



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TM 141585

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH BENTUK PIN
CONTACT SURFACE TERHADAP KEAUSAN DAN
VOLUME AUS PADA PENGUJIAN *RECIPROCATING*
*TRIBOMETER***

GANDUNG GISTIANTO SUHARTONO
NRP 2111 100 153

Dosen Pembimbing
Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR - TM 141585

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH BENTUK
PIN *CONTACT SURFACE* TERHADAP KEAUSAN
DAN VOLUME AUS PADA PENGUJIAN
*RECIPROCATING TRIBOMETER***

**GANDUNG GISTIANTO SUHARTONO
NRP 2111 100 153**

**Dosen Pembimbing
Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



FINAL PROJECT - TM 141585

**EXPERIMENTAL STUDY OF CONTACT
SURFACE AGAINST WEAR AND WEAR
VOLUME EFFECTED BY VARIATIONS OF PINS
USING RECIPROCATING TRIBOMETER**

**GANDUNG GISTIANTO SUHARTONO
NRP 2111 100 153**

**Advisor
Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E**

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017**

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH BENTUK PIN
CONTACT SURFACE TERHADAP KEAUSAN DAN
VOLUME AUS PADA PENGUJIAN RECIPROCATING
TRIBOMETER**

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

GANDUNG GISTIANTO SUHARTONO

NRP. 2111 100 153

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E (Pembimbing)
NIP. 196511031990021001
2. Achmad Syaifudin, ST, M.Eng, PhD. (Penguji I)
NIP. 197909262005011001
3. Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA (Penguji II)
NIP. 196508101991021001
4. Ir. Julendra B. Ariatedja, MT (Penguji III)
NIP. 196807061999031004

SURABAYA

JULI, 2017

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH BENTUK PIN
CONTACT SURFACE TERHADAP KEAUSAN DAN
VOLUME AUS PADA PENGUJIAN RECIPROCATING
TRIBOMETER**

Nama Mahasiswa : Gandung Gistiano Suhartono
NRP : 2111100153
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E

Abstrak

Dewasa ini, banyak industri yang menggunakan material akrilik sebagai pengganti kaca. Akrilik itu sendiri merupakan material transparan yang bersifat ringan dan tidak mudah pecah sehingga cocok untuk menjadi alternatif kaca. Selain itu, akrilik juga dapat digunakan sebagai gear pada printer, sendi lutut buatan, dan sendi rahang buatan. Pada penelitian-penelitian sebelumnya telah dilakukan pengujian terhadap material akrilik dengan menggunakan reciprocating tribometer pin-on-plate. Pin yang digunakan berbentuk setengah bola dan terbuat dari baja, sedangkan pelat yang digunakan terbuat dari akrilik. Namun, belum ada penelitian yang menggunakan pin berbentuk kerucut atau lancip. Oleh karena itu, tugas akhir ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan bentuk keausan dan volume aus dari variasi pin tersebut. Selain itu, untuk menunjukkan fenomena akibat gesekan yang terjadi antara plat akrilik dan pin baja. Variasi pin yang digunakan berbentuk setengah bola, silinder datar, dan lancip.

Dalam tugas akhir ini, prosedur eksperimen dilakukan dengan beberapa tahapan yang dimulai dengan dilakukannya analisa dari jurnal dan penelitian sebelumnya tentang pengujian reciprocating

tribometer pin-on-plate dan dilakukan kalibrasi terhadap alat tribometer. Penimbangan dilakukan pada masing-masing pin sebelum dan sesudah dilakukan pengujian. Pengujian dilakukan pada masing-masing pin sebanyak tiga kali dengan pembebanan, kecepatan, dan jarak lintasan yang konstan. Proses berikutnya yaitu mengamati dan menganalisa struktur permukaan kontak. Pada penelitian ini digunakan panjang lintasan 1440 m, sedangkan pembebanan yang diberikan sebesar 40 N, dan kecepatan sebesar 0,2 m/s.

Dari penelitian ini didapatkan nilai volume aus, wear coefficient, dan spesifik wear rate antara pin baja dan plat akrilik semakin meningkat dengan bertambahnya waktu pengujian. Nilai akhir volume aus yang didapat untuk pin berbentuk lancip, silinder datar, dan setengah bola berturut-turut adalah 199,5652 mm³, 127,0435 mm³, dan 88,087 mm³. Nilai wear coefficient untuk pin lancip, silinder datar, dan setengah bola berturut-turut adalah 0,000606, 0,000386, dan 0,000268. Nilai spesifik wear rate untuk pin lancip, silinder datar, dan setengah bola yaitu 0,003465 mm³/Nm, 0,002206 mm³/Nm, dan 0,001529 mm³/Nm. Selain itu, mekanisme keausan yang dihasilkan oleh pin lancip didominasi oleh keausan abrasif sedangkan untuk pin silinder datar dan setengah bola didominasi oleh keausan adhesif.

Kata Kunci: Reciprocating, Tribometer Pin-on-Plate, Keausan, Pin, Volume aus

EXPERIMENTAL STUDY OF CONTACT SURFACE AGAINST WEAR AND WEAR VOLUME EFFECTED BY VARIATIONS OF PINS USING RECIPROCATING TRIBOMETER

Student Name : Gandung Gistiano Suhartono
NRP : 2111100153
Major : Mechanical Engineering FTI-ITS
Advisor : Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E

Abstract

Today, many industries use acrylic materials instead of glass. Acrylic itself is a transparent material that is lightweight and not easily broken, so it is suitable to be an alternative to glass. In addition, acrylic can also be used as gears in printers, artificial knee joints, and artificial jaw joints. In previous studies, there have been many experiments against acrylic material using reciprocating tribometer pin-on-plate. Usually a half-spherical pin made of steel and an acrylic plate are used during the experiments. However, there have been no studies that use cone-shaped or taper pins. Therefore, this final project aims to find out the different forms of wear and wear volume from variations of pins and to show the phenomenon due to friction that occurs between the acrylic plate and steel pins. Variations of pins used in the form of half-spherical, flat cylinder, and cone-shaped.

In this final project, the experimental procedure is done by several stages starting with the analysis of previous journals and researches on the test of reciprocating tribometer pin-on-plate and the calibration of the tribometer. Weighing is done on each pin before and after the test. The test was performed on each pin three times with constant loading, velocity, and track distance. The next

process is to observe and analyze the contact surface structure. The constant variables are given in this study which are, path length of 1440 m, normal load of 40 N, and speed of 0.2 m/s.

From this research, yield the value of wear volume, wear coefficient, and specific wear rate between steel pins and acrylic plate that increases with the increasing time of testing. The result of wear volume obtained for cone-shaped, flat cylinder, and half-spherical pins are 199,5652 mm³, 127,0435 mm³, and 88,087 mm³, respectively. The value of wear coefficient for cone-shaped, flat cylinder, and half-spherical pins are 0.000606, 0.000386, and 0.000268, respectively. Specific wear rate values for cone-shaped, flat cylinder, and half-spherical pins are 0.003465 mm³/Nm, 0.002206 mm³/Nm, and 0.001529 mm³/Nm. In addition, the wear mechanism resulting from the cone-shaped pin was dominated by abrasive wear mechanism while the flat cylinder and the half-spherical pins was dominated by adhesive wear.

Keywords: Reciprocating, Pin-on-Plate Tribometer, Wear, Pin, Wear Volume

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Rabbil'alamin. Puji syukur penulis panjatkan kehadirat ALLAH SWT atas limpahan rahmat, hidayah, rizki dan izin-Nya sehingga penyusunan laporan tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.

Penyusunan laporan tugas akhir ini merupakan salah satu syarat akademis untuk kelulusan mahasiswa Program Studi S1 Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis menyadari dalam penyusunan laporan tugas akhir ini bukan semata-mata atas kemampuan penulis sendiri, melainkan dengan adanya dukungan, bimbingan dan dorongan dari berbagai pihak, baik secara langsung, maupun tidak langsung. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orangtua Bapak Toto Suhartono dan Ibu Suwarti, serta saudara kandung Ghoffar Fistian Suhartono dan Ghifari Gistianto Suhartono yang selalu memberikan semangat dan do'a yang tak henti-henti hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
2. Bapak Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan dan nasehat kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA, Bapak Ir. Julendra B. Ariatedja, MT, dan Bapak Achmad Syaifudin, ST, M.Eng., PhD., selaku dosen penguji yang telah memberikan banyak saran dalam penyusunan tugas akhir ini.
4. Bapak Bambang Pramujati, ST, MSc.Eng, Ph.D, selaku Kepala Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
5. Bapak Prof. Dr. Ing. Ir. I Made Londen Batan, M.Eng, selaku dosen wali.
6. Seluruh Dosen beserta staff karyawan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya yang telah memberikan bekal ilmu

pengetahuan serta sarana dan prasarana kepada penulis selama menjalani perkuliahan.

7. Deanna Annisa Dewi yang tidak pernah berhenti memberikan dorongan, semangat, kasih sayang, dan mendoakan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
8. Seluruh rekan-rekan Laboratorium Mekanika Benda Padat yang telah memberikan bantuan dan dukungan dalam proses penyelesaian tugas akhir ini.
9. Seluruh rekan-rekan Teknik Mesin ITS 2011 M54 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Intitut Teknologi Sepuluh Nopember yang turut membantu dan memberikan dukungan kepada penulis.

Semoga amal dan jasa yang telah diberikan dapat bermanfaat dan mendapat imbalan dari ALLAH SWT.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan laporan tugas akhir ini. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun untuk penyempurnaan laporan tugas akhir ini. Dan penulis meminta maaf apabila terdapat kalimat yang kurang berkenan pada laporan tugas akhir ini.

Penulis berharap semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan seluruh pembaca untuk kemajuan yang lebih baik. Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat.....	3
BAB II KAJIAN PUSTAKA	5
2.1 Pengujian Laju Keausan Resin Akrilik dengan Penambahan Serat Penguat	5
2.2 Analisa Koefisien Gesek Saat Terjadi Fenomena Stick-Slip pada Reciprocating Contact.....	9
2.3 Metode Menghitung Volume yang Tergerus.....	12
2.3.1 Metode keausan adhesif	12
2.3.2 Metode keausan abrasif	14
2.4 Menghitung Laju Keausan.....	15
2.5 Keausan (Wear)	16
2.6 Mekanisme Keausan (Wear Mechanism)	17
2.6.1 Keausan adhesif (adhesive wear mechanism)	17
2.6.2 Keausan Abrasif (Abrasive Wear Mechanism)	18

2.6.3 Keausan Lelah (Fatigue Wear Mechanism)	19
2.6.4 Keausan Korosif (Corrosive Wear Mechanism).....	21
2.7 Karakteristik Akrilik	22
BAB III METODE PENELITIAN	23
3.1 Langkah-langkah Penelitian	23
3.2 Langkah Kerja Penelitian.....	27
3.3 Spesifikasi Peralatan yang Digunakan.....	33
3.4 Bagian Utama Dari Tribometer Pin-On-Plate.....	36
3.5 Spesifikasi Spesimen Uji	37
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	39
4.1 Analisa Keausan Terhadap Pengaruh Bentuk Pin	39
4.1.1 Analisa Data Volume Aus Terhadap Pengaruh Bentuk Pin.....	40
4.1.2 Analisa Data Wear Coefficient Terhadap Pengaruh Bentuk Pin	43
4.1.3 Analisa Data Specific Wear Rate Terhadap Pengaruh Bentuk Pin	46
4.2 Analisa Permukaan Kontak	48
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	53
5.1 Kesimpulan.....	53
5.2 Saran	53
DAFTAR PUSTAKA	xiii
LAMPIRAN	xv
BIODATA PENULIS	xix

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tribometer Tipe Pin-on-Disc	5
Gambar 2.2 Grafik Specific Wear Rate pada Pembebanan 2 kg dan Kecepatan 0,07 m/s.....	6
Gambar 2.3 Grafik Volume Aus pada Uji Keausan Resin Akrilik Berpenguat Serat	7
Gambar 2.4 Foto Mikro Spesimen (a). 0% Serat (b). 1% Serat (c). 2% Serat (d). 3% Serat (e). 5% Serat (f). 7% Serat dengan Pembesaran 200x.....	8
Gambar 2.5 Tribometer Pin on Plate Reciprocating	9
Gambar 2.6 Grafik Koefisien Gesek (μ) Fungsi Waktu pada Beban 1 kg.....	10
Gambar 2.7 Grafik Koefisien Gesek (μ) Fungsi Waktu pada Beban 3 kg.....	10
Gambar 2.8 Grafik Koefisien Gesek (μ) Fungsi Waktu pada Beban 5 kg.....	11
Gambar 2.9 Hipotesis Model Partikel Setengah Bola yang Bergesekan pada Saat Sliding ^[10]	12
Gambar 2.10 Model Keausan Abrasif oleh Indentor Berbentuk Kerucut ^[8]	14
Gambar 2.11 Skema Gambar dari 4 Mekanisme Keausan ^[8]	17
Gambar 2.12 Pengamatan Micrographs Keausan Adhesif ^[6]	18
Gambar 2.13 Mekanisme Keausan Adhesif ^[6]	18
Gambar 2.14 Pengamatan Micrographs Keausan Abrasif ^[6]	19
Gambar 2.15 Mekanisme Keausan Abrasif ^[6]	19
Gambar 2.16 Keausan Lelah pada Ball Bearing ^[6]	20
Gambar 2.17 Mekanisme Keausan Lelah ^[6]	20
Gambar 2.18 Keausan Korosif pada Baja ^[6]	21
Gambar 2.19 Mekanisme Keausan Korosif ^[6]	21
Gambar 3.1 Flowchart Penelitian	24
Gambar 3.2 Tiga Macam Bentuk Pin	26
Gambar 3.3 Dimensi Pelat Akrilik	28
Gambar 3.4 Dimensi Pin.....	28

Gambar 3.5 Reciprocating Tribometer Pin-on-Plate	29
Gambar 3.6 Konstruksi Tribometer Pin-On Plate Reciprocating	31
Gambar 3.7 Electronic Kitchen Scale SF-400	34
Gambar 3.8 Timbangan Digital	34
Gambar 3.9 Mikroskop Optis.....	35
Gambar 3.10 Xiaomi Yi.....	36
Gambar 3.11 Bagian Utama Tribometer Pin-On Plate ^[11]	37
Gambar 4.1 Grafik Volume Aus Terhadap Bentuk Pin	41
Gambar 4.2 Grafik Wear Coefficient Terhadap Bentuk Pin	44
Gambar 4.3 Grafik Spesific Wear Rate Terhadap Bentuk Pin...47	
Gambar 4.4 Foto Mikro Plat Akrilik Dengan Perbesaran 100x Setelah Diuji Dengan Pin Setengah Bola	49
Gambar 4.5 Foto Mikro Plat Akrilik Dengan Perbesaran 100x Setelah Diuji Dengan Pin Silinder Datar	49
Gambar 4.6 Foto Mikro Plat Akrilik Dengan Perbesaran 100x Setelah Diuji Dengan Pin Lancip	50

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai Specific Wear Rate	6
Tabel 2.2 Perbandingan Beban 1 kg, 3 kg, dan 5 kg	11
Tabel 3.1 Data Hasil Pengujian	33
Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian	39
Tabel 4.2 Data Hasil Perhitungan Volume Aus (ΔV).....	41
Tabel 4.3 Data Perhitungan Wear Coefficient (K)	43
Tabel 4.4 Data Perhitungan Spesific Wear Rate (K')	46

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tribology adalah salah satu ilmu terapan di bidang teknik mesin yang mempelajari gesekan, keausan dan pelumasan, memberikan kontribusi dalam upaya meminimalkan keausan akibat kontak antara dua permukaan, sehingga dapat diterapkan di industri untuk menganalisa kasus kegagalan atau kerusakan pada komponen mesin.

Salah satu fenomena yang terjadi dalam bidang pemesinan adalah fenomena kontak antar komponen. Kontak yang terjadi antar komponen bisa berupa *static contact*, *rolling contact*, atau *sliding contact*. Kontak mekanik (*contact mechanics*) merupakan hal yang penting, karena dapat mempelajari bagaimana struktur topografi permukaan (*asperity*) mengalami deformasi.

Gaya yang ditimbulkan oleh dua benda yang bergesekan dan arahnya berlawanan disebut dengan gaya gesek. Gaya gesek atau *friction* yang terjadi pada benda padat terdiri dari dua jenis, yaitu gaya gesek statis dan gaya gesek kinetis. Jika benda yang mengalami kontak tidak mengalami pergerakan, maka gesekannya disebut dengan gesekan statis. Jika gaya yang dikerjakan cukup untuk menggerakkan benda, maka gerakannya disebut dengan gaya kinetis. Gesekan yang terjadi secara terus-menerus dapat menyebabkan terjadinya keausan atau hilangnya partikel suatu benda.

Keausan terjadi apabila dua buah benda yang saling menekan dan saling bergesekan. Keausan yang lebih besar terjadi pada bahan yang lebih lunak. Faktor-faktor yang mempengaruhi keausan adalah kecepatan, tekanan, kekasaran permukaan dan kekerasan bahan. Semakin besar kecepatan relative benda yang bergesekan, maka material semakin mudah aus. Demikian pula semakin besar tekanan pada permukaan benda yang berkontak, material akan cepat aus,

begitu pula sebaliknya. Plat datar berbahan akrilik digunakan untuk penelitian ini. Selain sebagai pengganti kaca, akrilik juga dapat digunakan di dalam kehidupan sehari-hari, seperti anak tangga pada rumah-rumah modern, perabotan rumah tangga, gigi tiruan, dan *gear* pada *printer*. Selain plat akrilik, pin yang digunakan dalam penelitian ini berbahan baja dengan bentuk lancip, silinder datar, dan setengah bola. Dengan berbagai macam bentuk pin yang digunakan maka dapat diamati perbedaan bentuk keausan dan juga volume aus untuk masing-masing bentuk pin.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai keausan dari sebuah plat akrilik yang bergesekan secara *reciprocating* terhadap pengaruh bentuk pin baja yang berbeda-beda dan mengetahui pengaruh bentuk pin baja terhadap volume aus dengan menggunakan alat uji Tribometer *Reciprocating Pin on Plate*. Pengujian dilakukan dengan cara menggesekkan spesimen uji yaitu pelat akrilik dengan pin baja pada alat Tribometer dengan lintasan sejauh 1440 m dan kecepatan sliding sebesar 0,2 m/s serta pembebanan yang diberikan sebesar 40 N. Dari hasil penelitian akan didapatkan hasil berupa perbandingan keausan dan volume aus terhadap variasi pin Tribometer yang berbentuk lancip, silinder datar, dan setengah bola. Hal ini dapat membantu penelitian-penelitian selanjutnya untuk penggunaan material akrilik sebagai gigi tiruan, *gear* pada *printer*, dan lain sebagainya.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana dampak variasi bentuk pin terhadap keausan yang terjadi pada kontak secara *reciprocating*?
2. Bagaimana dampak variasi bentuk pin terhadap volume aus yang terjadi pada kontak secara *reciprocating*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh variasi bentuk pin terhadap *wear coefficient*, *specific wear rate*, dan kontur permukaan yang terjadi pada kontak secara *reciprocating*.
2. Mengetahui pengaruh variasi bentuk pin terhadap volume aus yang terjadi pada kontak secara *reciprocating*.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Pada saat pengujian kondisi temperatur pada suhu ruangan.
2. Efek panas akibat gesekan diabaikan.
3. Material yang diuji adalah akrilik.
4. Tidak ada pelumasan.
5. Material yang digesekkan adalah *steel* dengan *acrylic*.
6. Beban yang digunakan sebesar 40 N.
7. Besar beban konstan saat pengujian.
8. Kecepatan diasumsikan konstan.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Mahasiswa dapat lebih memahami ilmu *tribology*.
2. Dapat memahami pengaruh variasi bentuk pin terhadap keausan yang terjadi.
3. Dapat memahami pengaruh variasi bentuk pin terhadap volume aus yang terjadi.
4. Mengetahui pengaruh variasi bentuk pin terhadap grafik *Wear Rate*.
5. Mengetahui pengaruh variasi bentuk pin terhadap grafik Volume Aus.

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BAB II KAJIAN PUSTAKA

2.1 Pengujian Laju Keausan Resin Akrilik dengan Penambahan Serat Penguat

Widianingrum, Dwi Tarina (2012), melakukan kajian tribologi dalam tugas akhirnya yang berjudul “Studi Eksperimental Laju Keausan (*Specific Wear Rate*) Resin Akrilik dengan Penambahan Serat Penguat pada *Dental Prosthesis*”^[1]. Pada penelitiannya dilakukan pengujian secara eksperimental untuk menguji keausan antara pin dan disk yang terbuat dari resin akrilik dengan menggunakan alat uji tribometer tipe *pin-on-disk* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1.

Pada Gambar 2.1 dapat dilihat model pengujian yang dilakukan oleh Widianingrum (2012) dimana pin diletakkan di atas disk dengan beban tertentu dan saling bergerak berlawanan arah yang diputar menggunakan motor. Pada penelitian ini digunakan kecepatan *sliding* sebesar 0,07 m/s

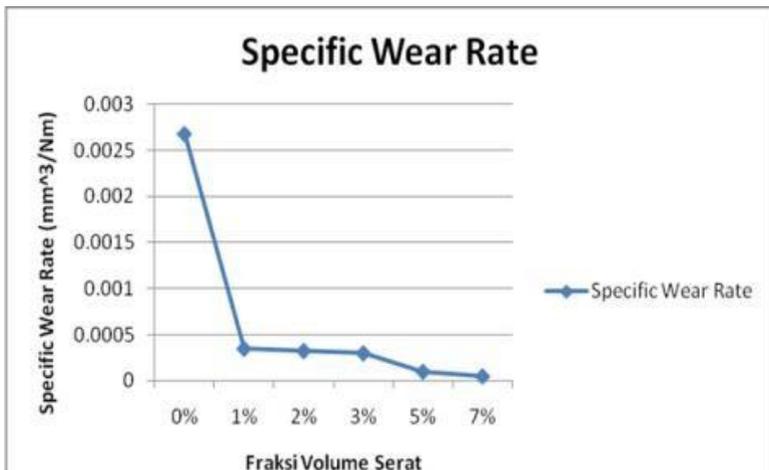


Gambar Error! No text of specified style in document..1 Tribometer Tipe Pin-on-Disk

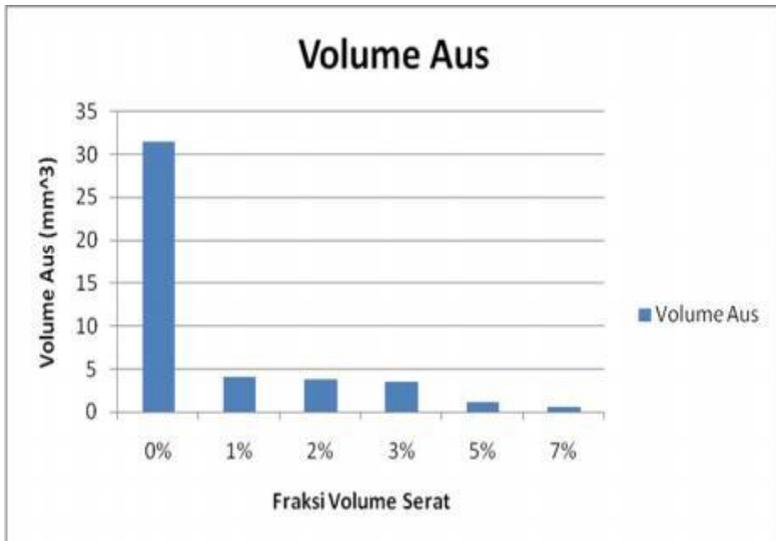
dan pembebanan sebesar 2 kg. Secara garis besar pengujian ini membandingkan laju keausan dan volume aus antara material akrilik yang sudah ditambahkan serat penguat sebesar 1%, 2%, 3%, 5%, dan 7% terhadap material akrilik yang tidak ditambahkan serat penguat secara *dry sliding*. Setelah dilakukan pengujian selanjutnya spesimen ditimbang untuk mengetahui laju keausan dan volume aus dari perubahan massa pin sebelum dan sesudah pengujian.

Tabel Error! No text of specified style in document..1 Nilai

Pin	(kg)	(gr)	(menit)	distance (m)	(mm ³)	speed v (m/s)	(N)	(mm ³ /Nm)
0%	2	0.0373	136	600	31.31261	0.073329	19.6	0.00267964
1%	2	0.0049	136	600	4.06774	0.073329	19.6	0.0003459
2%	2	0.0046	136	600	3.771728	0.073329	19.6	0.00032073
3%	2	0.0043	136	600	3.481781	0.073329	19.6	0.00029607
5%	2	0.0014	136	600	1.123596	0.073329	19.6	9.5544E-05
7%	2	0.0007	136	600	0.540541	0.073329	19.6	4.5964E-05



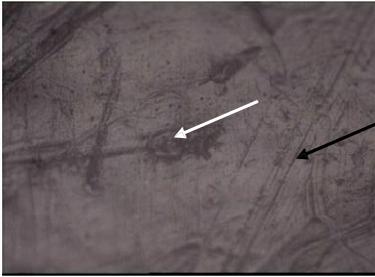
Gambar Error! No text of specified style in document..2 Grafik *Specific Wear Rate* pada Pembebanan 2 kg dan Kecepatan 0,07 m/s



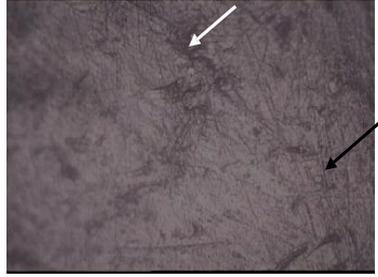
Gambar Error! No text of specified style in document..3 Grafik Volume Aus pada Uji Keausan Resin Akrilik Berpenguat Serat

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Widianingrum (2012) menjelaskan bahwa pengaruh penambahan serat pada laju keausan menunjukkan bahwa laju keausan cenderung menurun seiring bertambahnya fraksi volume serat ^[1]. Hal ini ditunjukkan dengan nilai *specific wear rate* yang didapat yaitu pada resin akrilik dengan variasi fraksi volume serat sebesar 0% memiliki nilai sebesar $2,68 \times 10^{-3}$ sedangkan pada fraksi volume serat sebesar 7% didapat nilai sebesar $4,6 \times 10^{-5}$. Perbedaan ini disebabkan adanya peran serat yang cukup optimal dalam menahan beban yang diterima komposit, sehingga laju keausan dapat ditekan. Demikian pula dengan volume aus yang didapat yaitu sebesar 31,51 mm pada fraksi volume serat 0% dan 0,54 mm pada fraksi volume serat 7%. Mekanisme keausan yang terjadi pada material resin akrilik berpenguat serat didominasi mekanisme abrasif dan adhesif. Goresan pada permukaan kontak spesimen menunjukkan

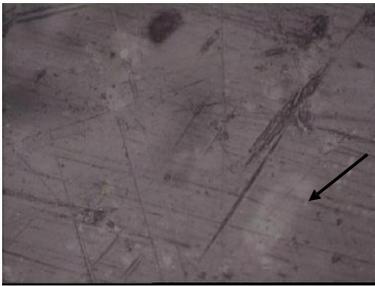
adanya mekanisme abrasif dan mengelupasnya material mengindikasikan mekanisme adesif.



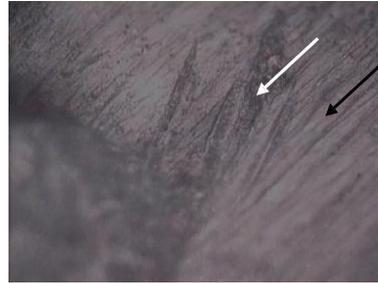
(a)



(b)



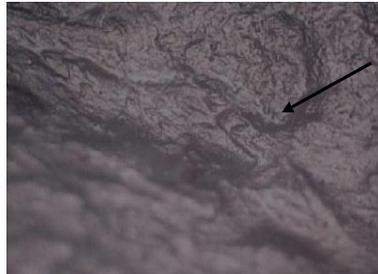
(c)



(d)



(e)



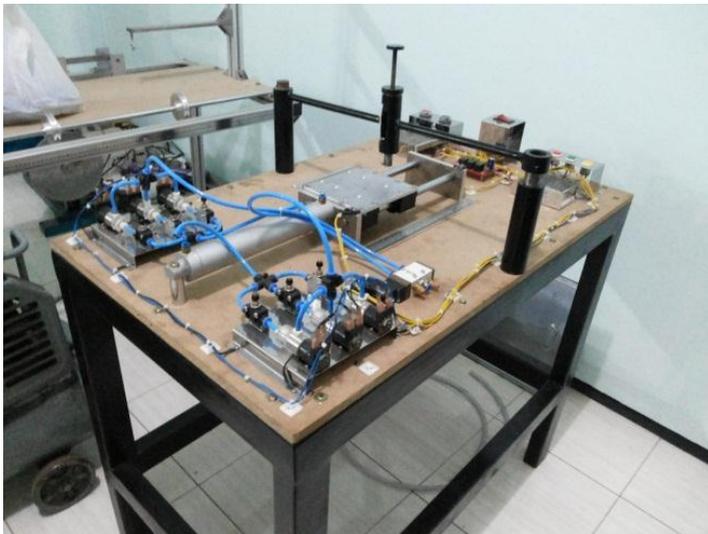
(f)

Gambar Error! No text of specified style in document..4 Foto Mikro Spesimen (a). 0% Serat (b). 1% Serat (c). 2% Serat (d). 3% Serat (e). 5% Serat (f). 7% Serat dengan Pembesaran 200x

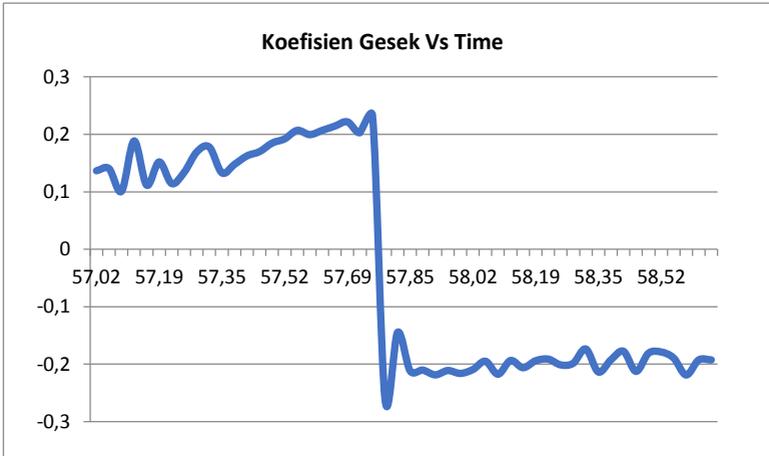
2.2 Analisa Koefisien Gesek Saat Terjadi Fenomena *Stick-Slip* pada *Reciprocating Contact*

Simatupang, Ruben (2016) melakukan penelitian dalam tugas akhirnya yang berjudul “Studi Eksperimen Analisa Koefisien Gesek pada Saat Terjadi Fenomena *Stick-Slip Friction* pada *Reciprocating Contact*”^[2]. Pada penelitian ini dilakukan pengujian secara eksperimen untuk mengetahui koefisien gesek yang terjadi saat fenomena *stick-slip* dengan menggunakan alat Tribometer *Pin on Plate Reciprocating* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5 berikut.

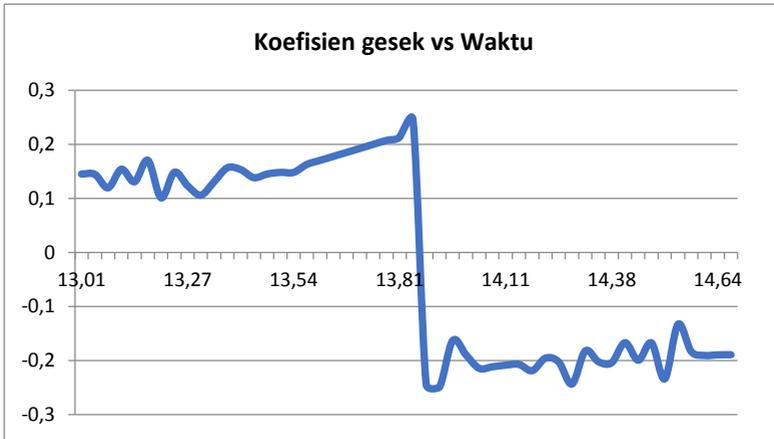
Berdasarkan Gambar 2.5, model pengujian yang dilakukan adalah gesekan dua arah dengan posisi pin yang tetap dan *plate* yang bergerak secara bolak balik. Pada pengujian ini digunakan variasi beban sebesar 1 kg, 3 kg, dan 5 kg secara *dry sliding*.



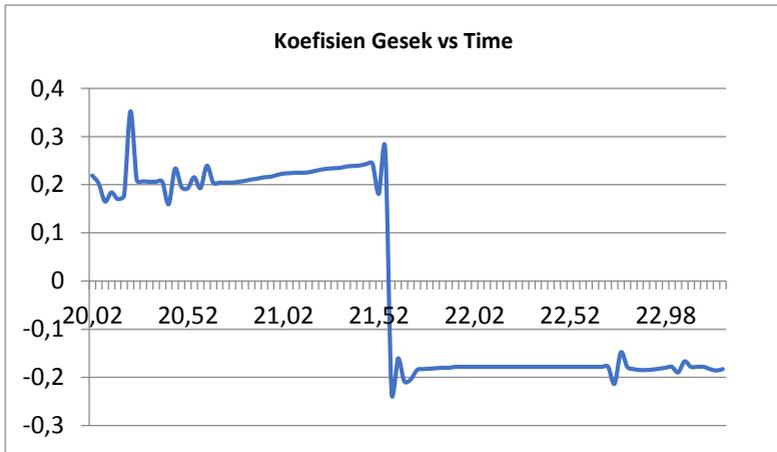
Gambar Error! No text of specified style in document..5
Tribometer Pin on Plate Reciprocating



Gambar Error! No text of specified style in document..6 Grafik Koefisien Gesek (μ) Fungsi Waktu pada Beban 1 kg



Gambar Error! No text of specified style in document..7 Grafik Koefisien Gesek (μ) Fungsi Waktu pada Beban 3 kg



Gambar Error! No text of specified style in document..8 Grafik Koefisien Gesek (μ) Fungsi Waktu pada Beban 5 kg

Tabel Error! No text of specified style in document..2 Perbandingan Beban 1 kg, 3 kg, dan 5 kg

	Waktu	Gaya	Koefisien Gaya Gesek
Beban 1kg	0,5	4N - 7 N	0,16 - 0,23
Beban 3kg	0,57	6 N - 7 N	0,16 - 0,24
Beban 5kg	1,07	10 - 12 N	0,2 - 0,27

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Simatupang (2016) menjelaskan bahwa fase waktu terjadi *stick-slip* pada pembebanan 1 kg, 3 kg, dan 5 kg cenderung meningkat. Pada beban 1 kg waktu yang dibutuhkan dari keadaan bergerak diam kemudian bergerak kembali rata-rata adalah 0,5 s, pada beban 3 kg rata-rata adalah 0,57 s dan pada beban 5 kg adalah 1,2 s. Koefisien gesek pada pembebanan 1 kg, 3 kg, dan 5 kg cenderung meningkat. Pada beban 1 kg rata-rata 0,16-0,25, pada beban 3 kg rata-rata 0,16-0,24 dan pada beban 5 kg rata-rata 0,2-0,27. Pada gaya dorong dari *pneumatic* dengan

pembebanan 1 kg rata-rata 4 N-7 N, pada pembebanan 3 kg rata-rata 6 N-7N, dan pada beban 5 kg rata-rata 10 N-12 N.

2.3 Metode Menghitung Volume yang Tergerus

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

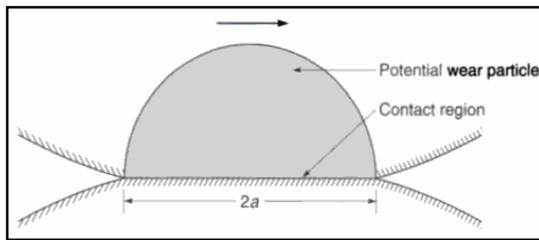
2.3.1 Metode keausan adhesif

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:

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



Gambar Error! No text of specified style in document..9
Hipotesis Model Partikel Setengah Bola yang Bergesekan pada
Saat *Sliding*^[10]

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:

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

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:

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

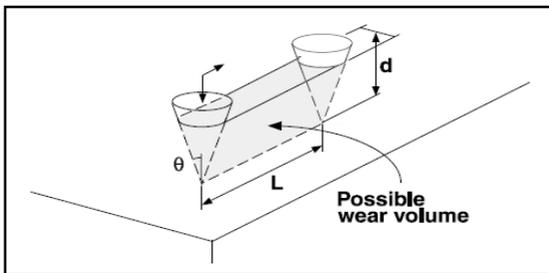
Ψ adalah *time rate of wear* atau *wear rate* dengan satuan m^3/s , W adalah beban dengan satuan N, v adalah *sliding speed* dengan satuan m/s, H adalah *hardness material* dengan satuan Pa, sedangkan k adalah *wear coefficient* tanpa satuan.

2.3.2 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 indentor setelah menempuh *sliding distance* sejauh (L) adalah:

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



Gambar Error! No text of specified style in document..10 Model Keausan Abrasif oleh Indentor Berbentuk Kerucut^[8]

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:

$$\frac{1}{2} \cdot \pi \cdot (d \cdot \tan \theta)^2 = \frac{W}{H} \quad (2.8)$$

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

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

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

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

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]

2.4 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).

$$V = f(L, W, H, \tilde{V}) \quad (2.11)$$

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

1. Perubahan geometri pada spesimen:
 - a. Perubahan pada dimensi secara linier
 - b. Perubahan pada *cross-sections*
 - c. Perubahan pada volume
2. Perubahan massa pada spesimen
3. Jumlah dari *worn material-loss*
Atau dengan mengukur kuantitas keausan secara relatif, yaitu *wear rates* sebagai berikut:
4. *The wear-time-ratio (wear velocity)*
5. *The wear-distance-ratio*

Atau dengan mengukur *wear coefficient* yang didefinisikan sebagai berikut:

$$K' = \frac{\text{wear volume}}{\text{load} \cdot \text{distance}} \left(\frac{\text{mm}^3}{\text{Nm}} \right) \quad (2.12)$$

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

$$K = \frac{\text{wear volume} \cdot \text{hardness}}{\text{load} \cdot \text{distance}} \quad (2.13)$$

2.5 Keausan (*Wear*)

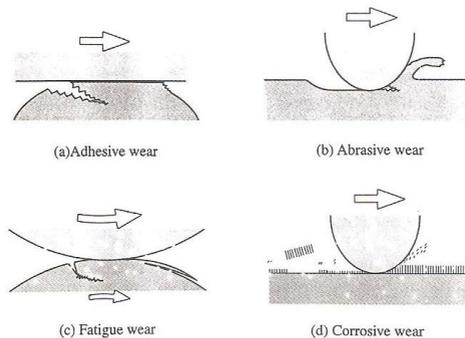
Keausan (*Wear*) adalah kerusakan pada permukaan atau hilangnya material dari satu atau kedua permukaan benda padat pada saat terjadi gesekan, perputaran atau efek dari gerakan relatif antara satu sama lain. Pada umumnya, keausan terjadi antara permukaan yang berinteraksi pada *asperities*. *Asperities* merupakan istilah yang dikenalkan oleh Coulomb yang mempunyai makna berupa ketidakteraturan mikroskopis pada permukaan. Keausan bukan merupakan sifat dasar material, melainkan respon material terhadap aksi mekanis (gesekan). Akibat negatif yang ditimbulkan adalah ketahanan (*durability*) dan kehandalan (*reliability*) dari benda yang aus akan berkurang karena perubahan dimensi dari benda tersebut.

2.6 Mekanisme Keausan (*Wear Mechanism*)

Terdapat 4 mekanisme terjadinya keausan yang secara umum dianggap sebagai dasar dan utama, yaitu:

1. Keausan adhesif (*Adhesive wear mechanism*)
2. Keausan abrasif (*Abrasive wear mechanism*)
3. Keausan lelah (*Fatigue wear mechanism*)
4. Keausan korosif (*Corrosive wear mechanism*)

Skema gambar dari keempat mekanisme keausan tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.11. berikut.

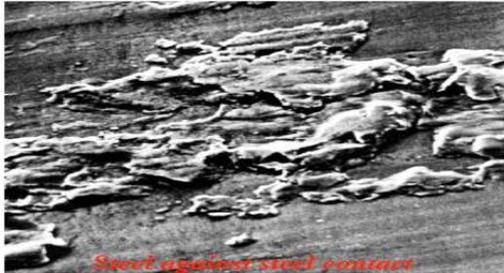


Gambar Error! No text of specified style in document..11 Skema Gambar dari 4 Mekanisme Keausan^[8]

2.6.1 Keausan adhesif (*adhesive wear mechanism*)

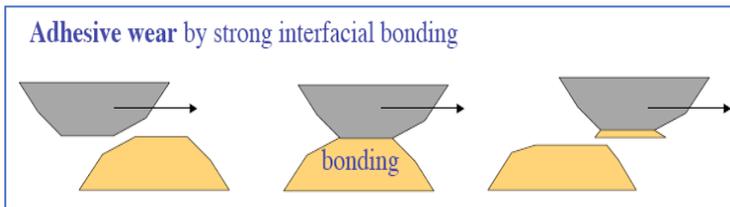
Keausan adhesif terjadi bila kontak permukaan dari material mengakibatkan adanya perekatan (*adhesive*) antara satu sama lain. Bila tekanan normal sedang diterapkan, tekanan lokal di asperities akan menjadi sangat tinggi. Seringkali tekanan lokal tersebut melampaui tegangan luluh material sehingga menyebabkan terjadinya deformasi plastis dan pada akhirnya terjadi pengikatan (*bonding*) permukaan material yang satu oleh yang lain. Jika sifat adhesif dari material lebih tinggi dari sifat

kohesinya, akan terjadi pengurangan materi pada permukaan, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.12 dan



mekanismenya pada Gambar 2.13.

Gambar Error! No text of specified style in document..12



Pengamatan *Micrographs* Keausan Adhesif^[6]

Gambar Error! No text of specified style in document..13

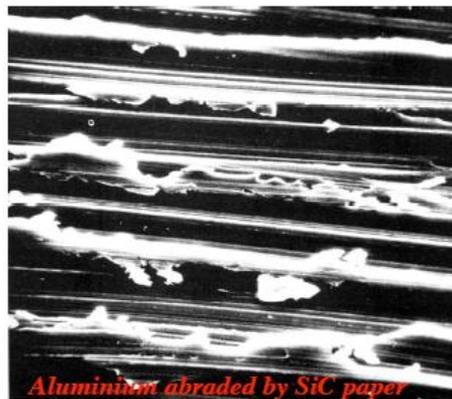
Mekanisme Keausan Adhesif^[6]

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

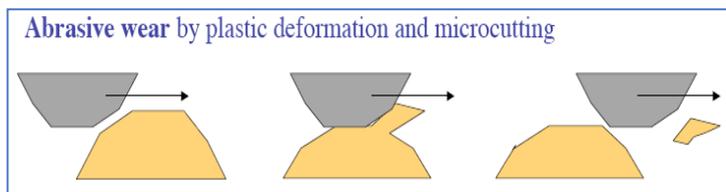
2.6.2 Keausan Abrasif (Abrasive Wear Mechanism)

Keausan abrasif terjadi bila suatu partikel keras dari material tertentu meluncur pada permukaan material lain yang lebih lunak sehingga terjadi penetrasi atau pemotongan oleh *asperities* dari material yang lebih keras

terhadap material yang lebih lunak. Keausan abrasif juga dapat terjadi karena adanya partikel kecil yang terperangkap pada permukaan material, sementara kekerasan partikel tersebut lebih tinggi dari kekerasan permukaan material. Salah satu bentuk keausan abrasif seperti diperlihatkan pada Gambar 2.14, sedangkan mekanisme keausannya seperti ditunjukkan pada Gambar 2.15.



Faktor yang mempengaruhi keausan abrasif antara lain kekasaran permukaan dan perbedaan kekerasan material



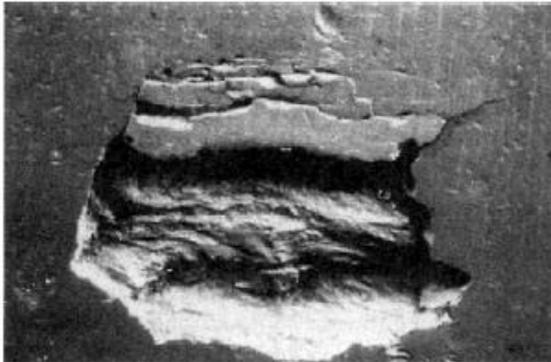
yang bergesekan.

Gambar Error! No text of specified style in document..14
Pengamatan *Micrographs* Keausan Abrasif^[6]

Gambar Error! No text of specified style in document..15
Mekanisme Keausan Abrasif^[6]

2.6.3 Keausan Lelah (Fatigue Wear Mechanism)

Keausan lelah pada material disebabkan pemberian beban secara berulang selama terjadinya gesekan antar permukaan material. *Fatigue* hanya akan terjadi jika beban yang diterima material lebih besar dari *fatigue strength* dari material itu sendiri. Keausan lelah diawali dengan pembentukan retak-retak mikro pada permukaan (*surface*) material dan kemudian menyebar ke bawah permukaan (*subsurface*). Retak-retak mikro tersebut pada akhirnya akan menyatu dan menyebabkan terjadinya pengelupasan material. Gambar 2.16. menunjukkan kegagalan lelah yang terjadi pada *ball bearing* dan Gambar 2.17. menunjukkan



mekanisme dari keausan lelah.

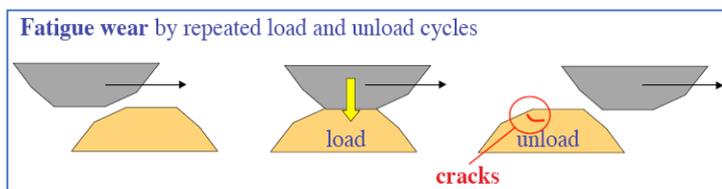
Faktor yang mempengaruhi keausan lelah antara lain besar tegangan, jumlah pengulangan pembebanan dan sifat ketahanan lelah dari material itu sendiri.

Gambar Error! No text of specified style in document..16
Keausan Lelah pada *Ball Bearing*^[6]

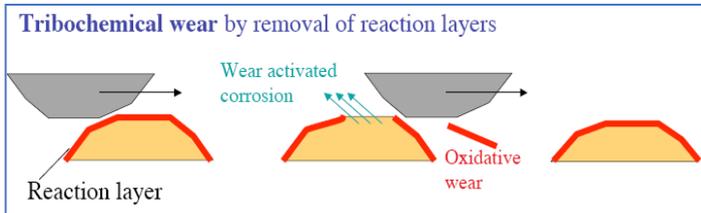
Gambar Error! No text of specified style in document..17
 Mekanisme Keausan Lelah^[6]

2.6.4 Keausan Korosif (Corrosive Wear Mechanism)

Proses kerusakan dimulai dengan adanya perubahan kimiawi material di permukaan oleh faktor lingkungan. Kontak dengan lingkungan ini menghasilkan pembentukan lapisan pada permukaan dengan sifat yang berbeda dengan material induk. Sebagai konsekuensinya, material akan mengarah kepada perpatahan *interface* antara lapisan permukaan yang terbentuk dan material induk saat terjadi gesekan antar permukaan benda padat. Pada akhirnya seluruh lapisan permukaan itu akan tercabut. Pada Gambar 2.18. dapat dilihat permukaan baja yang mengalami keausan korosif sedangkan Gambar 2.19. menunjukkan mekanisme keausan korosif.

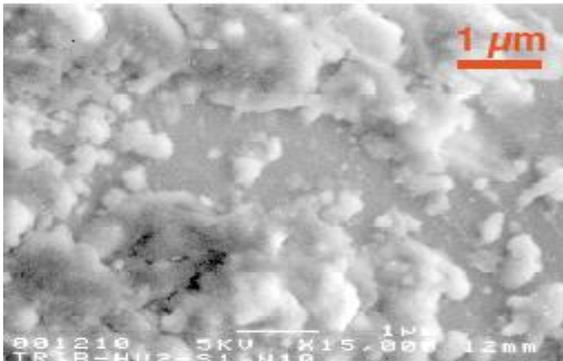


Gambar Error! No text of specified style in document..18
Keausan Korosif pada Baja^[6]



Gambar Error! No text of specified style in document..19
Mekanisme Keausan Korosif^[6]

2.7 Karakteristik Akrilik



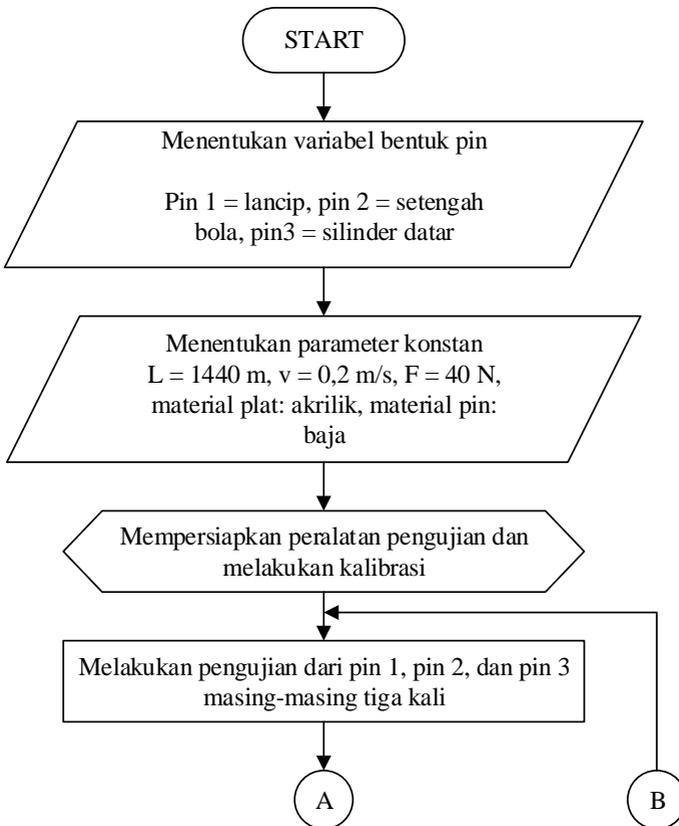
Akrilik adalah jenis plastik yang transparan, fleksibel, dan menunjukkan ketahanan yang besar terhadap kerusakan. Akrilik merupakan bahan yang sangat baik untuk digunakan dalam tempat kaca untuk jendela, pintu, partisi, dan lain-lain. Memiliki berat yang ringan, setengah dari berat kaca dengan dimensi yang sama, dan hampir tidak terpengaruh oleh alam. transparansi akrilik, *gloss* dan bentuk dimensi yang hampir tidak terpengaruh oleh waktu, semprotan garam atau atmosfer korosif. Bahan ini dapat menerima paparan cahaya dari lampu neon tanpa menggelap atau memburam. Namun akan dapat

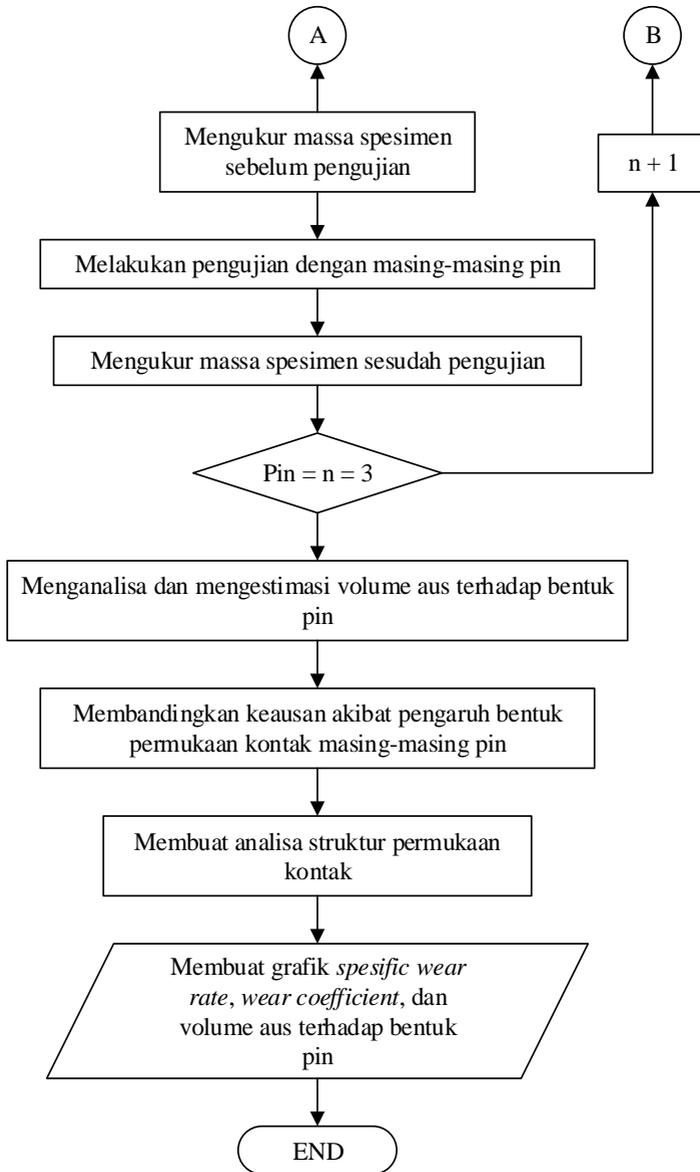
memburam apabila terkena paparan sinar UV dengan intensitas tinggi diatas 265 nm. Tahan pada suhu -40 F sampai 180 F. Mudah difabrikasi, karena dapat digergaji, dibor, diampelas dan dipoles. Aplikasi dari akrilik adalah jendela, *display*, nampan, model mesin.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Langkah-langkah Penelitian

Dalam penelitian ini, terdapat diagram alir penelitian bisa dilihat pada Gambar 3.1. Penelitian dilakukan secara eksperimental atau analitis, yaitu pengambilan data secara langsung dan dilakukan perhitungan serta analisa. Secara umum metodologi penelitian dapat dijabarkan pada diagram alir berikut ini:



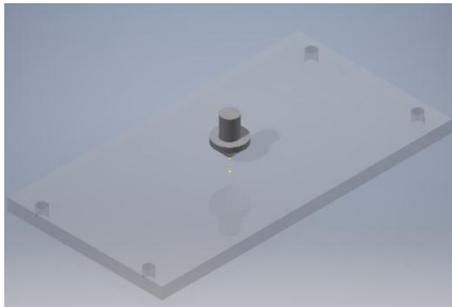
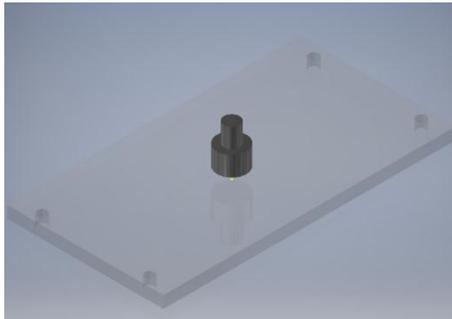


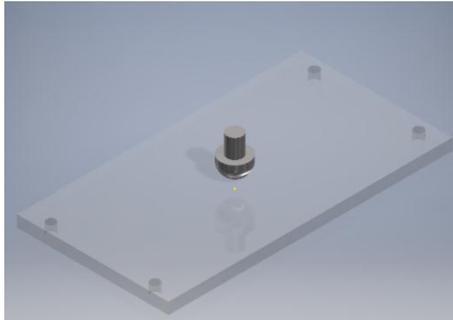
Gambar Error! No text of specified style in document..20*Flowchart* Penelitian

Adapun langkah-langkah untuk melakukan penelitian bisa dijelaskan seperti di bawah ini:

1. Menentukan variabel dan parameter.

Variabel yang divariasikan dalam penelitian ini adalah bentuk pin seperti Gambar 3.2. Ada 3 macam variasi bentuk pin yang digunakan yaitu pin berbentuk setengah bola, silinder datar, dan lancip. Penelitian ini juga mempunyai beberapa parameter yang konstan yaitu beban yang diatur menjadi 40 N, kecepatan *sliding* sebesar 0,2 m/s, dan panjang lintasan sebesar 1440 m. Material yang digunakan untuk pin adalah baja sedangkan untuk pelat adalah Akrilik.





Gambar Error! No text of specified style in document..21 Tiga Macam Bentuk Pin

2. Mempersiapkan peralatan uji dan melakukan kalibrasi.
Untuk mendapatkan data yang diinginkan dan akurat maka akan dilakukan kalibrasi dari komponen-komponen alat uji tribometer. Persiapan yang dilakukan adalah kalibrasi pengaturan kecepatan menggunakan kamera video dan software kinovea, serta kalibrasi pengaturan pembebanan dengan bantuan timbangan digital.
3. Mengukur massa spesimen sebelum pengujian.
Sebelum dilakukan pengujian, spesimen ditimbang agar didapat massa sebelum pengujian.
4. Melakukan pengujian dengan masing-masing pin.
Pengujian dan pengambilan data yang dilakukan sebanyak tiga kali untuk masing-masing pin dengan pembebanan konstan sebesar 40 N, kecepatan *sliding* sebesar 0,2 m/s, dan panjang lintasan sebesar 1440 m.
5. Mengukur massa spesimen sesudah pengujian.

Setelah dilakukan pengujian dengan menggunakan alat tribometer, spesimen ditimbang agar didapat massa sesudah dilakukan pengujian.

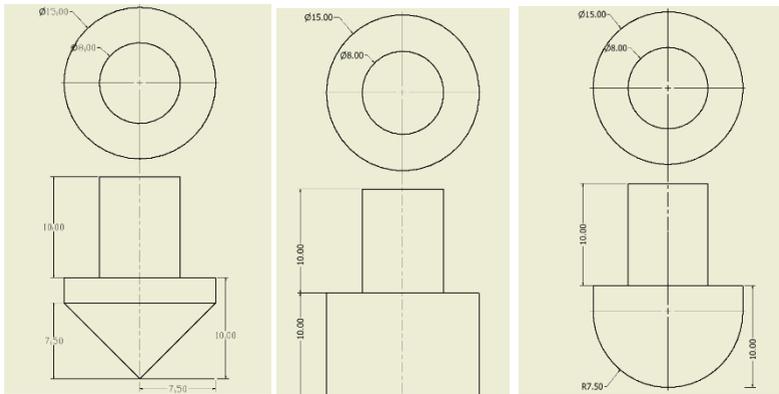
6. Membandingkan keausan akibat pengaruh bentuk permukaan kontak masing-masing pin.
7. Menganalisa dan mengestimasi volume aus terhadap bentuk pin.
Volume aus yang diamati dan dianalisa adalah volume spesimen sebelum terjadi keausan dan sesudah terjadi keausan.
8. Ulangi langkah 4 untuk dua pin selanjutnya.
9. Analisa struktur permukaan kontak.
Menganalisa struktur permukaan kontak dengan menggunakan foto mikroskopis untuk melihat mekanisme keausan yang terjadi akibat gesekan dari masing-masing bentuk pin.
10. Grafik *wear rate* terhadap jenis pin.
Dari data-data penelitian yang telah didapat akan dilakukan pembuatan grafik *waer rate* dan volume aus terhadap masing-masing bentuk pin.
11. Melakukan diskusi dan menarik kesimpulan.
Menyimpulkan seluruh penelitian yang dilakukan dari data-data yang sudah didapat sesuai dengan teori yang ada.

3.2 Langkah Kerja Penelitian

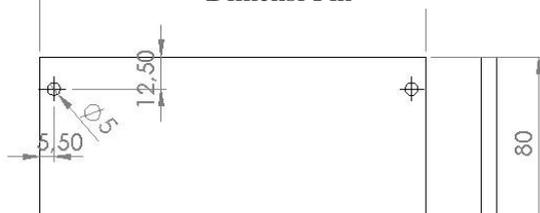
Penelitian ini dilakukan melalui beberapa langkah kerja sebagai studi eksperimental, yaitu:

1. Melakukan studi pustaka sebagai dasar teori yang akan digunakan untuk melakukan penelitian Tugas Akhir ini.

2. Mempersiapkan spesimen sebagai bahan uji dari penelitian. Spesimen terdiri dari tiga buah pelat yang terbuat dari akrilik dan pin yang terbuat dari baja. Berikut adalah dimensi dari spesimen yang digunakan:
 - a. Dimensi spesimen pin dengan bentuk setengah bola, silinder datar, dan lancip dengan panjang total pin sebesar 20 mm dan diameter 8 mm dan 15 mm dapat dilihat pada Gambar 3.3.
 - b. Dimensi pelat dengan panjang 150 mm dan lebar 80 mm dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar Error! No text of specified style in document..23
Dimensi Pin

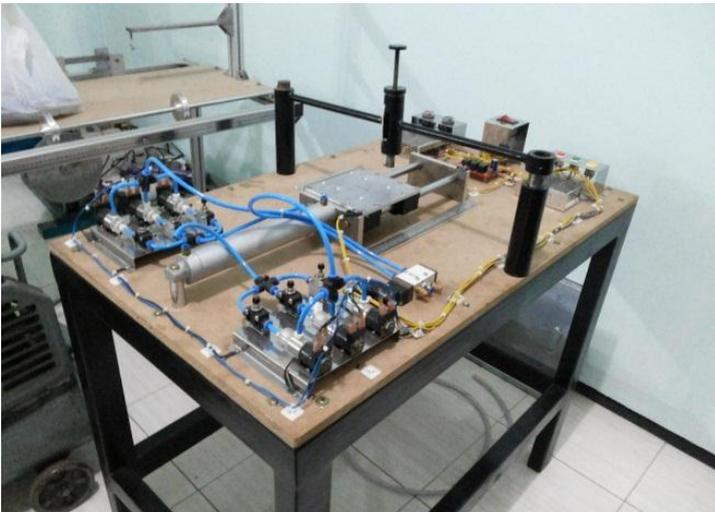


Gambar Error! No text of specified style in document..22 Dimensi Pelat Akrilik

3. Mempersiapkan alat uji yaitu tribometer tipe *pin-on-plate*. Pada tahap ini dilakukan kalibrasi untuk mengukur kecepatan *sliding* dan besar pembebanan. Tribometer yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.5. Untuk lebih memperjelas persiapan alat uji tribometer akan dijelaskan sebagai berikut:

- a. Kalibrasi kecepatan

Kinovea adalah *software open source* yang dapat melacak atau mengikuti suatu benda yang bergerak pada suatu video sehingga dapat diketahui berapa waktu yang dibutuhkan suatu benda untuk bergerak dari titik satu ke titik lainnya. Video yang direkam selama sekali siklus *reciprocating* detik dalam pengujian dapat diekstrak menjadi per frame-frame untuk menunjang perhitungan kecepatan. Sebagai contoh video tribometer yang dijalankan sekali siklus



Gambar Error! No text of specified style in document..24
Reciprocating Tribometer Pin-on-Plate

reciprocating dapat diperlambat menjadi 240 frame/detik. Setelah itu didapatkan beberapa jumlah frame yang dibutuhkan tribometer untuk satu kali siklus *reciprocating*. Dari data yang didapat maka diolah untuk mendapatkan besar kecepatan.

Langkah-langkah untuk mendapatkan nilai kecepatan:

1. Mengekstrak video berdurasi satu kali siklus *reciprocating* menjadi per frame-frame. Kemudian didapatkan waktu yang dibutuhkan alat tribometer untuk melakukan satu kali siklus *reciprocating*.
2. Mencari kecepatan satu siklus

$$\text{kecepatan } (v) = \frac{s}{t}$$

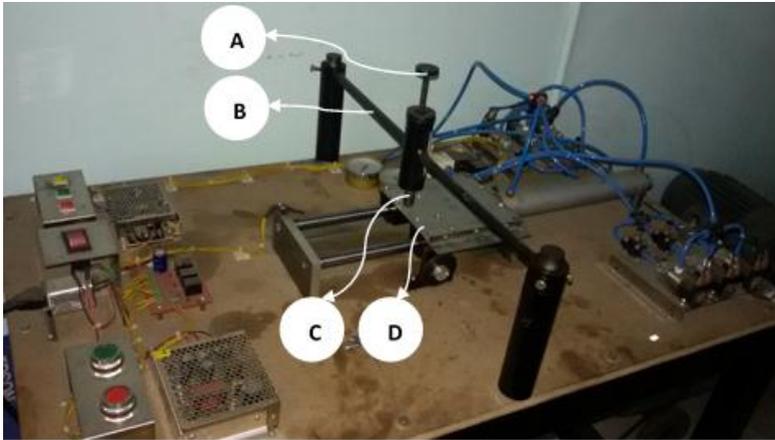
Dimana:

s = Jarak lintasan gesek = 13,5 cm

t = Waktu per siklus

Dari sini kecepatan diatur hingga sesuai dengan cara memutar katup udara pneumatik.

- b. Kalibrasi pembebanan dilakukan dengan cara ujung pin ditempelkan dengan timbangan kemudian beban diatur sesuai keinginan kemudian dikalikan dengan besar gaya gravitasi hingga didapatkan beban sebesar 40 N. Jika angka pada timbangan sudah menunjukkan angka sesuai maka pada beban diberi tanda.



Gambar Error! No text of specified style in document..25
 Konstruksi Tribometer Pin-On Plate Reciprocating

4. Melakukan pengecekan dan penyetingan tiap-tiap komponen yang ada. Bagian-bagian dari tribometer yang digunakan bias dilihat pada Gambar 3.6.
 Keterangan Gambar:
 - a. *Load adjuster*, berfungsi untuk mengatur beban yang akan diberikan pada benda kerja.
 - b. Tiang *hold pin with flexible mounting* berfungsi sebagai *holder* bagi *load control*.
 - c. *Hold pin with lock* berfungsi sebagai *holder* untuk pin atau benda yang akan diuji.
 - d. Plat yang akan bergerak secara translasi dan akan kontak dengan pin. Pelat ini terbuat dari *stainless steel*.
5. Menimbang massa spesimen sebelum melakukan pengujian.
6. Pengujian pertama menggunakan pin berbentuk setengah bola dengan kecepatan *sliding* 0,2 m/s, pembebanan sebesar 40 N serta panjang lintasan 1440 m. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali dengan spesimen atau plat

yang sama untuk pin setengah bola. Massa awal untuk pengujian kedua (m_o') menggunakan massa akhir pada pengujian pertama (m_1). Begitu juga pada pengujian ketiga, massa awal (m_o'') menggunakan massa akhir pada pengujian kedua (m_1'). Menimbang massa akhir spesimen setelah diuji untuk mendapatkan perubahan massa pada setiap pengujiannya (Δm , $\Delta m'$, dan $\Delta m''$).

7. Pengujian kedua menggunakan pin berbentuk silinder datar dengan kecepatan *sliding* sebesar 0,2 m/s, pembebanan sebesar 40 N serta panjang lintasan 1440 m. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali dengan spesimen atau plat yang sama untuk pin silinder datar. Massa awal untuk pengujian kedua (m_o') menggunakan massa akhir pada pengujian pertama (m_1). Begitu juga pada pengujian ketiga, massa awal (m_o'') menggunakan massa akhir pada pengujian kedua (m_1'). Menimbang massa akhir spesimen setelah diuji untuk mendapatkan perubahan massa pada setiap pengujiannya (Δm , $\Delta m'$, dan $\Delta m''$).
8. Pengujian ketiga menggunakan pin berbentuk lancip dengan kecepatan *sliding* sebesar 0,2 m/s, pembebanan sebesar 40 N serta panjang lintasan 1440 m. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali dengan spesimen atau plat yang sama untuk pin lancip. Massa awal untuk pengujian kedua (m_o') menggunakan massa akhir pada pengujian pertama (m_1). Begitu juga pada pengujian ketiga, massa awal (m_o'') menggunakan massa akhir pada pengujian kedua (m_1'). Menimbang massa akhir spesimen setelah diuji untuk mendapatkan perubahan massa pada setiap pengujiannya (Δm , $\Delta m'$, dan $\Delta m''$).
9. Mencatat hasil data-data yang didapat pada tabel 3.1.
10. Membandingkan keausan terhadap pengaruh bentuk masing-masing pin dan menganalisa serta mengestimasi volume aus yang terjadi. Untuk menghitung dan membedakan volume aus (V) maka digunakan rumus:

Bentuk Pin	Pengujian								
	1			2			3		
	m _o	m ₁	Δm	m _o	m ₁	Δm	m _o	m ₁	Δm
Lancip									
Silinder Datar									
Setengah Bola									

$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\rho} \quad (3.1)$$

Tabel Error! No text of specified style in document..3 Data Hasil Pengujian

Dengan rumus ini maka didapatkan volume aus pada setiap pengujian untuk masing-masing bentuk pin.

11. Lalu membentuk grafik volume aus dari data-data hasil pengujian dan dijelaskan dengan teori-teori yang sudah ada.
12. Mengamati dan menganalisa struktur permukaan kontak dengan menggunakan foto mikroskopis.

3.3 Spesifikasi Peralatan yang Digunakan

1. Spesifikasi tribometer *pin-on-plate*

Spesifikasi alat tribometer *pin-on-plate* yang telah didesain pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- *Maximum normal load* : 49.05 N
- *Sliding distance* : 10 m
- *Stroke length (actuator)* : 13 cm
- *Linier speed* : 1000 mm/s
- Diameter spesimen pin : 15 mm
- Dimensi spesimen plat uji : 150 mm x 80 mm x 6 mm
- Bahan pin : *Steel*
- Bahan plat : *Acrylic*

2. *Electronic kitchen scale sf-400*



Gambar Error! No text of specified style in document..26 *Electronic Kitchen Scale SF-400*

Alat ukur untuk mengukur beban yang berasal dari pin. Selain itu, alat ukur ini juga digunakan untuk kalibrasi.

- *Capacity* : 7000 g
- *Ketelitian* : 0,1 g

3. Timbangan Digital



Gambar Error! No text of specified style in document..27 *Timbangan Digital*

- Ketelitian : 0,1 mg

Penggunaan timbangan digital dimaksudkan untuk memperoleh nilai yang akurat dari perubahan massa pin spesimen uji setelah dan sebelum pengambilan data. Proses penimbangan dilakukan di Laboratorium Metalurgi, Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

4. Mikroskop optis



Gambar Error! No text of specified style in document..28 Mikroskop Optis

- Perbesaran : 40x – 1600x

Spesimen yang telah dilakukan pengujian dengan tribometer, selanjutnya diamati struktur permukaannya menggunakan mikroskop optis dengan perbesaran 100 kali. Pengamatan struktur permukaan pin spesimen uji dilakukan di Laboratorium Metalurgi, Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

5. Xiaomi Yi dan *software* Kinovea



Gambar Error! No text of specified style in document..²⁹ Xiaomi Yi

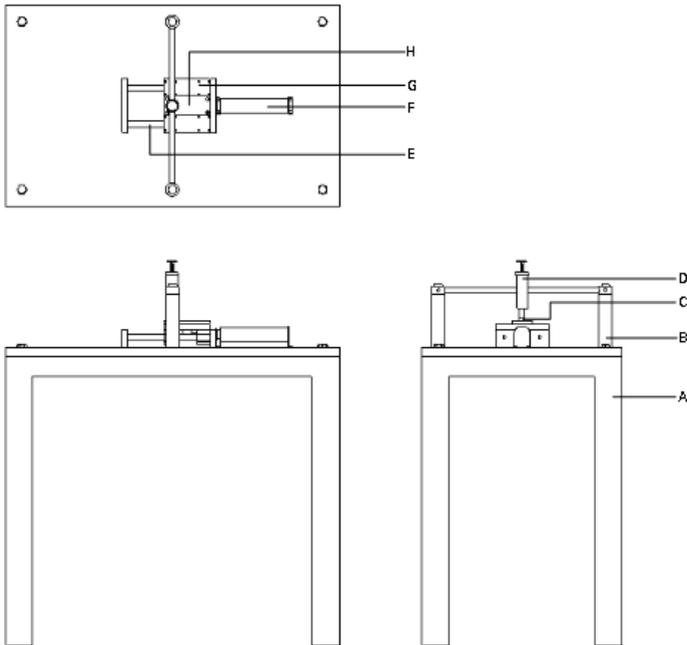
Alat ini digunakan untuk kalibrasi kecepatan.

- Frame per second : 240fps

3.4 Bagian Utama Dari Tribometer *Pin-On-Plate*

Keterangan gambar:

- A = Meja
- B = *Metal main holder*
- C = Spesimen pin
- D = *Load adjuster*
- E = *Slider*
- F = *Actuator cylinder double acting*
- G = *Specimen Base*
- H = Spesimen pelat



Gambar Error! No text of specified style in document..30 Bagian Utama Tribometer Pin-On Plate^[11]

3.5 Spesifikasi Spesimen Uji

1. *Acrylic*

- Nama Material : *Acrylic*
- *Density* : 1.15 g/cm³
- *Konduktivitas Thermal* : 0.19 W/mK
- *Tensile Strength, Ultimate* : 4400-14500 *psi*
- *Coefficient of Friction* : 0,3 - 0,4
- *Elongation* : 5 %
- *Modulus of Elasticity* : 400.000 *psi*
- *Melting Point* : 180-250 °C

- *Hardness* : 175 Mpa
2. *Steel ST41*
- *Nama Material* : *Steel ST41*
 - *Density* : 7870 kg/m³
 - *Tensile Strength, Ultimate* : 485000000
N/m²
 - *Coefficient of Friction* : 0,4- 0,5
 - *Modulus of Elasticity* : 2 x 10¹¹ N/m

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini akan dibahas dan dianalisa hasil eksperimen tentang pengaruh keausan antara pin lancip, silinder datar, dan setengah bola yang berbahan *steel ST41* terhadap plat akrilik. Analisa dan pembahasan akan dimulai dengan perbandingan volume aus, dilanjutkan dengan perbandingan *specific wear rate*, perbandingan *wear coefficient*, dan perbandingan struktur permukaan kontak melalui foto mikro dari ketiga pin tersebut.

4.1 Analisa Keausan Terhadap Pengaruh Bentuk Pin

Pengujian dilakukan dengan cara menggesekkan pin *Steel ST41* dengan plat akrilik secara bolak balik tanpa adanya pelumasan. Hasil eksperimen dan perhitungan yang didapat dari pengujian pin *Steel ST41* dan plat akrilik tanpa menggunakan pelumas (*Dry Sliding*) bisa dilihat pada Tabel 4.1 sampai Tabel 4.4 berikut ini:

Tabel Error! No text of specified style in document..4
Data Hasil Pengujian

Terdapat di lampiran

Pada Tabel 4.1 dapat dilihat besar massa awal, massa akhir, dan perubahan massa akrilik untuk setiap pengujian dengan berbagai variabel uji yang telah dilakukan. Variabel uji yang dimaksudkan disini terdiri dari besar pembebanan yang diberikan pada pin (F) yaitu sebesar 40 N, *Hardness* untuk material akrilik (H) sebesar 175 Mpa, massa jenis akrilik (ρ) sebesar 1,15 g/cm³, jarak lintasan yang ditempuh (L) sebesar 1440 m, kecepatan gesekan (v) sebesar 0,2 m/s dan juga waktu tempuh (t) selama 2 jam yang dilalui pin untuk menempuh

jarak L selama mengalami gesekan. Variasi yang digunakan adalah tiga macam bentuk pin yaitu lancip, silinder datar, dan setengah bola seperti yang sudah dijelaskan di Bab 3.

Data perubahan massa plat akrilik selanjutnya dikalkulasikan dengan massa jenis akrilik untuk mengetahui besar perubahan volume (ΔV) akibat dari gesekan yang telah diberikan, sehingga dari data-data ΔV , F, H dan juga L dapat diketahui besar laju keausan K' (*specific wear rate*) dan K (*wear coefficient*) dengan menggunakan persamaan-persamaan sebagai berikut.

$$K' = \frac{\Delta V}{F.L} \quad (4.1)$$

dan,

$$K = \frac{\Delta V.H}{F.L} \quad (4.2)$$

Dimana,

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

Selanjutnya, data-data tersebut diubah menjadi bentuk grafik untuk dapat melihat perbandingan dari ketiga pin tersebut.

4.1.1 Analisa Data Volume Aus Terhadap Pengaruh Bentuk Pin

Pada bagian ini akan dibahas perbandingan volume aus dari ketiga pin tersebut.

$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\rho} \quad (4.3)$$

Dimana, Δm = Perubahan massa
 ρ = Densitas akrilik = $1,15 \text{ g/cm}^3$

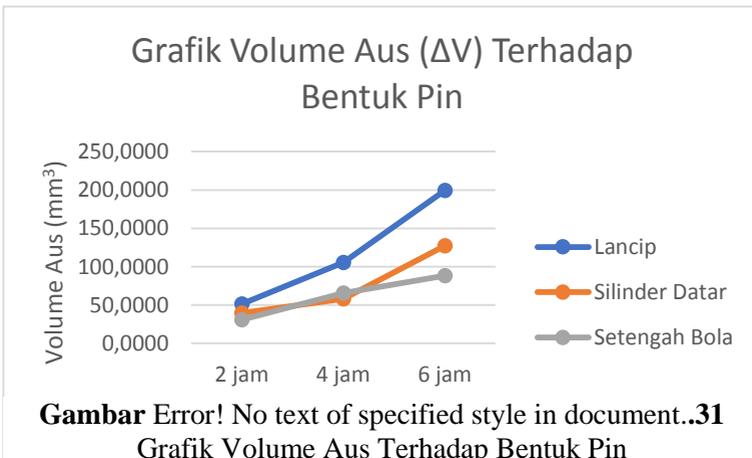
Persamaan (4.3) dan data-data pada Tabel 4.1 digunakan untuk mendapatkan data volume aus (ΔV) setiap pengujian dari masing-masing bentuk pin seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel Error! No text of specified style in document..**5**
 Data Hasil Perhitungan Volume Aus (ΔV)

Terdapat di lampiran

Setelah itu, data-data volume aus pada Tabel 4.2 diubah menjadi bentuk grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 berikut ini.

Grafik pada gambar 4.1 merupakan grafik yang menunjukkan perbedaan volume aus tiap pengujian terhadap bentuk pin lancip, silinder datar, dan setengah



bola. Pengujian dilakukan antara pin dan plat yang berbahan *steel ST41* dan akrilik tanpa adanya pelumasan (*Dry Sliding*). Pada grafik tersebut ditampilkan besarnya volume aus dengan satuan mm^3 sebagai sumbu vertikal dan banyaknya pengujian untuk setiap plat pada sumbu horizontal. Pada grafik tersebut, dibandingkan besar volume aus dari tiga buah bentuk pin yang berbeda-beda. Untuk setiap pengujian dilakukan selama dua jam. Volume aus yang didapat pada pengujian pertama akan ditambahkan ke volume aus pada pengujian kedua. Lalu, total volume aus yang didapat dari pengujian satu dan dua akan ditambahkan ke pengujian ketiga. Sehingga, total volume aus yang didapat dari setiap pin berada pada pengujian ketiga.

Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa besar volume aus yang didapat pada pengujian pertama untuk pin berbentuk lancip adalah $51,217 \text{ mm}^3$, sedangkan pada pengujian kedua didapat sebesar $54,261 \text{ mm}^3$, dan pada pengujian ketiga sebesar $94,087 \text{ mm}^3$. Sehingga, total volume aus akibat pengaruh dari bentuk pin lancip adalah sebesar $199,5652 \text{ mm}^3$. Selanjutnya, untuk pin berbentuk silinder datar didapat besar volume aus pada pengujian pertama adalah $39,304 \text{ mm}^3$, lalu pada pengujian kedua sebesar $18,696 \text{ mm}^3$, dan pada pengujian ketiga sebesar $69,043 \text{ mm}^3$. Sehingga, total volume aus yang dihasilkan akibat pengaruh pin berbentuk silinder datar adalah sebesar $127,0435 \text{ mm}^3$. Untuk pin berbentuk setengah bola didapat besar volume aus pada pengujian pertama sebesar $30,609 \text{ mm}^3$, untuk pengujian kedua didapat $34,783 \text{ mm}^3$, dan untuk pengujian ketiga didapat sebesar $22,696 \text{ mm}^3$. Lalu, total volume aus yang dihasilkan akibat gesekan dari pin berbentuk setengah bola yaitu sebesar $88,087 \text{ mm}^3$.

Perbandingan yang sangat terlihat jelas pada grafik tersebut adalah nilai volume aus dari bentuk pin lancip yang lebih besar terhadap bentuk pin lainnya. Nilai volume aus yang besar tersebut disebabkan oleh daerah permukaan kontak gesek yang sangat kecil atau tajam. Sehingga, plat akrilik lebih mudah tergerus dan menyebabkan volume aus yang tinggi. Selain itu, volume aus yang dihasilkan untuk setiap pin meningkat seiring dengan bertambahnya waktu pengujian atau bertambahnya siklus bolak-balik pada *reciprocating tribometer*.

4.1.2 Analisa Data *Wear Coefficient* Terhadap Pengaruh Bentuk Pin

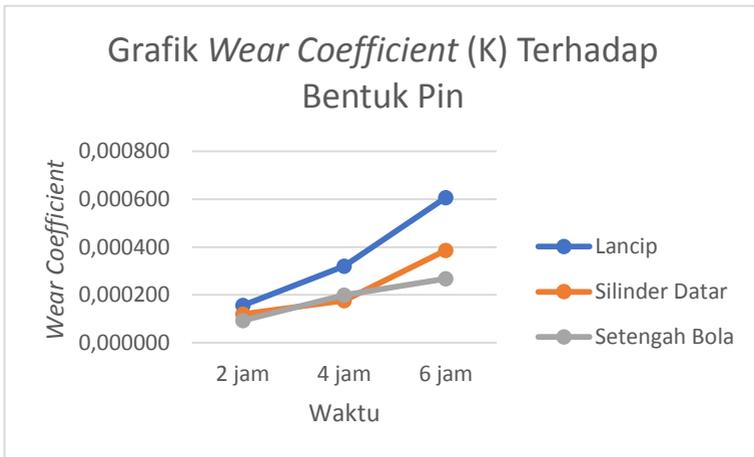
Pada bagian ini akan dibahas perbandingan *wear coefficient* dari ketiga pin tersebut. Persamaan (4.2) digunakan untuk mendapatkan nilai *wear coefficient* (K) untuk setiap pengujian dari masing-masing bentuk pin seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel Error! No text of specified style in document..6
Data Perhitungan *Wear Coefficient* (K)

Terdapat di lampiran

Lalu, data-data tersebut diubah kebentuk grafik seperti pada Gambar 4.2, sehingga dapat dilihat perbandingan *wear coefficient* antara ketiga pin tersebut.

Grafik pada Gambar 4.2 merupakan grafik yang menunjukkan hubungan antara *wear coefficient* dengan masing-masing bentuk pin dan perbandingan *wear coefficient* terhadap masing-masing bentuk pin untuk setiap pengujian. Pengujian dilakukan antara pin dan plat



Gambar Error! No text of specified style in document..32
 Grafik *Wear Coefficient* Terhadap Bentuk Pin

yang mempunyai material *steel ST41* dan akrilik tanpa adanya pelumasan (*Dry sliding*). Pada grafik tersebut ditampilkan besarnya *wear coefficient* sebagai sumbu vertikal dan banyaknya pengujian sebagai sumbu horizontal. Pin yang digunakan adalah berbentuk lancip, silinder datar, dan setengah bola. Setiap pengujian dilakukan selama 2 jam menggunakan plat yang sama. Lalu, dengan menggunakan data-data *wear coefficient* yang sudah didapat maka ratio dihitung untuk setiap pengujian.

Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa besar *wear coefficient* yang didapat pada pengujian pertama dengan pin berbentuk lancip yaitu sebesar 0,000156, pada pengujian kedua didapat harga sebesar 0,000165, dan pengujian ketiga sebesar 0,000286. Nilai *wear coefficient* setelah dilakukan penjumlahan setiap pengujian adalah sebesar 0,000606. Lalu, untuk pin berbentuk silinder datar

didapat nilai *wear coefficient* pada pengujian pertama sebesar 0,000119, sedangkan pada pengujian kedua didapat nilai sebesar 0,000057, dan pada pengujian ketiga didapat nilai 0,00021. Nilai *wear coefficient* setelah dilakukan pengujian dengan total waktu selama enam jam adalah sebesar 0,000386. Selanjutnya, untuk pin berbentuk setengah bola didapat nilai *wear coefficient* pada pengujian pertama yaitu sebesar 0,000093, untuk pengujian kedua didapat nilai sebesar 0,000106, sedangkan pada pengujian ketiga nilai yang didapat adalah sebesar 0,000069. Nilai *wear coefficient* yang didapat pada pengujian selama enam jam untuk pin berbentuk setengah bola adalah sebesar 0,000268. Pada grafik tersebut dapat dilihat saat pengujian kedua selama 4 jam, nilai *wear coefficient* pin silinder datar seharusnya lebih besar daripada pin setengah bola. Kenaikan tren pada grafik tersebut disebabkan oleh kekerasan plat akrilik yang semakin lunak di tengah-tengah platnya.

Untuk membandingkan pengaruh keausan terhadap bentuk pin yang berbeda-beda maka digunakan ratio sebagai pembanding. Nilai ratio pada pengujian terakhir selama 6 jam untuk pin berbentuk lancip adalah sebesar 1,57, untuk pin silinder datar sebesar 1, dan untuk pin setengah bola sebesar 0,69. Nilai ratio ini menjadi konstanta baru untuk persamaan (4.2). Nilai ratio ini didapatkan dengan menentukan acuan dengan nilai ratio 1 yaitu pada pin silinder datar. Lalu, acuan ini digunakan sebagai bilangan pembagi untuk mendapatkan nilai ratio untuk pin lainnya. Sehingga persamaan (4.2) menjadi,

$$\frac{V}{L} = 1,57 \times K \times \frac{F}{H} \quad (4.4)$$

$$\frac{V}{L} = K \times \frac{F}{H} \quad (4.5)$$

$$\frac{V}{L} = 0,69 \times K \times \frac{F}{H} \quad (4.6)$$

Persamaan ini menjelaskan bahwa perbandingan pengaruh bentuk pin terhadap keausan dengan pengujian yang dilakukan selama 6 jam dapat ditentukan dengan memodifikasi persamaan (4.2) menggunakan konstanta yang sudah didapat untuk masing-masing pin tersebut. Konstanta untuk pin lancip lebih besar dibandingkan dengan konstanta untuk pin setengah bola dikarenakan koefisien aus pada pin lancip lebih besar daripada pin setengah bola. Sehingga, nilai *wear coefficient* dan *specific wear rate* untuk pin lancip adalah 1,57 kali lebih besar daripada pin silinder datar sedangkan pin setengah bola adalah 0,69 kali lebih besar daripada pin silinder datar.

4.1.3 Analisa Data *Specific Wear Rate* Terhadap Pengaruh Bentuk Pin

Pada bagian ini akan dibahas perbandingan nilai *specific wear rate* dari ketiga pin tersebut. Persamaan (4.1) digunakan untuk mendapatkan nilai *specific wear rate* (K') setiap pengujian dari masing-masing bentuk pin seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.3.

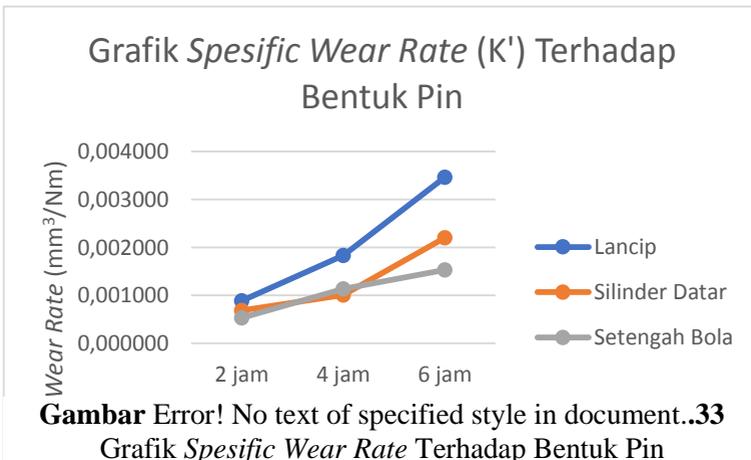
Tabel Error! No text of specified style in document..7
Data Perhitungan *Specific Wear Rate* (K')

Terdapat di lampiran

Data-data pada Tabel 4.3 diubah kebentuk grafik sehingga dapat dilihat perbandingan *specific wear rate* antara ketiga pin tersebut. Grafik perbandingan *specific wear rate* dapat dilihat pada Gambar 4.3.

Grafik pada Gambar 4.3 menunjukkan grafik hubungan antara *coefficient wear* dengan masing-masing bentuk pin dan perbandingan *coefficient wear rate* terhadap ketiga bentuk pin untuk setiap pengujian. Pengujian dilakukan antara pin dan plat yang mempunyai material *steel ST41* dan akrilik tanpa adanya pelumasan (*Dry sliding*). Pada grafik tersebut ditampilkan besarnya *coefficient wear* sebagai sumbu vertikal dan banyaknya pengujian sebagai sumbu horizontal. Pin yang digunakan adalah berbentuk lancip, silinder datar, dan setengah bola. Setiap pengujian dilakukan selama dua jam dan hasil *specific wear rate* setiap pengujian ditambahkan.

Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa besar *specific wear rate* yang didapat pada pengujian pertama dengan pin berbentuk lancip adalah sebesar $0,000889 \text{ mm}^3/\text{Nm}$, lalu pada pengujian kedua didapat harga sebesar $0,000942 \text{ mm}^3/\text{Nm}$, dan pengujian ketiga sebesar $0,001633 \text{ mm}^3/\text{Nm}$. Nilai dari *specific wear rate* setelah dilakukan penjumlahan adalah sebesar $0,003465 \text{ mm}^3/\text{Nm}$. Lalu, untuk pin berbentuk silinder datar didapat nilai *specific*



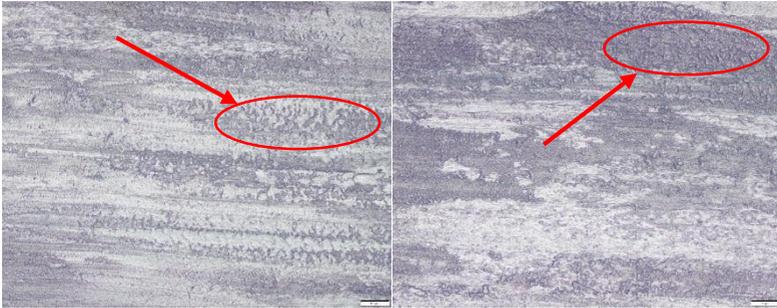
wear rate pada pengujian pertama sebesar $0,000682 \text{ mm}^3/\text{Nm}$, sedangkan pada pengujian kedua didapat nilai sebesar $0,000325 \text{ mm}^3/\text{Nm}$, dan pada pengujian ketiga didapat nilai $0,001199 \text{ mm}^3/\text{Nm}$. Hasil dari penjumlahan nilai *specific wear rate* untuk pin silinder datar adalah $0,002206 \text{ mm}^3/\text{Nm}$. Selanjutnya, untuk pin berbentuk setengah bola didapat nilai *specific wear rate* pada pengujian pertama yaitu sebesar $0,000531 \text{ mm}^3/\text{Nm}$, untuk pengujian kedua didapat nilai sebesar $0,000604 \text{ mm}^3/\text{Nm}$, sedangkan pada pengujian ketiga nilai yang didapat adalah sebesar $0,000394 \text{ mm}^3/\text{Nm}$. Setelah dilakukan penjumlahan maka nilai dari *specific wear rate* untuk pin setengah bola adalah sebesar $0,001529 \text{ mm}^3/\text{Nm}$. Pada pengujian kedua terlihat bahwa besar *specific wear rate* maupun *wear coefficient* untuk pin setengah bola lebih besar daripada pin silinder datar. Hal ini disebabkan oleh kekerasan plat akrilik yang semakin lunak di tengah-tengah platnya. Sehingga, pin setengah bola dapat lebih dulu menggerus daerah yang lunak tersebut dikarenakan daerah kontak gesek pin setengah bola lebih kecil daripada pin silinder datar.

Grafik pada Gambar 4.3 terlihat bahwa tren yang dihasilkan semakin meningkat dengan bertambahnya waktu pengujiannya. Nilai *specific wear rate* untuk pin berbentuk lancip lebih tinggi dibandingkan dengan nilai *specific wear rate* pin lainnya. Hal ini dikarenakan volume aus yang dihasilkan dari gesekan plat terhadap pin lancip berbanding lurus dengan nilai *specific wear rate*-nya. Sehingga dengan meningkatnya volume aus maka meningkat pula nilai *specific wear rate* yang dihasilkan.

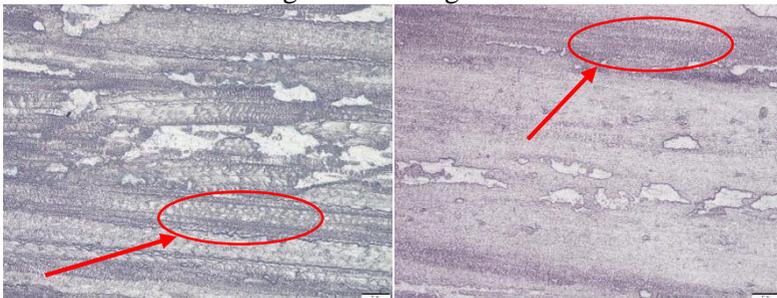
4.2 Analisa Permukaan Kontak

Perbedaan bentuk pin ketika digesekkan terhadap plat akrilik menyebabkan perbedaan volume aus, *specific wear*

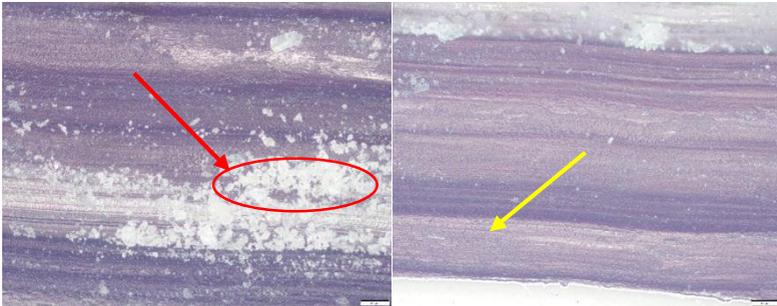
rate, dan juga *coefficient wear*. Selain itu, perbedaan bentuk pin juga dapat menyebabkan perbedaan bentuk dan dimensi keausan yang terbentuk pada permukaan plat. Adapun perbedaan-perbedaan tersebut dapat dilihat pada foto mikro permukaan plat setelah pengujian seperti Gambar 4.4 sampai Gambar 4.6 berikut ini.



Gambar Error! No text of specified style in document..**34** Foto Mikro Plat Akrilik Dengan Perbesaran 100x Setelah Diuji Dengan Pin Setengah Bola



Gambar Error! No text of specified style in document..**35** Foto Mikro Plat Akrilik Dengan Perbesaran 100x Setelah Diuji Dengan Pin Silinder Datar



Gambar Error! No text of specified style in document..36 Foto Mikro Plat Akrilik Dengan Perbesaran 100x Setelah Diuji Dengan Pin Lancip

Pada foto mikro permukaan plat akrilik setelah dilakukan pengujian dengan pin berbentuk setengah bola seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 terlihat bahwa permukaan plat mengalami deformasi seperti bergelombang. Adanya daerah yang bergelombang disebabkan oleh menempelnya sedikit permukaan plat akrilik dengan pin baja atau biasanya disebut dengan *bonding*. Lalu membentuk banyak lipatan-lipatan seiring berjalannya pin pada lintasan gesek. Lipatan-lipatan ini yang terlihat seperti gelombang-gelombang kecil pada lintasan gesek seperti yang ditunjukkan dengan panah berwarna merah. Hal ini mengindikasikan bahwa terjadi mekanisme keausan adhesif. Mekanisme keausan adhesif sangat mendominasi pada foto mikro dengan pengaruh bentuk pin setengah bola ini dikarenakan banyaknya gelombang-gelombang yang terlihat pada lintasan geseknya.

Pada foto mikro permukaan plat akrilik setelah dilakukan pengujian dengan pin berbentuk silinder datar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5 terlihat bahwa permukaan plat masih mengalami deformasi yang terlihat seperti gelombang-gelombang kecil. Gelombang-gelombang atau lipatan-lipatan kecil ini tersebar di daerah lintasan gesek yang ditandai dengan

panah berwarna merah. Hal ini mengindikasikan adanya mekanisme keausan adhesif yang sangat mendominasi. Namun, ada beberapa daerah yang tidak terjadi deformasi dikarenakan permukaan pin silinder yang tidak rata.

Foto mikro dari pengujian dengan menggunakan pin berbentuk lancip ditunjukkan pada Gambar 4.6. Terlihat bahwa adanya garis-garis lurus searah dengan lintasan geseknya yang menandakan adanya mekanisme keausan abrasif. *Wear debris* yang terjebak di dalam permukaan plat juga terlihat pada foto mikro yang ditunjukkan dengan adanya bintik-bintik *wear debris* dan ditandai dengan panah berwarna merah. Selain itu, terdapat juga lipatan-lipatan ataupun gelombang-gelombang yang sangat kecil di daerah pinggir lintasan gesek yang ditandai dengan panah berwarna kuning. Lipatan-lipatan ini mengindikasikan bahwa adanya mekanisme keausan adhesif. Pada foto mikro ini mekanisme keausan yang paling mendominasi adalah mekanisme keausan abrasif karena banyaknya goresan-goresan lurus dan *wear debris* yang bertebaran di daerah lintasan gesek.

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Nilai volume aus, *wear coefficient*, dan *specific wear rate* antara pin baja dengan plat akrilik yang mengalami kontak gesek selama 6 jam secara *reciprocating* akan semakin meningkat, dengan hasil akhir berturut-turut adalah sebagai berikut:
 - Hasil akhir untuk pin berbentuk lancip adalah $199,56 \text{ mm}^3$, $6,06 \times 10^{-4}$, $3,46 \times 10^{-3} \text{ mm}^3/\text{Nm}$.
 - Hasil akhir untuk pin berbentuk silinder datar adalah $127,04 \text{ mm}^3$, $3,86 \times 10^{-4}$, $2,2 \times 10^{-3} \text{ mm}^3/\text{Nm}$.
 - Hasil akhir untuk pin berbentuk setengah bola adalah $88,09 \text{ mm}^3$, $2,68 \times 10^{-4}$, $1,53 \times 10^{-3} \text{ mm}^3/\text{Nm}$.
2. *Ratio* yang didapat antara pin lancip, setengah bola, dan silinder datar untuk total pengujian selama 6 jam adalah 1,57, 1, dan 0,69. Sehingga, nilai *wear coefficient* dan *specific wear rate* untuk pin lancip adalah 1,57 kali lebih besar daripada pin silinder datar sedangkan pin setengah bola adalah 0,69 kali lebih besar daripada pin silinder datar.
3. Mekanisme keausan yang terjadi pada pin berbentuk lancip yang bergesekan dengan plat akrilik didominasi mekanisme keausan abrasif, sedangkan untuk pin berbentuk silinder datar dan setengah bola didominasi oleh mekanisme keausan adhesif.

5.2 Saran

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

1. Pada penelitian ini digunakan alat tribometer *reciprocating pin-on-plate* yang masih butuh banyak perbaikan, sehingga masih bisa dikembangkan lagi agar menjadi lebih baik.
2. Foto mikro yang digunakan untuk mengetahui kontur permukaan gesekan masih menggunakan foto mikro dengan perbesaran 100 kali, jadi penelitian ini lebih bisa dimaksimalkan dengan melakukan uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM) agar hasilnya lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Widianingrum, Dwi Tarina. 2012. **Studi Eksperimental Laju Keausan (*Specific Wear Rate*) Resin Akrilik dengan Penambahan Serat Penguat pada *Dental Prosthesis***. Surabaya.
- [2] Simatupang, Ruben. 2016. **Studi Eksperimen Analisa Koefisien Gesek pada Saat Terjadi Fenomena *Stick-slip Friction* pada *Reciprocating Contact***. Surabaya.
- [3] Khonsari, M. Michael. 2001. ***Applied Tribology: Bearing Design and Lubrication***. New York: John Wiley & Sons, INC.
- [4] Ludema, C. Kenneth. 1996. ***Friction, Wear, Lubrication: A Textbook in Tribology***. USA: CRC Press.
- [5] Archard, J.F. 1995. ***Wear Control Handbook***. New York: ASME Centennial Research Project.
- [6] Czichos, Horst. 1978. ***Tribology: A System Approach to the Science and Technology of Friction, Lubrication and Wear***. Amsterdam: Elsevier Scientific.
- [7] Rabinowicz, E. 1980. ***Wear Coefficients***. ASME.
- [8] Bhushan, Bharat. 2001. ***Modern Tribology Handbook Volume I***. USA: CRC Press.
- [9] Hirst, W. 1957. ***Proceedings of the Conference on Lubrication and Wear***. London.
- [10] Stolarski, T. A. 2000. ***Tribology in Machine Design***. Batterworth Hennemann.

- [11] Prayogi, Tegar. 2010. **Rancang Bangun Tribometer Tipe *Pin on Disc* dan Studi Eksperimental Karakteristik Tribologi Polymer-polymer.** Surabaya.

LAMPIRAN

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian

Bentuk Pin	Pengujian												
	1				2				3				
	m_0	m_1	Δm	m_0'	m_1'	$\Delta m'$	m_0''	m_1''	$\Delta m''$				
Lancip	80,6673	80,6084	0,0589	80,6084	80,546	0,0624	80,546	80,4378	0,1082				
Silinder Datar	80,4854	80,4402	0,0452	80,4402	80,4187	0,0215	80,4187	80,3393	0,0794				
Setengah Bola	83,1161	83,0809	0,0352	83,0809	83,0409	0,04	83,0409	83,0148	0,0261				

Tabel 4.2 Data Hasil Perhitungan Volume Aus (ΔV)

Bentuk Pin	Pengujian			Waktu		
	1 ΔV (mm^3)	2 ΔV (mm^3)	3 ΔV (mm^3)	2 jam ΔV (mm^3)	4 jam ΔV (mm^3)	6 jam ΔV (mm^3)
Lancip	51,2174	54,2609	94,0870	51,2174	105,4783	199,5652
Silinder Datar	39,3043	18,6957	69,0435	39,3043	58,0000	127,0435
Setengah Bola	30,6087	34,7826	22,6957	30,6087	65,3913	88,0870

Tabel 4.3 Data Perhitungan *Wear Coefficient* (K)

Bentuk Pin	Pengujian			Waktu			Ratio		
	1 K	2 K	3 K	2 jam K	4 jam K	6 jam K	1	2	3
Lancip	0,000156	0,000165	0,000286	0,000156	0,000320	0,000606	1,30	1,82	1,57
Silinder	0,000119	0,000057	0,000210	0,000119	0,000176	0,000386	1,00	1,00	1,00
Datar	0,000119	0,000057	0,000210	0,000119	0,000176	0,000386	1,00	1,00	1,00
Setengah Bola	0,000093	0,000106	0,000069	0,000093	0,000199	0,000268	0,78	1,13	0,69

Tabel 4.4 Data Perhitungan *Specific Wear Rate* (K')

Bentuk Pin	Pengujian			Waktu			Ratio		
	1 K' (mm^3/Nm)	2 K' (mm^3/Nm)	3 K' (mm^3/Nm)	2 jam K' (mm^3/Nm)	4 jam K' (mm^3/Nm)	6 jam K' (mm^3/Nm)	1	2	3
Lancip	0,000889	0,000942	0,001633	0,000889	0,001831	0,003465	1,30	1,82	1,57
Silinder Datar	0,000682	0,000325	0,001199	0,000682	0,001007	0,002206	1,00	1,00	1,00
Setengah Bola	0,000531	0,000604	0,000394	0,000531	0,001135	0,001529	0,78	1,13	0,69

BIODATA PENULIS



Gandung Gistiano Suhartono dilahirkan di Rumbai, 29 Juni 1993 merupakan anak yang terlahir dari orangtua bernama Toto Suhartono dan Suwarti. Riwayat pendidikan penulis diawali di SD Cendana Duri pada tahun 1999-2005. Penulis melanjutkan pendidikannya di SMP Cendana Duri pada tahun 2005-2008, kemudian melanjutkan pendidikannya di SMA Cendana Duri pada tahun 2008-2011. Setelah itu, penulis melanjutkan pendidikan jenjang S-1 Jurusan Teknik Mesin di Institut Teknologi

Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Penulis aktif dalam kegiatan akademik maupun organisasi selama perkuliahan. Dalam organisasi kemahasiswaan, penulis aktif menjadi Ketua Biro Player di Mesin Music Club Teknik Mesin ITS pada periode 2013-2014. Selanjutnya, menjadi Staff Inventaris di Mesin Music Club Teknik Mesin ITS pada periode 2014-2015. Selain itu penulis juga aktif mengikuti kegiatan-kegiatan di luar kampus Teknik Mesin ITS, seperti mengikuti komunitas musik jazz yang ada di kampus, mengikuti lomba festival music di Surabaya, dan lain sebagainya.

Selama hidup penulis berpegang teguh pada prinsip *“gagal itu tidak masalah, jangan pernah menyerah, dan selalu jujur”* yang selalu menjadi motivasi penulis untuk selalu berusaha menjadi lebih baik lagi. Untuk semua informasi dan masukan terkait tugas akhir ini dapat menghubungi penulis melalui *email* gandunggs@gmail.com.