pengujian yang diberikan. Hal ini dikarenakan semakin lama waktu yang dilakukan pada pengujian maka semakin lama pula kontak yang terjadi antara pin berbahan *nitrile rubber* dan *polyurethane* ini dengan *stainless steel 316* ini dan semakin memperbesar volume aus material uji pin tersebut.

Untuk hasil pengujian sudah sesuai dengan teori yang ada bahwa kenaikan waktu pengujian diikuti oleh kenaikan nilai *wear volume* nya dan untuk perbandingan nilai *wear volume* antar kedua bahan seperti terlihat pada grafik bahwa material bahan *nitrile rubber* mempunyai nilai *wear volume* yang lebih kecil dari pada bahan *polyurethane elastomere* yang menunjukkan bahan *nitrile rubber* lebih unggul di segi *wear volume* pada pengujian dengan beban 1 kg ini.

4.2.2.2 Grafik Analisis pengaruh waktu terhadap *Wear Volume* pada pembebanan 2 kg

Berdasarkan data yang didapatkan, dapat dilakukan analisa berupa nilai *Wear Volume* yang mana menunjukkan besarnya nilai volume yang tergerus akibat dikenai gaya gesek pada percobaan ini. Pada percobaan untuk mengetahui besaran volume aus ini dilakukan tiga variasi waktu pengujian yaitu selama 50 menit, 60 menit, 70 menit.

Grafik hubungan antara *wear volume* dan waktu dengan perbandingan bahan *nitrile rubber* dan *polyurethane elastomere* dapat dilihat pada grafik 4.2 dibawah ini.



Grafik 4. 2 Grafik wear volume terhadap waktu dengan pembebanan 2 kg

Nilai *wear volume* antar *nitrile rubber* dan *polyurethane* terlihat berbanding lurus dengan waktu pengujian, yang mana semakin naik waktu pengujian yang diberikan maka semakin naik pula volume aus pada kedua material tersebut. Dimulai pada nilai saat pengujian bahan *polyurethane* dilakukan pada variasi waktu 50 menit hingga 60 menit kenaikan grafik cenderung landai dengan nilai *wear volume* di menit 50 sebesar 0,323 mm² dan di menit 60 sebesar 0,538 mm², namun untuk menit ke 70 cenderung mempunyai nilai *wear volume* yang naik lebih tinggi dari sebelumnya yaitu sebesar 0,968 mm². Untuk nilai saat pengujian bahan *nitrile rubber* kenaikan grafik cenderung

landai dari variasi menit 50 hingga 70.

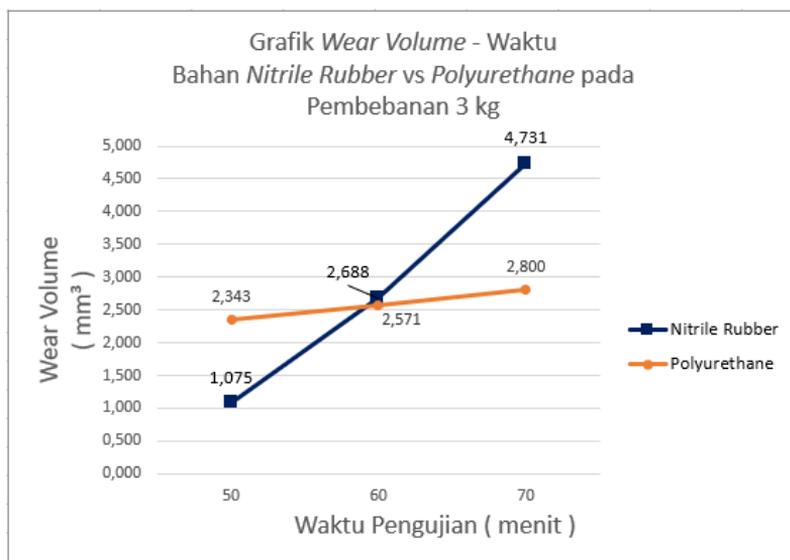
Secara teoritis, nilai wear volume akan semakin besar dengan semakin besarnya waktu pengujian yang diberikan. Hal ini dikarenakan semakin lama waktu yang dilakukan pada pengujian maka semakin lama pula kontak yang terjadi antara pin berbahan *nitrile rubber* dan *polyurethane* ini dengan *stainless steel 316* ini dan semakin memperbesar volume aus material uji pin tersebut.

Untuk hasil pengujian sudah sesuai dengan teori yang ada bahwa kenaikan waktu pengujian diikuti oleh kenaikan nilai *wear volume* nya dan untuk perbandingan nilai wear volume antar kedua bahan seperti terlihat pada grafik bahwa material bahan *nitrile rubber* mempunyai nilai *wear volume* yang lebih kecil dari pada bahan *polyurethane elastomere* yang menunjukkan bahan *nitrile rubber* lebih unggul di segi *wear volume* pada pengujian dengan beban 2 kg ini.

4.2.2.3 Grafik Analisis pengaruh waktu terhadap *Wear Volume* pada pembebanan 3 kg

Berdasarkan data yang didapatkan, dapat dilakukan analisa berupa nilai *Wear Volume* yang mana menunjukkan besarnya nilai volume yang tergerus akibat dikenai gaya gesek pada percobaan ini. Pada percobaan untuk mengetahui besaran volume aus ini dilakukan tiga variasi waktu pengujian yaitu selama 50 menit, 60 menit, 70 menit.

Grafik hubungan antara wear volume dan waktu dengan perbandingan bahan *nitrile rubber* dan *polyurethane elastomere* dapat dilihat pada grafik 4.3 dibawah ini.



Grafik 4. 3 Grafik wear volume terhadap waktu dengan pembebanan 3 kg

Nilai *wear volume* antar *nitrile rubber* dan *polyurethane* terlihat berbanding lurus dengan waktu pengujian, yang mana semakin naik waktu pengujian yang diberikan maka semakin naik pula volume aus pada kedua material tersebut. Dimulai pada nilai saat pengujian bahan *nitrile rubber* dilakukan pada variasi waktu 50 menit hingga 60 menit kenaikan grafik cenderung naik dengan tinggi dari awal dengan nilai *wear volume* di menit 50 sebesar 1,075 mm² dan di menit 60 sebesar 2,688 mm², dan berlanjut di menit ke 70 cenderung mempunyai nilai *wear volume* yang terus naik lebih tinggi dari sebelumnya yaitu sebesar 4,731 mm². Untuk nilai saat pengujian bahan *polyurethane* kenaikan grafik cenderung landai dari variasi menit 50 hingga 70.

Secara teoritis, nilai *wear volume* akan semakin besar dengan semakin besarnya waktu pengujian yang diberikan. Hal ini dikarenakan semakin lama waktu yang dilakukan pada pengujian maka semakin lama pula kontak yang terjadi antara pin berbahan *nitrile rubber* dan *polyurethane* ini dengan *stainless steel* 316 ini dan semakin memperbesar volume aus material uji pin tersebut.

Untuk hasil pengujian sudah sesuai dengan teori yang ada bahwa kenaikan waktu pengujian diikuti oleh kenaikan nilai *wear volume* nya dan terdapat hasil yang sedikit berbeda dari pengujian *wear volume* dengan beban 1 kg dan 2 kg yang mana untuk perbandingan nilai *wear volume* antar kedua bahan seperti terlihat pada grafik bahwa material bahan *nitrile rubber* mempunyai nilai *wear volume* yang lebih kecil dari pada bahan *polyurethane elastomere* di awal variabel pengujian, namun pada variasi waktu terlama yaitu 70 menit untuk bahan *polyurethane* mempunyai nilai volume aus yang lebih rendah, hal ini terjadi karena bahan *nitril rubber* untuk pengujian dengan beban tinggi dan waktu yang lama akan cenderung lebih cepat mengalami gerusan pada permukaannya, karena struktur material rubber yang cenderung memiliki nilai *hardness material* yang lebih rendah dari *polyurethane* dan pada akhirnya untuk bahan *polyurethane* lebih unggul di segi *wear volume* pada pengujian dengan beban 3 kg ini.

4.2.2.4 Grafik Analisis pengaruh waktu terhadap *Specific Wear Rate* pada pembebanan 1 kg

Berdasarkan data yang didapatkan, dapat dilakukan analisa berupa nilai *Specific Wear Rate* yang mana menunjukkan besarnya nilai volume yang tergerus setiap satu satuan gaya dan jarak akibat dikenai gaya gesek pada percobaan ini. Pada percobaan untuk mengetahui besaran laju keausan ini dilakukan tiga variasi waktu pengujian yaitu selama 50 menit, 60 menit, 70 menit. Grafik hubungan antara *specific wear rate* dan waktu dengan perbandingan bahan *nitrile rubber* dan *polyurethane elastomere* dapat dilihat pada grafik 4.4 dibawah ini.



Grafik 4. 4 Grafik specific wear rate terhadap waktu dengan pembebanan 1 kg

Nilai *wear volume* antar *nitrile rubber* dan *polyurethane* terlihat berbanding lurus dengan waktu pengujian, yang mana semakin naik waktu pengujian yang diberikan maka semakin naik pula *specific wear rate* pada kedua material tersebut. Dimulai pada nilai saat pengujian bahan *nitrile rubber* dilakukan pada variasi waktu 50 menit hingga 60 menit kenaikan grafik cenderung landai dengan nilai *specific wear rate* di menit 50 sebesar 0,0000313 mm²/Nm dan di menit 60 sebesar 0,0000626 mm²/Nm, namun untuk menit ke 70 cenderung mempunyai nilai laju keausan yang naik lebih tinggi dari sebelumnya yaitu sebesar 0,0001566 mm². Untuk nilai saat pengujian bahan *polyurethane elastomere* kenaikan grafik cenderung landai dari variasi menit 50 hingga 70.

Secara teoritis, nilai *specific wear rate* akan semakin besar dengan semakin besarnya waktu pengujian yang diberikan. Hal ini dikarenakan semakin lama waktu yang dilakukan pada pengujian maka semakin lama pula kontak yang terjadi antara pin berbahan *nitrile rubber* dan *polyurethane* ini dengan *stainless steel 316* ini dan semakin memperbesar laju aus material uji pin tersebut.

Untuk hasil pengujian sudah sesuai dengan teori yang ada bahwa kenaikan waktu pengujian diikuti oleh kenaikan nilai *specific wear rate* nya dan untuk perbandingan nilai *specific wear rate* antar kedua bahan seperti terlihat pada grafik bahwa material bahan *nitrile rubber* mempunyai nilai *specific wear rate* yang lebih kecil dari pada bahan *polyurethane elastomere* yang menunjukkan bahan *nitrile rubber* lebih unggul di segi *specific wear rate* atau laju keausan pada pengujian dengan beban 1 kg/m² ini.

4.2.2.5 Grafik Analisis pengaruh waktu terhadap *Specific Wear Rate* pada pembebanan 2 kg

Berdasarkan data yang didapatkan, dapat dilakukan analisa berupa nilai *Specific Wear Rate* yang mana menunjukkan besarnya nilai volume yang tergerus setiap satu satuan gaya dan jarak akibat dikenai gaya gesek pada percobaan ini. Pada percobaan

untuk mengetahui besaran laju keausan ini dilakukan tiga variasi waktu pengujian yaitu selama 50 menit, 60 menit, 70 menit.

Grafik hubungan antara *specific wear rate* dan waktu dengan perbandingan bahan *nitrile rubber* dan *polyurethane* elastomere dapat dilihat pada grafik 4.5 dibawah ini.



Grafik 4. 5 Grafik specific wear rate terhadap waktu dengan pembebanan 2 kg

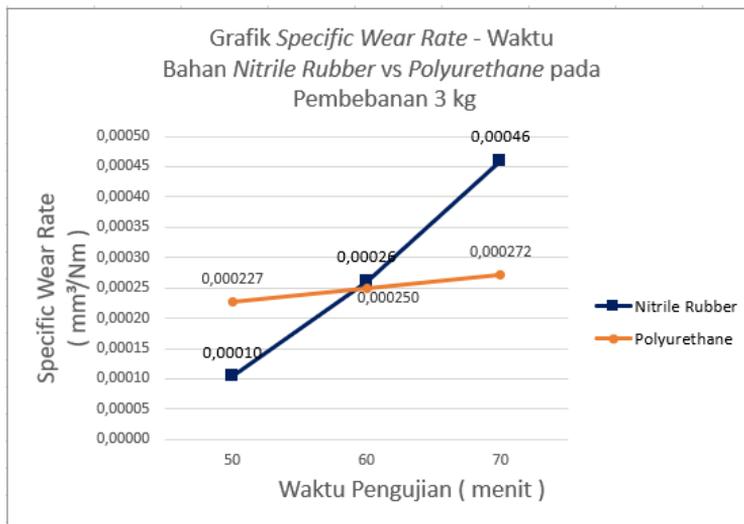
Nilai *wear volume* antar *nitrile rubber* dan *polyurethane* terlihat berbanding lurus dengan waktu pengujian, yang mana semakin naik waktu pengujian yang diberikan maka semakin naik pula *specific wear rate* pada kedua material tersebut. Dimulai pada nilai saat pengujian bahan *polyurethane* dilakukan pada variasi waktu 50 menit hingga 60 menit kenaikan grafik cenderung landai dengan nilai *specific wear rate* di menit 50 sebesar 0,0000915 mm³/Nm dan di menit 60 sebesar 0,0001082 mm³/Nm, namun untuk menit ke 70 cenderung mempunyai nilai laju keausan yang naik lebih tinggi dari sebelumnya yaitu sebesar 0,0001747 mm³. Untuk nilai saat pengujian bahan *polyurethane elastomere* kenaikan grafik cenderung landai dari variasi menit 50 hingga 70.

Secara teoritis, nilai *specific wear rate* akan semakin besar dengan semakin besarnya waktu pengujian yang diberikan. Hal ini dikarenakan semakin lama waktu yang dilakukan pada pengujian maka semakin lama pula kontak yang terjadi antara pin berbahan *nitrile rubber* dan *polyurethane* ini dengan *stainless steel 316* ini dan semakin memperbesar laju aus material uji pin tersebut.

Untuk hasil pengujian sudah sesuai dengan teori yang ada bahwa kenaikan waktu pengujian diikuti oleh kenaikan nilai *specific wear rate* nya dan untuk perbandingan nilai *specific wear rate* antar kedua bahan seperti terlihat pada grafik bahwa material bahan *nitrile rubber* mempunyai nilai *specific wear rate* yang lebih kecil dari pada bahan *polyurethane elastomere* yang menunjukkan bahan *nitrile rubber* lebih unggul di segi *specific wear rate* atau laju keausan pada pengujian dengan beban 2 kg ini.

4.2.2.6 Grafik Analisis pengaruh waktu terhadap *Specific Wear Rate* pada pembebanan 3 kg

Berdasarkan data yang didapatkan, dapat dilakukan analisa berupa nilai *Specific Wear Rate* yang mana menunjukkan besarnya nilai volume yang tergerus setiap satu satuan gaya dan jarak akibat dikenai gaya gesek pada percobaan ini. Pada percobaan untuk mengetahui besaran laju keausan ini dilakukan tiga variasi waktu pengujian yaitu selama 50 menit, 60 menit, 70 menit. Grafik hubungan antara *specific wear rate* dan waktu dengan perbandingan bahan *nitrile rubber* dan *polyurethane* elastomere dapat dilihat pada grafik 4.6 dibawah ini.



Grafik 4. 6 Grafik specific wear rate terhadap waktu dengan pembebanan 3 kg

Nilai *Specific Wear Rate* antar *nitrile rubber* dan *polyurethane* terlihat berbanding lurus dengan waktu pengujian, yang mana semakin naik waktu pengujian yang diberikan maka semakin naik pula *Specific Wear Rate* pada kedua material tersebut. Dimulai pada nilai saat pengujian bahan *nitrile rubber* dilakukan pada variasi waktu 50 menit hingga 60 menit kenaikan grafik cenderung naik dengan tinggi dari awal dengan nilai *Specific Wear Rate* di menit 50 sebesar 0,00010 mm²/Nm dan di menit 60 sebesar 0,000250 mm²/Nm, dan berlanjut di menit ke 70 cenderung mempunyai nilai *Specific Wear Rate* yang terus naik lebih tinggi dari sebelumnya yaitu sebesar 0,000272 mm²/Nm. Untuk nilai saat pengujian bahan *polyurethane* kenaikan grafik cenderung landai dari variasi menit 50 hingga 70.

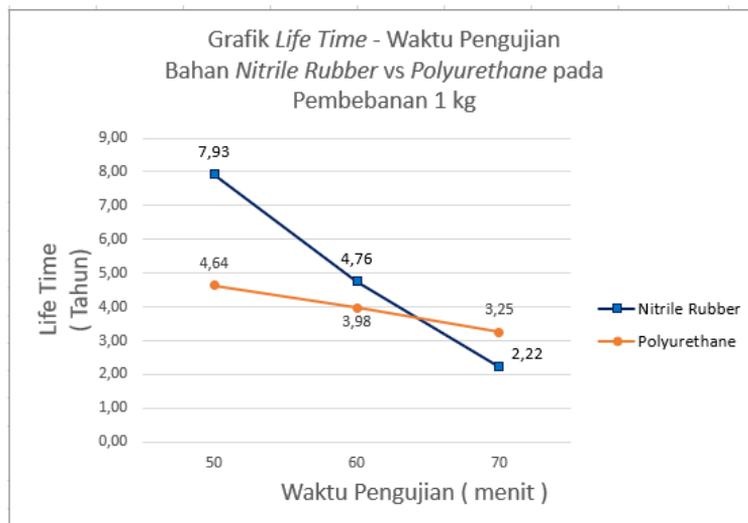
Secara teoritis, nilai *Specific Wear Rate* akan semakin besar dengan semakin besarnya waktu pengujian yang diberikan. Hal ini dikarenakan semakin lama waktu yang dilakukan pada pengujian maka semakin lama pula kontak yang terjadi antara pin berbahan *nitrile rubber* dan *polyurethane* ini dengan *stainless steel* 316 ini dan

semakin memperbesar laju keausan material uji pin tersebut.

Untuk hasil pengujian sudah sesuai dengan teori yang ada bahwa kenaikan waktu pengujian diikuti oleh kenaikan nilai *specific wear rate* nya dan terdapat hasil yang sedikit berbeda dari pengujian *specific wear rate* dengan beban 1 kg dan 2 kg yang mana untuk perbandingan nilai *specific wear rate* antar kedua bahan seperti terlihat pada grafik bahwa material bahan *nitrile rubber* mempunyai nilai *specific wear rate* yang lebih kecil dari pada bahan *polyurethane elastomere* di awal variabel pengujian, namun pada variasi waktu terlama yaitu 70 menit untuk bahan *polyurethane* mempunyai nilai *specific wear rate* yang lebih rendah, hal ini terjadi karena bahan *nitril rubber* untuk pengujian dengan beban tinggi dan waktu yang lama akan cenderung lebih cepat mengalami gerusan pada permukaannya, karena struktur material rubber yang cenderung memiliki nilai *hardness material* yang lebih rendah dari *polyurethane* dan pada akhirnya untuk bahan *polyurethane* lebih unggul di segi *specific wear rate* pada pengujian dengan beban 3 kg ini.

4.2.2.7 Grafik Analisis pengaruh waktu terhadap *Life Time* pada pembebanan 1 kg/m²

Berdasarkan data yang didapatkan, dapat dilakukan analisa berupa nilai *Lifetime* yang mana menunjukkan besarnya nilai umur pakai dari bahan *nitrile rubber* dan *polyurethane* akibat dikenai gaya gesek pada percobaan ini. Pada percobaan untuk mengetahui besaran umur pakai ini dilakukan tiga variasi waktu pengujian yaitu selama 50 menit, 60 menit, 70 menit. Grafik hubungan antara *specific wear rate* dan waktu dengan perbandingan bahan *nitrile rubber* dan *polyurethane elastomere* dapat dilihat pada grafik 4.7 dibawah ini.



Grafik 4. 7 Grafik Lifetime terhadap waktu dengan pembebanan 1 kg

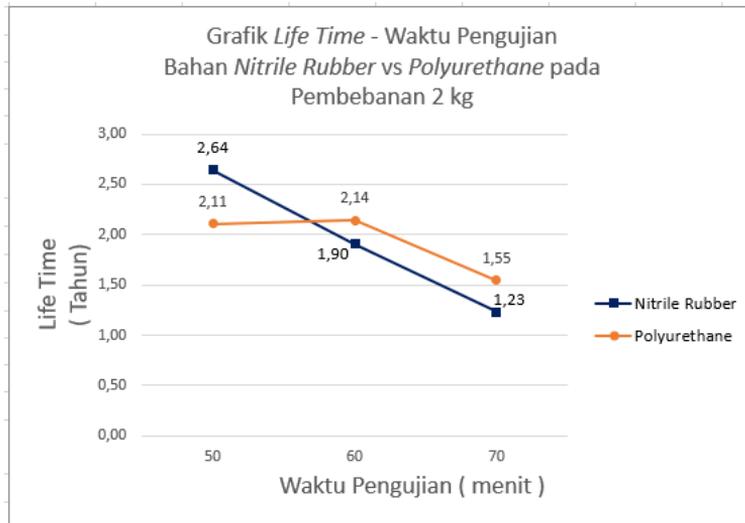
Nilai *Lifetime* antar *nitrile rubber* dan *polyurethane* terlihat berbanding terbalik dengan waktu pengujian, yang mana semakin naik waktu pengujian yang diberikan maka semakin turun nilai umur pakai pada kedua material tersebut. Dimulai pada nilai saat pengujian bahan *nitrile rubber* dilakukan pada variasi waktu 50 menit hingga 60 menit kenaikan grafik cenderung menurun dengan tajam dari awal dengan nilai umur pakai di menit 50 sebesar 7,93 tahun dan di menit 60 sebesar 4,76 tahun, dan berlanjut di menit ke 70 cenderung mempunyai nilai umur pakai yang kembali terus menurun secara tajam hingga setengah dari nilai sebelumnya yaitu sebesar 2,2 tahun. Untuk nilai saat pengujian bahan *polyurethane* penurunan grafik cenderung landai dari variasi menit 50 hingga 70.

Secara teoritis, nilai umur pakai akan semakin menurun seiring semakin besarnya waktu pengujian yang diberikan. Hal ini dikarenakan semakin lama waktu yang dilakukan pada pengujian maka semakin lama pula kontak yang terjadi antara pin berbahan *nitrile rubber* dan *polyurethane* ini dengan *stainless steel 316* ini dan semakin memperbesar nilai volume aus serta semakin mendekati volume batas aus yang diijinkan dari material uji pin.

Untuk hasil pengujian sudah sesuai dengan teori yang ada bahwa kenaikan waktu pengujian diikuti oleh penurunan nilai umur pakainya dan untuk perbandingan nilai *lifetime* antar kedua bahan seperti terlihat pada grafik bahwa material bahan *nitrile rubber* mempunyai nilai umur pakai yang lebih lama dari pada bahan *polyurethane elastomere* namun terjadi perubahan nilai umur pakai di variabel waktu pengujian terlama yaitu 70 menit yang mana bahan *polyurethane* lebih unggul daripada bahan *nitrile rubber* hal tersebut karena penurunan nilai umur pakai *polyurethane* cenderung landai dan stabil beda halnya dengan penurunan nilai umur pakai *nitrile rubber* yang menurun secara tajam dan hal tersebut mengindikasikan bahwa material *polyurethane* lebih unggul pada beban tinggi dan waktu pengujian lama daripada material *nitrile rubber*.

4.2.2.8 Grafik Analisis pengaruh waktu terhadap *Life Time* pada pembebanan 2 kg

Berdasarkan data yang didapatkan, dapat dilakukan analisa berupa nilai *Lifetime* yang mana menunjukkan besarnya nilai umur pakai dari bahan *nitrile rubber* dan *polyurethane* akibat dikenai gaya gesek pada percobaan ini. Pada percobaan untuk mengetahui besaran umur pakai ini dilakukan tiga variasi waktu pengujian yaitu selama 50 menit, 60 menit, 70 menit. Grafik hubungan antara *specific wear rate* dan waktu dengan perbandingan bahan *nitrile rubber* dan *polyurethane elastomere* dapat dilihat pada grafik 4.8 dibawah ini.



Grafik 4. 8 Grafik Lifetime terhadap waktu dengan pembebanan 2 kg

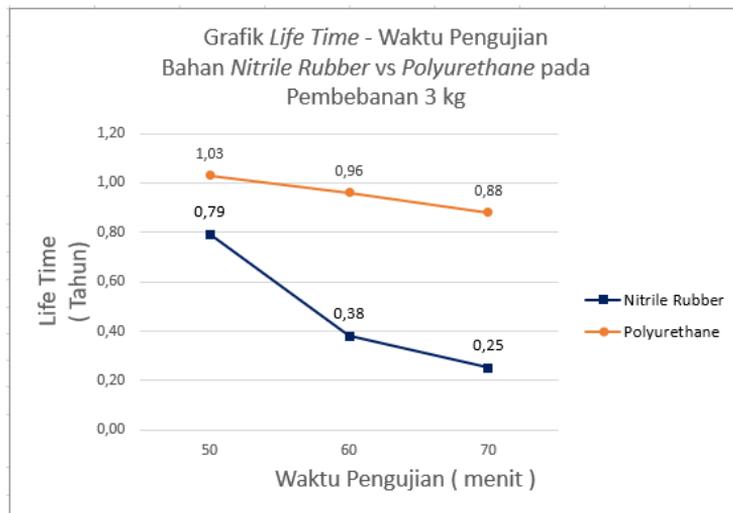
Nilai *Lifetime* antar *nitrile rubber* dan *polyurethane* terlihat berbanding terbalik dengan waktu pengujian, yang mana semakin naik waktu pengujian yang diberikan maka semakin turun nilai umur pakai pada kedua material tersebut. Dimulai pada nilai saat pengujian bahan *nitrile rubber* dilakukan pada variasi waktu 50 menit hingga 60 menit kenaikan grafik cenderung menurun dengan tajam dari awal dengan nilai umur pakai di menit 50 sebesar 2,64 tahun dan di menit 60 sebesar 1,9 tahun, dan berlanjut di menit ke 70 cenderung mempunyai nilai umur pakai yang kembali terus menurun secara tajam yaitu sebesar 1,23 tahun. Untuk nilai saat pengujian bahan *polyurethane* penurunan grafik cenderung landai dari variasi menit 50 hingga 70.

Secara teoritis, nilai umur pakai akan semakin menurun seiring semakin besarnya waktu pengujian yang diberikan. Hal ini dikarenakan semakin lama waktu yang dilakukan pada pengujian maka semakin lama pula kontak yang terjadi antara pin berbahan *nitrile rubber* dan *polyurethane* ini dengan *stainless steel* 316 ini dan semakin memperbesar nilai volume aus serta semakin mendekati volume batas aus yang diijinkan dari material uji pin.

Untuk hasil pengujian sudah sesuai dengan teori yang ada bahwa kenaikan waktu pengujian diikuti oleh penurunan nilai umur pakainya dan untuk perbandingan nilai *lifetime* antar kedua bahan seperti terlihat pada grafik bahwa material bahan *nitrile rubber* pada awalnya di variabel pengujian 60 menit mempunyai nilai umur pakai yang lebih lama dari pada bahan *polyurethane elastomere* namun terjadi perubahan nilai umur pakai di variabel waktu pengujian 60 menit dan 70 menit yang mana bahan *polyurethane* lebih unggul daripada bahan *nitrile rubber* hal tersebut karena penurunan nilai umur pakai *polyurethane* cenderung landai dan stabil beda halnya dengan penurunan nilai umur pakai *nitrile rubber* yang menurun secara tajam dan hal tersebut mengindikasikan bahwa material *polyurethane* lebih unggul pada beban tinggi dan waktu pengujian lama daripada material *nitrile rubber*.

4.2.2.9 Grafik Analisis pengaruh waktu terhadap *Life Time* pada pembebanan 3 kg

Berdasarkan data yang didapatkan, dapat dilakukan analisa berupa nilai *Lifetime* yang mana menunjukkan besarnya nilai umur pakai dari bahan *nitrile rubber* dan *polyurethane* akibat dikenai gaya gesek pada percobaan ini. Pada percobaan untuk mengetahui besaran umur pakai ini dilakukan tiga variasi waktu pengujian yaitu selama 50 menit, 60 menit, 70 menit. Grafik hubungan antara *specific wear rate* dan waktu dengan perbandingan bahan *nitrile rubber* dan *polyurethane* elastomere dapat dilihat pada grafik 4.9 dibawah ini.



Grafik 4. 9 Grafik Lifetime terhadap waktu dengan pembebanan 3 kg

Nilai *Lifetime* antar *nitrile rubber* dan *polyurethane* terlihat berbanding terbalik dengan waktu pengujian, yang mana semakin naik waktu pengujian yang diberikan maka semakin turun nilai umur pakai pada kedua material tersebut. Dimulai pada nilai saat pengujian bahan *nitrile rubber* dilakukan pada variasi waktu 50 menit hingga 60 menit kenaikan grafik cenderung menurun dengan tajam dari awal dengan nilai umur pakai di menit 50 sebesar 0,79 tahun dan di menit 60 sebesar 0,38 tahun.

Dan berlanjut di menit ke 70 cenderung mempunyai nilai umur pakai yang kembali terus menurun secara tajam yaitu sebesar 0,25 tahun. Untuk nilai saat pengujian bahan *polyurethane* penurunan grafik cenderung landai dari variasi menit 50 hingga 70.

Secara teoritis, nilai umur pakai akan semakin menurun seiring semakin besarnya waktu pengujian yang diberikan. Hal ini dikarenakan semakin lama waktu yang dilakukan pada pengujian maka semakin lama pula kontak yang terjadi antara pin berbahan *nitrile rubber* dan *polyurethane* ini dengan *stainless steel 316* ini dan semakin memperbesar nilai volume aus serta semakin mendekati volume batas aus yang

dijinkan dari material uji pin.

Untuk hasil pengujian sudah sesuai dengan teori yang ada bahwa kenaikan waktu pengujian diikuti oleh penurunan nilai umur pakainya dan untuk perbandingan nilai *lifetime* antar kedua bahan seperti terlihat pada grafik bahwa pada pengujian beban tertinggi ini material *polyurethane* menang mutlak pada setiap variabel waktu pengujian yang diberikan, hal tersebut mengindikasikan bahwa material *polyurethane* lebih unggul pada beban tinggi dan waktu pengujian lama daripada material *nitrile rubber*.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Pada Penelitian tentang keausan bearing propeler dengan material *nitrile rubber* dan *polyurethane Elastomer* dengan alat uji *tribometer pin on disk* ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Gesekan antara pin yang terbuat dari *Nitrile Rubber* (NBR) dan *polyurethane elastomere* dengan *Stainless Steel AISI 316* menghasilkan volume keausan dari nilai rata-rata variabel waktu uji (50, 60, 70 menit) pada bahan *Nitrile Rubber* yaitu 0,287 mm³ pada load 1 kg, 0,6093 mm³ pada load 2 kg, dan 2,832 mm³ pada load 3 kg. Dalam bahan *polyurethane*, nilai volume keausan adalah 0,419 mm³ pada load 1 kg, 0,857 mm³ pada load 2 kg, dan 2,571 mm³ pada load 3 kg.
2. Gesekan antara pin yang terbuat dari *Nitrile Rubber* (NBR) dan *polyurethane elastomere* dengan *Stainless Steel AISI 316* menghasilkan laju keausan spesifik dari nilai rata-rata variabel waktu pengujian (50, 60, 70 menit) pada bahan *Nitrile Rubber* yaitu 0,0000835 mm² / Nm pada load 1 kg, 0,000089 mm² / Nm pada load 2 kg, 0,000275 mm² / Nm pada load 3 kg. Pada material *Polyurethane*, nilai laju keausan spesifik adalah 0,000122 mm² / Nm pada load 1 kg, 0,000125 mm² / Nm pada load 2 kg, 0,000239 mm² / Nm pada load 3 kg.
3. Gesekan antara pin yang terbuat dari *Nitrile Rubber* (NBR) dan *polyurethane elastomere* dengan *Stainless Steel AISI 316* menghasilkan nilai umur pakai/*lifetime* dari nilai rata-rata variabel waktu uji (50, 60, 70 menit) pada bahan *Nitrile Rubber* yaitu 4,9 tahun pada load 1 kg, 1,9 tahun pada load 2 kg, 0,4 tahun pada load 3 kg. Dalam bahan *polyurethane*, nilai umur pakai nya adalah 3,9 tahun pada load 1 kg, 1,9 tahun pada load 2 kg, 0,62 tahun pada load 3 kg.
4. Dan kesimpulannya adalah bahwa bahan *polyurethane* lebih unggul dari *Nitrile Rubber* untuk penggunaan beban kerja yang tinggi yang dalam pengujian diberi beban tertinggi 3 kg dalam hal volume keausan dimana *Polyurethane* memiliki nilai 2,571 mm³, sedangkan untuk *Nitrile Rubber* sebesar 2,832 mm³, dari segi laju keausan, *Polyurethane* unggul dengan nilai 0,000239 mm² / Nm, sedangkan untuk *Nitrile Rubber* memiliki nilai 0,000275 mm² / Nm, dalam hal umur pakai/*lifetime*, *Polyurethane* juga lebih unggul pada load 3 kg dengan nilai Lifetime 0,62 tahun, sedangkan untuk *Nitrile Rubber* mempunyai nilai Lifetime 0,4 tahun.

5.2 Saran

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

1. Mengimplementasikan nilai variabel beban/load pengujian dengan load/beban yang diterima oleh bearing propeler pada kondisi aktual sesuai dengan daya mesin dari main engine.
2. Untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan variabel pengujian berupa variasi kecepatan putar disk pada alat uji *tribometer pin on disk* yang disesuaikan dengan kecepatan yang terjadi pada kondisi aktual bearing propeler sesuai dengan daya mesin dari main engine.

DAFTAR PUSTAKA

- Akindoyo, John. 2016. *Polyurethane Types, Synthesis and Applications-a Review*. Malaysia: Universiti Sains Malaysia.
- Muhammad, Andi. 2019. *Desain Konfigurasi Sistem Propulsi Hybrid Terhadap Pengurangan Konsumsi BBM Kapal Penangkap Ikan 30 GT*. Makassar: Universitas Hasanuddin.
- Permana, Bisma. 2016. *Studi Eksperimen dan Analisa Laju Keausan Material Alternatif Bearing pada Poros Propeller Kapal*. Surabaya: ITS.
- Suhartono, Gandung. 2017. *Studi Eksperimental Pengaruh Bentuk Pin Contact Surface Terhadap Keausan dan Volume Aus pada Pengujian reciprocating Tribometer*. Surabaya: ITS.
- Utomo, Edy. 2018. *Core Materials Investigation of Sandwich Panel With Polyurethane Foam, Polyresin and Synteticresin for Ship Construction*. Surabaya: ITS
- 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
- Godolphim Marcus, Antonio Marco, Freitas J.C. 2012. *Construction of a tribometer for test with biolubricant*. Federal Institute of Mato Grosso do sul Camp Grande, Brasil.
- Stoeterau, R. L., 2004, Tribologia EMC 5315, UFSC, Santa Catrina, Brasil.
- Stachowiak, G. W., Batchelor, A. W., 2005. Tribology Engineering, Elsevier Butterworth Heinemann.

Ludema, K. C., 1996 Friction, Wear, Lubrication: A Textbook in tribology CRC Press, p117.

Theo Mang, Kristen Bobzin, Thorsten Bartels, 2010, Industrial Tribology; Tribosystem, Friction, Wear, and Surface Engineering, Lubrication.

Mayer, J., Engelhorn, R., Bot R., Weirich, T., Herwartz., C., Klocke, F., 2006, Wear Characteristics of Second Phase Reinforced Sol Gel corondum abrasive, Acta Mater, 54, 3605-3615

American Bureau of Shipping, 2014, Rules for Building and Classing: Hull Construction and Equipment, Part 3, ABS Plaza, Northcase Drive Houston, Texas, pp. 160

ASTM Standarization, 2000, Standart Test Method for Wear Testing with a Pin on Disk Apparatus, Designation: G99-95a (Reapproved 2000).

ISO 845, 2006, Cellular Plastics and Rubbers – Determination of Apparent Density, Switzerland.

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Kota Surabaya, pada tanggal 09 Maret 1995, dari pasangan Bapak Ir. Mulyanto dan Ibu Aniek Pudjiati sebagai putra pertama dari dua bersaudara. Riwayat pendidikan yang pernah ditempuh adalah TK Hang Tuah 10 Juanda, SD Hang Tuah 10 Juanda, SMP Negeri 1 Waru, dan SMA Negeri 1 Waru. Setelah lulus SMA pada tahun 2013 penulis menempuh pendidikan di Program Studi D3 Teknik Mesin, FTI, ITS dan melanjutkan ke jenjang strata 1 di jurusan Teknik Sistem Perkapalan, FTK, ITS, Surabaya dengan NRP 04211746000024. Di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan ini penulis mengambil bidang keahlian di lab marine manufacturing and design (MMD) dan mengambil tugas akhir dibidang yang sama. Penulis pernah melakukan kerja praktek di PT. Pembangkit Jawa Bali (PJB) UP Muara Karang, Jakarta Utara. Selama menempuh pendidikan perguruan tinggi penulis telah mengikuti berbagai pelatihan dan berpartisipasi sebagai panitia kegiatan. Ketertarikan penulis di bidang keorganisasian, mendorongnya untuk aktif di berbagai organisasi baik didalam atau diluar kampus.

Angga Adi Wibowo
NRP. 04211746000024
Wibowo.anggaadi@gmail.com

Halaman ini sengaja dikosongkan