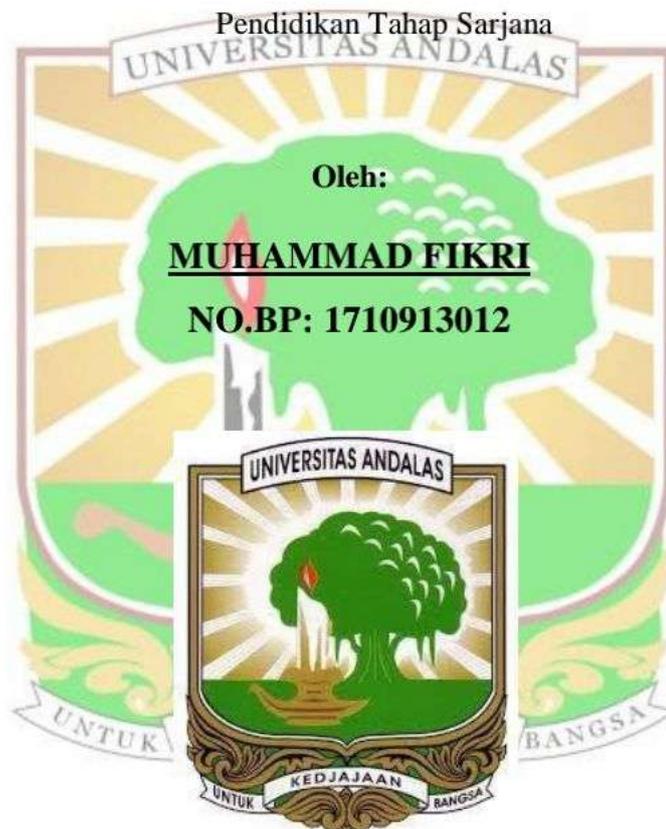


# PROPOSAL TUGAS AKHIR

## PENGARUH PENAMBAHAN $\text{TiO}_2$ PADA *BIOLUBRICANT* MINYAK KELAPA SAWIT TERHADAP SIFAT KOEFISIEN GESEKNYA

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Menyelesaikan



**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS ANDALAS**

**PADANG**

**2022**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENGARUH PENAMBAHAN  $TiO_2$  PADA BIOLUBRICANT MINYAK  
KELAPA SAWIT TERHADAP SIFAT KOEFISIEN GESEKNYA**

Oleh :

**MUHAMMAD FIKRI**  
**NBP : 1710913012**

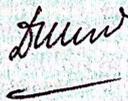
Tugas Akhir Ini Diajukan Untuk Menyelesaikan Program Sarjana (S1) Teknik

Mesin di Universitas Andalas

Padang, Juni 2022

Menyetujui :

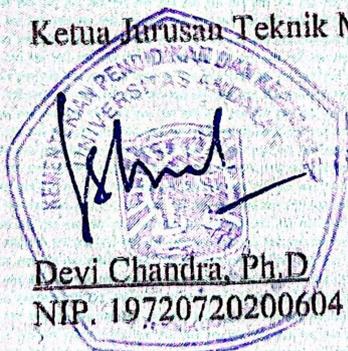
Pembimbing Utama



**Dedison Gasni, Ph.D**  
**NIP. 1968013131994031003**

Mengetahui :

Ketua Jurusan Teknik Mesin



**Devi Chandra, Ph.D**  
**NIP. 197207202006041002**

Ketua Prodi S1 Teknik Mesin



**Iskandar R. M.T**  
**NIP. 197007091995121001**

## ABSTRAK

Sebagian besar pelumas yang banyak diaplikasikan pada masa kini berupa sintesis dan mineral oil yang mana limbah dari pelumas ini sangat sulit terurai oleh lingkungan sehingga akan berbahaya dan memiliki dampak yang buruk pada lingkungan jika dilakukan pembuangan secara terus-menerus, maka kepedulian untuk mencari alternatif sebagai penggantinya menggunakan minyak nabati yang lebih ramah lingkungan. Minyak nabati yang sering dimanfaatkan dan diolah kembali adalah minyak kelapa sawit, karena minyak kelapa sawit memiliki potensi yang baik juga untuk dijadikan bahan dasar *biolubricant*.

Untuk meningkatkan efektivitas yang lebih dari pada minyak kelapa sawit ini dilakukan penambahan nano partikel  $\text{TiO}_2$ . Dalam tugas akhir ini untuk melihat efektifitas dari penambahan nano partikel  $\text{TiO}_2$  pada pelumas minyak kelapa sawit dilakukan pengujian tribologi yaitu menguji koefisien gesek menggunakan alat uji pin on disc. Dengan melakukan perbandingan pengujian menggunakan pelumas minyak kelapa sawit yang telah ditambahkan nano partikel  $\text{TiO}_2$  dan pengujian tanpa menambahkan nano partikel  $\text{TiO}_2$  pada minyak kelapa sawit. Untuk setiap pengujian diberikan variasi pada masing-masing kecepatan putaran 500 rpm dan 1000 rpm, serta variasi beban 50 N, 75 N, dan 100 N. Hasil dari pengujian koefisien gesek menyatakan bahwa pada setiap perlakuan variasi penambahan  $\text{TiO}_2$  pada minyak kelapa sawit mampu mengurangi nilai koefisien gesek. Pengaruh penambahan  $\text{TiO}_2$  yang lebih signifikan terjadi pada variasi kecepatan 1400 rpm dikarenakan rejim pelumasan yang terjadi adalah elastohydrodynamic yang dimana  $\text{TiO}_2$  lebih berperan dalam film yang terbentuk pada pelumasan dan meningkatkan viskositas dari pelumas sehingga mampu lebih baik dalam mereduksi gesekan. Dari pengujian dapat disimpulkan bahwa penambahan  $\text{TiO}_2$  pada minyak kelapa sawit dapat membantu mereduksi gesekan dan lebih berpengaruh lebih baik lagi saat rejim pelumasan berada pada elastohydrodynamic.

**Kata Kunci :** Pelumas, minyak nabati, minyak kelapa sawit, nano partikel  $\text{TiO}_2$ , tribologi , pin on disc .

## **ABSTRACT**

*Most of the lubricants that are widely applied today are in the form of synthetic and mineral oil where the waste from these lubricants is very difficult to decompose by the environment so it will be dangerous and have a bad impact on the environment if it is disposed of continuously. Therefore, there is a need for concern to find alternatives to use vegetable oils that are more environmentally friendly. The vegetable oil that is often used and reprocessed is palm oil, because palm oil has good potential to be used as a base for bio lubricant.*

*To increase the effectiveness, which is more than palm oil, TiO<sub>2</sub> nanoparticles are added. In this final project, to see the effectiveness of the addition of TiO<sub>2</sub> nanoparticles in palm oil lubricant, tribology testing was carried out, namely testing the coefficient of friction using a pin on disc test tool. By doing a comparison test using palm oil lubricant that has been added with TiO<sub>2</sub> nanoparticles and testing without adding TiO<sub>2</sub> nanoparticles in palm oil. Where each test is given variations at each rotation speed of 500 rpm and 1000 rpm, as well as variations in the load of 50 N, 75 N, and 100 N. The results of the friction coefficient test state that in each treatment the addition of TiO<sub>2</sub> in palm oil can reduce the friction coefficient value. The effect of adding TiO<sub>2</sub> is more significant at 1400 rpm because the lubrication regime that occurs is elastohydrodynamic, in which TiO<sub>2</sub> plays a more important role in the film formed in the lubrication and increases the viscosity of the lubricant so that it can be better at reducing friction. From the test, it can be concluded that the addition of TiO<sub>2</sub> to palm oil can help reduce friction and have a better effect when the lubrication regime is in elastohydrodynamic.*

**Keywords:** *Lubricants, vegetable oil, palm oil, TiO<sub>2</sub> nanoparticles, tribology, pin on disc.*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Allah SWT karena dengan rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan proposal Tugas Akhir yang berjudul **“Pengaruh Penambahan TiO<sub>2</sub> Pada *Biolubricant* Minyak Kelapa Sawit Terhadap Sifat Koefisien Geseknya”**. Proposal tugas akhir ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Pendidikan tahap sarjana.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan proposal Tugas Akhir ini tidak akan selesai tanpa bantuan dari berbagai pihak. Karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada :

1. Kedua orang tua beserta keluarga yang telah membrikan do'a, motivasi dan bantuan baik moril maupun materi.
2. Bapak Dedison Gasni, Ph.D selaku pembimbing dari penulisan proposal Tugas Akhir yang telah memberikan masukan dan saran untuk penyelesaian Proposal Tugas Akhir.
3. Bapak Hendri Yanda, Ph.D selaku pembimbing akademik yang telah memberi bimbingan akademik semasa perkuliahan.
4. Bapak Dr.-ing. John Malta dan Bapak Prof. Dr.-ing Agus Sutanto selaku dosen penguji yang telah memberi masukan untuk menjadikan tugas akhir ini lebih baik.
5. Bapak/Ibu dan Staf Akademik Jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan ilmu dan sarana kepada penulis.
6. Terakhir penulis sampaikan terimakasih kepada semua pihak yang telah banyak membantu dalam menyelsaikan Proposal Tugas Akhir ini, baik secara langsung maupun tidak lansung, yang tidak dapat penulis sebutkan namanya satu-persatu.

Semoga Proposal Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua, terutama bagi penulis dan lingkungan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas, Aamiin.

Padang, Mei 2022

Penulis



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK .....	i
KATA PENGANTAR .....	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR .....	v
DAFTAR TABEL .....	vi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Manfaat Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Pelumas.....	4
2.1.1 Fungsi Pelumas.....	4
2.1.2 Komponen Pelumas.....	5
2.1.3 Karakteristik Minyak Pelumas.....	7
2.1.4 Aplikasi Pelumas.....	8
2.2 Rejim Pelumasan .....	9
2.3 Minyak Nabati.....	11
2.3.1 Minyak Kelapa Sawit.....	12
2.4 Nano Partikel.....	13
2.5 Tribology.....	15
2.5.1 Pin on Disc .....	15
2.5.2 Gesekan.....	16

BAB III METODOLOGI.....	19
3.1    Sistematika Penelitian.....	19
3.2    Bahan dan Peralatan Pengujian .....	20
3.2.1    Bahan .....	20
3.2.2    Peralatan alat uji koefisien gesek .....	20
3.2.3    Pengujian koefisien gesek .....	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	25
4.1 Hasil Pengujian Koefisien Gesek.....	25
4.1.1    Hasil Pengujian Koefisien Gesek Pada Kecepatan 500rpm.....	25
4.1.2    Hasil Pengujian Koefisien Gesek Pada Kecepatan 1400 rpm.....	28
4.2    Diskusi dan pembahasan pengaruh penambahan zat aditiv titanium dioksida terhadap koefisien gesek.....	31
4.3 Analisis data dan pengujian hipotesis.....	33
BAB V PENUTUP .....	37
5.1    Kesimpulan.....	37
DAFTAR PUSTAKA .....	38



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Kurva stribek .....	9
Gambar 2. 2 Asperty dalam setiap sistem pelumasan.....	11
Gambar 2. 3 pin ond disc [13] .....	15
Gambar 2. 4 point dan line kontak [13] .....	16
Gambar 3. 1 flow chart .....	20
Gambar 3. 2 Alat uji pin on disc.....	21
Gambar 3. 3 Pin .....	21
Gambar 3. 4 Spesimen disc .....	22
Gambar 3. 5 AC Motor Inverter.....	23
Gambar 4. 1 Grafik perbandingan koefisien gesek antara CPO dengan CPO+TiO2 0,1wt% dengan beban 50N dan kecepatan putaran 500 rpm .....	25
Gambar 4. 2 Grafik perbandingan koefisien gesek antara CPO dengan CPO+TiO2 0,1wt% dengan beban 75 N dan kecepatan putaran 500 rpm .....	26
Gambar 4. 3 Grafik perbandingan koefisien gesek antara CPO dengan CPO+TiO2 0,1wt% dengan beban 100 N dan kecepatan putaran 500 rpm .....	27
Gambar 4. 4 Perbandingan koefisien gesek terhadap beban dengan beberapa pelumas pada putaran 500 rpm.....	27
Gambar 4. 5 Grafik perbandingan koefisien gesek antara CPO dengan CPO+TiO2 0,1wt% dengan beban 50 N dan kecepatan putaran 1400 rpm.....	28
Gambar 4. 6 Grafik perbandingan koefisien gesek antara CPO dengan CPO+TiO2 0,1wt% dengan beban 75 N dan kecepatan putaran 1400 rpm.....	29
Gambar 4. 7 Grafik perbandingan koefisien gesek antara CPO dengan CPO+TiO2 0,1wt% dengan beban 100 N dan kecepatan putaran 1400 rpm.....	30
Gambar 4. 8 Perbandingan koefisien gesek terhadap beban dengan beberapa pelumas pada putaran 1400 rpm.....	31
Gambar 4. 9 pengaruh penambahan pembebanan dan kecepatan putaran terhadap koefisien gesek .....	33

## DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Tabel spesifikasi spesimen.....	21
Tabel 3. 2 Spesifikasi disc.....	22
Tabel 3. 3 Rancangan Data Koefisien Gesek.....	24
Tabel 4. 1 hasil uji T pada minitab 2016 untuk pengujian pembebanan 50 N dan kecepatan putaran 500 rpm .....	34
Tabel 4. 2 hasil uji T pada minitab 2016 untuk pengujian pembebanan 75 N dan kecepatan putaran 500 N.....	34
Tabel 4. 3 hasil uji T pada minitab 2016 untuk pengujian pembebanan 100 N dan kecepatan putaran 500 N.....	35
Tabel 4. 4 hasil uji T pada <i>minitab</i> 2016 untuk pengujian pembebanan 50 N dan kecepatan putaran 1400 N.....	35
Tabel 4. 5 hasil uji T pada <i>minitab</i> 2016 untuk pengujian pembebanan 75 N dan kecepatan putaran 1400 N.....	36
Tabel 4. 6 hasil uji T pada <i>minitab</i> 2016 untuk pengujian pembebanan 100 N dan kecepatan putaran 1400 N.....	36



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar belakang

Pada masa kini semakin pesatnya perkembangan teknologi dengan pengaplikasian mesin untuk di dunia perindustrian maupun dunia otomotif yang tidak akan terlepas dari penggunaan pelumas (*lubricant*). Fungsi dari pelumas ini sendiri sangat penting dimana berguna untuk memperkecil terjadinya keausan antara dua buah benda yang saling bergesekan pada permukaannya, sehingga permukaan benda tersebut tetap terlindungi. Penggunaan dan kebutuhan pelumas selalu meningkat dari tahun-ketahun. Ini sesuai dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi dan aktivitas industri, yang mengakibatkan naiknya angka konsumsi minyak pelumas berbahan dasar *mineral oil* dan sintetis. Hal ini akan meningkatkan jumlah limbah oli bekas yang berdampak buruk pada lingkungan.

Peningkatan limbah bekas ini merupakan ancaman yang serius bagi lingkungan karena oli bekas yang berbahan dasar mineral oil dan sintetis mengandung berbagai macam zat yang berbahaya dan tidak dapat langsung terurai secara alami pada lingkungan seperti besi, varnis dan senyawa asphalt [1]

Minyak nabati sebagai pengganti bahan dasar (*base oil*) pelumas yang ramah lingkungan bersifat *biodegradable* yang sangat cocok sebagai alternatifnya. Minyak nabati memiliki keunggulan baik dari sifat fisik maupun sifat kimia. Minyak nabati berpotensi sebagai pelumas yang baik karena memiliki berbagai keunggulan diantaranya: memiliki viskositas indek yang tinggi, *flash point* yang tinggi, tidak mengandung sulfur, dan ramah lingkungan (*biodegradable*). Selain memiliki kelebihan tentu saja minyak nabati ini memiliki kekurangan yaitu mudah teroksidasi terutama pada suhu yang tinggi, stabilitas oksidasi akan semakin rendah sehingga dapat menyebabkan meningkatnya bilangan asam dan akan bersifat *korosif*. Oleh karena itu untuk meningkatkan karakteristik dari minyak nabati diperlukan zat aditif agar dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar pelumas [2].

Pengaplikasian nano material sebagai zat aditif pelumas atau yang dikenal dengan *nanolubricants* sudah menjadi bahan penelitian yang penting pada akhir-

akhir ini. *Nanolubricant* sangat baik dalam mengurangi keausan dan gesekan serta membentuk lapisan pelindung dipermukaan yang bergesekan. Keuntungan utama penambahan nano material ini adalah ukurannya yang sangat kecil berkisar dari 1 – 100 nanometer yang menjadikannya sangat baik dalam mengisi celah – celah antara permukaan yang bergesekan [3].

Pengujian pemanfaatan bahan nabati sebagai alternatif pelumas sudah banyak dilakukan, diantaranya penelitian yang telah dilakukan oleh Widya Annisa yaitu mengatuhi sifat fisik dan sifat tribologi koefisien gesek dari minyak kemiri sebagai bahan dasar pelumas [4] dan Ikhsanul Fikri [5] yang memanfaatkan minyak kelapa dan minyak kelapa sawit sebagai bahan dasar pelumas dengan ditambahkan zat aditiv *olive oil* untuk melihat sifat tribologinya dengan menggunakan alat uji *pin on disc*.

Pada tugas akhir ini akan melihat bagaimana pengaruh penambahan nano material terhadap minyak nabati. Minyak nabati yang digunakan ialah minyak kelapa sawit (*crude palm oil*), dan nano partikelnya ialah titanium dioksida ( $TiO_2$ ). pengujian yang dilakukan untuk membandingkan sifat tribologi berupa pengukuran koefisien geseknya, beberapa metode yang biasa digunakan untuk melihat sifat tribologi ialah dengan alat uji *pin on disc* dan *ballbearing*. Metode pengujian yang digunakan pada penelitian ini ialah *uji pin in disc*.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian tugas akhir ini ialah mengetahui pengaruh penambahan nano partikel  $TiO_2$  pada minyak kelapa sawit terhadap sifat koefisien geseknya.

## 1.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dengan nilai koefisien gesek yang didapat dari hasil pengujian minyak kelapa sawit dan penambahan nano material  $TiO_2$  dapat menjadi acuan dimasa yang akan datang untuk pengembangan *biolubricant* yang lebih baik dan sebagai pelumas yang ramah lingkungan.

#### 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah

- a. Ukuran nano material yang digunakan dianggap seragam
- b. Kekerasan dan kekasaran dari permukaan *disc* dianggap seragam
- c. Peningkatan temperatur akibat gesekan diabaikan
- d. Penelitian dilakukan pada temperatur kamar
- e. Jumlah zat aditiv yang dicampurkan hanya 0,1 wt%

#### 1.5 Sistematika Penulisan

Dalam laporan ini penulis menggunakan sistematika penulisan yang terdiri dari, **BAB I. PENDAHULUAN** pada bagian ini dijelaskan latar belakang, tujuan, manfaat, batasan masalah dan sistematika penulisan penelitian. **BAB II. TINJUAN PUSTAKA** pada bagian ini dijelaskan mengenai teori-teori dasar penelitian. **BAB III. METODOLOGI** pada bagian ini dijelaskan metodologi, yaitu metode penelitian dan proses-proses yang dilakukan dari mulai hingga akhir penelitian yang nantinya akan digunakan untuk mencapai tujuan dan hasil yang diinginkan. **BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**, pada bagian ini membahas hasil dari nilai koefisien gesek yang didapat dari sampel pelumas. **BAB V. PENUTUP**, bagian ini berisi tentang kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pelumas

Pelumas adalah zat kimia yang dipakai untuk melapisi permukaan agar tidak kontak langsung dengan permukaan lainnya yang bergerak relatif terhadap permukaan lain. Pelumas dibuat dari 70%-90% campuran minyak pelumas dasar dan ditambah dengan bahan aditif untuk meningkatkan sifat-sifatnya [6].

##### 2.1.1 Fungsi Pelumas

Pelumas mempunyai fungsi sebagai berikut [5]

1. Mengurangi keausan

Salah satu aplikasi dari pelumas adalah untuk memperkecil koefisien gesek sehingga dapat mencegah keausan akibat dari permukaan yang bergerak relatif terhadap permukaan lain. Oli akan membentuk lapisan *oil film* sehingga dapat mencegah kontak langsung antara dua permukaan yang bergesekan.

2. Pendingin

Gesekan antara dua permukaan yang bergerak akan menghasilkan panas yang akan mempengaruhi kinerja dari komponen tersebut dan untuk menanggulangnya, maka minyak pelumas akan mengalir dari sekeliling komponen dan panas yang dihasilkan akan merambat ke pelumas secara konveksi.

3. Perapat

Pada bagian-bagian yang presisi pada mesin kendaraan, pelumas akan berfungsi sebagai perapat, salah satu bentuk aplikasinya adalah pada piston dengan dinding silinder dimana pelumas akan mencegah terjadinya kebocoran gas (*blow by gas*).

4. Pembersih

Pelumas akan membersihkan kotoran-kotoran yang terbentuk dari proses mekanis dan dari hasil degradasi pelumas itu sendiri.

## 5. Mengendalikan korosi

Pelumas mengandung zat aditif sebagai lapisan pelindung untuk menetralkan bahan korosif.

### 2.1.2 Komponen Pelumas

Pada umumnya minyak pelumas terbuat dari bahan minyak bumi yang komponennya terdiri dari *base oil* dan zat aditif [5].

*Base oil* juga terdiri dari beberapa jenis yaitu :

#### a. Mineral Base Oil

Berasal dari proses pengolahan minyak bumi. Memproses residual tertentu dari kilang atau sumur minyak bumi menjadi *base oil* tertentu. Berikut ini merupakan penggolongan jenis jenis *base oil* berdasarkan kelompoknya :

- *Base Oil Group I Solvent Refined Mineral base oil* didapat melalui proses serdehana penyulingan minyak mentah berkualitas standar yang merupakan campuran dari beberapa rantai hidrokarbon yang tidak seragam. (Kuning keruh)
- *Base Oil Group II* mulai menggunakan hidrogen untuk menyeragamkan susunan molekul hidrokarbon dan untuk mengurangi pengotor seperti nitrogen, sulfur, oksigen dan logam berat lainnya. (Bening agak keruh)
- *Base Oil Hydrocracking* hampir sama dengan *base oil Group II* tapi di sini bersamaan dengan penerapan temperatur dan tekanan yang ekstrem dan penggunaan katalis untuk mengubah molekul aromatic menjadi paraffin yang seragam. *Base Oil Group III* adalah kelanjutan penyulingan dari *base oil hydrocracking* dengan meminimalisir kembali nitrogen, sulfur, oksigen, wax, dan logam berat lainnya hingga menjadi isoparaffin dan sering disebut *paraffinic base oil*.
- *Group III* adalah mineral *base oil* terbaik dan sering disebut sebagai *semi-synthetic* karena ada sedikit penambahan *base oil synthetic* untuk menguatkan beberapa karakteristik dari mineral *base oil* tersebut.

b. *Base Oil Sintetis*

Berasal dari reaksi kimia (sintetis) beberapa senyawa kimia tertentu menghasilkan suatu jenis senyawa kimia dengan sifat yang diharapkan.

*Base oil sintetis* berasal dari :

- *Synthetic hydro carbon*
- *Organic esters*
- *Polyalkylane glycols*

Sama seperti *base oil* mineral, *base oil synthetic* juga memiliki penggolongan berdasarkan kelompoknya, yaitu :

- *Base Oil Group IV* adalah termasuk dalam *synthetic base oil* dimana *base oil* ini didapat dari hasil proses kimia sehingga menghasilkan *base oil* yang bebas dari sulfur, oksigen, logam-logam berat dan lain- lain. Yang paling terkenal dalam group ini adalah *Poly Alpha Olefins (PAO)*. Jika ditambahkan aditif maka akan menghasilkan oli dengan ikatan kimia yang sangat seragam dan penguatan sifat-sifat *base oil* yang optimal.
- *Base Oil Group V* adalah *base oil* tingkat tertinggi di mana sering orang menyebutnya *fully synthetic* yang sebenarnya hanya *base oil ester* yang *fully synthetic* karena semua *base oil synthetic* selain ester masih memerlukan *base oil mineral* walaupun hanya sedikit sebagai pelarut aditifnya. *Base oil synthetic* akan menggumpal jika langsung dicampur dengan aditif. Biasanya *base oil group V* ini tidak digunakan sebagai *base oil* tapi lebih sebagai aditif untuk *base oil* lainnya. Yang termasuk *group V* ini antara lain *alkylated Naphthalene, ester, polyalkylene glycols, silicon, polybutane*.

c. *Base Oil Nabati (Tumbuhan)*

*Base oil* nabati merupakan salah satu jenis *base oil* alternatif pengganti *base oil* berbahan dasar minyak bumi yang saat sekarang ini sedang gencar-gencarnya dilakukan riset dan penelitian terhadap *base oil* nabati. *Base oil* nabati berasal dari tumbuhan penghasil minyak seperti kelapa, kelapa sawit, jarak pagar, dll.

Aditif pelumas merupakan sejenis zat kimia yang jika ditambahkan ke dalam minyak pelumas, baik yang memiliki bahan dasar (base oil) mineral, sintetis, maupun nabati akan mempertinggi atau memperbaiki sifat yang ada dari minyak pelumas tersebut. Atau dapat juga memberikan sifat yang baru pada minyak pelumas, yang tidak dimiliki sebelumnya [7].

Tipe Aditif Untuk Pelumas yaitu :

- *Alkaline* yang berfungsi untuk mencegah kontaminasi asam terhadap minyak pelumas dan sistem yang dilumasi.
- *Anti Corosion* berfungsi untuk mencegah reaksi kimia yang menyebabkan korosi terhadap bantalan mesin.
- *Anti Foam* berfungsi untuk mencegah terjadinya buih pada minyak pelumas saat beroperasi.
- *Anti Oxidant* fungsinya untuk meningkatkan daya tahan pelumas terhadap oksidasi.
- *Anti Wear* fungsinya untuk mengurangi tingkat keausan pada komponen mesin.
- *Demulsifer* fungsinya untuk mencegah kontaminasi air pada minyak pelumas.
- *Detergent* gunanya untuk membersihkan komponen yang dilumasi.

### 2.1.3 Karakteristik Minyak Pelumas

Karakteristik minyak pelumas diantaranya adalah [8] :

1. **Viskositas dan indeks viskositas (VI)**  
Viskositas merupakan ukuran tahanan fluida untuk mengalir atau kekentalan. Indeks viskositas (VI) adalah angka yang menunjukkan kemampuan minyak pelumas untuk bertahan atau mempertahankan kekentalannya terhadap perubahan temperatur, dimana makin tinggi angka VI suatu minyak pelumas maka makin stabil tingkat kekentalannya terhadap perubahan temperatur.
2. **Berat jenis (*Spesific Gravity*)**  
Berat jenis ( $\gamma$ ) adalah berat benda tiap satuan volume pada temperatur dan tekanan tertentu.
3. ***Flash point* (Titik Nyala) dan *pour point* (Titik beku)**

*Flash point* adalah suatu angka yang menyatakan temperatur terendah dari bahan bakar minyak dimana akan timbul penyalan api sesaat, apabila pada permukaan tersebut didekatkan pada nyala api. Sedangkan *pour point* adalah suatu angka yang menyatakan temperatur terendah dari minyak pelumas sehingga minyak tersebut masih dapat mengalir karena gaya gravitasi.

4. *Total base number* (TBN)

TBN merupakan angka kadar basa atau ukuran kemampuan minyak pelumas menetralkan asam kuat (sulfat) yang terjadi dari proses pembakaran dalam silinder.

5. *Total acid number* (TAN)

TAN menunjukkan tingkat keasaman organik yang dimiliki minyak pelumas, atau ukuran tingkat oksidasi dari minyak pelumas.

6. *Detergency* dan *dispersant*

*Detergency* merupakan kemampuan minyak pelumas untuk membersihkan dinding atau permukaan dari kotoran yang timbul dari hasil pembakaran, sedangkan *dispersant* merupakan kemampuan minyak pelumas untuk menguraikan atau memisahkan kotoran dari hasil pembakaran.

#### 2.1.4 Aplikasi Pelumas

Aplikasi pelumas yaitu terdiri dari :

Mengendalikan gesekan, maksudnya mampu menurunkan koefisien antara bagian mesin yang bergesekan.

- Mengendalikan temperatur, maksudnya mampu mengendalikan temperature yang tinggi dari engine akibat dari komponen-komponen yang bergesekan.
- Mengendalikan korosi, maksudnya pelumas mampu menjaga mesin ketika bergerak dengan cara melapisi komponen mesin.
- Mengendalikan keausan, maksudnya pelumas harus mampu menjaga mesin dari partikel padat yang masuk ke dalam pelumas seperti korosi dan kontak yang terjadi antara pertemuan logam dengan logam.

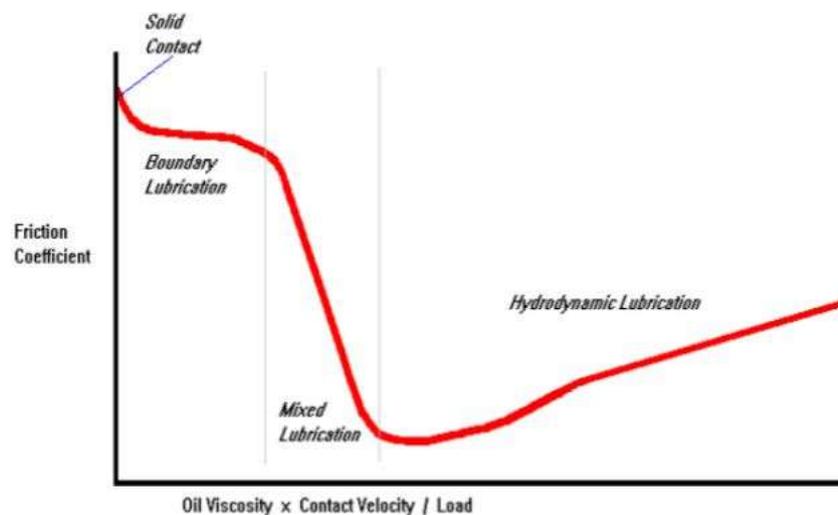
- Menghilangkan kotoran maksudnya pelumas harus mampu membersihkan kotoran yang terjadi pada *engine* agar tidak terjadi keausan.[7]

## 2.2 Rejim Pelumasan

Untuk sistem pelumasan yang menggunakan pelumas cair, maka sistem pelumasannya dapat dibagi menjadi 4 daerah pelumasan yaitu [9] :

1. *solid contact*
2. *boundary lubrication*
3. *mixed lubrication*
4. *hydrodynamic lubrication*

kondisi yang mempengaruhi jenis pelumas ini ialah kecepatan, viskositas pelumas, dan beban. Kurva stribeck yang menunjukkan hubungan antara koefisien gesek dengan kecepatan, viskositas pelumas, dan beban juga digunakan untuk menentukan daerah pelumasan tersebut, seperti pada **Gambar 2.1**



**Gambar 2. 1** Kurva stribeck

### 1. *Solid Contact*

*Solid contact* adalah kondisi stasioner dimana ada kontak antara dua permukaan. Kedua permukaan ini saling terkait oleh masing-masing kekasaran permukaan. Pada kondisi ini nilai koefisien geseknya sudah maksimal dan dinyatakan sebagai koefisien gesek statis.

Kondisi pada solid contact adalah kecepatan tidak ada, gesekan maksimum dan keausan tidak ada.

### 2. *Boundary Lubrication*

*Boundary lubrication* terjadi ketika gerakan lambat. Pada rejim pelumasan ini kekasaran permukaan saling bertabrakan akibatnya gesekan tinggi dan keausan tinggi.

Koefisien gesek di rejim ini dengan besaran  $0,1 < \mu < 0,3$  Kondisi pada boundary lubrication adalah kecepatan rendah, gesekan tinggi, keausan tinggi.

### 3. *Mixed Lubrication (Elastohydrodynamic Lubrication)*

adalah sistem pelumasan dimana terjadi kontak dua permukaan pada daerah tertentu sehingga tidak terbentuk lapisan pelumas dan pada bagian lainnya terbentuk lapisan pelumas.

Koefisien gesekan di rejim ini dengan besaran  $0,01 < \mu < 0,1$  Kondisi pada mixed lubrication adalah kecepatan sedang, gesekan sedang dan keausan rendah.

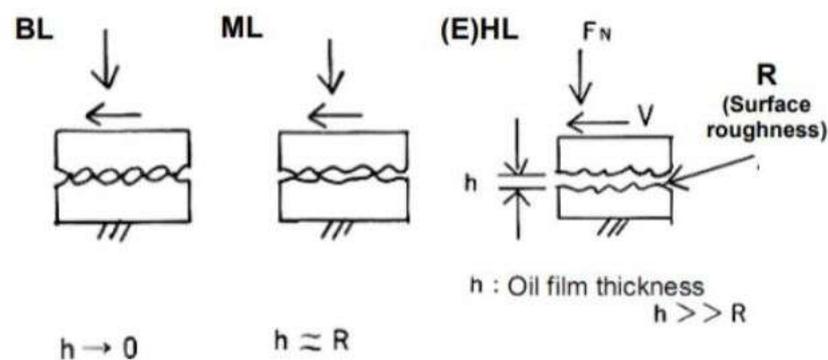
### 4. *Hydrodynamic Lubrication*

*Hydrodynamic Lubrication* terjadi ketika kedua permukaan benar-benar dipisahkan oleh lapisan minyak yang lebih tebal dari kekasaran permukaan. Gesekan rendah hanya di pengaruhi oleh viskositas minyak.

Koefisien gesekan di rejim ini biasanya bernilai 0,01. Kondisi pada hydrodynamic lubrication adalah kecepatan tinggi, gesekan rendah, keausan tidak ada. Ketebalan lapisan film untuk semua rejim dapat dilihat pada

### **Gambar 2.2**

Gambar 2. 2 Asperity dalam setiap sistem pelumasan



### 2.3 Minyak Nabati

Minyak nabati merupakan pelumas dasar yang berasal dari minyak nabati, misalnya minyak kedelai, minyak sawit, minyak kelapa, minyak biji bunga matahari dan minyak biji jarak. Jika minyak nabati dibandingkan dengan minyak mineral sebagai minyak pelumas dasar, terdapat beberapa keunggulan, yaitu tingginya kemampuan pelumasan, tingginya indeks viskositas, rendahnya kehilangan minyak karena penguapan, tingginya kemampuan terdegradasi dan rendahnya kandungan racun. Minyak nabati sebagai pelumas dasar mempunyai keterbatasan, yaitu rendahnya stabilitas termal, hidrolitik, dan oksidatif, karena mengandung asam lemak tidak jenuh. Kelemahan ini dapat diatasi dengan memodifikasi minyak tersebut dengan menambahkan bahan aditif [6]. Salah satu

minyak nabati banyak digunakan sebagai bahan baku karena komposisinya memenuhi syarat sebagai bahan baku pelumas.

Beberapa syarat pelumas yang dapat menjadi minyak dasar pelumas nabati adalah [7]:

- Tidak mengandung senyawa aromatic
- Tidak mengandung sulfur (S)
- Tidak mengandung logam
- Tidak berbau dan lebih baik jika bening

Sebagaimana sifat-sifat pelumas pada umumnya, pelumas nabati juga harus mempunyai sifat seperti di atas, namun yang perlu diperhatikan adalah tingkat ketahanan oksidasi harus lebih tinggi. Dimana untuk mendapatkan sifat-sifat tersebut berhubungan dengan bahan-bahan yang akan digunakan untuk pembuatannya.

Faktor yang mempengaruhi ketahanan minyak nabati adalah sebagai berikut [10] :

- Oksigen dan ikatan rangkap. Semakin banyak ikatan rangkap dan oksigen yang terkandung maka minyak akan semakin cepat teroksidasi.
- Temperatur yang semakin tinggi juga akan mempercepat proses oksidasi.
- Cahaya dan ion logam berperan sebagai katalis yang mempercepat proses oksidasi.
- Antioksidan membuat minyak nabati lebih tahan terhadap oksidasi.

### 2.3.1 Minyak Kelapa Sawit

Minyak kelapa sawit adalah minyak nabati yang didapatkan dari *mesocarp* buah pohon kelapa sawit. Minyak kelapa sawit biasa digunakan pada industri makanan. Namun pada saat ini minyak sawit juga berfungsi sebagai cairan pendingin dikarenakan minyak sawit memiliki daya tahan yang tinggi terhadap oksidasi. Selain itu lapisan film yang dibentuknya sangat alot (sulit di putus) sehingga sanggup mencegah gesekan langsung antara logam dengan logam.

Secara teknologi proses daging sawit dapat diolah menjadi CPO (crude palm oil) sedangkan buah sawit diolah menjadi PK (kernel palm). Melalui proses fraksinasi CPO akan dihasilkan 2 macam produk, yaitu stearin (fraksi padat) dan olein (fraksi cair). Selanjutnya dengan proses refining, bleaching, & deodorizing dihasilkan produk murni RDB Olein dan RDB Stearin. RDB Olein merupakan bahan baku utama dalam industri oleokimia dan pembuatan minyak goreng, sedangkan RDB Stearin terutama digunakan untuk margarin dan shortening, di samping untuk bahan baku industry sabun dan deterjen [7].

#### 2.4 Nano Partikel

Nano partikel adalah partikel yang berukuran antara 1-100 nanometer. Nano partikel sebagai zat aditif pelumas adalah senyawa kimia yang dimana jika ditambahkan kedalam pelumas akan menaikkan mutu minyak pelumas yang baik dalam penggunaan, meningkatkan daya kerja mesin, memperpanjang masa pemeliharaan. Tujuan dari aditif dicampurkan pelumas yaitu untuk melindungi dan memperbaiki mutu pelumas terhadap perubahan sifat kimia atau penurunan mutu pelumas. Secara garis besar aditif dapat digolongkan atas dua bagian, yaitu [11]:

1. Aditif yang bekerja untuk meningkatkan karakteristik sifat fisika seperti menurunkan titik tuang, meningkatkan indeks viskositas, anti busa dan selain sebagainya
2. Aditif yang bekerja untuk mempengaruhi dan meningkatkan karakteristik sifat kimia seperti anti oksidan, anti korosi, dispersan/deterjen, dan lain sebagainya

Nanopartikel memiliki persyaratan analisis yang berbeda dengan zat kimia biasa. Tak seperti zat kimia biasa yang cukup dideskripsikan dengan rumus kimia dan konsentrasinya, nanopartikel memiliki sifat-sifat fisika lain yang harus diukur agar deskripsinya utuh seperti besar partikel, bentuk, sifat-sifat permukaan, kristalinitas, dan disperse. Perbedaan kecil dalam sifat-sifat ini dapat mengubah

sifat-sifat makroskopinya, sehingga memiliki implikasi untuk pengendalian proses dalam penggunaan industrinya. Sifat-sifat ini juga mempengaruhi efek Kesehatan akibat pemaparan terhadap partikel kimia dengan komposisi atau rumus kimia tertentu.

Sifat-sifat nano partikel yang dicirikan sebagai berikut :

1. Besar partikel dan dispersi

Besar partikel menunjukkan ukuran dimensi luarnya, dan disperitas menunjukkan keragaman besar partikel dalam sebuah sampel. Untuk nano partikel yang ada di udara, Teknik untuk mengukur besar partikel diantaranya penumbuk bertingkat, penumbuk elektrik tekanan rendah, penganalisis mobilitas, dan spektrometri massa waktu lintas. Untuk nano partikel dalam suspensi, di antara Teknik yang digunakan adalah hamburan cahaya dinamis, difraksi laser, fraksinasi aliran medan, analisis penjejak partikel, kromatografi penyisihan ukuran, sedimentasi sentrifugal, dan mikroskopi gaya atom. Untuk bahan yang berbentuk kering, di antara teknik untuk mengukur besar partikel adalah mikroskopi elektron, mikroskopi gaya atom, dan difraksi sinar X. Dispersi adalah suatu sistem dimana partikel terdistribusi dari satu bahan tersebar dalam sebuah fase berkelanjutan dari bahan lain. Dispersi sering diukur dengan teknik yang sama untuk mengukur distribusi besar partikel, karena lebar distribusi besar partikel sering digunakan untuk menyimpulkan disperse.

2. Morfologi

Morfologi menyangkut bentuk fisik sebuah partikel serta bentuk permukaannya, misalnya keberadaan retakan, tonjolan, atau pori.

3. Komposisi kimia dan struktur kristal

komposisi kimia menunjukkan unsur-unsur kimia yang membentuk suatu nanopartikel, dan dapat diukur secara gabungan atau melalui analisis unsur partikel tunggal. Atom-atom pembentuk sebuah nano partikel dapat tersusun menjadi kristal atau padatan amorf. Kristalinitas adalah mengacu pada tingkat tatanan struktural dalam suatu benda padat. Dalam sebuah kristal, atom atau molekul disusun secara teratur dan berkala.

4. Luas permukaan

## 5. Kelarutan

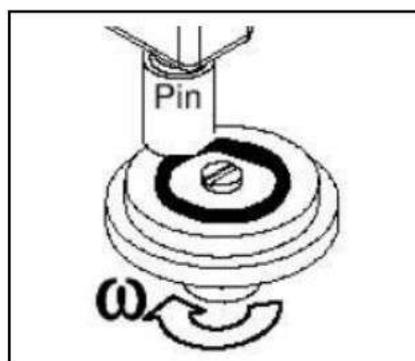
Mengukur kemampuan sebuah nanopartikel untuk melarut dalam pelarut tertentu.

## 2.5 Tribology

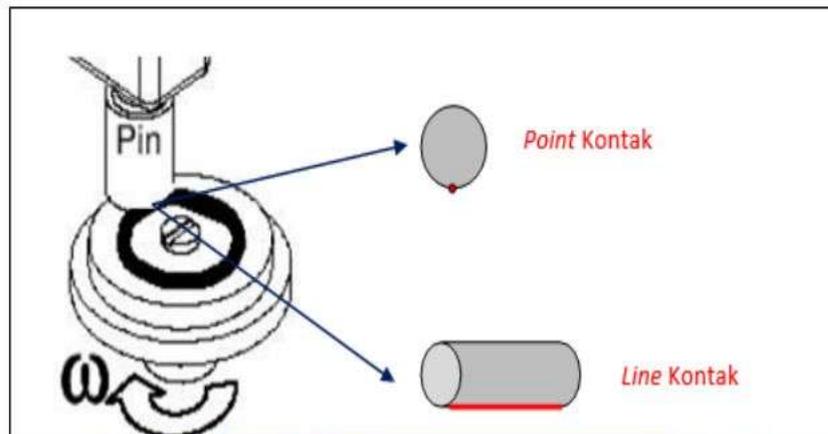
*Tribology* berasal dari kata tribos (bahasa Yunani yang berarti rubbing, dan logy atau logia artinya *study*). Tribologi adalah pembelajaran tentang interaksi atau rubbing dari permukaan yang saling bergerak relatif. Meskipun penggunaan pelumas telah dimulai sejak zaman kuno, misalnya pada peralatan seperti roda pembuatan keramik, engsel pintu, roda kereta, seluncur untuk menyeret batu besar/patung di Mesir dsb. Namun pembahasan secara ilmiah terhadap teknologi pelumas dan pelumasan ini relatif baru. Perumusan pertama hukum tribologi baru mengemukakan pada abad 15, pada saat itu insinyur-artis, Leonardo da Vinci (1452-1519), menemukan bahwa gaya friksi sebanding dengan gaya normal. Terminologi tribologi diperkenalkan baru sekitar tahun 1966 sebagai ilmu sains tentang friksi (*friction*), keausan (*wear*), pelumasan (*lubrication*), dan telah digunakan secara global untuk menggambarkan aktivitas yang jangkauannya cukup luas [9].

### 2.5.1 Pin on Disc

Tribometer adalah sebuah alat yang digunakan untuk mengukur kuantitas tribologi yang terdiri dari koefisien gesek, gaya gesek, dan volume dari keausan antara dua material yang saling kontak. Terdapat beberapa bentuk alat tribometer yang digunakan untuk mengukur sifat tribologi dari dua material yang saling kontak, diantaranya pin on disc, pin, plat, dan lain lain seperti pada **Gambar 2.3**.



*Pin on disc* merupakan suatu tipe gesekan yang terjadi antara putaran *disc* dengan *pin*. *Disc* berputar dengan kecepatan putaran tertentu sesuai dengan daya yang diberikan dari sumber gerak. *Pin* akan dirancang sedemikian rupa sehingga *pin* tersebut akan mengalami gesekan-gesekan dengan *disc* yang berputar. Kontak yang terjadi antara pin dan *disc* tersebut akan menimbulkan gesekan. Gesekan *pin on disc* ini dapat dilihat pada **Gambar 2.4**



**Gambar 2.4** point dan line kontak [13]

Kontak yang terjadi antara *pin on disc* ini dapat dalam bentuk (titik) kontak dan *line* (garis) kontak. *Point* kontak akan terjadi apabila bentuk dari *pin* yang berkontak dengan *disc* tersebut berupa bola. Bentuk permukaan yang berupa bola tersebut akan menyebabkan kontak pada *disc* berupa *point* kontak. *Line* kontak akan terbentuk apabila *pin* tersebut berbentuk sebuah silinder. Silinder tersebut akan menyentuh *disc* berupa kontak berbentuk garis *line* kontak. Berbentuk dan jenis kontak yang terjadi dapat dilihat pada **Gambar 2.4**.

### 2.5.2 Gesekan

Gesekan (*friction*) adalah gaya yang menahan gerakan *sliding* atau *rolling* satu benda terhadap benda lainnya. Gesekan merupakan faktor yang penting dalam mekanisme operasi sebagian besar peralatan atau mesin. Gesekan besar (*high friction*) dibutuhkan untuk bekerjanya mur dan baut, klip kertas, penjepit (tang

catut), sol sepatu, alat pemegang dll. Gesekan juga merupakan tahanan terhadap gerakan yang bersifat merugikan. 20% tenaga mesin mobil dipergunakan untuk mengatasi gaya gesek pada elemen mesin yang bergerak. Oleh karena itu gesekan kecil (*low friction*), dipergunakan untuk benda yang bergerak seperti mesin tenaga (*engine*), ski, elemen arloji/jam dll. Gesekan konstan (*constant friction*) juga dibutuhkan yaitu untuk rem, dan kopling agar gesekan tidak tersendat sendat. Gesekan telah dipelajari sebagai cabang mekanika beberapa ratus tahun yang lalu, dan hukum dan metode untuk memperkirakan besarnya gesekan telah diketahui 2 abad lalu. Namun mekanisme gesekan, yaitu proses dimana hilangnya energi jika terdapat dua permukaan yang saling bergesek tidak dapat diterangkan dengan baik. Penyebab utama gesekan antara dua logam kelihatannya adalah gaya tarik (adhesi) daerah kontak (*contact region*) dari permukaan yang secara mikroskopik tidak beraturan. Jika diperbesar permukaan menyerupai bukit dan lembah. Jika ada beban, ketika 2 permukaan bersinggungan, dua bukit menempel (adhesi atau menyatu) atau terkunci di lembah permukaan dihadapannya. Gesekan timbul akibat adanya geseran (*shearing*) bukit yang menyatu tersebut dan juga akibat ketidakteraturan permukaan tersebut, bagian yang keras tertanam kepada bagian lunak. Friksi dari sliding dua benda padat yang diperoleh dari eksperimen sederhana menghasilkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Besarnya gesekan hampir tidak tergantung pada luas kontak  
Jika sebuah bata ditarik di atas meja, gaya gesek tetap sama, baik posisi bata berdiri ataupun tidur. Leonardo da Vinci (1452-1519)
2. Gesekan berbanding lurus dengan beban yang bekerja pada permukaan.  
Jika sebuah batu bata di tumpuk menjadi empat bagian lalu di tarik di atas meja, maka besarnya gesekan sama dengan empat kalinya gesekan satu batu bata yan ditarik.

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

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

Ket:  $\mu$  : koefisien gesek  
F : gaya gesek (N)  
N : gaya normal (N)

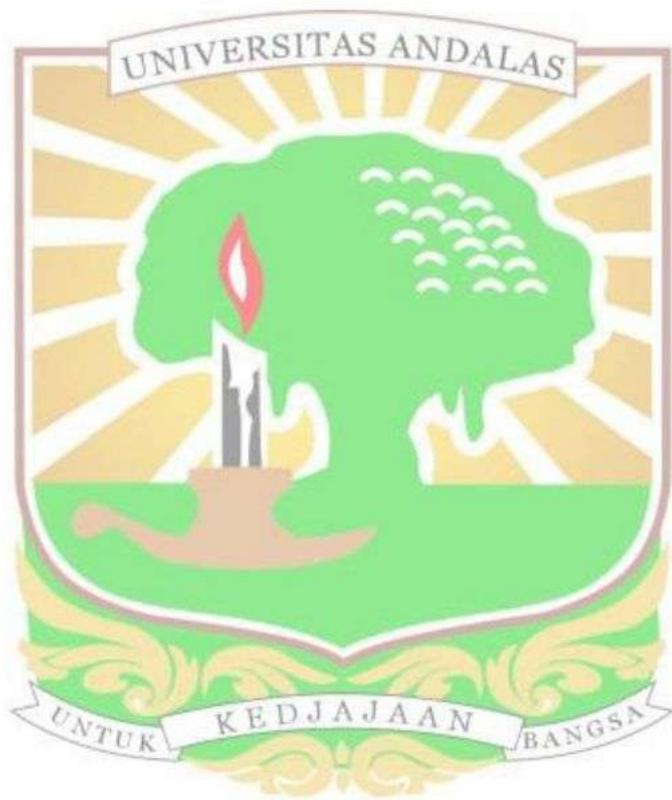
Koefisien gesek tidak memiliki satuan, karena gesekan dan beban yang diukur dalam gaya (pound atau newton) saling meniadakan. Misalnya sebagai contohnya harga koefisien gesek  $\mu = 0,5$  untuk sebuah masalah pada bata yang ditarik diatas papan kayu yang berarti bahwa dibutuhkan gaya sebesar setengah dari berat benda atau bata untuk mengatasi gesekan, dan menjaga bata bergerak secara konstan. Gaya gesek berlawanan arah dengan gerak bata. Karena gesekan timbul antara permukaan yang bergerak maka ini disebut gesekan kinetik (*kinetic friction*). Ini untuk membedakan dengan gesekan statik (*static friction*), yang bekerja pada permukaan yang diam. Harga gesekan statik selalu lebih besar dari gesekan kinetik. Friksi rolling (*rolling friction*) terjadi jika suatu roda, silinder atau pun bola menggelinding bebas di atas permukaan, seperti halnya pada *ball* atau *roller bearing*. Sumber friksi utama dalam gerakan rolling adalah disipasi energi yang melibatkan deformasi benda. Jika bola keras menggelinding diatas permukaan, bola sedikit peyang dan permukaan sedikit legok pada daerah kontak. Deformasi elastik atau kompresi pada daerah kontak tersebut merupakan penghambat gerakan dan energinya tidak kembali saat benda kembali ke bentuk semula. Energi yang hilang pada kedua bagian permukaan sama dengan energi yang hilang pada bola yang jatuh dan terpantul. Besar friksi sliding pada umumnya 100 sampai 1000 kali lebih besar dibandingkan dengan friksi rolling. Keuntungan gerakan rolling dipahami oleh manusia pendahulu sehingga ditemukan roda [9].

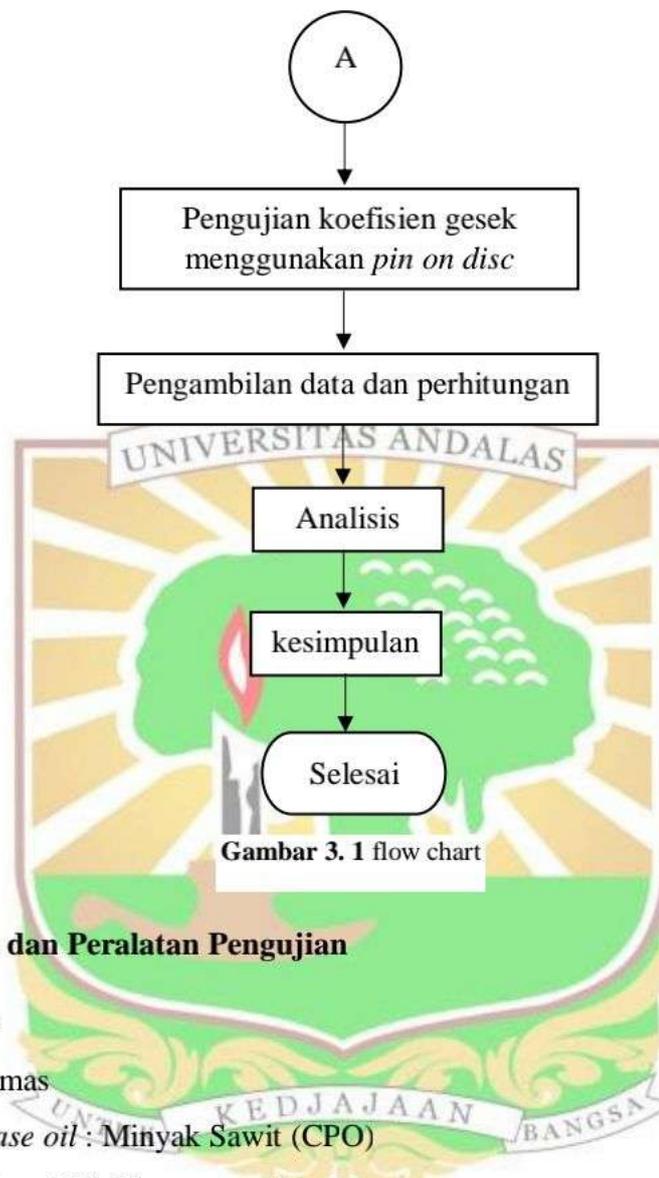
## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Sistematika Penelitian

Pada penelitian penambahan nano partikel sebagai zat aditif terhadap *biolubricant* (minyak kelapa sawit) ini dilakukan beberapa tahapan untuk mencapai tujuan. Pada tahap pertama yang dilakukan dimulai dengan membaca literatur mengenai penelitian yang sejenis dan yang pernah dilakukan sebelumnya sehingga didapatkan materi penunjang untuk penelitian ini. Tahap selanjutnya yaitu dengan mempersiapkan sampel uji berupa minyak sawit (CPO) dan nano partikel sebagai zat aditif yaitu  $\text{TiO}_2$  dengan konsentrasi 0.1% lalu dicampur menggunakan *heat magnetic stirrer* agar kedua sampel homogen. Tahap selanjutnya dilakukan pengujian koefisien gesek dari pelumas tersebut dengan variasi putaran dan pembebanan menggunakan alat uji *pin on disc tribometer*. Adapun untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada diagram alir (*flowchart*) pada **Gambar 3.1**







### 3.2 Bahan dan Peralatan Pengujian

#### 3.2.1 Bahan

##### 1. Pelumas

- a. Base oil : Minyak Sawit (CPO)
- b. Zat aditif : Nano material  $TiO_2$

#### 3.2.2 Peralatan alat uji koefisien gesek

Peralatan yang digunakan adalah alat uji tribometer jenis *pin on disc* seperti pada **Gambar 3.2**



Gambar 3. 2 Alat uji pin on disc

a) *Pin*

*Pin* adalah benda yang nantinya akan bersentuhan atau berkontak langsung dengan *disc*. *Pin* akan menekan jika diberi pembebanan sehingga akan langsung berkontak dengan *disc* yang berputar atau berotasi. Bentuk *pin* dapat dilihat pada **Gambar 3.3**.



Gambar 3. 3 Pin

Adapun spesifikasi dari *pin* yang digunakan dapat dilihat pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3. 1 Tabel spesifikasi spesimen

<b>Tipe</b>	<b><i>Pin (ball bearing SKF)</i></b>
Material	<i>Stainless steel 440C</i>
Kekerasan	610 BHN
Diameter	7.9 mm

b) *Disc*

*Disc* berfungsi sebagai permukaan yang bersentuhan langsung dengan sebuah *pin*. *Disc* ini memiliki sebuah kekerasan yang lebih rendah dari

*pin*, bentuk sebuah *disc* biasanya seperti piringan. Agar lebih jelas dapat dilihat pada **Gambar 3.4**. Adapun spesifikasi tersendiri dapat dilihat dari **Tabel 3.2**.



Adapun spesifikasi tersendiri dapat dilihat dari **Tabel 3.2**.

**Tabel 3. 2** Spesifikasi disc

No	Tipe	Disc
1	Kekerasan	135 BHN
2	Kekasaran permukaan	0.97 $\mu\text{m}$
3	Material	AISI 1015
4	Komposisi kimia disc	99% Fe dan 0.156% C

c) AC Motor *inverter*

Sebagai alat yang digunakan untuk mengatur sebuah kecepatan motor, bentuk AC Motor *Inverter* dapat dilihat pada **Gambar 3.5**.



Gambar 3. 5 AC Motor Inventer

- d) Personal Komputer dengan *software*  
*Software* Arduino berfungsi untuk menampilkan dan mengolah data berupa nilai gaya gesek yang terjadi ketika pengujian.

### 3.2.3 Pengujian koefisien gesek

Pengujian koefisien gesek menggunakan alat uji tribometer jenis *pin on disc*. Untuk menguji ini dilakukan dengan cara *pin* diberi beban dan menekan *disc* yang sedang berputar yang telah diberikan minyak uji. Ketika pengujian berlangsung lengan dari penahan akan mengalami defleksi akibat dari gaya gesek yang diberikan dari *pin* yang menekan *disc* yang berputar. Defleksi yang terjadi pada lengan fleksibel akan diteruskan ke *loadcell* berupa perubahan *voltage* dimana perubahan ini selanjutnya dikonversikan kedalam bentuk gaya dengan program Arduino. Selanjutnya besar gaya gesek akan ditampilkan pada layar laptop merupakan representasi dari gaya gesek yang terjadi pada pengujian.

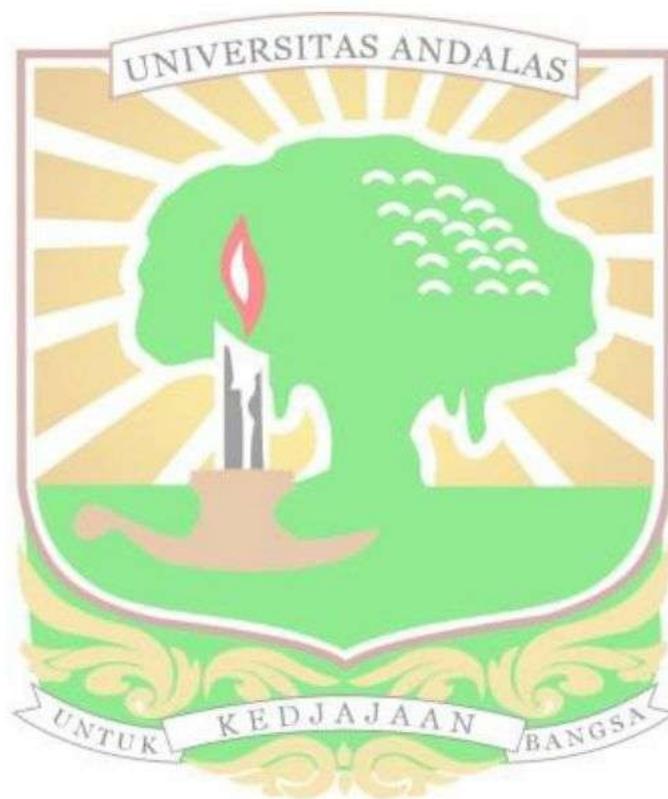
Berikut tahapan-tahapan pengujian koefisien gesek :

1. Pasang *pin* dan *disc* pada alat uji tribometer
2. Lumuri terlebih dahulu *pin* dan *disc* dengan minyak uji
3. Sambungkan kabel *power* motor ke *power supply*
4. Sambungkan kabel sensor *loadcell* pada microcontroller arduino uno kepersonal komputer
5. Lumuri terlebih dahulu *pin* dan *disc* dengan minyak uji

6. Berikan variasi pembebanan sebesar 50 N, 75 N dan 100 N pada setiap kali pengujian pada masing masing kecepatan putaran dengan variasi kecepatan 500 rpm dan 1400 rpm
7. Hidupkan *speedmotor*, *stopwatch*, dan *run program*
8. Atur waktu pengujian untuk sekali uji selama 5 menit
9. Variasikan pengambilan data untuk satu kali pengujian sebanyak 3x untuk setiap pelumas
10. Menganalisa dengan statistik untuk menarik kesimpulan dari pengaruh sebelum diberi nano material dan sesudah diberi TiO<sub>2</sub>
11. Isikan data koefisien gesek didapat pada **Tabel 3.3**

Tabel 3. 3 Rancangan Data Koefisien Gesek

Jenis Campuran Pelumas		Putaran	Beban (N)	Rata-rata Koefisien Gesek
Bahan Dasar	Zat Aditif			
Minyak Kelapa Sawit	Tidak Ada	500 rpm	50	
			75	
			100	
		1400 rpm	50	
			75	
			100	
(CPO)	TiO <sub>2</sub> 0,1% wt	500 rpm	50	
			75	
			100	
		1400 rpm	50	
			75	
			100	



## BAB IV

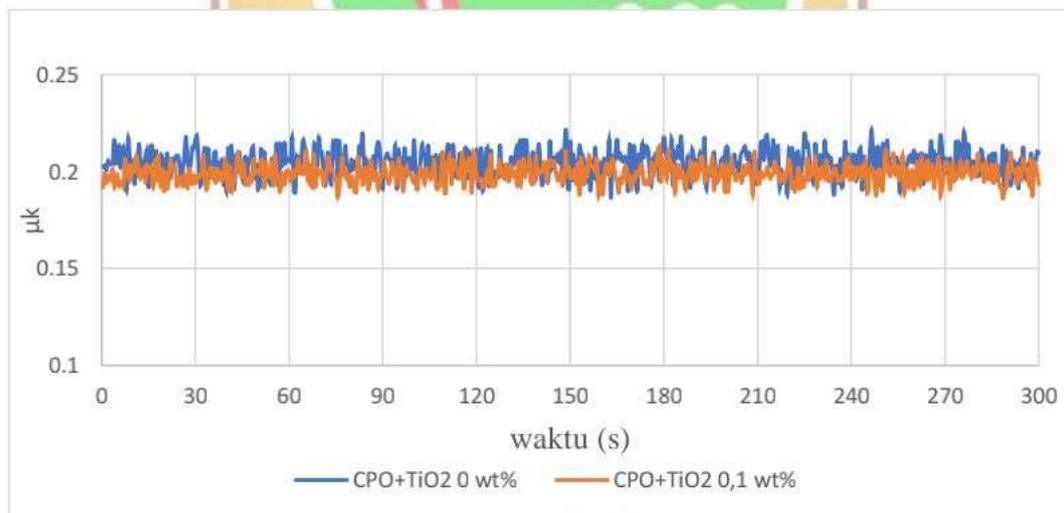
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Pengujian Koefisien Gesek

Pada pengujian koefisien gesek ini menggunakan dua bentuk pelumas yaitu pelumas yang pertama minyak kelapa sawit (CPO) dan yang kedua menggunakan minyak kelapa sawit yang telah ditambahkan dengan titanium dioksida 0,1wt% sebagai zat aditif. Data dari pengujian didapat ketika pengujian sudah dalam kondisi mendekati konstan atau *steady state*.

##### 4.1.1 Hasil Pengujian Koefisien Gesek Pada Kecepatan 500rpm

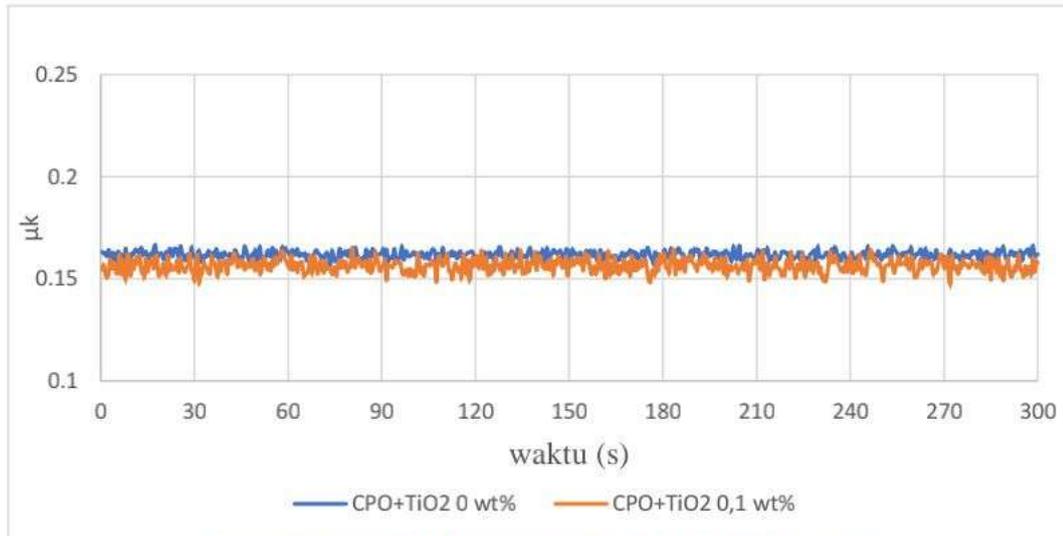
Pada pengambilan data ini menggunakan kecepatan 500 rpm dan diberikan variasi beban yaitu 50 N, 75 N, dan 100 N. hasil dari penelitian dapat dilihat pada **Gambar 4.1, Gambar 4.2, Gambar 4.3.**



**Gambar 4.1** Grafik perbandingan koefisien gesek antara CPO dengan CPO+TiO<sub>2</sub> 0,1wt% dengan beban 50N dan kecepatan putaran 500 rpm

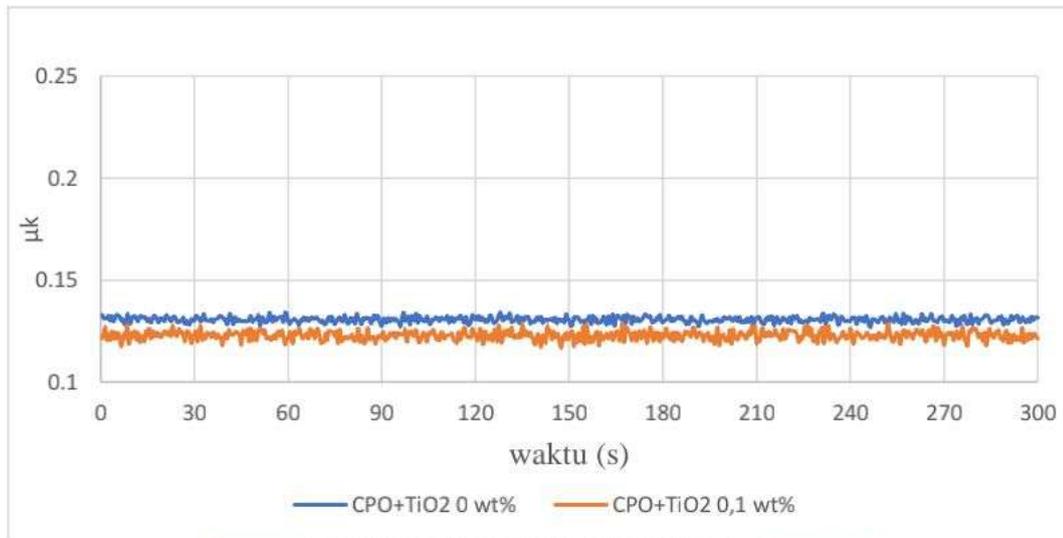
Pada **Gambar 4.1** menunjukkan hasil dari pengujian koefisien gesek antara kedua pelumas yaitu minyak kelapa sawit (CPO) dan minyak kelapa sawit yang ditambahkan zat aditiv titanium dioksida 0,1wt% dengan kecepatan 500 rpm dan beban 50 N. Koefisien gesek maksimum yang didapat sebesar 0,2217 yaitu pada pelumas CPO dan untuk minimum yang didapat sebesar 0,1860 yaitu pada pelumas

CPO ditambahkan titanium dioksida 0,1wt% dari data di atas bisa diketahui bahwa minyak kelapa sawit yang ditambahkan dengan zat aditif titanium dioksida efektif untuk mereduksi gesekan pada beban 50 N dengan kecepatan 500 rpm.



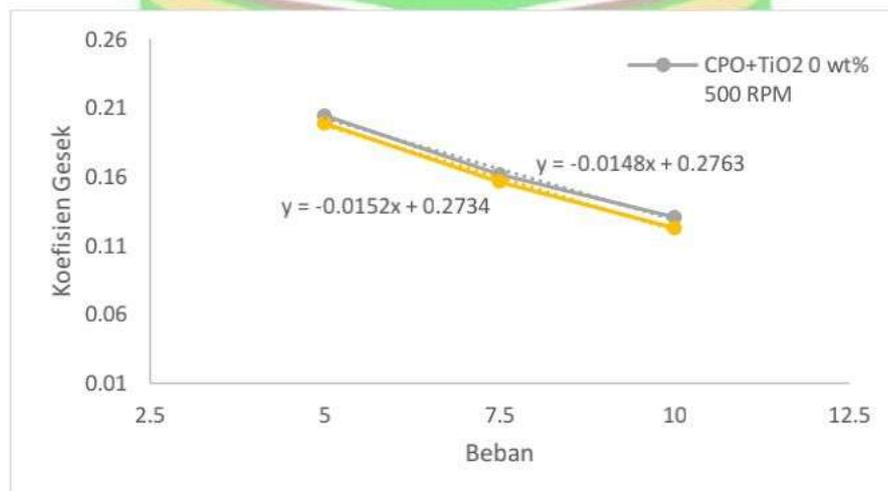
**Gambar 4. 2** Grafik perbandingan koefisien gesek antara CPO dengan CPO+TiO<sub>2</sub> 0,1wt% dengan beban 75 N dan kecepatan putaran 500 rpm

Pada variasi kecepatan 500 rpm dengan pembebanan 75 N didapatkan nilai koefisien maksimum adalah 0,1663 yaitu pada pelumas CPO tanpa campuran zat aditiv, dan untuk nilai koefisien minimum yang didapat adalah 0,1447 yaitu pada pelumas CPO ditambahkan titanium dioksida 0,1wt%, seperti yang tertera pada **Gambar 4.2**. Penambahan titanium dioksida pada minyak kelapa wasit dapat memberikan pengaruh yang baik dalam mereduksi gesekan pada variasi pembebanan 75 N dan kecepatan 500 rpm.



**Gambar 4.3** Grafik perbandingan koefisien gesek antara CPO dengan CPO+TiO<sub>2</sub> 0,1wt% dengan beban 100 N dan kecepatan putaran 500 rpm

Untuk variasi kecepatan 500 rpm dan pembebanan 100 N dapat diketahui bahwa pencampuran titanium dioksida pada minyak kelapa sawit dapat membantu mereduksi gesekan lebih baik dibandingkan dengan minyak kelapa sawit tanpa campuran titanium dioksida. Nilai koefisien maksimum yang didapatkan adalah 0,1304 yaitu pada pengujian pelumas minyak kelapa sawit tanpa dicampurkan dengan titanium dioksida, dan untuk nilai koefisien gesek minimum adalah 0,1171 yaitu pada pengujian pelumas minyak kelapa sawit yang ditambahkan dengan titanium dioksida yang dapat dilihat pada **Gambar 4.3**.

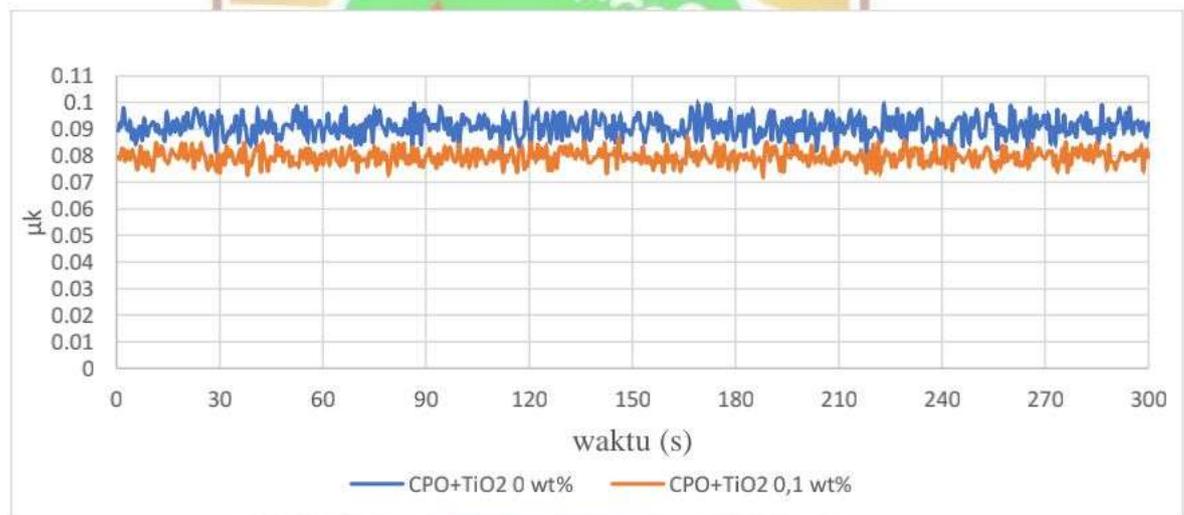


**Gambar 4.4** Perbandingan koefisien gesek terhadap beban dengan beberapa pelumas pada putaran 500 rpm

Pada **Gambar 4.4** menunjukkan hubungan nilai koefisien gesek dengan penambahan beban pada setiap pelumas pada kecepatan putaran 500 rpm. Pengujian ini telah dilakukan dengan variasi pembebanan yaitu 50 N, 75 N, dan 100 N. dari pengujian tersebut dapat dilihat bahwa setiap penambahan beban, koefisien gesek dari kedua minyak cenderung menurun. Pada kecepatan putaran 500 rpm ini nilai koefisien gesek tertinggi yaitu pada beban 50 N dengan minyak CPO sebesar 0,2217 dan nilai koefisien terendah ialah pada beban 100N dengan minyak CPO ditambahkan titanium dioksida 0,1wt% sebesar 0,1171.

#### 4.1.2 Hasil Pengujian Koefisien Gesek Pada Kecepatan 1400 rpm

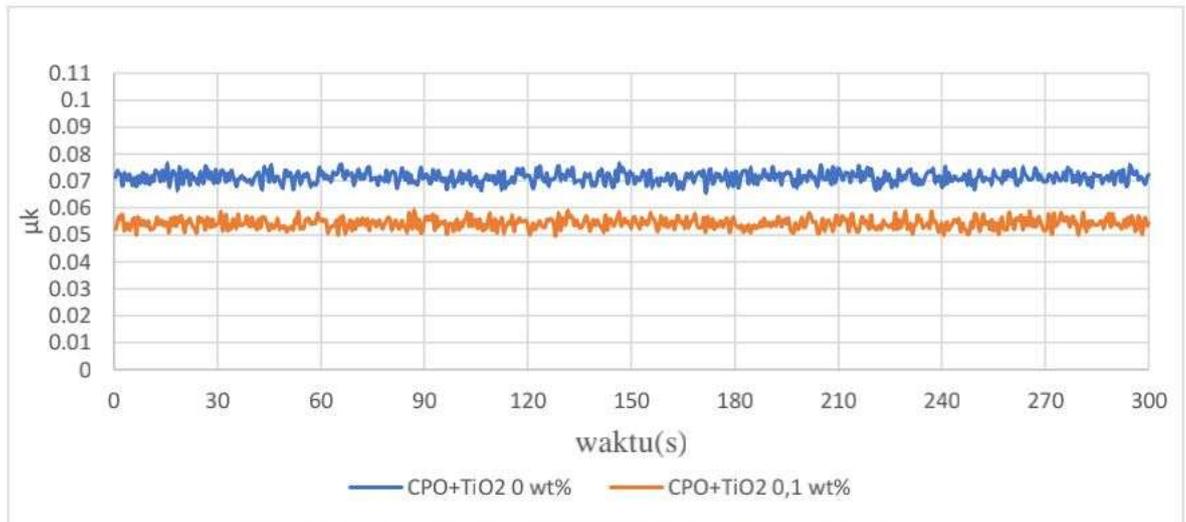
Pada pengambilan data ini menggunakan kecepatan 500 rpm dan diberikan variasi beban yaitu 50 N, 75 N, dan 100 N. hasil dari penelitian dapat dilihat pada **Gambar 4.5, Gambar 4.6, Gambar 4.7.**



**Gambar 4.5** Grafik perbandingan koefisien gesek antara CPO dengan CPO+TiO<sub>2</sub> 0,1wt% dengan beban 50 N dan kecepatan putaran 1400 rpm.

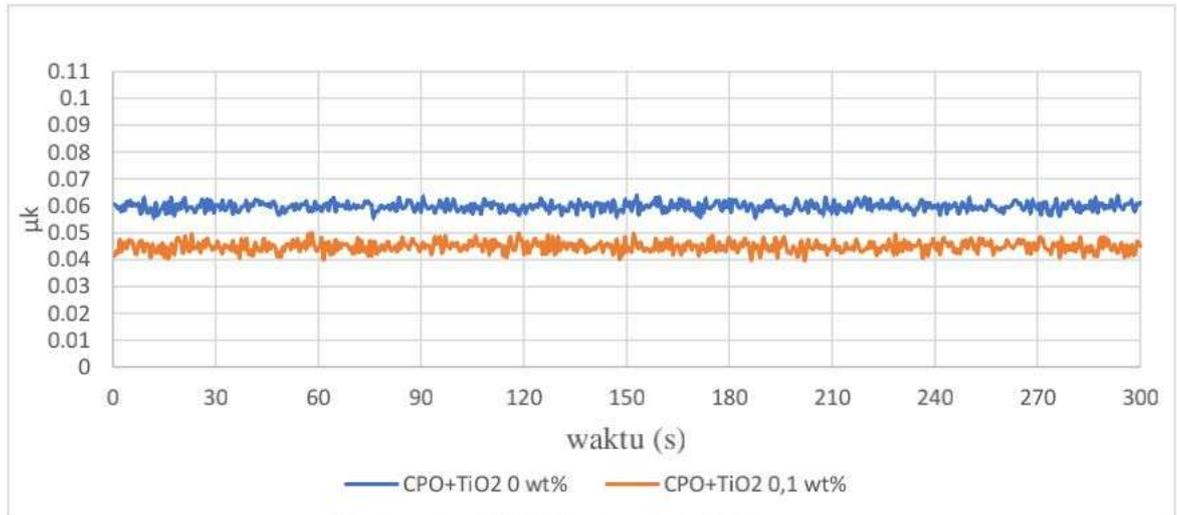
Dapat dilihat pada **Gambar 4.5** menunjukkan hasil dari pengujian koefisien gesek antara kedua pelumas yaitu minyak kelapa sawit (CPO) dan minyak kelapa sawit yang ditambahkan titanium dioksida 0,1wt% dengan kecepatan putaran 1400 rpm dan beban yang diberikan 50 N. koefisien gesek maksimum yang didapat sebesar 0,1004 yaitu pada pelumas CPO dan untuk rata rata minimum yang didapat sebesar 0,0723 yaitu pada pelumas CPO ditambahkan titanium dioksida 0,1wt% dari data koefisien gesek diatas bisa diketahui bahwa minyak kelapa sawit yang

ditambahkan dengan zat aditif titanium dioksida efektif untuk mereduksi gesekan pada beban 50 N dengan kecepatan 1400 rpm



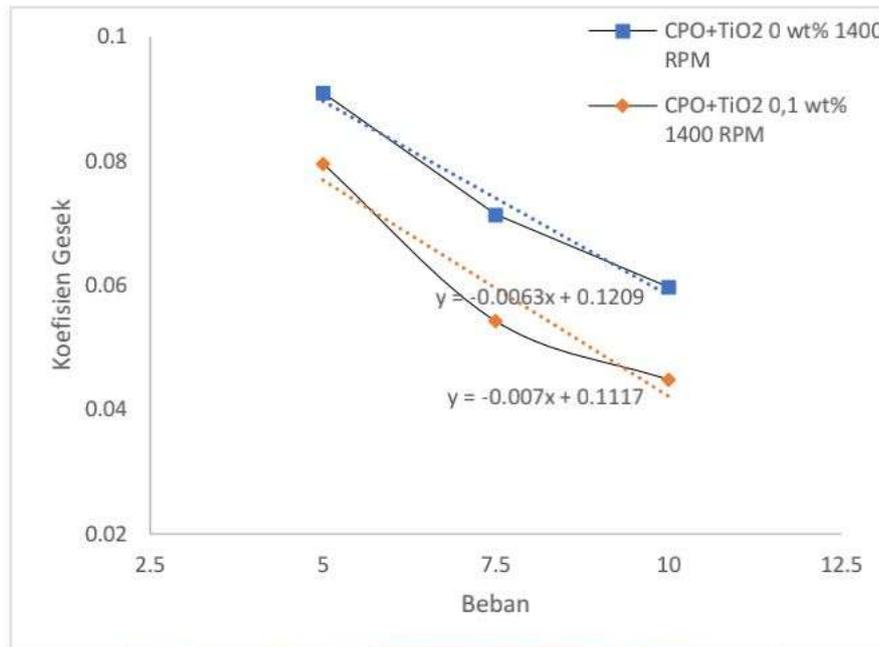
**Gambar 4. 6** Grafik perbandingan koefisien gesek antara CPO dengan CPO+TiO<sub>2</sub> 0,1wt% dengan beban 75 N dan kecepatan putaran 1400 rpm.

Untuk variasi kecepatan 1400 rpm dan pembebanan 75 N dapat diketahui bahwa pencampuran titanium dioksida pada minyak kelapa sawit dapat membantu mereduksi gesekan lebih baik dibandingkan dengan minyak kelapa sawit tanpa campuran titanium dioksida. Nilai koefisien maksimum yang didapatkan adalah 0,0762 yaitu pada pengujian pelumas minyak kelapa sawit tanpa dicampurkan dengan titanium dioksida, dan untuk nilai koefisien gesek minimum adalah 0,0495 yaitu pada pengujian pelumas minyak kelapa sawit yang ditambahkan dengan titanium dioksida yang dapat dilihat pada **Gambar 4.6**.



**Gambar 4.7** Grafik perbandingan koefisien gesek antara CPO dengan CPO+TiO<sub>2</sub> 0,1wt% dengan beban 100 N dan kecepatan putaran 1400 rpm.

Sedangkan untuk **Gambar 4.7** menunjukkan hasil dari pengujian koefisien gesek antara kedua pelumas yaitu minyak kelapa sawit (CPO) dan minyak kelapa sawit yang ditambahkan titanium dioksida 0,1wt% dengan kecepatan putaran 1400 rpm dan beban yang diberikan 100 N. koefisien gesek maksimum yang didapat sebesar 0,0637 yaitu pada pelumas CPO dan untuk minimum yang didapat sebesar 0,0395 yaitu pada pelumas CPO ditambahkan titanium dioksida 0,1wt% dari data koefisien gesek diatas bisa diketahui bahwa minyak kelapa sawit yang ditambahkan dengan zat aditif titanium dioksida efektif untuk mereduksi gesekan pada beban 100 N dengan kecepatan 1400 rpm



**Gambar 4.8** Perbandingan koefisien gesek terhadap beban dengan beberapa pelumas pada putaran 1400 rpm

Pada **Gambar 4.8** menunjukkan hubungan nilai koefisien gesek dengan penambahan beban pada setiap pelumas pada kecepatan putaran 1400 rpm. Pengujian ini telah dilakukan dengan variasi pembebanan yaitu 50 N, 75 N, dan 100 N. dari pengujian tersebut dapat dilihat bahwa setiap penambahan beban, koefisien gesek dari kedua minyak cenderung menurun. Pada kecepatan putaran 500 rpm ini nilai koefisien gesek tertinggi yaitu pada beban 50 N dengan minyak CPO sebesar 0,1004 dan nilai koefisien terendah ialah pada beban 100N dengan minyak CPO ditambahkan titanium dioksida 0,1wt% sebesar 0,0395

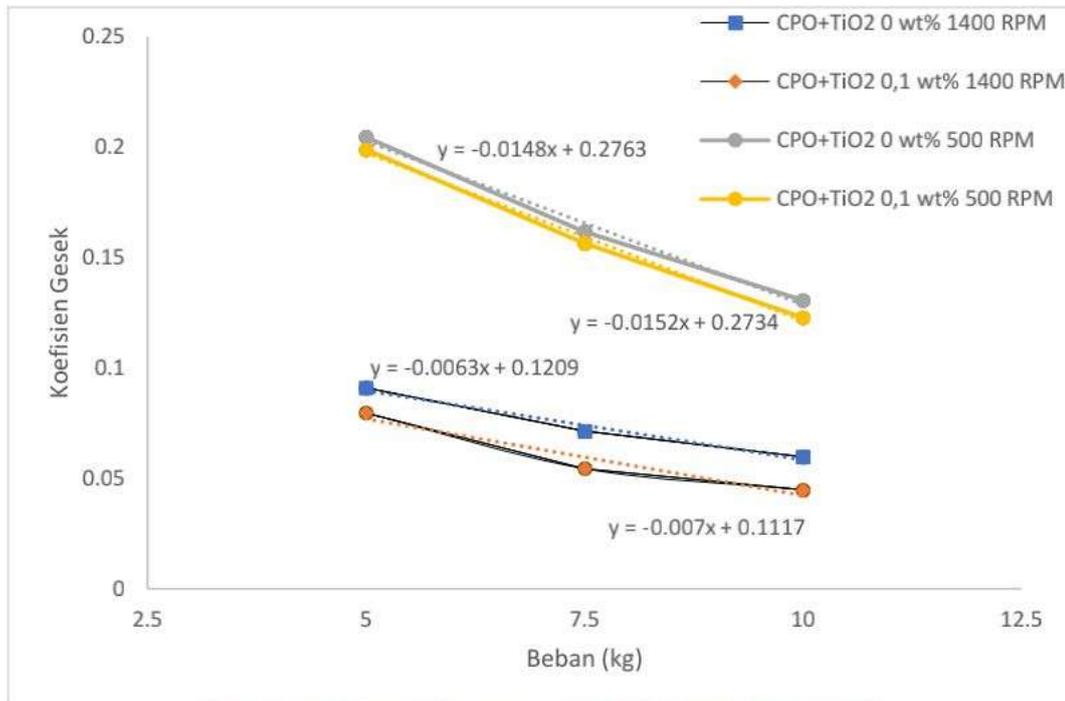
#### 4.2 Diskusi dan pembahasan pengaruh penambahan zat aditiv titanium dioksida terhadap koefisien gesek

Pada pengujian pertama, pelumas CPO murni dan CPO ditambahkan zat aditiv titanium dioksida 0,1wt% pada pembebanan 50 N, 75 N, dan 100 N dengan kecepatan putaran 500 rpm, daerah pelumasan terjadi pada rejim *boundary lubrication*. Yaitu pada pelumasan ini terjadi kontak antara *asperity* dengan *asperity*, sehingga sifat fisik dari pelumas tidak terlalu mempengaruhi pada sifat tribologinya karena jarak antara dua benda yang bergesekan sangat dekat atau

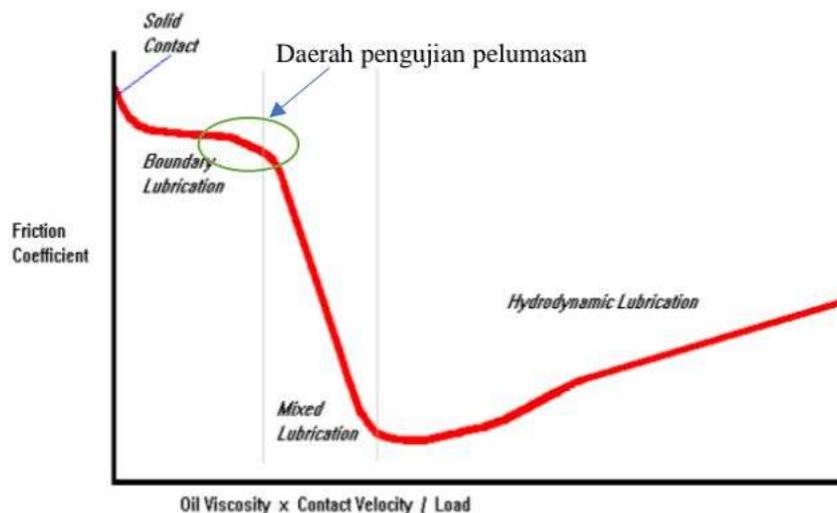
kecil. Pada pelumasan ini kandungan dari pelumas nabati yaitu *fatty acid* sangat memberi pengaruh pada gesekan, *fatty acid* pada minyak nabati ini bersifat polar yang bisa memberikan sifat lengket yang bagus untuk pelumasan. *Fatty acid* akan membentuk lapisan (*film*) tipis pada permukaan dua benda yang saling berkontak sehingga memisahkannya dan gesekan dari dua permukaan benda tersebut berkurang.

Pada pengujian kedua, pelumas CPO murni dan CPO ditambahkan zat aditiv titanium dioksida 0,1wt% pada pembebanan 50 N, 75 N, dan 100 N dengan kecepatan putaran 1400 rpm, daerah pelumasan terjadi pada rejim *elastohydrodynamic lubrication*. Yaitu pada rejim pelumasan ini tebal lapisan (*film*) yang lebih mempengaruhi yaitu tingkat kekentalan atau viskositas. Dari percobaan yang dilakukan hasil koefisien gesek dari pelumas CPO yang ditambahkan zat aditiv titanium dioksida 0,1wt% meliki koefisien gesek lebih rendah dibandingkan pelumas CPO murni, dimana penambahan zat aditiv tersebut dapat meningkatkan viskositas dari pelumas. Viskositas minyak kelapa sawit ialah 17,9 mm<sup>2</sup>/s sedangkan viskositas yang didapat setelah penambahan TiO<sub>2</sub> adalah 20,3 mm<sup>2</sup>/s.

Pada **Gambar 4.9** dapat dilihat bahwa pengaruh penambahan TiO<sub>2</sub> pada CPO lebih signifikan pada kecepatan 1400 rpm, hal ini disebabkan karena pada kecepatan 1400 rpm gesekan terjadi pada rejim *elastohydrodynamic*, yaitu gesekan yang terjadi tidak hanya pada *aspirty* dengan *aspirty* tetapi ada juga *aspirty* dengan lapisan film yang terbentuk dari pelumas. Lapisan film dari pelumas yang telah ditambahkan dengan zat aditiv TiO<sub>2</sub> ini yang mampu menambah efektifitas lebih baik atau membantu dalam mereduksi gesekan. Pada pengujian juga bisa diketahui bahwa koefisien gesek yang didapat akan menurun secara bertahap sesuai penambahan beban. Daerah pengujian pelumasan pada pannelitian ini terjadi pada rejim pelumasan *boundary lubrication* dan *elstohydrodynamic* dapat dilihat pada **Gambar 4.10**, grafik data yang didapatkan juga sesuai dengan teori dimana semakin besar jumlah beban yang bekerja pada permukaan maka nilai koefisien gesek semakin menurun.



Gambar 4. 9 pengaruh penambahan pembebanan dan kecepatan putaran terhadap koefisien gesek



Gambar 4.10 Daerah pengujian pelumasan

Dari percobaan yang dilakukan didapatkan data koefisien gesek per 0,5s.

### 4.3 Analisis data dan pengujian hipotesis

Pada pengolahan data sebelumnya sudah terlihat bahwa penambahan zat aditiv titanium dioksida pada minyak kelapa sawit memberikan efektifitas untuk mereduksi gesekan lebih baik dibandingkan dengan CPO murni, selanjut

diperlukan analisa statistik untuk mendapatkan kesimpulan yang *valid*. Maka dilakukan pengujian hipotesis untuk melihat pengaruh penambahan zat aditiv titanium dioksida pada minyak kelapa sawit (CPO) terhadap koefisien geseknya. Hipotesis dari penelitian ini adalah :

H1 : zat aditiv titanium dioksida yang ditambahkan pada minyak kelapa sawit berpengaruh signifikan terhadap koefisien geseknya, yang berarti lebih baik dari pada pelumas minyak kelapa sawit murni.

Uji yang digunakan adalah uji T (uji parsial) dengan menggunakan *software minitab* 2016. Hasilnya dapat dilihat pada **Tabel 4.1, Tabel 4.2, Tabel 4.3, Tabel 4.4, Tabel 4.5, Tabel 4.6.**

**Tabel 4. 1** hasil uji T pada minitab 2016 untuk pengujian pembebanan 50 N dan kecepatan putaran 500 rpm

<i>Diff. of Variabel</i>	<i>Diff. of Means</i>	<i>SE of Diff</i>	<i>Simultaneous 95% , CI</i>	T - Value	P - Value
CPO Murni - CPO+ TiO <sub>2</sub>	0.005602	0.000352	(0.004911 , 0.006294)	15.91	0.000

Pada **Tabel 4.1** diatas yaitu hasil dari pengujian dengan pembebanan 50 N dan kecepatan putaran 500 rpm dapat dilihat bahwa P-value dari CPO murni dan CPO + TiO<sub>2</sub> kecil dari 0,05 yang berarti H1 diterima yaitu penambahan zat aditiv TiO<sub>2</sub> pada minyak kelapa sawit memiliki pengaruh baik terhadap koefisien gesek.

**Tabel 4. 2** hasil uji T pada minitab 2016 untuk pengujian pembebanan 75 N dan kecepatan putaran 500 N

<i>Diff. of Variabel</i>	<i>Diff. of Means</i>	<i>SE of Diff</i>	<i>Simultaneous 95% , CI</i>	T - Value	P - Value
CPO Murni - CPO+	0.005344	0.000157	(0.005037 , 0.005652)	34.12	0.000

TiO <sub>2</sub>					
------------------	--	--	--	--	--

Pada **Tabel 4.2** diatas yaitu hasil dari pengujian dengan pembebanan 75 N dan kecepatan putaran 500 rpm dapat dilihat bahwa P-value dari CPO murni dan CPO + TiO<sub>2</sub> kecil dari 0,05 yang berarti H1 diterima yaitu penambahan zat aditiv TiO<sub>2</sub> pada minyak kelapa sawit memiliki pengaruh baik terhadap koefisien gesek.

**Tabel 4. 3** hasil uji T pada minitab 2016 untuk pengujian pembebanan 100 N dan kecepatan putaran 500 N

<i>Diff. of Variabel</i>	<i>Diff. of Means</i>	<i>SE of Diff</i>	<i>Simultaneous 95% , CI</i>	T – Value	P – Value
CPO Murni – CPO+ TiO <sub>2</sub>	0.007843	0.000104	(0.005037 , 0.005652)	75.55	0.000

Pada **Tabel 4.3** diatas yaitu hasil dari pengujian dengan pembebanan 100 N dan kecepatan putaran 500 rpm dapat dilihat bahwa P-value dari CPO murni dan CPO + TiO<sub>2</sub> kecil dari 0,05 yang berarti H1 diterima yaitu penambahan zat aditiv TiO<sub>2</sub> pada minyak kelapa sawit memiliki pengaruh baik terhadap koefisien gesek.

**Tabel 4. 4** pada minitab 2016 untuk pengujian pembebanan 50 N dan kecepatan putaran 1400 N hasil uji T

<i>Diff. of Variabel</i>	<i>Diff. of Means</i>	<i>SE of Diff</i>	<i>Simultaneous 95% , CI</i>	T – Value	P – Value
CPO Murni – CPO+ TiO <sub>2</sub>	0.011406	0.000189	(0.011035 , 0.011777)	60.43	0.000

Pada **Tabel 4.4** diatas yaitu hasil dari pengujian dengan pembebanan 50 N dan kecepatan putaran 1400 rpm dapat dilihat bahwa P-value dari CPO murni dan

CPO + TiO<sub>2</sub> kecil dari 0,05 yang berarti H1 diterima yaitu penambahan zat aditiv TiO<sub>2</sub> pada minyak kelapa sawit memiliki pengaruh baik terhadap koefisien gesek.

**Tabel 4. 5** hasil uji T pada minitab 2016 untuk pengujian pembebanan 75 N dan kecepatan putaran 1400 N

<i>Diff. of Variabel</i>	<i>Diff. of Means</i>	<i>SE of Diff</i>	<i>Simultaneous 95% , CI</i>	T – Value	P – Value
CPO Murni – CPO+ TiO <sub>2</sub>	0.016992	0.000109	(0.016778 , 0.017207)	155.68	0.000

Pada **Tabel 4.5** diatas yaitu hasil dari pengujian dengan pembebanan 75 N dan kecepatan putaran 1400 rpm dapat dilihat bahwa P-value dari CPO murni dan CPO + TiO<sub>2</sub> kecil dari 0,05 yang berarti H1 diterima yaitu penambahan zat aditiv TiO<sub>2</sub> pada minyak kelapa sawit memiliki pengaruh baik terhadap koefisien gesek.

**Tabel 4. 6** hasil uji T pada *minitab* 2016 untuk pengujian pembebanan 100 N dan kecepatan putaran 1400 N

<i>Diff. of Variabel</i>	<i>Diff. of Means</i>	<i>SE of Diff</i>	<i>Simultaneous 95% , CI</i>	T – Value	P – Value
CPO Murni – CPO+ TiO <sub>2</sub>	0.014919	0.000099	(0.014725 , 0.015114)	150.81	0.000

Pada **Tabel 4.6** diatas yaitu hasil dari pengujian dengan pembebanan 100 N dan kecepatan putaran 1400 rpm dapat dilihat bahwa P-value dari CPO murni dan CPO + TiO<sub>2</sub> kecil dari 0,05 yang berarti H1 diterima yaitu penambahan zat aditiv TiO<sub>2</sub> pada minyak kelapa sawit memiliki pengaruh baik terhadap koefisien gesek.

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

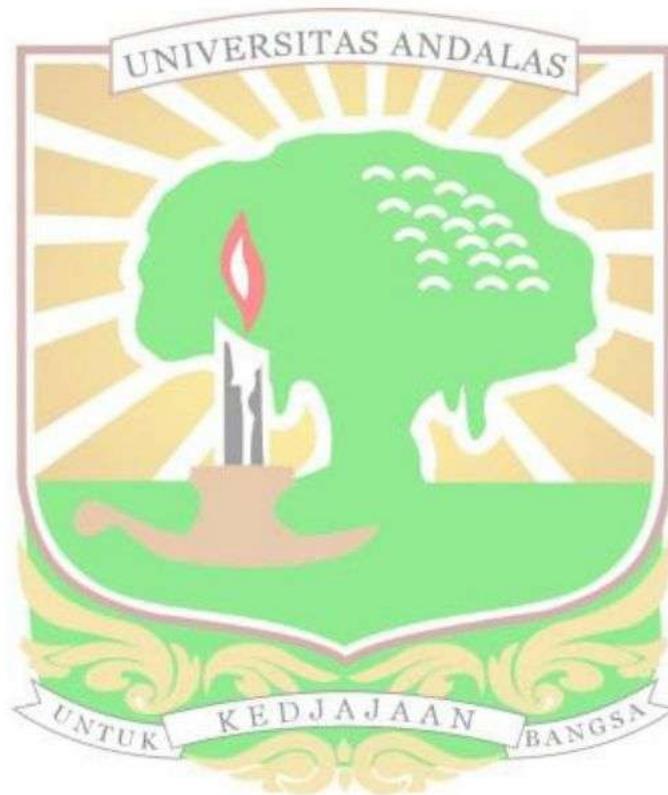
Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik sejumlah kesimpulan antara lain

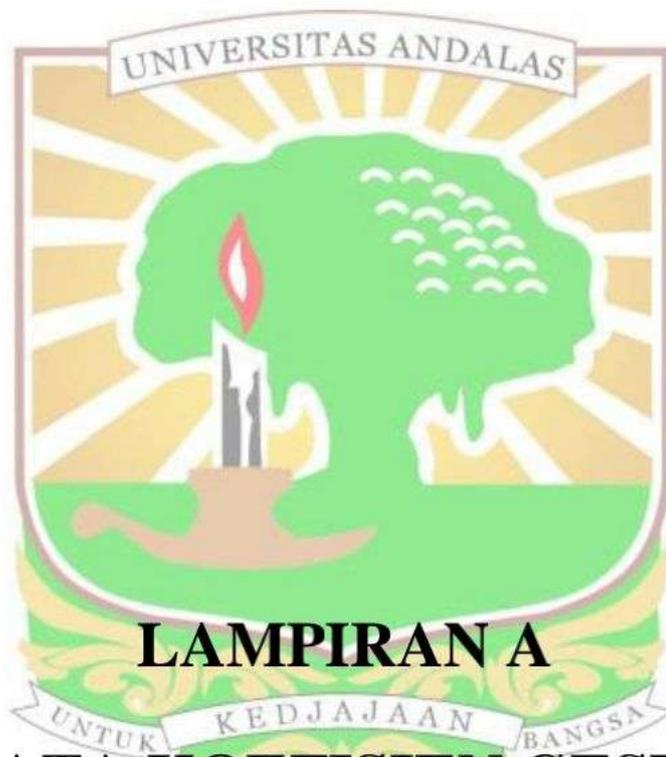
1. Pengujian koefisien gesek pada pelumas nabati yang menggunakan minyak kelapa sawit dan minyak kelapa sawit yang telah ditambahkan dengan zat aditiv  $\text{TiO}_2$  telah dilakukan. Menganalisa pengaruh perubahan dengan uji hipotesa yaitu uji T, hasil uji T yang dilakukan didapatkan bahwa dengan penambahan  $\text{TiO}_2$  memberi pengaruh pada koefisien gesek minyak kelapa sawit.
2. Dari hasil penelitian yang dilakukan dengan 6 kali pengambilan data dan sesuai dengan variasi didapatkan bahwa dengan penambahan zat aditiv pada CPO membari pengaruh penurunan nilai koefisien gesek, besarnya nilai penurunan dapat dilihat dengan regresi linear pada grafik hasil pengujian. Pada kecepatan 500 rpm pada minyak kelapa sawit dengan penambahan titanium dioksida didapatkan grafik dengan regresi linear  $y = -0,0152x + 0,2734$  sedangkan untuk minyak kelapa sawit tanpa penambahan titanium dioksida memiliki regresi linear  $y = -0,0148x + 0,2763$ . Untuk kecepatan 1400 rpm pada minyak kelapa sawit dengan penambahan titanium dioksida didapatkan grafik dengan regresi linear  $y = -0,007x + 0,1117$  sedangkan untuk minyak kelapa sawit tanpa penambahan titanium dioksida memiliki regresi linear  $y = -0,0063x + 0,1209$ .
3. Pada kecepatan putaran 1400 rpm memiliki pengaruh penambahan  $\text{TiO}_2$  lebih signifikan dibandingkan dengan 500 rpm.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Permsubscul, T. Vitidsant, and S. Damronglerd, "Catalytic Creaking Reaction of Used Lubrication," 2006.
- [2] M. Shahabuddin, H. H. Masjuki, and M. A. Kalam, "Experimental investigation into tribological characteristics of biolubricant formulated from Jatropha oil," *Procedia Eng.*, vol. 56, pp. 597–606, 2013, doi: 10.1016/j.proeng.2013.03.165.
- [3] T. D. Ningsih, R. Farida, and R. A. Nugrahani, "Pengaruh Blending Minyak Nabati Pada Pelumas Dari Minyak Mineral Terhadap Stabilitas Oksidasi Dan Ketahanan Korosi," *Jurnal*, vol. 6, no. 1, p. 7, 2017, doi: 10.24853/konversi.6.1.7-12.
- [4] A. Widya, "Mengetahui Sifat Fisik Dan Pengujian Koefisien Gesek Minyak Kemiri Sebagai Bahan Dasar Biolubricant Pada Alat Uji Pin on Disc," 2021, [Online]. Available: <http://scholar.unand.ac.id/73275/>.
- [5] F. Ikhsanul, "Perbandingan sifat fisik dan tribologi minyak kelapa dan minyak sawit dengan olive oil sebagai zat aditif pada alat uji pin on disc," 2018, [Online]. Available: <http://scholar.unand.ac.id/35784/>.
- [6] R. Siskayanti and E. Kosim, "Analisis Pengaruh Bahan Dasar terhadap Indeks Viskositas Pelumas Berbagai Kekentalan," vol. 11, no. 2, pp. 94–100, 2017.
- [7] S. Syahrullail, M. A. M. Hariz, M. K. A. Hamid, and A. R. A. Bakar, "Friction Characteristic of Mineral Oil Containing Palm Fatty Acid Distillate using Four Ball Tribo-tester," *Procedia Eng.*, vol. 68, no. mm, pp. 166–171, 2013, doi: 10.1016/j.proeng.2013.12.163.
- [8] D. Parennden, "Pengaruh Temperatur Terhadap Viskositas Minyak Pelumas," *J. Ilm. Mustek Anim Ha*, vol. 1, no. 3, pp. 161–167, 2012.

- [9] Sukirno, "Pelumasan Dan Teknologi Pelumas," *Lect. Note*, p. 87, 2011.
- [10] H. Widodo *et al.*, "Pemanfaatan minyak cengkeh sebagai antioksidan alami untuk menurunkan bilangan peroksida pada produk minyak goreng," vol. 5, no. 1, pp. 77–90, 2020.
- [11] M. Gulzar *et al.*, "Tribological performance of nanoparticles as lubricating oil additives," *J. Nanoparticle Res.*, vol. 18, no. 8, 2016, doi: 10.1007/s11051-016-3537-4.





**LAMPIRAN A**  
**DATA KOEFISIEN GESEK**

Jenis Campuran Pelumas		Putaran	Beban (N)	Rata-rata
Bahan Dasar	Zat Aditif			Koefisien Gesek
Minyak Kelapa Sawit	Tidak Ada	500 rpm	50	0,2045
			75	0,1617
			100	0,1306
		1400 rpm	50	0,0910
			75	0,0713
			100	0,0597
(CPO)	TiO <sub>2</sub> 0,1% wt	500 rpm	50	0,1989
			75	0,1564
			100	0,1228
		1400 rpm	50	0,0796
			75	0,0544
			100	0,0448







PERPUSTAKAAN JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS ANDALAS PADANG  
*Kampus Unand Limau Manis Padang 25163 Tlp. 0751-72586*

**SURAT KETERANGAN UJI SIMILARITY**

No. :B /45/UN.16.09.3.1 /TA.01.02/2022

Yang bertanda tangan dibawah ini menerangkan bahwa :

Nama : Muhamamd Fikri  
Nomor Buku Pokok : 1710913012  
Jurusan : Teknik Mesin

Yang tersebut namanya di atas telah diperiksa similarity/originality dari Tugas Akhir nya menggunakan *Software* Turnitin dengan hasil sebesar : 5%. Surat keterangan ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk mendaftar Sidang Tugas Akhir.

Demikianlah surat keterangan ini dibuat untuk dipergunakan semestinya.

Padang, 13 Juni 2022  
Petugas Ruang Baca

**Tri Dewi Yulita, S. IP**